

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Научная статья

УДК 504.455+543.32/.34

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДЫ
 ЭРОЗИОННО-ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР ЯКУТСКОЙ АРКТИКИ**

Руслан Михайлович Городничев¹, Людмила Агафьевна Пестрякова²

^{1, 2} Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

¹ rusgorodnichev@gmail.com

² lapest@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные физико-химические параметры 33 эрозионно-термокарстовых озер – одного из наиболее широко распространенных типов водоемов Якутии, образующихся в значительной степени за счет таяния грунтовых льдов многолетней мерзлоты. Рассмотренные арктические озера обладают небольшой площадью зеркала и малой глубиной. Вода объектов исследования ультрапресная, главным образом очень мягкая, характеризуется низкой прозрачностью. Водородный показатель изменяется в широких пределах от слабокислых до щелочных значений. Для воды исследуемых озер характерны высокие естественные концентрации общего железа и фосфатов. Концентрации кремния варьируют в широких границах, достигая максимальных значений в воде озер северной тайги. Содержание ионов аммония в воде озер сильно отличается, что может быть следствием влияния местных условий на накопление данного биогенного компонента. В ионном составе воды исследуемых озер преобладают гидрокарбонаты (в 88 % водоемов) и ионы кальция (в 70 % выборки). По сочетаниям катионов и анионов доминируют магниево-кальциевые (45 % озер) и гидрокарбонатные воды (76 % озер). Прозрачность воды статистически значимо возрастает при увеличении высоты расположения озер над уровнем моря, а концентрация кремния (зонально) – при продвижении с севера на юг района исследования. Указанные закономерности отмечены на фоне параллельного изменения ионного состава и минерализации воды. По совокупности исследуемых гидрохимических параметров озера могут быть объединены в 2 группы: кластер безлесных территорий и группа озер северной тайги. Выделенные объединения озер значительно отличаются по основным гидрохимическим параметрам: минерализации, общей жесткости, pH, концентрации общего железа, кремния и фосфатов.

Ключевые слова: озеро, Якутия, Арктика, эрозионно-термокарстовый тип, гидрохимия, Анабар, Оленек, Лена, Индигирка, Колыма

Финансирование. Работа выполнена в рамках Проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования РФ по теме FSRG-2023-0027 «Биота и абиотические компоненты экосистем Северо-Востока России, и рациональное освоение природных ресурсов криолитозоны в условиях изменения климата и техногенного воздействия», 2023–2025 гг.

Для цитирования: Городничев Р.М., Пестрякова Л.А. Физико-химические параметры воды эрозионно-термокарстовых озер якутской Арктики // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 20–30. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

**PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF WATER OF EROSION-THERMOKARST LAKES
 IN THE YAKUTIAN ARCTIC**

Ruslan M. Gorodnichev¹, Lyudmila A. Pstryakova²

^{1, 2} M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

¹ rusgorodnichev@gmail.com,

² lapest@mail.ru

Abstract. The paper considers the main physical and chemical parameters of 33 erosion-thermokarst lakes, one of the most widespread types of water bodies in Yakutia, formed largely due to the melting of permafrost ground ice. The considered lakes have a small mirror area and shallow depth. The water of the lakes is ultrafresh, mostly very soft, and



© 2025 Эта работа Городничева Р.М., Пестряковой Л.А. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

characterized by low transparency. pH varies in wide ranges from weakly acidic to alkaline values. The water is distinguished by high natural concentrations of total iron and phosphate. Silicon concentrations vary widely, reaching maximum values in the water of northern taiga lakes. The content of ammonium ions in the water of the lakes differs greatly, which may be caused by the influence of local conditions on the accumulation of this biogenic component in water. The ionic composition is dominated by hydrocarbonates (in 88 % of the water bodies) and calcium ions (in 70 % of the sample). In terms of combinations of cations and anions, there dominate magnesium-calcium (45 % of the lakes) and hydrocarbonate waters (76 % of the lakes). Water transparency demonstrates a statistically significant increase with an increase in the lakes' altitude above sea level, while silicon concentration increases (zonally) with moving from north to south of the study area. These regularities are noted against the background of parallel changes in the ionic composition and mineralization of water. According to the totality of the investigated hydrochemical parameters, the lakes can be divided into 2 groups: a cluster of non-forested areas and a group of lakes of northern taiga. The selected lake groups differ significantly in the main hydrochemical parameters: mineralization, total hardness, pH, concentrations of total iron, silicon, and phosphates.

Keywords: lake, Yakutia, Arctic, erosion-thermokarst type, hydrochemistry, Anabar, Olenek, Lena, Indigirka, Kolyma

Funding. The study was carried out within the framework of 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, topic FSRG-2023-0027 'Biota and abiotic components of ecosystems of the North-East of Russia and rational development of natural resources of the cryolithozone in the conditions of climate change and anthropogenic impact', 2023-2025.

For citation: Городничев, Р.М., Пестрякова, Л.А. (2025). Physico-chemical parameters of water of erosion-thermokarst lakes in the Yakutian Arctic. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp.20–30. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-20-30

Введение

На территории Якутии насчитываются сотни тысяч озер [1]. Для региона озера выступают важным объектом окружающей среды [19, 20, 25] и народного хозяйства [6, 11]. Они используются в качестве источника пресной воды, места рыбного промысла, территории для отдыха и проведения массовых мероприятий. Высокое значение озер для региона обусловило необходимость разработки морфогенетической классификации озер И.И. Жиркова [5]. Одним из наиболее распространенных типов, согласно данной классификации, являются эрозионно-термокарстовые водоемы [10, 12, 24]. Котловины озер такого типа образованы в результате комбинированного воздействия эрозионных процессов, обусловленных функционированием водотоков, и протаивания грунтовых льдов многолетней мерзлоты. Несмотря на обилие такого рода озер, сведения об особенностях химического состава их воды обрывочны и не отражают в полной мере ни номенклатуру растворенных в воде компонентов, ни территориальный охват района исследования. Наиболее изученными по совокупности параметров водными объектами региона являются озера Центральной Якутии [23], водоемы арктических районов Республики ввиду удаленности и труднодоступности изучены слабо. Данная работа ставит своей целью получить новые сведения об основных физико-химических параметрах воды эрозионно-термокарстовых озер якутской Арктики и особенностях их изменений по территории района исследования.

Высокая перспектива хозяйственного освоения Арктики, вызванная ее значительным ресурсным потенциалом и уникальными экосистемными компонентами, обуславливает высокую актуальность исследования естественного состояния водных объектов, сведения о котором могут быть использованы в природоохранных целях для определения степени антропогенного нарушения в будущем. В этой связи в рамках исследования для получения представлений о природных гидрохимических особенностях водоемов изучен химический состав воды 33 эрозионно-термокарстовых озер, не испытывающих выраженного антропогенного воздействия и трансформации. Объекты исследования находятся выше Северного полярного круга ($67,47\text{--}73,38^{\circ}\text{с.ш.}$; $110,82\text{--}153,66^{\circ}\text{в.д.}$) в бассейнах рек Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма, на территориях охватывающих северную тайгу, лесотунду, типичную тунду и горные области высотной поясности (рис. 1). Вопрос принадлежности территорий и объектов на них, расположенных в зоне Арктики, является дискуссионным [21]. В данном исследовании все озера отнесены к арктическим, так как расположены севернее $66,55^{\circ}\text{с.ш.}$

Материал и методы

Полевые исследования озер проведены в летний период времени с 2002 по 2009 г. по схожей программе работ в ходе экспедиций Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова (СВФУ) и совместных экспедиций сотрудников СВФУ с коллегами из Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера. Методика определения параметров местоположения и морфометрических характеристик озер приведена в ранее опубликованных работах авторами исследования [2].

Для изучения химического состава отобраны поверхностные пробы воды (с погружением бутылки на 0,2–0,5 м) [4]. Определение pH осуществлено в полевых условиях с применением потенциометрического метода (прибор WTW Multi 340i и аналоги). Изучение характеристик химического состава воды произведено с применением широко распространенных методов и оборудования непосредственно в полевых условиях (гидрокарбонаты) или в лабораторных условиях после окончания полевых экспедиций. Концентрация гидрокарбонатов определена стандартными титриметрическими методами [15]. Концентрации главных катионов (кальций, магний, натрий и калий) и анионов (сульфаты, хлориды) определены на системе капиллярного электрофореза «Капель-105м» и

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

ионном жидкостном хроматографе Dionex DX-320. Содержания в воде общего железа [14], кремния [18], ионов аммония [13] и фосфатов [17] определены стандартными фотометрическими методами.



Рис. 1. Местоположение исследуемых озер

Fig. 1. Location of the studied lakes

Примечание: буквенное обозначение озера указывает на первую букву реки, в бассейне которой оно расположено: А – бассейн р. Анабар; О – р. Оленек; Л – р. Лена; И – р. Индигирка; К – р. Колыма. Цифровое обозначение соответствует порядковому номеру

Note: the letter designation of the lake indicates the first letter of the river in whose basin it is located: А - Anabar River basin; О - Olenek River; Л - Lena River; И - Indigirka River; К - Kolyma River. The numeric designation corresponds to the sequence number.

Вычисление коэффициента корреляции Спирмена [26] и процедуры кластерного анализа проведены при помощи компьютерной программы PAST Ver. 4.0. Кластерный анализ осуществлен методом Варда [28]. В качестве исходных значений для процедур кластерного анализа использованы такие параметры, как pH, общая жесткость (в мг-экв/л), минерализация (в мг/л), концентрации общего железа (в мг/л), кремния (в мг/л), кальция (в мг-экв/л), магния (в мг-экв/л), суммы натрия и калия (в мг-экв/л), гидрокарбонатов (в мг-экв/л), сульфатов (в мг-экв/л) и хлоридов (в мг-экв/л). Концентрации аммония и фосфатов в анализ не включены, так как в воде значительной части озер указанные параметры отсутствуют. Все исходные данные предварительно были подвергнуты стандартизации путем вычитания от каждого индивидуального значения параметра среднего значения и деления на стандартное отклонение характеристики, которые были вычислены по всей исследуемой выборке (z-стандартизация).

Треугольные диаграммы соотношений главных ионов были построены в программе Grapher Ver. 3.02. Исходные концентрации ионов были выражены в мг-экв/л. При словесном описании ионного состава воды название соответствующего иона добавлялось, если его доля составляла не менее 25 % мг-экв/л от общего количества катионов или анионов.

Результаты и их обсуждение

Размеры исследуемых озерных котловин изменяются в широких пределах (табл. 1). Площадь водного зеркала варьирует от 0,003 (озеро Л8) до 7,14 км² (И5), в среднем составляя 0,48 км². Оба крайних значения площади зеркала принадлежат озерам северной тайги. По классификации П.В. Иванова [7], размеры водных объектов изменяются от озерков до малых озер. Средние значения соответствуют очень малым озерам. Максимальная глубина исследуемых водоемов, по классификации С.П. Китаева [8], охватывает диапазон от очень малой до средней – от 1,1 (озеро Ан25, типичная тундра) до 12,4 м (А1, типичная тундра) – при среднем арифметическом 4,1 м, что позволяет отнести исследуемые озера к водным объектам, обладающим малой глубиной. Коэффициент изрезанности береговой линии изменялся в диапазоне от 1,04 (объект А4, типичная тундра) до 2,3 (И5, северная тайга). Средние значения коэффициента (1,25) характеризуют изученные озера как округлые, для которых характерна низкая степень развития береговой линии.

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Таблица 1

Характеристики местоположения и морфометрические параметры озер
 Location characteristics and morphometric parameters of the lakes

Природная зона	горные облас- ти высот- ной поясно- сти (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Место расположения (бассейн реки)	Анабар, Лена	Анабар, Лена	Оленек, Лена, Индигирка, Колыма	Анабар	Анабар	Анабар, Оле- нек, Лена, Ин- дигирка, Ко- лыма
Широта, °	70,70–72,29 (71,22)	70,21–71,75 (71,19)	67,47–69,89 (68,59)	72,80–73,38 (73,06)	72,07–72,32 (72,15)	67,47–73,38 (70,90)
Долгота, °	110,82–125,7 (122,44)	111,13–125,27 (115,37)	112,27–153,66 (138,37)	113,27–114,96 (113,71)	111,11–111,19 (111,14)	110,82–153,66 (122,99)
Высота над уровнем моря, м	25–139 (97)	41–147 (77)	15–155 (46)	8–23 (15)	37–77 (53)	8–155 (52)
Площадь водного зеркала, км ²	0,02–0,76 (0,3)	0,017–1,39 (0,4)	0,003–7,14 (0,98)	0,007–0,62 (0,15)	0,042–0,22 (0,13)	0,003–7,14 (0,48)
Максимальная глубина, м	2,9–7 (5,5)	2,4–5 (3,8)	1,8–3,5 (2,9)	1,1–12,4 (4,2)	3,4–6,9 (5,3)	1,1–12,4 (4,1)
Развитие (изрезанность) береговой линии	1,05–1,27 (1,12)	1,08–1,18 (1,14)	1,04–2,3 (1,38)	1,04–1,54 (1,20)	1,15–1,30 (1,22)	1,04–2,30 (1,25)

Примечание: n – количество озер. В ячейках приведен диапазон значений от минимального до максимального. В скобках указано среднее арифметическое. Серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра

Note: n is the number of lakes. The range of values from minimum to maximum is given in the cells. The arithmetic mean is given in round brackets. The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted in grey

Прозрачность воды (табл. 2) варьирует в широких пределах от очень малой (0,2 м – озеро И5, расположенное в зоне северной тайги) до высокой (4,5 м – водоем А9, южная тундра), в среднем составляя 1,6 м, что позволяет описать их как обладающих малой прозрачностью.

Вода всех исследуемых озер является ультрапресной. Минерализация варьирует от 9,5 (озеро А13 – южная тундра) до 198 мг/л (водоем А2 – лесотундра) при среднем значении 53,4 мг/л. Наибольшими значениями суммы растворенных в воде солей в целом (по среднему арифметическому) обладают озера зоны северной тайги, наименьшие значения принадлежат озерам горных областей высотной поясности.

Водородный показатель изменяется от слабокислых (5,21 – озеро Л4, горные области высотной поясности) до щелочных значений (8,95 – И4, северная тайга), в среднем составляя 7,2. Наименьшими и наибольшими средними значениями водородного показателя обладают озера горных областей высотной поясности и северной тайги.

Общая жесткость характеризуется диапазоном значений от 0,09 до 2,1 (при среднем 0,52) мг-экв/л. Основная масса озер характеризуется очень мягкой водой (<1,5 мг-экв/л). Лишь одно озеро северной тайги обладает мягкой водой (Л8), жесткость воды которой соответствует верхнему диапазону параметра, отмеченному для объектов исследуемой выборки. Наименьшими и наибольшими средними значениями общей жесткости воды обладают озера горных областей и высотной поясности, а также северной тайги.

Таблица 2

Физико-химические параметры воды озер
 Physico-chemical parameters of lake water

Природная зона	горные облас- ти высот- ной поясно- сти (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Место расположения (бассейн реки)	Анабар, Лена	Анабар, Лена	Оленек, Лена, Индигирка, Колыма	Анабар	Анабар	Анабар, Оле- нек, Лена, Ин- дигирка, Ко- лыма

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Окончание таблицы 2

Природная зона	горные облас- ти высотной поясности (n=5)	лесотундра (n=4)	северная тайга (n=11)	типичная тундра (n=7)	южная тундра (n=6)	Вся выборка (n=33)
Прозрачность, м	2,0–4,35 (3,56)	1,50–2,50 (1,79)	0,20–1,73 (0,68)	0,60–2,30 (1,20)	1,20–4,5 (2,08)	0,20–4,50 (1,60)
pH	5,21–7,18 (6,36)	6,27–7,42 (6,97)	6,50–8,95 (7,67)	6,70–7,42 (7,15)	7,15–7,55 (7,34)	5,21–8,95 (7,22)
Жесткость общая расчетная, мг- экв/л	0,11–0,47 (0,21)	0,32–1,44 (0,65)	0,20–2,09 (0,80)	0,09–0,88 (0,41)	0,13–0,65 (0,31)	0,09–2,09 (0,52)
Минерализация, мг/л	11,66–34,34 (18,17)	22,63–198,05 (71,78)	17,82–172,44 (87,68)	11,09–73,21 (38,96)	9,46–51,52 (24,50)	9,50–198,05 (53,40)
Fe, мг/л	0,44–1,97 (1,17)	0,00–0,48 (0,18)	0,00–0,79 (0,16)	0,08–0,51 (0,25)	0,02–0,41 (0,22)	0,00–1,97 (0,35)
Ca ²⁺ , мг/л	1,25–5,67 (2,45)	3,49–15,60 (7,56)	3,21–35,20 (9,89)	0,94–9,20 (4,54)	1,41–7,46 (3,47)	0,94–35,20 (6,18)
Mg ²⁺ , мг/л	0,59–2,25 (1,09)	1,49–8,02 (3,35)	0,00–8,51 (3,71)	0,48–5,10 (2,28)	0,68–3,42 (1,63)	0,00–8,51 (2,60)
Si, мг/л	0,11–1,03 (0,59)	0,10–1,29 (0,70)	0,10–7,40 (2,30)	0,10–1,40 (0,43)	0,15–0,50 (0,32)	0,10–7,4 (1,09)
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,00	0,02 (только в 1 озере)	0,00–1,00 (0,22)	0,00–0,33 (0,097)	0,1 (только в 1 озере)	0,00–1,00 (0,23*/0,10**)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/л	0,87–1,30 (1,04)	0,51–26,30 (7,26)	0,10–36,67 (8,88)	1,36–13,22 (3,92)	0,59–2,22 (1,04)	0,10–36,67 (5,02)
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,10–0,10 (0,10)	<0,01–0,11 (0,10)	0,00–0,10 (0,02*/0,04**)	0,00–0,10 (0,07*/0,10**)	0,10–0,10 (0,10)	0,00–0,11 (0,06*/0,09**)
HCO ₃ ⁻ , мг/л	7,55–24,10 (12,23)	16,11–134,20 (49,59)	12,66–122 (46,56)	4,12–45,80 (20,76)	5,64–34,92 (16,77)	4,12–134,20 (30,84)
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0,73–1,52 (0,98)	0,16–6,80 (1,88)	0,00–63,84 (14,08)	0,10–1,77 (0,51)	0,14–0,32 (0,26)	0,00–63,84 (5,22)
Cl ⁻ , мг/л	0,17–0,51 (0,27)	0,22–7,10 (2,05)	0,28–8,52 (4,31)	1,16–24,83 (6,78)	0,42–3,11 (1,22)	0,17–24,83 (3,39)
Ca ²⁺ , %	20,4–28,1 (22,7)	15,6–32,5 (24,8)	4,84–44,2 (23,41)	14,6–24,4 (19,7)	22,4–25,8 (24,2)	4,8–44,2 (22,8)
Mg ²⁺ , %	15,7–19,5 (17,1)	11,4–21,8 (16,9)	0–38,52 (14,83)	9,3–20,8 (16,6)	17,9–20,4 (19)	0–38,5 (16,6)
ΣNa ⁺⁺ K ⁺ , %	3,5–13,6 (10,2)	2,9–21,1 (8,3)	0,25–35,49 (11,76)	5,5–24,4 (13,7)	3,8–9,7 (6,8)	0,25–35,5 (10,6)
HCO ₃ ⁻ , %	41,3–46,2 (43,2)	43,3–48,7 (46,6)	16,59–47,71 (34,88)	16,5–46,1 (32,4)	37,4–48,4 (41,7)	16,5–48,7 (38,3)
SO ₄ ²⁻ , %	2,1–6,7 (5,1)	0,6–2,8 (1,2)	0–31,52 (8,63)	0,2–4,1 (1,3)	0,4–2,2 (1,2)	0–31,5 (4,3)
Cl ⁻ , %	1,4–2,1 (1,7)	0,6–3,9 (2,2)	1,82–16,65 (6,49)	3,6–33,3 (16,3)	1,2–10,5 (7,1)	0,6–33,3 (7,4)

Примечание: * – указана средняя концентрация, рассчитанная с учетом нулевых значений; ** – указана средняя концентрация, рассчитанная с исключением водных объектов, в которых компонент не обнаружен. Серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра

Note: * – the average concentration is calculated taking into account zero values; ** – the average concentration is calculated excluding water bodies in which the component has not been detected. The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted in grey

Концентрация общего железа воды озер варьирует от 0 (несколько озер различных природных зон) до 1,97 мг/л (Л7, горные области высотной поясности), в среднем составляя 0,35 мг/л. Наименьшие и наибольшие средние значения принадлежат озерам северной тайги и горных областей высотной поясности. В целом средние значения для озер всех природных зон указывают на высокие концентрации общего железа, значительно превышающие предельно допустимые концентрации (0,1 мг/л) для водных объектов рыбохозяйственного значения (приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552).

Концентрация кремния, одного из лимитирующих факторов для важнейшей группы продуцентов водной среды – диатомовых водорослей, варьирует в широких пределах от 0,1 (несколько водоемов различных природных зон) до 7,4 мг/л (О1, северная тайга), в среднем составляя 1,09 мг/л. Наименьшие и наибольшие средние значения для озер различных природных зон принадлежат озерам южной тундры и северной тайги. Большие концентрации на юге района исследования, возможно, обусловлены привнесением большего количества кремния

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

талыми водами и атмосферными осадками с водосборных территорий озер. Озера, находящиеся южнее, расположены в местах с большей мощностью сезонно талого слоя, что позволяет стоку атмосферных осадков реагировать с грунтом водосборных территорий, богатых кремнием, более интенсивно, что, вероятно, способствует возрастанию растворенных в воде форм кремния.

Ионы аммония в воде большей части озер (19 из 33) отсутствовали. Диапазоны изменений концентрации показателя для водных объектов, в воде которых он установлен, составляют 0,02 и 1,0 мг/л. Наименьшее значение отмечено для водоема А2, расположенного в лесотундре, наиболее высокое – для северотаежного озера О1. Среднее значение концентрации ионов аммония в воде озер, в которых он присутствует, составляет 0,23 мг/л. Для озера О1 установлены концентрации иона аммония, превышающие ПДК рыбохозяйственных водоемов (0,5 мг/л).

Концентрации растворенных в воде фосфатов изменяются в диапазоне от 0 до 0,11 мг/л. Фосфаты отсутствуют в воде 2 озер типичной тундры и 6 водных объектов северной тайги. Наибольшая концентрация параметра отмечена в воде озера А15, расположенного в лесотундре. Среднее значение концентрации фосфатов для воды озер, в которых установлено наличие данных анионов, составляет 0,09 мг/л. В целом концентрация растворенных в воде фосфатов большинства озер (21 из 33) является высокой и превышает ПДК олиготрофных водоемов рыбохозяйственного назначения в 2 раза. Для озер Якутии повышенная концентрация фосфатов является распространенным явлением [9, 16] и, вероятно, связана с высокими фоновыми значениями указанного иона в горных породах водосборных территорий озер.

Ионный состав воды (рис. 2) исследуемых озер характеризуется выраженным преобладанием гидрокарбонатов (в воде 29 озер, 88 % выборки). Для воды 2 озер свойственно доминирование хлоридов, а для воды 2 водных объектов – преобладание сульфатов. В воде большинства озер (23 водных объекта, 70 % выборки) преобладают ионы кальция. 5 озер характеризуются водой с доминированием магния и натрия.

По сочетаниям процентных долей анионов 25 озер (76 %) обладали гидрокарбонатной водой (доля и сульфатов, и хлоридов была менее 25 %), 4 водных объекта – хлоридно-гидрокарбонатной, 2 – гидрокарбонатно-хлоридной и 2 – гидрокарбонатно-сульфатной. В составе катионов наблюдаются 11 различных сочетаний их долей. Вода 15 озер обладала магниево-кальциевым, 5 – кальциевым и 3 – натриево-магниево-кальциевым составом. Остальные 8 сочетаний положительно заряженных ионов включают по 1–2 водоема. В целом изменчивость ионного состава воды исследуемых озер свидетельствует о сложном сочетании различных факторов, оказывающих влияние на его формирование в каждом конкретном случае.

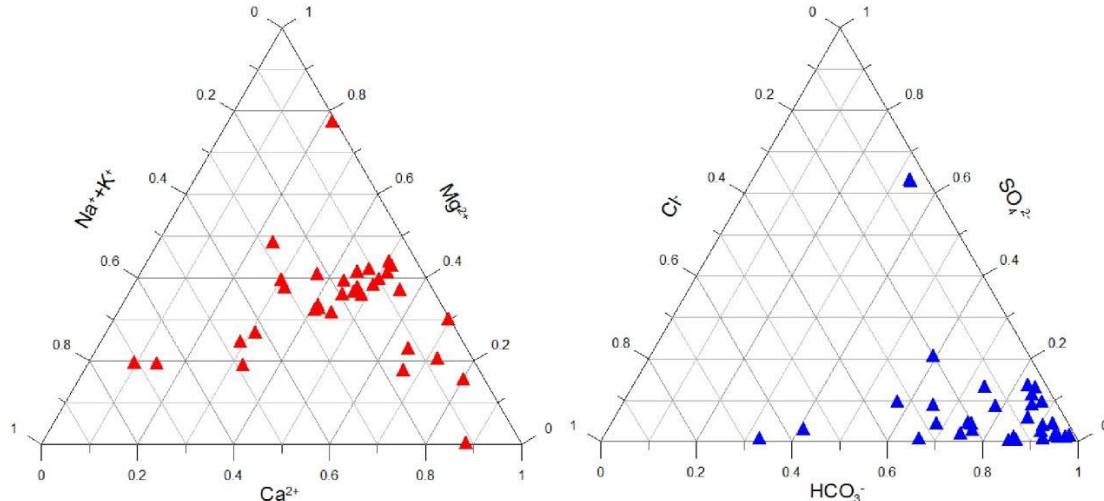


Рис. 2. Ионный состав воды исследуемых озер
Fig. 2. Ionic composition of water of the studied lakes

Результаты проведенного корреляционного анализа (рис. 3) позволяют проследить закономерность в расположении исследуемых озер, которая выражается в том, что при продвижении с запада на восток координаты широты водоемов уменьшаются. Данное обстоятельство не является природной детерминантой, а обусловлено территориальными особенностями проведенных экспедиционных работ.

Прозрачность воды увеличивается с ростом высоты расположения озер над уровнем моря, при этом наблюдается сокращение общей жесткости, минерализации, концентрации хлоридов и возрастание доли гидрокарбонатов в ионном составе воды.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о зональных изменениях концентрации кремния. Его количество в единице объема воды уменьшается с продвижением на север района исследования, при этом возрастание концентраций кремния происходит по мере увеличения значений общей жесткости, минерализации воды, концентраций ионов магния и гидрокарбонатов, зональные изменения концентраций которых, отмечены в

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

работах, проведенных в регионе ранее [3]. Водоемы, расположенные южнее, как правило, обладают большей минерализацией, связанной с ней общей жесткостью и концентрациями ионов. Более благоприятные климатические условия способствуют повышению концентраций кремния и снижению прозрачности, которая в значительной степени обусловлена попаданием в озера взвешенного грунта [27] и развитием планктонной биоты [22], лучше развивающейся в относительно благоприятном климате южных территорий.

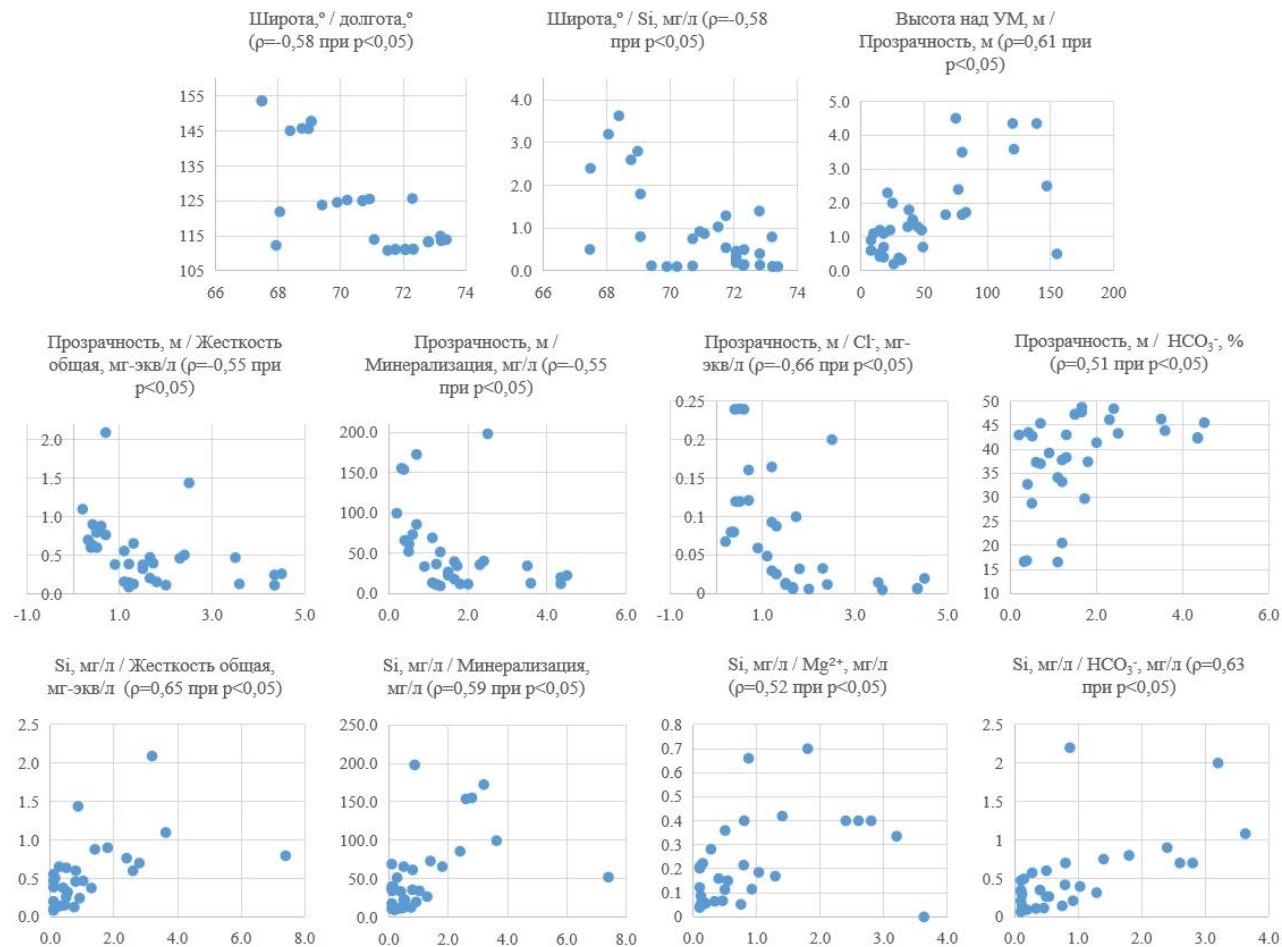


Рис. 3. Взаимосвязи характеристик исследуемых озер
Fig. 3. Relationships between the characteristics of the studied lakes

В результате проведенного кластерного анализа с применением метода Варда установлено 2 кластера (группы), объединяющих схожие по совокупности исследуемых параметров водоемы (рис. 4, табл. 3). Кластер I представлен главным образом озерами территорий, лишенных лесной растительности (южная субарктическая и типичная тундра, горные области высотной поясности). Кластер II, напротив, включает в основном водные объекты зоны северной тайги.

Озера кластера I характеризуются более высокими в сравнении с водными объектами группы II значениями прозрачности воды, концентрации общего железа и фосфатов. Средние значения прозрачности, концентрации общего железа и фосфатов здесь выше по сравнению с аналогичными параметрами кластера II в 3,1, в 2,4 и 7,7 раза соответственно. Остальные физико-химические параметры воды выше у водных объектов группы II, озера которой обладают намного более высокоминерализованной и жесткой водой. Средние значения минерализации и общей жесткости здесь выше в 4,3 раза и 3,1 раза соответственно. Для водных объектов кластера, представленного главным образом озерами северной тайги, характерны более высокие значения концентрации кремния и аммония, которые превышают значения соответствующих параметров озер кластера I в 5,6 и 13,5 раз соответственно.

Ионный состав воды озер кластера I характеризуется в среднем более высокой долей ионов кальция, магния и гидрокарбонатов. В воде озер кластера II более высокие доли суммарной концентрации натрия и калия, сульфатов и хлоридов, что характерно для более высокоминерализованных вод.

Таким образом, по результатам кластерного анализа также можно сделать вывод о зональных различиях химического состава воды эрозионно-термокарстовых озер арктической части Якутии.

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

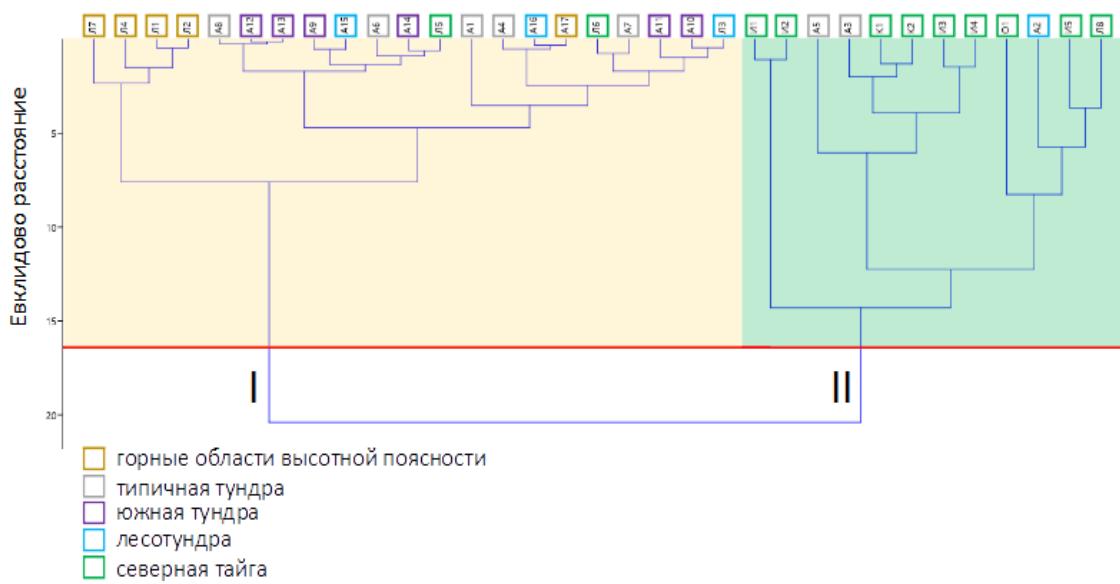


Рис. 4. Кластеры эрозионно-термокарстовых озер
Fig. 4. Clusters of erosion-thermokarst lakes

Таблица 3

Характеристика групп, выделенных в результате кластерного анализа озер
Characteristics of the groups of lakes identified as a result of cluster analysis

Кластер №	I (n=21)	II (n=12)
Широта, °	69,40–73,38 (71,79)	67,47–73,22 (69,36)
Долгота, °	110,82–125,70 (116,38)	112,27–153,66 (134,54)
Высота над уровнем моря, м	8–139 (57)	8–155 (44)
Прозрачность воды, м	0,90–4,50 (2,14)	0,20–2,50 (0,69)
pH	5,21–7,55 (7,00)	6,27–8,95 (7,58)
Жесткость общая расчетная, мг-экв/л	0,09–0,65 (0,29)	0,55–2,09 (0,92)
Минерализация, мг/л	9,46–51,52 (24,26)	52,21–198,05 (104,39)
Fe, мг/л	0,02–1,97 (0,44)	0,00–0,79 (0,18)
Ca ²⁺ , мг/л	0,94–7,46 (3,46)	4,01–35,2 (10,93)
Mg ²⁺ , мг/л	0,48–3,42 (1,46)	0,00–8,51 (4,57)
Si, мг/л	0,10–1,29 (0,41)	0,10–7,4 (2,29)
NH ₄ ⁺ , мг/л	0,00–0,28 (0,02)	<0,05–1,00 (0,27)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , мг/л	0,51–4,30 (1,27)	0,10–36,67 (11,58)
PO ₄ ³⁻ , мг/л	0,00–0,11 (0,10)	<0,01–0,1 (0,013)
HCO ₃ ⁻ , мг/л	4,12–34,92 (15,94)	21,20–134,20 (56,91)
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0,10–4,80 (0,70)	0,00–63,84 (13,15)
Cl ⁻ , мг/л	0,17–5,84 (1,32)	2,40–24,83 (7,00)
Ca ²⁺ , %	14,60–36,15 (24,33)	4,84–44,20 (20,20)
Кластер №	I (n=21)	II (n=12)
Mg ²⁺ , %	8,76–21,81 (17,08)	0,00–38,52 (15,62)
ΣNa ⁺ +K ⁺ , %	2,92–23,23 (8,58)	0,25–35,49 (14,18)
HCO ₃ ⁻ , %	20,47–48,72 (40,96)	16,51–45,36 (33,61)
SO ₄ ²⁻ , %	0,21–10,15 (2,54)	0,00–31,52 (7,34)
Cl ⁻ , %	0,64–28,14 (6,50)	1,90–33,27 (9,04)

Примечание: серой заливкой выделены ячейки с максимальным средним значением параметра
Note: The cells with the maximum average value of the parameter are highlighted with grey shading

Заключение

Исследуемые арктические озера эрозионно-термокарстового типа обладают главным образом небольшой площадью зеркала, малой глубиной и прозрачностью воды. Вода озер ультрапресная, преимущественно очень мягкая. Водородный показатель изменяется в широких пределах от слабокислых до щелочных значений. Для воды исследуемых озер характерны высокие концентрации общего железа и фосфатов, что отмечается в других проведенных в регионе исследованиях и, вероятно, связано с высокими фоновыми концентрациями указанных компонентов в районе исследования. Содержание кремния в воде озер варьирует в широких пределах, достигая максимальных значений в озерах северной тайги. Ионы аммония в воде большинства озер отсутствовали. В

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

оставшейся части концентрации изменяются в широком диапазоне, указывая на выраженное влияние местных условий на накопление в воде данного биогенного компонента.

В ионном составе воды исследуемых озер преобладают гидрокарбонаты (в 88 % водоемов) и ионы кальция (в 70 % выборки). Сочетания долей положительно заряженных ионов разнообразны (11 вариаций), однако наиболее часто вода озер является магниево-кальциевой (45 % озер). Состав анионов воды более однороден, в большинстве случаев она относится к гидрокарбонатному классу (для 76 % озер).

Установлены пространственные изменения прозрачности воды и концентрации растворенных в воде форм кремния. Прозрачность статистически значимо возрастает при увеличении высоты расположения озер над уровнем моря, а концентрация кремния (зонально) – при продвижении с севера на юг района исследования. Указанные закономерности отмечены на фоне параллельного изменения ионного состава воды и минерализации. По совокупности исследуемых параметров озера могут быть объединены в 2 группы. К первой группе относятся главным образом озера пространств, лишенных сплошной лесной растительности, во втором объединении преобладают озера зоны северной тайги, что может быть косвенным свидетельством действия зонального аспекта на формирование химического состава воды объектов исследования. Выделенные объединения озер значительно отличаются по основным гидрохимическим параметрам: минерализации, общей жесткости, pH, концентрации общего железа, кремния и фосфатов.

Библиографический список

1. Аржакова С.К., Жирков И.И., Кусатов К.И., Андросов И.М. Реки и озера Якутии: крат. справ. Якутск: Бичик, 2007. 136 с.
2. Городничев Р.М., Левина С.Н., Ушницкая С.Н., Давыдова П.В., Пестрякова Л.А. Морфометрические параметры разнотипных озер Севера Якутии // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 18–25.
3. Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Ядрихинский И.В. Взаимосвязь диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии // Вестник СВФУ. 2015. № 6 (50). С. 14–26.
4. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. Введ. 2014-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2013. 64 с.
5. Жирков И.И. К ландшафтно-генетической классификации озер Центральной Якутии // Природа и хозяйство Сибири. Якутск, 1977. С. 32–33.
6. Жирков И.И. О Запасах и качестве сапропелевых месторождений разнотипных озер Центральной Якутии // Сапропель в сельском хозяйстве. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1983. С. 58–72.
7. Иванов П.В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. Ленинград, 1948. № 20. С. 29–36.
8. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с. ISBN: 978-5-9274-0274-8
9. Макаров В.Н., Чижук А.Л. Поступление фосфатов в озера Якутска // Наука и образование. 2009. № 4. С. 66–69.
10. Нестерева М.И. Пространственные особенности строения разнотипных озерных котловин на территории Якутии // Общество. Среда. Развитие. 2011. № 4. С. 227–230.
11. Пестрякова Л.А. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2008. 197 с.
12. Пестрякова Л.А. Типологическое значение морфометрических показателей озер Центральной Якутии // Вопросы рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озер криолитозоны (На примере Центральной Якутии): межвузовский сборник. Якутск: Изд-во ЯГУ, 1983. С. 89–96.
13. ПНД Ф 14.1:2.1-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реагентом Несслера. Введ. 1995-03-25. М.: Минприроды РФ, 2004. 20 с.
14. ПНД Ф 14.1:2.50-96. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. Введ. 1995-03-20. М.: Минприроды РФ, 2004. 18 с.
15. ПНД Ф 14.2.99-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений содержания гидрокарбонатов в пробах природных вод титриметрическим методом. Введ. 1997-03-21. М.: Минприроды РФ, 1997. 20 с.
16. Попова Н.В., Аргунов М.А. Экологическая оценка состояния водоёмов -источников хозяйственно-питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов Таттинского района Якутии // АгроЭкоИнфо. 2020, № 4. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_417.pdf. (дата обращения: 30.12.2023)
17. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Введ. 2006-04-01. Ростов н/Д: Росгидромет, 2006. 32 с.
18. РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения фотометрическим методом. Введ. 2005-07-01. М.: Гидрохимический ин-т, 2005. 25 с.
19. Biskaborn B., Herzschuh U., Bolshiyanov D.Y., Schwamborn G., Diekmann B. Thermokarst processes and depositional events in a tundra lake, Northeastern Siberia // Permafrost and Periglacial Processes. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 160–174. DOI: 10.1002/ppp.1769
20. Desyatkin A.R., Takakai F., Hatano R. Flood effect on CH₄ emission from the Alas in Central Yakutia, East Siberia // Soil Science and Plant Nutrition. 2014. Vol. 60, No. 2. P. 242–253. DOI: 10.1080/00380768.2014.883486
21. Federov V., Zhuravel V., Grinyaev S., Medvedev D. Scientific approaches to defining the territorial boundaries of the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 302 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012012
22. Horn W. The influence of biomass and structure of the crustacean plankton on the water transparency in the Saldenbach storage reservoir // Biology of Cladocera. Developments in Hydrobiology. 1991. Vol. 71. P. 115–120. DOI: 10.1007/978-94-017-0918-7_11

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

23. Kumke T., Ksenofontova M., Pestyakova L., Nazarova L., Hubberten H.-W. Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia, Russia // Journal of Limnology. 2007. Vol. 66, No. 1. P. 40–53. DOI: 10.4081/jlimnol.2007.40
24. Pestyakova L.A., Herzschuh U., Wetterich S., Ulrich M. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) // Quaternary Science Reviews. 2012. Vol. 51. P. 56–70. DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.06.020
25. Semiletov I.P., Pipko I.I., Pivovarov N.Ya., Popov V.V., Zimov S.A., Voropaev Yu.V., Davydov S. Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: A factor of global significance // Atmospheric Environment. 1996. Vol. 30, No. 10–11. P. 1657–1671. DOI: 10.1016/1352-2310(95)00426-2
26. Spearman C. The proof and measurement of association between two things // The American Journal of Psychology. 1904. Vol. 15, No. 1. P. 72–101.
27. Tyler J.E. The Secchi disc // Limnology and Oceanography. 1968. Vol. 13, No. 1. P. 1–6.
28. Ward J.H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function // Journal of the American Statistical Association. 1963. Vol. 58, No. 301. P. 236–244. DOI: 10.1080/01621459.1963.10500845

References

1. Arzhakova, S.K., Zhirkov, I.I., Kusatov K.I., Androsov, I.M. (2007). Rivers and lakes of Yakutia. Yakutsk: Bichik, 136 p.
2. Gorodnichev, R.M., Levina, S.N., Ushnitskaya, S.N., Davydova, P.V., Pestyakova, L.A. (2020). Morphometric parameters of different-type lakes in the North of Yakutia. *Uspekhi sovremennoego estestvosnaniya*. No 1. pp. 18–25. doi: 10.17513/use.37316.
3. Gorodnichev, R.M., Pestyakova, L.A., Yadrikhinsky, I.V. (2015). Relationships of diatom algae with morphometric, hydrochemical characteristics and location parameters of lakes in the North of Yakutia. *Vestnik SVFU*. No 6(50). pp. 14–26.
4. GOST 31861-2012 (2013). Water. General requirements for sampling. Introduced 2014-01-01. Moscow: Standards Publisher. 64 p.
5. Zhirkov, I.I. (1977). To landscape-genetic classification of lakes of Central Yakutia. *Priroda I khozaystvo Sibiri* [Nature and economy of Siberia]. Yakutsk. pp. 32–33.
6. Zhirkov, I.I. (1983). On Reserves and quality of sapropel deposits of different types of lakes in Central Yakutia. *Sapropel in agriculture*. Yakutsk: YaF SO AN USSR, 1983. pp. 58–72.
7. Ivanov, P.V. (1948). Classification of lakes of the world by size and by their average depth. *Byulleten' LGU* [Bulletin of LSU]. Leningrad, No 20. pp. 29–36.
8. Kitaev, S.P. (2007). Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists. Petrozavodsk: Karelian Scientific Centre of RAS. 395p.
9. Makarov, V.N., Chizhuk, A.L. (2009). Phosphate inflow into the lakes of Yakutsk. Nauka I obrazovanie [Science and Education]. No 4. pp.66–69.
10. Nestereva, M.I. (2011). Spatial features of the structure of different types of lake basins on the territory of Yakutia. Obshchestvo. Sreda. Razvitiye. [Society. Environment. Development]. No 4. pp.227–230.
11. Pestyakova, L.A. (2008). Diatom complexes of lakes of Yakutia. Yakutsk: YaGU Publishing House. 197p.
12. Pestyakova, L.A. (1983). Typological significance of morphometric indicators of lakes of Central Yakutia. *Issues of rational use and protection of natural resources of different types of cryolithozone lakes (On the example of Central Yakutia)*. Interuniversity collection. Yakutsk: YaGU Publishing House. pp. 89–96.
13. PND F 14.1:2.1-95 (2004). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring mass concentration of ammonium ions in natural and waste waters by photometric method with Nessler's reagent. Introduced 1995-03-25. Moscow: Minprirody RF. 20 p.
14. PND F 14.1:2.50-96 (2004). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring mass concentration of total iron in natural and waste waters by photometric method with sulphosalicylic acid. Introduced 1995-03-20. Moscow: Minprirody RF. 18 p.
15. PND F 14.2.99-97 (1997). Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measurement of hydrocarbonate content in natural water samples by titrimetric method. Introduced 1997-03-21. Moscow: Minprirody RF. 20 p.
16. Popova, N.V., Argunov, M.A. (2020). Ecological assessment of the state of water bodies – sources of household and drinking water supply in rural settlements of the Tattinsky district of Yakutia. AgroEcoInfo. No 4. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/4/st_417.pdf. (Access: 30.12.2023).
17. RD 52.24.382-2006 (2006). Mass concentration of phosphates and polyphosphates in waters. Methodology of measurements by photometric method. Introduced 2006-04-01. Rostov-na-Donu: Rosgidromet. 32 p.
18. RD 52.24.433-2005 (2005). Mass concentration of silicon in terrestrial surface waters. Methodology by photometric method. Introduced 2005-07-01. Moscow: Hydrochemical Institute. 25 p.
19. Biskaborn, B., Herzschuh, U., Bolshiyanov, D.Y., Schwamborn, G., Diekmann, B. (2013). Thermokarst processes and depositional events in a tundra lake, Northeastern Siberia. *Permafrost and Periglacial Processes*. Vol. 24. No 3. pp. 160–174.
20. Desyatkin, A.R., Takakai, F., Hatano, R. (2014). Flood effect on CH₄ emission from the Alas in Central Yakutia, East Siberia. *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 60, No 2. pp. 242–253.
21. Federov, V., Zhuravel, V., Grinyaev, S., Medvedev, D. (2019). Scientific approaches to defining the territorial boundaries of the Arctic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 302(1). doi: 10.1088/1755-1315/302/1/012012.
22. Horn, W. (1991). The influence of biomass and structure of the crustacean plankton on the water transparency in the Saldenbach storage reservoir. *Biology of Cladocera. Developments in Hydrobiology*. Vol 71. pp. 115–120. doi: 10.1007/978-94-017-0918-7_11
23. Kumke, T., Ksenofontova, M., Pestyakova, L., Nazarova, L., Hubberten, H.-W. (2007). Limnological characteristics of lakes in the lowlands of Central Yakutia, Russia. *Journal of Limnology*. Vol. 66. No 1. pp. 40–53.
24. Pestyakova, L.A., Herzschuh, U., Wetterich, S., Ulrich, M. (2012). Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia). *Quaternary Science Reviews*. Vol. 51. pp. 56–70.

Физическая география, ландшафтovedение и геоморфология
Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

25. Semiletov, I.P., Pipko, I.I., Pivovarov, N.Ya., Popov, V.V., Zimov, S.A., Voropaev, Yu.V., Davydov, S. (1996). Atmospheric carbon emission from North Asian Lakes: A factor of global significance. *Atmospheric Environment*. Vol. 30. No 10–11. pp. 1657–1671.
26. Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*. Vol. 15. No 1. pp. 72–101.
27. Tyler, J.E. (1968). The Secchi disc. *Limnology and Oceanography*. Vol. 13. No 1. pp. 1–6.
28. Ward, J.H. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 58. No 301. pp. 236–244. doi: 10.1080/01621459.1963.10500845

Статья поступила в редакцию: 29.05.24, одобрена после рецензирования: 13.11.24, принятa к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 29 May 2024; approved after review: 13 November 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Руслан Михайлович Городничев

кандидат биологических наук, заведующий
лабораторией БиоМ, доцент эколого-
географического отделения Института естественных
наук Северо-Восточного федерального
университета им. М.К. Аммосова;
677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58

e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

Людмила Агафьевна Пестрякова

доктор географических наук, главный научный
сотрудник эколого-географического отделения
Института естественных наук Северо-Восточного
федерального университета им. М.К. Аммосова;
677000, Россия, г. Якутск, ул. Белинского, д. 58

e-mail: lapest@mail.ru

Information about the authors

Ruslan M. Gorodnichev

Candidate of Biological Sciences, Head of the BioM
Laboratory, Associate Professor, Department of Ecol-
ogy and Geography, Institute of Natural Sciences,
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University;
58, Belinskogo st., Yakutsk, 677000, Russia

Lyudmila A. Pestyakova

Doctor of Geographical Sciences, Chief Researcher,
Professor, Department of Ecology and Geography, In-
stitute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-
Eastern Federal University;
58, Belinskogo st., Yakutsk, 677000, Russia

Вклад авторов

Городничев Р.М. – идея, обработка материалов, написание статьи.

Пестрякова Л.А. – сбор материала, планирование структуры текста, редактирование текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Ruslan M. Gorodnichev – the idea; material processing; writing of the article.

Lyudmila A. Pestyakova – material collection; planning of the text structure; scientific editing.

The authors declare no conflict of interest.