



УДК 556.55 (571.56-37)
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-2-214-226

Морфометрические и гидрохимические характеристики озер сельских поселений Усть-Алданского района (Центральная Якутия)

Ушницкая Л.А., Городничев Р.М., Пестрякова Л.А.

Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
Россия, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, д. 58
E-mail: ulena-77@mail.ru

Аннотация. Озера Центральной Якутии при своей слабой изученности активно используются населением сельскохозяйственных поселений в качестве источника питьевой воды. Для восполнения существующего недостатка сведений авторами охарактеризована лимнологическая структура водоемов 16 населенных пунктов, входящих в 10 сельских поселений (населений) Усть-Алданского района (улуса). По морфогенетической классификации И.И. Жиркова, преобладающая часть исследуемых объектов принадлежит озерам термокарстового генезиса. Остальные водоемы эрозионно-термокарстовые и водно-эрозионные. В работе применена типизация озер по их максимальной глубине: очень малые (< 3,12 м), малые (до 6,25 м), средние и повышенные (до 20 м). Подчеркнуто, что в исследуемом районе преобладали очень малые озера. Проведен кластерный анализ по набору основных морфометрических и физико-химических характеристик озер, который показал, что все изученные водоёмы были объединены в пять групп. Исключение составляли пять водоемов, имеющие наиболее высокие значения отдельных параметров. Впервые для района исследования установлены зональные изменения общей жесткости воды, а также концентраций, растворенных в воде ионов кальция и магния. Значения указанных физико-химических параметров воды озер снижаются по мере продвижения с юга на север района исследования. Морфометрические и гидрохимические параметры района исследований ранее не были измерены.

Ключевые слова: озеро, морфометрия, кластерный анализ, сельское поселение, междуречье Лена-Танда, Усть-Алданский район (урус).

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ по заданию № FSRG-2020-0019 и проекта РФФИ-регион 18-45-140053 р а «Эволюция природной среды Восточного сектора Арктики в голоцене с применением прокси-индикаторов (на примере Якутии)».

Для цитирования: Ушницкая Л.А., Городничев Р.М., Пестрякова Л.А. 2021. Морфометрические и гидрохимические характеристики озер сельских поселений Усть-Алданского района (Центральная Якутия). Региональные геосистемы, 45 (2): 214–226. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-214-226

Morphometric and hydrochemical characteristics of lakes in rural settlements Ust-Aldansky District (Central Yakutia)

Lena A. Ushnitskaya, Ruslan M. Gorodnichev, Luidmila A. Pestryakova

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
58 Belinskogo St, Yakutsk, Republic Sakha (Yakutia), 677000, Russia
E-mail: ulena-77@mail.ru

Abstract. The lakes in Central Yakutia are very scarcely studied and are actively used as a source of drinking water by the population of agricultural settlements. To fill the existing lack of information, the authors have characterized the limnological structure of water bodies in 16 villages belonging to 10 rural settlements (legacies) of the Ust-Aldansky District (ulus). According to I.I. Zhirkov's morphogenetic classification, the prevailing part of lakes belong to thermokarst genesis. The rest relate to erosion-thermokarst and water-erosion reservoirs. In this work lakes are classified according to their maximum depth: very small (< 3.12 m), small (up to 6.25 m), medium and deep (up to 20 m). We emphasize that very small lakes predominated in the study area. A cluster analysis was conducted based on a set of basic morphometric and physicochemical characteristics of the lakes, and showed that all the studied water bodies were clustered into five groups. Five water bodies with the highest values of certain parameters were the exceptions. Area-specific zonal variations in total water hardness, as well as concentrations of dissolved calcium and magnesium ions, were established for the first time for the study area. The values of the above-mentioned physicochemical lake water parameters decrease along the way from the south to the north of the study area.

Keywords: lake, morphometry, cluster analysis, rural settlement, Lena-Tanda interfluvium, Ust-Aldansky District (ulus).

Acknowledgements: The work is supported by the Russian Ministry of Education and Science №FSRG-2020-0019 and the Russian Foundation for Basic Research grant no. 18-45-140053 r_a.

For citation: Ushnitskaya L.A., Gorodnichev R.M., Pestryakova L.A. 2021. Morphometric and hydrochemical characteristics of lakes in rural settlements Ust-Aldansky District (Central Yakutia). Regional Geosystems, 45 (2): 214–226 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-214-226

Введение

Для сельских поселений Республики Саха (Якутия) проблема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой на сегодняшний день является очень актуальной. Исторически и географически сложилось, что большинство сельских населенных пунктов размещаются около озер. Тем не менее, озера, используемые для водоснабжения, быстро деградируют в результате взаимодействия природных и антропогенных факторов, поэтому приходится доставлять воду из водоемов, расположенных на больших расстояниях от сельских поселений.

Сельские населенные пункты Усть-Алданского района в абсолютном большинстве приурочены к берегам более или менее крупных озер. Немногочисленные малые реки водоносны лишь во время весеннего снеготаяния или в период выпадения осенних дождей, что не удовлетворяет потребности хозяйств и населения в водопользовании и вынуждает использовать в качестве водоисточников озера. Однако большинство озер малопригодны для питьевого водоснабжения не только в зимнее, но и в летнее время. Жители сельских населенных пунктов зимой стараются использовать для питьевых целей талую ледовую воду, применяя народный опыт самоочищения воды при ее превращении в лед.

Объектом нашего исследования послужили разнотипные озера, расположенные на междуречье Лена-Танда правобережья р. Лена (Центральная Якутия). Цель работы – выявление локальных различий морфометрических и гидрохимических параметров изученных озер Усть-Алданского района с учетом геоморфологических условий.

Объекты и методы исследования

Объектом нашего исследования являются 36 разнотипных озер, расположенных на территории Усть-Алданского района (между $62^{\circ}21' - 63^{\circ}07'$ с.ш. и $130^{\circ}17' - 131^{\circ}49'$ в.д.), который находится в восточной части Центрально-Якутской равнины на правом берегу р. Лена вблизи устья р. Алдан (рис. 1). Абсолютные высоты месторасположения озер находятся в пределах от 102 м до 215 м над уровнем моря. Все изученные озера находятся

на равнинно-холмистых территориях междуречья Лена-Танда. Плотность озер в этом районе равна 40–55 на 100 км² [Атлас..., 1989]. По климатическим условиям улус относится к подзоне центральной группы районов. Климат резкоконтинентальный, засушливый. Средняя температура января –42 °С, июля +17...+18 °С. В зимние месяцы температура понижается ниже –50 °С, летом поднимается до +38 °С. Осадков выпадает 200–250 мм в год. На формирование рельефа большое влияние оказывает наличие вечной мерзлоты.

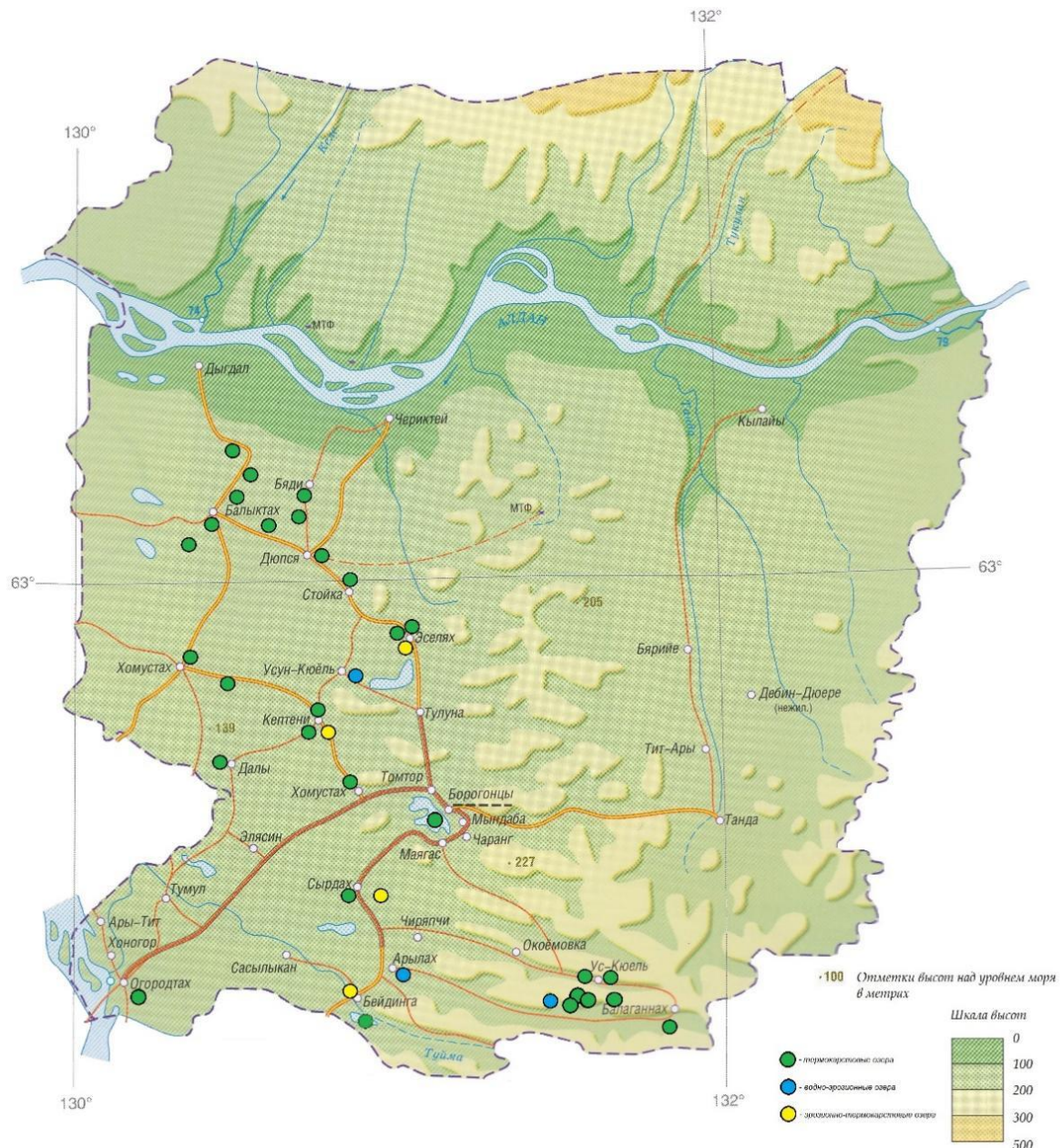


Рис. 1. Карта-схема расположения разнотипных озер по населенным пунктам

Fig. 1. Map of the location of lakes by rural settlement

Фактический материал был собран во время полевых работ в период с 1982 по 2018 гг. Изученные озера приурочены к территориям 16-ти населенных пунктов, входящих в 10 сельских поселений (наслегов) Усть-Алданского района (улуса). Преобладающая часть озер (80,5 %), согласно морфогенетической классификации И.И. Жиркова [1977; 1983; 2000; 2014], имеет термокарстовое происхождение. Остальные озера относятся к эрозивно-термокарстовому (11,2 %) и водно-эрозийному (8,3 %) типам.

Морфометрия озер отражает, с одной стороны, специфику развития котловины, а с другой стороны, – процессы, протекающие в водной массе озер. Поэтому многие лимнологи делают попытки классифицировать озера по тому или иному морфометрическому признаку [Мякишева, 2009]. В качестве основных анализируемых морфометрических показателей нами выбраны площадь водной поверхности, длина и ширина озера, его максимальная и средняя глубины. На основе указанных параметров рассчитывались коэффициент удлиненности и степень развития береговой линии [Григорьев, 1959]. При типизации озер по площади водного зеркала использована классификация П.В. Иванова [1948].

Кластерный и корреляционный анализ исследуемых параметров проведен в программе PAST Ver. 2.17c [Hammer et al., 2001] методом невзвешенного попарного среднего арифметического. В качестве меры близости использовано евклидово расстояние. Для снижения отклоняющего воздействия данных все числовые характеристики перед проведением процедур кластерного анализа были подвергнуты z-стандартизации: от каждого отдельного значения характеристики вычли среднее значение, затем разделили полученную разность на стандартное отклонение.

Корреляционный анализ проведен с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (ρ). Расчеты были проведены для выборки из всех озер, а также с удалением озера L200, обладающего наиболее высоким, искажающим расчеты, значением общей жесткости. Во всех случаях наличие статистических взаимосвязей контролировалось путем построения двумерных графиков рассеивания, где по осям откладывались значения характеристик, между которыми установлена корреляционная связь.

Результаты и их обсуждение

Слабая расчлененность территории района исследования и преобладание однотипных озер по их генезису не позволяет применить ландшафтную типологию при сравнительном изучении. В частности, в ранних исследованиях для озер Лено-Амгинского междуречья было использовано геоморфологическое районирование по П.А. Соловьеву [Ушницкая и др., 2014]. В данной работе такой подход неприменим, так как почти все озера находятся в пределах средневысотных аккумулятивно-эрозионных террас р. Лены. Большинство озер (78 %) находятся на Тюнгулонской террасе (псевдотеррасе), где развит котловинно-аласный рельеф [Соловьев, 1959]. На юге и в юго-восточной части Усть-Алданского района в пределах Маганской террасы (22 %) преобладает долинно-аласный рельеф с частичным распространением аласов на водоразделах. Одним из наиболее значимых морфометрических параметров озер района является максимальная глубина. В Якутии нередко водоемы промерзают до самого дна. С возрастанием глубины котловины создаются более благоприятные условия для жизнедеятельности гидробионтов, формируются новые экологические ниши, что в значительной степени влияет на функционирование всей озерной системы. Исходя из этого, изученные объекты были группированы по их максимальной глубине с использованием классификации С.П. Китаева [2007]. В результате нами получены три группы озер: в первую (I) группу вошли (47 %) озера с очень малой глубиной (меньше 3,12 м), вторую (II) группу составили (42 % от общего числа) озера с малой глубиной (до 6,25 м). Третья (III) группа представлена (11 %) водоемами со средней (до 12,5 м) и с повышенной (до 20 м) глубинами (табл. 1).

Площадь изученных озер варьирует в широких пределах. Наименьшие водоемы по площади водной поверхности являются «озерками» (0,0004 км²), наиболее крупное озеро отнесено к группе «средних» водных объектов (до 36 км²). Среди всех размерных групп по площади зеркала значительно преобладали «очень малые» (44,4 %) и «малые» озера (36,6 %). «Озерками» в исследуемой группе являются молодые термокарстовые водоемы стадии «дюдоя» (14 %).



Таблица 1
Table 1

Некоторые характеристики изученных озер по группам
Some characteristics of the lakes studied

Показатель		Группировка озер по максимальной глубине		
		очень малая (n = 17)	малая (n = 15)	средняя и повышенная (n = 4)
Абс. отметка уровня воды, м над уровнем моря (БС)		<u>115 – 215*</u> 138	<u>102 – 206</u> 156	<u>115 – 192</u> 156
Площадь водосбора, км ²		<u>0,01 – 3,2</u> 1,2	<u>0,2 – 131</u> 11,7	<u>1,0 – 20</u> 10,2
Заболоченность, %		<u>0 – 23</u> 3	<u>0 – 20</u> 4	<u>0 – 7</u> 3
Облесенность, %		<u>21 – 100</u> 74	<u>45 – 100</u> 74	<u>66 – 97</u> 82
Площадь водного зеркала, км ²		<u>0,0004 – 0,58</u> 0,11	<u>0,003 – 36,0</u> 2,64	<u>0,06 – 4,0</u> 1,69
Длина береговой линии, км		<u>0,2 – 5,8</u> 1,6	<u>0,2 – 42</u> 5,3	<u>1,2 – 12,5</u> 6,0
Длина озера, км		<u>0,04 – 2,4</u> 0,6	<u>0,13 – 13,2</u> 1,8	<u>0,4 – 5,2</u> 2,3
Ширина, км	средняя	<u>0,01 – 0,4</u> 0,2	<u>0,05 – 2,73</u> 0,36	<u>0,2 – 0,8</u> 0,6
	наибольшая	<u>0,02 – 1,0</u> 0,3	<u>0,08 – 9,6</u> 1,0	<u>0,3 – 1,7</u> 1,0
Максимальная глубина, м		<u>1,5 – 3,0</u> 2,1	<u>3,3 – 6,0</u> 4,2	<u>7,2 – 18,8</u> 11,8
Средняя глубина, м		<u>0,7 – 1,7</u> 1,2	<u>1,1 – 3,0</u> 2,0	<u>3,2 – 8,0</u> 5,0
Коэффициент удлиненности		<u>0,6 – 10,1</u> 4,0	<u>1,1 – 20,4</u> 5,2	<u>1,7 – 6,8</u> 3,4
Изрезанность береговой линии		<u>0,24 – 12,3</u> 2,16	<u>0,8 – 3,36</u> 1,57	<u>1,0 – 1,75</u> 1,38
Расстояние озера от населенного пункта, км		<u>0,1 – 6,0</u> 2,6	<u>0,2 – 10</u> 2,8	<u>0,1 – 2,5</u> 0,8
Прозрачность воды, м		<u>0,1 – 1,2</u> 0,7	<u>0,1 – 1,3</u> 0,6	<u>0,4 – 1,0</u> 0,8
Общая жесткость (мг-экв/л)		<u>0,9 – 8,5</u> 2,2	<u>1,4 – 15</u> 3,8	<u>1,4 – 2,9</u> 2,2
pH		<u>6,2 – 9,4</u> 7,7	<u>6,6 – 9,4</u> 7,9	<u>5,5 – 8,5</u> 7,0
Минерализация воды, мг/л		<u>593 – 2963</u> 1028	<u>409 – 2204</u> 1075	<u>998 – 1360</u> 1209
Электропроводность, мкСм/см		<u>912 – 4559</u> 1582	<u>629 – 3391</u> 1654	<u>1536 – 2092</u> 1860

Примечание: здесь и далее в числителе «минимум – максимум», а в знаменателе – среднее значение конкретного показателя; серым цветом обозначены показатели, имеющие максимальные значения.

Длина береговой линии озер менялась в широком диапазоне – от 0,2 км (оз. Дюедя) до 42 км (оз. Мюрю), в среднем составляя 3,6 км.

Форма озерных котловин, охарактеризованная по значениям показателя удлиненности, изменяется от округлой (8 %) до вытянутой (6 %). Преобладают озера, по форме близкие к округлой (39 % общего числа водоемов), им немного уступает группа озёр, близких к овальной форме (28 %). Удлиненная форма (14 %) котловин присуща озерам водно-эрозионного и эрозионно-термокарстового генезиса, причём для озёр Тюнгюлюнской террасы удлиненность котловин характерна в направлении севера на юг (в широтном направлении), а для озёр Маганской террасы – с востока на запад (в долготном направлении).

Из всех объектов по многим показателям существенно выделяется оз. Мюрю, входящее во II группу. Это самый большой по размерам, уникальный по своим природным характеристикам реликтивно-термокарстовый водоем, расположенный на самом большом в мире атласе с одноименным названием Мюрю. Из-за нетипичных параметров объект был изъят из списка информационной базы данных для дальнейшей работы.

В целом, по основным морфометрическим показателям значительно выделялись озера III группы.

Для большинства сельских поселений Якутии, где нет централизованного водоснабжения, единственным источником обеспечения населения водой для питьевого и хозяйственно-бытового использования являются близлежащие водоемы. Наиболее активно в условиях сурового морозного климата население использует озера, расположенные близко к населенным пунктам. Озера, находящиеся в черте сельских поселений, используются ими не только как источник воды для питьевых и хозяйственных целей (в т. ч. в качестве водопоя КРС частным сектором), но и для прокладки пеших троп в период ледостава. В зимний период времени водоемы нередко становятся местом массового скопления людей, в том числе для осуществления традиционной якутской зимней рыбалки «Мунха», организации ледовых катков, лыжных трасс и автомобильных гонок. Как правило, озера, расположенные за пределами населенных пунктов, испытывают меньшую нагрузку со стороны населения. Поэтому для косвенной оценки антропогенного воздействия на качество воды и экологическое состояния озер нами введен новый показатель – расстояние от озера до населенного пункта. Оказалось, что подавляющее большинство изученных озер находилось в черте населенных пунктов или на достаточно близком от них расстоянии (в пределах от 0,1 км до 10 км) и подвержено антропогенному воздействию.

В экономике Усть-Алданского района ведущее место занимает сельское хозяйство (мясомолочное скотоводство, мясное табунное коневодство, звероводство), что предопределено природно-климатическими условиями региона. Земли сельскохозяйственного назначения занимают всего лишь около 8 % от земельного фонда района [Поисеев, 2017]. Однако эти земли в большей части сосредоточены на территории близлежащих поселений и создают дополнительную нагрузку на загрязнение водоемов.

К основным природным факторам, формирующим химический состав озерных вод района исследований, следует отнести атмосферные осадки, почвенный покров и подземные воды. По химическому составу вода исследуемых озер является гидрокарбонатной натриевой и хлоридно-гидрокарбонатной натриевой (рис. 2). Следует отметить что, в регионе имеются термокарстовые содовые озера (например, Бэттиэмэ и Кэтитики), происхождение которых до сих пор не выяснено.

Вода исследуемых озер характеризуется высокими концентрациями железа. Для 86 % озер отмечено превышение рыбохозяйственного ПДК данного компонента, что ранее отмечено и для других озер региона, в том числе и для тех, которые не испытывают антропогенного воздействия [Ксенофонтова, Ушницкая, 2008; Ксенофонтова, 2013; Руфова, Ксенофонтова, 2015; Жирков и др., 2019].

Все озера с. Ус-Кюеля (L201-204), а также озеро Мюрю районного центра Усть-Алданского района (с. Борогонцы) характеризуются превышением концентрации растворенных в воде ионов аммония. Указанные населенные пункты являются лидерами в области разведения скота, попадание фекалий которого может способствовать повышению концентраций азотсодержащих соединений, в том числе и ионов аммония.

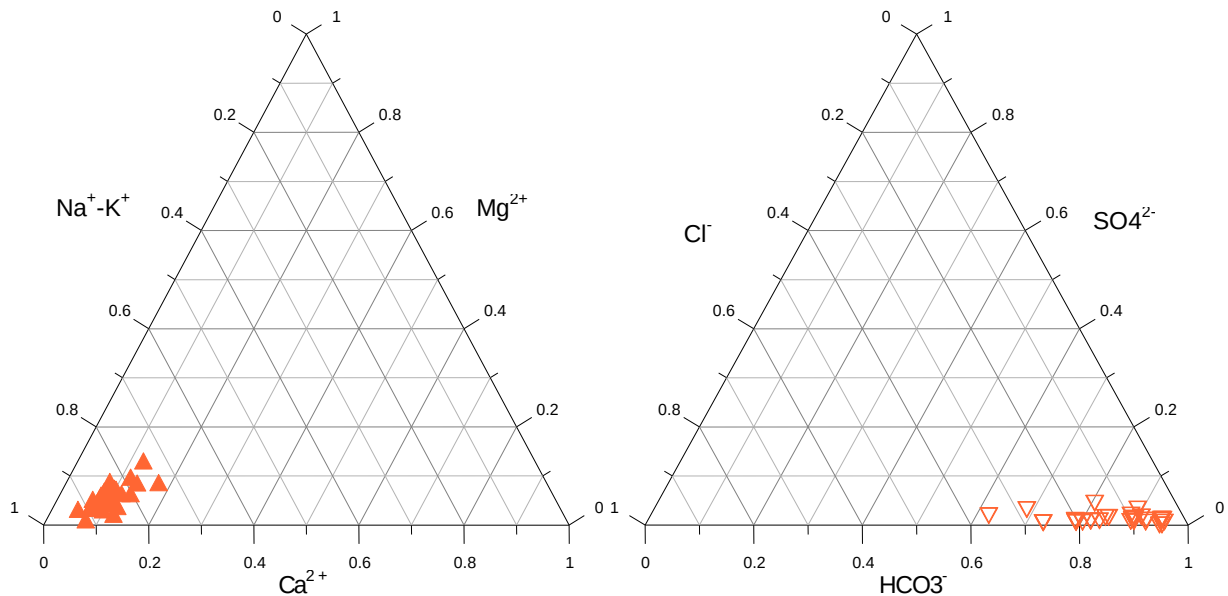


Рис. 2. Катионный и анионный состав озерных вод ($n = 30$)
Fig. 2. Cationic and anionic composition of lake water ($n = 30$)

Из физико-химических характеристик озер в данной работе акцент был сделан только на прозрачность, общую жесткость, pH, удельную электропроводность и минерализацию.

Прозрачность воды косвенно указывает на наличие взвешенных частиц и коллоидов в воде. Показатель прозрачности воды менялся незначительно – от 0,1 (оз. Алаас) до 1,3 м (оз. Быллар). Следует отметить, что из-за мелководности озер в летний период наблюдается цветение воды и их качество становится неудовлетворительным для питья.

Жесткость озерной воды меняется в широких пределах. Доля «очень мягких» вод составляет 25,0 %, «мягких» – 58,3 %, «умеренно-жестких» – 8,3 %. Содовые озера имеют «жесткую» (Кэтитики, Мюрю) и «очень жесткую» (Бэттиэмэ) воду.

Водородный показатель pH, имеющий высокое значение для гидробионтов, варьирует от 5,5 (слабокислая вода) до 9,4 (щелочная). Большинство озер имеют нейтрально-слабощелочную среду (до 77,8 %).

Минерализация исследованных озерных вод изменяется в широких диапазонах. Среди озер по данному показателю выделены группы среднеминерализованных водоемов (8,4 %), водных объектов с повышенной минерализацией (44,4 %) и высокоминерализованных (47,2 %) вод. В целом для исследуемых озер характерна повышенная минерализация. 61 % водоемов обладает минерализацией воды 1000 мг/л и выше.

Для установления групп объектов исследования по сочетаниям исследуемых морфометрических и физико-химических параметров озер проведен кластерный анализ (табл. 2).

На дендрограмме графически представлен процесс объединения кластеров (рис. 3).

Таблица 2
Table 2

Усреднённые характеристики изученных озер по кластерам
Average characteristics of the studied lakes by cluster

Параметры	КЛАСТЕРЫ				
	1 (n = 4)	2 (n = 8)	3 (n = 2)	4 (n = 12)	5 (n = 4)
Высота над уровнем моря, м	<u>151-215</u> 191	<u>115-167</u> 138	<u>120-120</u> 120	<u>123-206</u> 152	<u>115-173</u> 146
Площадь водосбора, км ²	<u>0,17-1,3</u> 0,63	<u>0,01-3,55</u> 1,68	<u>0,33-0,73</u> 0,53	<u>0,09-1,44</u> 0,94	<u>6,0-20,1</u> 14,6
Заболоченность, %	<u>0-3</u> 1,5	<u>0-7</u> 1,9	<u>0-3</u> 1,5	<u>0-6</u> 1,8	<u>0-7</u> 4,2
Облесенность, %	<u>47-75</u> 59,2	<u>21-85</u> 60,4	<u>73-88</u> 80,5	<u>60-97</u> 82,3	<u>66-92</u> 76
Площадь водного зеркала, км ²	<u>0,02-0,32</u> 0,11	<u>0,05-0,58</u> 0,27	<u>0,04-0,06</u> 0,05	<u>0,00-0,22</u> 0,06	<u>1,0-4,02</u> 2,03
Длина береговой линии, км	<u>0,38-2,65</u> 1,31	<u>0,54-5,75</u> 2,6	<u>0,44-3,4</u> 1,92	<u>0,2-3,13</u> 1,09	<u>3,62-12,5</u> 8,31
Длина, км	<u>0,14-0,96</u> 0,51	<u>0,17-2,43</u> 1,07	<u>0,15-1,45</u> 0,8	<u>0,08-1,03</u> 0,39	<u>1,29-5,2</u> 2,99
Ширина макс., км	<u>0,1-0,42</u> 0,21	<u>0,11-0,52</u> 0,29	<u>0,59-0,95</u> 0,77	<u>0,04-0,38</u> 0,18	<u>0,97-1,7</u> 1,21
Ширина средняя, км	<u>0,08-0,33</u> 0,17	<u>0,11-0,26</u> 0,19	<u>0,27-0,41</u> 0,34	<u>0,03-0,21</u> 0,11	<u>0,45-0,78</u> 0,68
Глубина макс., м	<u>2,30-4,50</u> 3,45	<u>1,50-5,00</u> 2,78	<u>1,50-2,10</u> 1,80	<u>1,70-7,20</u> 3,14	<u>5,50-18,80</u> 11,35
Показатель удлинённости	<u>1,09-10,14</u> 3,82	<u>1,52-9,35</u> 5,13	<u>0,56-3,54</u> 2,05	<u>2,00-8,46</u> 3,58	<u>1,65-7,07</u> 4,67
Развитие береговой линии	<u>0,8-2,03</u> 1,24	<u>0,24-2,13</u> 1,49	<u>0,62-3,92</u> 2,27	<u>1,0-2,28</u> 1,38	<u>1,02-2,43</u> 1,68
Расстояние озера от насел. пункта, км	<u>2,68-8,31</u> 4,45	<u>0,10-2,00</u> 0,56	<u>5,00-5,00</u> 5,00	<u>0,30-6,00</u> 2,51	<u>0,10-0,30</u> 0,18
Прозрачность воды, м	<u>0,10-0,45</u> 0,25	<u>0,10-1,00</u> 0,39	<u>1,00-1,00</u> 1,00	<u>0,50-1,30</u> 0,98	<u>0,40-1,00</u> 0,69
Жесткость общ., мг-экв/л	<u>4,60-8,50</u> 6,05	<u>1,10-2,50</u> 1,86	<u>1,80-1,90</u> 1,85	<u>0,90-3,5</u> 1,92	<u>1,4-2,9</u> 2,15
pH	<u>8,2-9,4</u> 8,8	<u>6,6-8,5</u> 7,5	<u>8,1-8,5</u> 8,3	<u>6,2-8,3</u> 7,4	<u>5,5-9,0</u> 7,3

На иерархическом дереве из общего набора данных особняком выстроились пять водоемов, имеющих самые высокие показатели «несходства», в том числе:

- 1) **L155** (оз. Огус-Харага) – этот водоем нами условно назван как «самое маленькое озеро» из-за минимальной площади водного зеркала (0,0004 км²);
- 2) **L200** (оз. Бэйтиэмэ) – водоем с самым высоким показателем общей жесткости (15 мг-экв. /л);
- 3) **L173** (оз. Тымпы) – самое «заболоченное» озеро (23 %);

- 4) **L167** (оз. Токур) – водоем выделяется наибольшей площадью облесенности (100 %) и удаленности от населенного пункта (10 км);
5) **L162** (оз. Усун-Кюель) – самое «вытянутое» озеро (20,42).

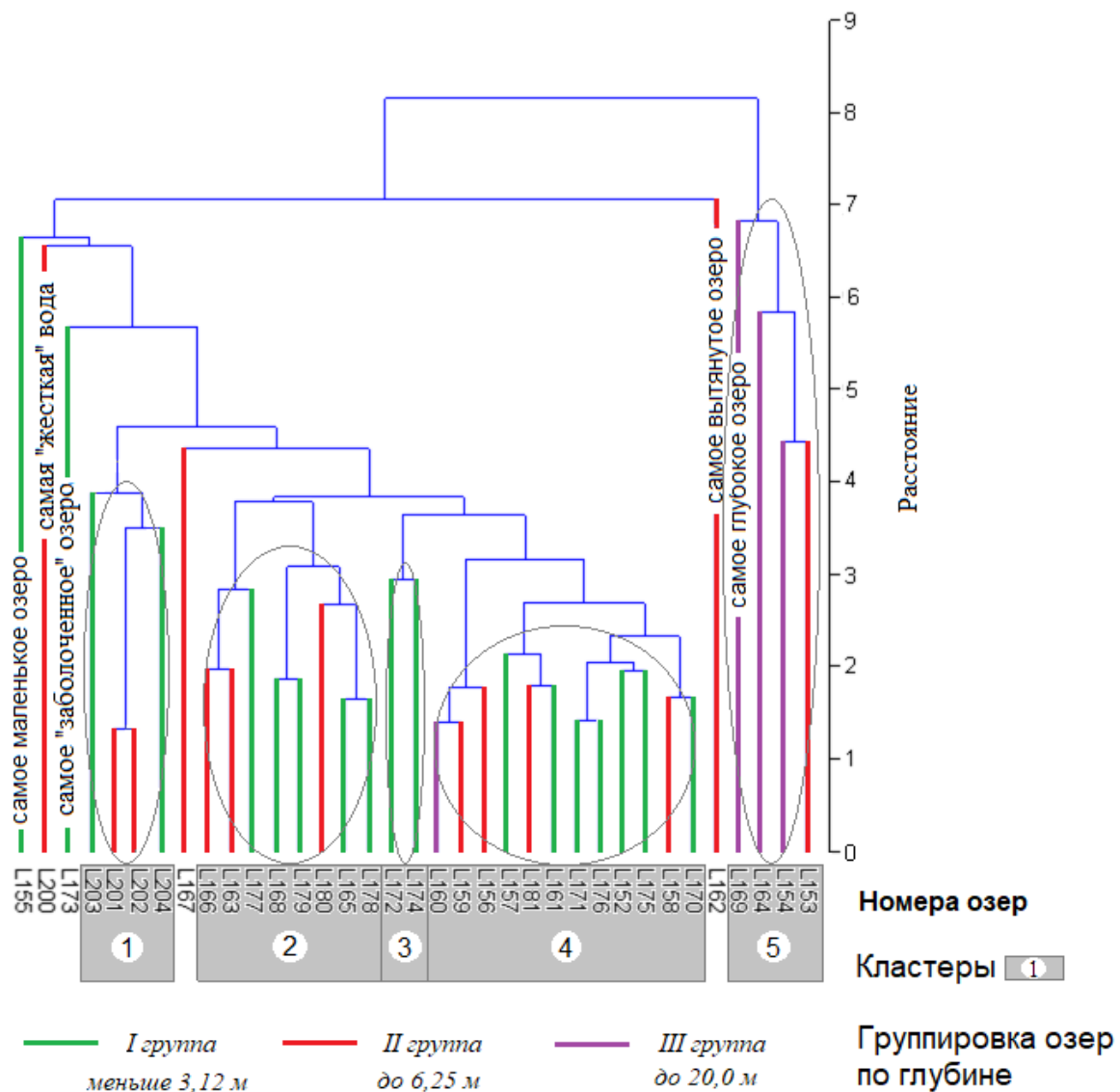


Рис.3. Дендрограмма сходства изученных озер
Fig. 3. Similarity dendrogram of the lakes studied

Остальные объекты (30) вошли в состав пяти кластеров с разными значениями сходства. Первоначальная типизация озер по максимальной глубине на дендрограмме отмечена цветом (рис. 3).

В первую группу (кластер 1) включены четыре озера (11,4 % от общего количества), находящиеся на относительно высоком гипсометрическом уровне Маганской террасы. Все озера этой группы относятся к Курбусахскому наслегу (с. Ус-Кюеля) и обладают наибольшими значениями общей жесткости и наименьшими средними значениями прозрачности воды среди всех водоемов района исследования.

Во вторую группу (кластер 2) объединились 8 озер (22,9 %). В целом, озера кластера характеризуются наибольшей вытянутостью озерных котловин, а также значительными размерами морфометрических параметров озерного зеркала.

В третью группу кластеров (3) были объединены всего два озера (5,7 %), расположенные на наиболее низком гипсометрическом уровне (120 м) и имеющие близкие показатели всех характеристик. Озера кластера расположены вдали от населенных пунктов, характеризуются небольшими размерами водного зеркала и наибольшей прозрачностью воды.

Четвёртый кластер (4) – самый многочисленный, состоит из 12 водоемов (34,3 %), имеющих схожие значения всех параметров. Более половины объектов кластера относятся к озерам с очень малой глубиной (58 %). По сравнению с озерами других кластеров, данная группа не выделяется ни по одному из приведенных показателей и включает наименее крупные по площади зеркала озера. В их число попал объект L160 (оз. Дирин) из третьей группы по глубине (фиолетовый). Хотя озеро относительно глубокое (7,2 м), по остальным параметрам оно значительно ближе к «соседям» по кластеру.

Кластер 5 состоит из 4 наиболее крупных озера района (11,4 %), три из которых – водоемы со средней и повышенной глубиной (фиолетовый цвет). В целом указанные озера имеют значительные различия между собой. В частности, L169 (оз. Балыктах) является самым глубоким озером (18,8 м), L164 (оз. Бейдинге) выделяется значительной площадью водного зеркала (4,02 км²) и длиной береговой линии (12,5 км). А L153 (оз. Талах-Ары) и L154 (оз. Сырдах) – «соседние» озера с. Сырдах (Берт-Усовский наслег) характеризуются наибольшей площадью водосборных территорий.

В результате корреляционного анализа установлена статистически значимая связь общей жесткости воды, а также концентраций ионов кальция и магния с координатами географической широты мест расположения изучаемых озера. В районе исследования наблюдается уменьшение жесткости воды при продвижении с юга на север его территории ($\rho = -0,76$ при $p < 0,05$). Такая статистически значимая зональная закономерность была ранее отмечена для севера Якутии и, вероятно, является следствием изменения водного баланса территории в результате зонального изменения увлажненности [Городничев и др., 2015].

Заключение

Привлечение малых озера в качестве источника водоснабжения не всегда экономически целесообразно и поэтому им уделяется небольшое внимание в плане изучения и сохранения. В силу небольших размеров малые озера обладают слабой способностью к самоочищению и практически не способны справиться с резко возросшей биогенной нагрузкой, что нередко ведет к необратимым изменениям в их экосистемах. В то же время природно-климатические условия каждой местности определяют генезис озера и их лимнологические параметры. Ухудшение состояния озера оказывает негативное воздействие на экологическую обстановку села. В сельских поселениях также высокую напряженность водного режима создают потребности сельского хозяйства, в частности орошение, растущая урбанизация, засуха и другие причины.

По территориальным различиям морфогенетических, морфометрических и физико-химических характеристик озера сельских поселений Усть-Алданского района можно отметить следующее:

- преобладающая часть озера, характеризующихся термокарстовым генезисом, расположена на Тунгюлюнской (псевдотеррасе) и Маганской террасах;
- большинство озера имеют малые размеры и незначительные глубины;
- для озерных вод характерны высокие концентрации растворенного железа, являющиеся следствием высоких фоновых концентраций данного компонента;
- вода озера населенных пунктов с наиболее развитым в регионе скотоводством характеризуется повышением концентрации ионов аммония, что, вероятно, является следствием попадания в воду озера сельскохозяйственных стоков, содержащих фекалии;

- выявлены различия озер по минерализации, водородному показателю и жесткости воды;
- озерные воды термокарстового происхождения оказались более минерализованы, их водная среда наиболее щелочная;
- доля слабощелочных и щелочных озер выше в южной и юго-западной части междуречья Лена-Танда;
- в северной части района все озера имеют «очень мягкие» и «мягкие» воды;
- концентрации растворенных в озерной воде ионов магния кальция и значения общей жесткости воды подвержены зональным изменениям и снижаются в районе исследования по мере продвижения с юга на север.

Список литературы

1. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. 1989. М., ГУГК, 115 с.
2. Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Ядрихинский И.В. 2015. Взаимосвязи диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 6 (50): 14–26.
3. Григорьев С.В. 1959. О некоторых определениях и показателях в озероведении. Труды Карельского филиала АН СССР, 18: 29–45.
4. Жирков И.И. 1977. К ландшафтно-генетической классификации озер Центральной Якутии. Природа и хозяйство Сибири, 32–33.
5. Жирков И.И. 1983. Морфогенетическая классификация как основа рационального использования, охраны и воспроизводства природных ресурсов озер криолитозоны (на примере Центральной Якутии). В кн.: Вопросы рационального использования и охраны природных ресурсов разнотипных озер криолитозоны (на примере Центральной Якутии). Якутск, Якутский университет: 4–47.
6. Жирков И.И. 2000. О классификации озер холодных регионов. В кн.: Озера холодных регионов. Материалы международной конференции. Якутск, 20–24 июня 2000 года. Якутск. Часть 1. Вопросы теории, методики, лимногенеза, классификации и районирования. Якутский государственный университет: 84–93.
7. Жирков И.И. 2014. Схема лимногенетической классификации озер Северо-Востока России. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 34: 18–25.
8. Жирков И.И., Трофимова Т.П., Тастыгина С.К., Жирков К.И. 2019. Лимнологическая характеристика озера Килянки Чурапчинского улуса РС(Я). Успехи современного естествознания, 6: 57–61.
9. Иванов П.В. 1948. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине. Бюллетень ЛГУ, 20: 29–36.
10. Китаев С.П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 395 с.
11. Ксенофонтова М.И. 2013. Анализ деградации термокарстовых озер при интенсивном сельскохозяйственном освоении. Антропогенная трансформация природной среды, 1: 121–125.
12. Ксенофонтова М.И., Ушницкая Л.А. 2008. Экологическая оценка состояния озер Лено-Амгинского междуречья. Проблемы региональной экологии, 2: 12–14.
13. Мякишева Н.В. 2009. Многокритериальная классификация озер. СПб., Российский государственный гидрометеорологический университет, 160 с.
14. Поисеев И.И. 2017. Общие и внутрирегиональные особенности земельного фонда Республики Саха (Якутия). Проблемы современной экономики, 3 (63): 152–156.
15. Руфова А.А., Ксенофонтова М.И. 2015. Гидрохимический состав как один из индикаторов современных условий формирования озер (на примере г. Якутска). Наука и Образование, 2 (78): 145–151.
16. Соловьев П.А. 1959. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М., АН СССР, 144 с.

17. Ушницкая Л.А., Пестрякова Л.А., Субетто Д.А., Троева Е.И. 2014. Морфометрическая характеристика озер Лено-Амгинского междуречья. Наука и Образование, 4 (76): 71–76.
18. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 4 (1): 1–9.

References

1. Atlas sel'skogo hozyajstva YAkutskoj ASSR [Atlas of agriculture of the Yakut ASSR]. 1989. Moscow, Publ. GUGK, 115 p.
2. Gorodnichev R.M., Pestrjakova L.A., Jadrihinskij I.V. 2015. Correlations Between Diatom Algae, Morphometric, Hydrochemical Characteristics and Location of Lakes from the North Yakutia. Vestnik of North-Eastern Federal University, 6 (50): 14–26 (in Russian).
3. Grigor'yev S.V. 1959. O nekotorykh opredeleniyakh i po-kazatelyakh v ozerovedenii [On some definitions and indicators in lake science]. Trudy Karel'skogo filiala AN SSSR, 18: 29–45.
4. Zhirkov I.I. 1977. K landshaftno-geneticheskoy klassifikacii ozer Central'noj Yakutii [On the landscape-genetic classification of lakes in Central Yakutia]. Priroda i hozyajstvo Sibiri, 32–33.
5. Zhirkov I.I. Morfogeneticheskaya klassifika-tsiya kak osnova ratsional'nogo ispol'zovaniya, okhra-ny i vosproizvodstva prirodnnykh resursov ozer kriolitozony (na primere Tsentral'noy Yakutii) [Morphogenetic classification as the basis for the rational use, protection and reproduction of natural resources of the permafrost lakes (on the example of Central Yakutia)]. In: Voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnnykh resursov raznotipnykh ozer kriolitozony (na primere Tsentral'noy Yakutii). [Issues of rational use and protection of natural resources of various types of lakes in the permafrost zone (on the example of Central Yakutia)]. Yakutsk, Publ. Yakutskiy universitet: 4–47.
6. Zhirkov I.I. 2000. O klassifikacii ozer holodnykh regionov [On the classification of lakes in cold regions]. In: Oзера holodnykh regionov [Lakes of cold regions]. Materials of the international conference. Yakutsk, 20–24 June 2000. Yakutsk, Part 1. Questions of theory, methodology, limnogenesis, classification and regionalization. Yakutskiy gosudarstvennyy universitet, Part 1: 84–93.
7. Zhirkov I.I. 2014. Classification scheme of limnological genetic lakes North-East Russia. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University, 34: 18–25 (in Russian).
8. Zhirkov I.I., Trofimova T.P., Tastygina S.K., Zhirkov K.I. 2019. Limnological Characteristic of the Lake Kilyanki of Churapchinsky Settlement of Yakutia Region. Advances in current natural sciences, 6: 57–61 (in Russian).
9. Ivanov P.V. Klassifikatsiya ozer mira po veli-chine i po ikh sredney glubine [Classification of lakes in the world by size and by their average depth]. Byulleten' LGU, 20: 29–36.
10. Kitayev S.P. 2007. Osnovy limnologii dlya gidro-biologov i ikhtiologov [Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk, Publ. Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 395 p.
11. Ksenofontova M.I. 2013. The Analysis of Degradation of Thermokarst Lakes Under Intensive Agricultural Mastering. Anthropogenic Transformation of Nature, 1: 121–125 (in Russian).
12. Ksenofontova M.I., Ushnickaya L.A. 2008. Ecological Assessment of Lakes Condition in Len-Amgin Country Between Two Rivers. Regional Environmental Issue, 2: 12–14 (in Russian).
13. Mjakisheva N.V. 2009. Mnogokriterial'naja klassifikacija ozer [Multi-criteria classification of lakes]. St. Petersburg, Publ. Rossiyskiy gosudarstvennyy gidrometeorologicheskij universitet, 160 p.
14. Poiseev I.I. 2017. General and Inter-Regional Specificities of the Land Fund in the Republic of Sakha (Yakutia) (Russia, Yakutsk). Problems of Modern Economics, 3 (63): 152–156 (in Russian).
15. Rufova A.A., Ksenofontova M.I. 2015. Gidrohimicheskij sostav kak odin iz indika-torov sovremennykh uslovij formirovaniya ozer (na primere g. Yakutsk) [Hydrochemical composition as one of the indicators of modern conditions for the formation of lakes (on the example of the city of Yakutsk)]. The Education and science journal, 2 (78): 145–151.
16. Solov'ev P.A. 1959. Kriolitozona severnoj chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ja [Cryolithozone of the northern part of the Lena-Amga interfluvial]. Moscow, Publ. AN SSSR, 144 p.



17. Ushnickaja L.A., Pestrjakova L.A., Subetto D.A., Troeva E.I. 2014. Morfometricheskaja harakteristika ozer Leno-Amginskogo mezhdurech'ja [Morphometric characteristics of the lakes of the Lena-Amga interfluve]. *Nauka i Obrazovanie*, 4 (76): 71–76.

18. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1): 1–9.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ушницкая Лена Алексеевна, старший научный сотрудник института естественных наук Северо-восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Городничев Руслан Михайлович, заведующий лабораторией БИОМ эколого-географического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

Пестрякова Людмила Агафьевна, главный научный сотрудник эколого-географического отделения института естественных наук Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lena A. Ushnitskaya, Senior Researcher of Laboratory BIOM, Ecological and Geographical Department, Institute of Natural Sciences of M. K. Ammosov North-Eastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia

Ruslan M. Gorodnichev, Head of Laboratory BIOM, Ecological and Geographical Department, Institute of Natural Sciences of M. K. Ammosov North-Eastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia

Ludmila A. Pestryakova, Chief Researcher of Ecology and Geography Department, Institute of Natural Sciences of M. K. Ammosov North-Eastern Federal University (NEFU), Yakutsk, Russia