

УДК 556.55(282.256.82)  
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182

## Оценка современного состояния озер низовья реки Индигирка

Левина С.Н., Давыдова П.В., Баишева И.А.

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,  
Россия, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, 58  
E-mail: levina\_sardan@mail.ru

**Аннотация.** Северо-Восток Якутии представляет собой регион с большим количеством озер, которые достаточно сильно реагируют на внешние изменения окружающей среды и являются крупным резервуаром запасов пресной воды, тем не менее арктические водные экосистемы до сих пор слабоизучены. Исследование морфометрических, гидрохимических характеристик озер позволит получить новые сведения о состоянии водоемов и о его влиянии на жизнедеятельность одной из наиболее чувствительных групп гидробионтов – диатомовых водорослей. Изученные водоемы были сгруппированы по растительным зонам (субарктическая тундра, лесотундра и северная тайга). По происхождению котловин озера являются водно-эрэзионными, эрозионно-термокарстовыми, термокарстовыми и ледниковые. Основная масса озер охарактеризована малой глубиной, вода исследуемых водных объектов ультрапресная, мягкая. В диатомовой флоре озер зарегистрировано 257 видов (в т.ч. 4 разновидности) диатомей, относящихся к 75 родам, 30 семействам и 3 классам, ее структура указывает на относительно малую глубину и размеры исследуемых озер, для воды которых характерны повышенный водородный показатель и малая минерализация. Расчетные значения индекса сапробности позволяют отнести воды озер субарктических территорий и северной тайги к категории чистых, воды озер лесотундры – к категории умеренно загрязненных. Авторами впервые выполнен сбор и составление единой базы данных водоемов бассейна реки Индигирка и осуществлена оценка уровня загрязненности экосистем водоемов реки с применением диатомового анализа. Результаты исследования могут быть использованы как данные о современном состоянии природных водоемов для целей фонового мониторинга окружающей среды, а также для информационного обеспечения заинтересованных субъектов при реализации хозяйственных и водохозяйственных мероприятий на территории бассейна р. Индигирка.

**Ключевые слова:** озеро, морфометрические параметры, диатомовые водоросли, сапробность, тундра, тайга.

**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:** Левина С.Н., Давыдова П.В., Баишева И.А. 2021. Оценка современного состояния озер низовья реки Индигирка. Региональные геосистемы, 45 (2): 168–182.  
DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182

## Assessment of the current state of the lakes in the lower reaches of the Indigirka River

Sardana N. Levina, Paraskovia V. Davydova, Izabella A. Baisheva

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,

58 Belinskogo St, Yakutsk, Republic Sakha (Yakutia), 677000, Russia

E-mail: levina\_sardan@mail.ru

**Abstract.** The North-East of Yakutia is a region with a large number of lakes that react quite strongly to external environmental changes and are a large reservoir of fresh water reserves, however, the Arctic aquatic ecosystems are still poorly studied. The study of the morphometric and hydrochemical characteristics of lakes will provide new information about the state of water bodies and its influence on the vital activity of one of the most sensitive groups of hydrobiota-diatoms. According to the origin of the basins, the lakes are water-erosion, erosion-thermokarst, thermokarst and glacial. The bulk of lakes has very small and shallow depths, the shapes of the basins are nearly rounded (64 %). The water bodies are characterized by size groups from small lakes to medium-sized lakes according to the size of the water surface. The largest water bodies are unique lakes - Suturuokha and Ozhogino. Water of the studied water bodies is ultra-fresh, soft, hydrogen index varies in a wide range: from acidic to alkaline values. 257 species were registered in the diatom flora of the lakes (including 4 species) belonging to 75 genera, 30 families and 3 classes. 11 species were recorded as new for the flora of Yakutia. The share of rare species is 12 %. A comparative analysis according to the number of diatom shells has revealed a relatively stable structure with absolute dominance of benthic forms. There were observed the ubiquitous predominance of salinity indifferents and alkaliphiles preferring a slightly alkaline environment. The structure of diatoms algae complexes indicates the relatively small depth and size of the studied lakes, whose water is characterized by an increased hydrogen index and low mineralization. The calculated values of the saprobity index allow us to classify the waters of the lakes of the subarctic territories and the northern taiga as category clean lakes, and the waters of the lakes of the forest-tundra as moderately polluted. For the first time, the authors collected and compiled a unified database of reservoirs of the Indigirka River basin and assessed the level of pollution of the ecosystems of the river reservoirs using diatom analysis. The results of the study can be used as data on the current state of natural reservoirs for the purposes of background environmental monitoring, as well as for information support of stakeholders in the implementation of economic and water management measures in the territory of the Indigirka River basin.

**Keywords:** lake, morphometric parameters, diatoms, saprobity, tundra, taiga.

**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:** Levina S.N., Davydova P.V., Baisheva I.A. 2021. Assessment of the current state of the lakes in the lower reaches of the Indigirka River. *Regional geosystems*, 45 (2): 168–182 (in Russian).  
DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-2-168-182

### Введение

Биогеографические исследования, основанные на знании экологических особенностей индикаторных организмов и родственных им видов и групп, проводимые с учетом современных физико-географических (климатических, гидрологических, геоморфологических, почвенно-геохимических и т.п.) и палеогеографических характеристик территорий, призваны установить закономерности географического распределения организмов и сообществ, а также причины их структурно-функциональных и исторических особенностей [Второв, Дроздов, 1978]. В качестве индикаторов в биогеографических исследованиях водных объектов успешно применяются диатомовые водоросли. Диатомовые водоросли или диатомеи (отдел *Bacillariophyta*) – группа водорослей, отличающаяся наличием у клеток своеобразного «панциря», состоящего из диоксида кремния [Белякова и др., 2006].

Диатомеи в водных экосистемах круглый год доминируют над другими микроскопическими водорослями. Они обильны как в планктоне, так и в перифитоне и бентосе. Видовой состав диатомей в водоемах определяется комплексом абиотических факторов, из которых большое значение в первую очередь имеет соленость воды [Pestryakova et al., 2018]. Не менее важным фактором для развития диатомей являются температура, степень освещенности и качество света.

В качестве района исследования выбран бассейн реки Индигирка – один из озерных регионов Республики Саха (Якутия). Территория бассейна реки Индигирки считается относительно заселенным регионом за полярным кругом. Район исследования в палеолимнологическом аспекте совершенно не изучен.

По строению долины и русла, а также по скорости течения река Индигирка делится на два участка: верхний горный (640 км) и нижний равнинный (1086 км). После слияния рек Туора-Юрях и Тарын-Юрях Индигирка течет на северо-запад по наиболее пониженной части Оймяконского нагорья, повернув на север, прорезает ряд горных цепей хребта Черского [Глушков, 1996]. Индигирка протекает от южной до северной границы Республики Саха (Якутия), пересекая четыре географические зоны (с юга на север): таежные леса, лесотундру, тундуру и арктическую пустыню.

В настоящее время Индигирка остается одной из главных воднотранспортных артерий на Северо-Востоке России. На ее берегу находится северный полюс холода – поселок Оймякон. В 1933 г. здесь была зарегистрирована температура  $-67,7^{\circ}\text{C}$ .

Климат здесь отличается сухостью и континентальностью. Зимой наблюдается температурная инверсия, когда температура уменьшается с вершин хребтов ( $-34 \dots -40^{\circ}\text{C}$ ) к понижениям ( $-60^{\circ}\text{C}$ ). Лето короткое и прохладное, с частыми заморозками и снегопадами. Средняя температура июля повышается от  $3^{\circ}\text{C}$  в высокогорье до  $13^{\circ}\text{C}$  в некоторых долинах. Осадков от 300 до 700 мм в год (до 75 % их суммы выпадает летом). Повсеместна многолетняя мерзлота. Бассейн реки изобилует озерами и полигональными водоемами.

Водоросли водоемов бассейна реки Индигирка слабо изучены. В 1947 г., с момента образования в г. Якутске базы Академии наук СССР, началось систематическое изучение альгофлоры Якутии [Разнообразие растительного..., 2005]. Основателем альгологических исследований в Якутии Л.Е. Комаренко был собран и обработан региональный флористический материал по составу водорослей отдельных проточных и стоячих водоемов Северной Якутии [Комаренко, 1956, 1957; Васильева, 1980, 1989; Егорова, 1991; Захарова и др., 2004].

Копыриной Л.И. [2010] впервые были исследованы водоросли техногенных водоемов горнодобывающей промышленности в бассейне верхнего течения р. Индигирка в районе предгорья хребта Черского. Автором отмечена специфичность некоторых видов водорослей, обитающих в водоемах-отстойниках. Здесь выявлено 8 новых видов для альгофлоры водоемов Якутии. Обобщающий список современного видового разнообразия водорослей территории Якутии сгруппирован по крупным бассейнам рек [Разнообразие растительного ..., 2005]. Детальное изучение фитопланктона реки Индигирки приведено в монографии В.А. Габышева и О.И. Габышевой [2011; 2018], где для 9 отделов водорослей приведено 306 видов. Наибольшее видовое богатство отмечено для диатомовых (46 % флоры) и зеленых (24 %), водорослей. Из диатомей наиболее богатые по числу видов семейства: *Naviculaceae* (10,3 %), *Fragilariaceae* (6,5 %), *Cymbellaceae* (5,7 %), *Eunotiaceae* и *Nitzschiaeae* (по 3,4 %), относящиеся к классу *Bacillariophyceae*. Анализ родового спектра водорослей планктона р. Индигирки указывает на неравномерность распределения видов по всему руслу.

Цель работы – оценка современного состояния озер бассейна реки Индигирка с применением видов-индикаторов диатомовых водорослей.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются 42 разнотипных озера, расположенные в трех климатических зонах бассейна реки Индигирка между  $65^{\circ}10'$ – $71^{\circ}10'$  с.ш. и  $143^{\circ}36'$ – $149^{\circ}19'$  в.д., на территории, простирающейся на 694 км с севера на юг и на 202 км с запада на восток (рис. 1). Абсолютные высоты месторасположения озер находятся в пределах от 4 м (Яно-Индигирская низменность) до 596 м (Момский хребет) над уровнем моря. Основная масса изученных озер приурочена к равнинным территориям обширной Яно-Индигирской низменности.

Фактический материал исследования был собран во время полевых работ в период 2006–2019 гг. Количественное выражение размеров озера и их формы, относящиеся к морфометрическим характеристикам водоемов, могут быть рассмотрены в качестве одного из важнейших условий обитания для диатомовых водорослей. В данной работе в качестве исходных данных были приняты параметры, приведенные в табл. 1. В работе также приведена классификация озер по величине площади водной поверхности, по максимальной и средней глубинам, по показателю удлиненности, степени развития береговой линии и по происхождению озерной котловины [Иванов, 1948; Григорьев, 1959; Захаренков, 1964; Жирков, 1983; Китаев, 2007].

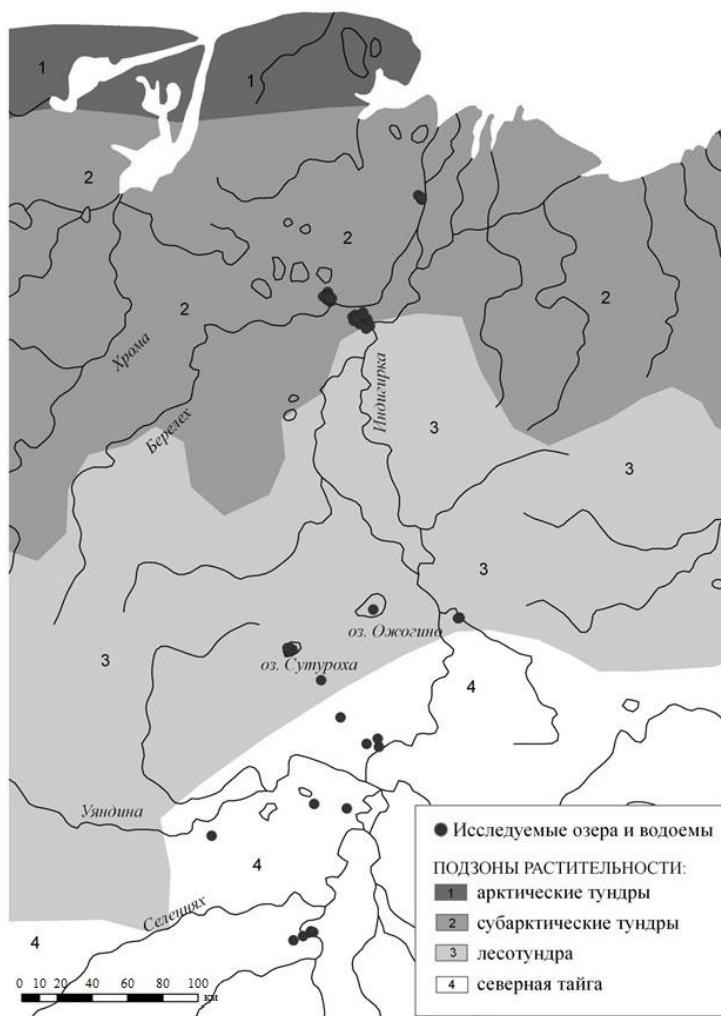


Рис. 1. Местоположение исследуемых озер  
Fig. 1. Location of the study lakes

Таблица 1  
 Table 1

Природные особенности исследованных групп озер  
 Natural features of the studied groups of lakes

Характеристики озер		Субарктическая тундра (n = 18)	Лесотундра (n = 13)	Северная тайга (n = 11)
Абс. отметка уровня воды, м над уровнем моря (БС)		<u>4–27*</u> 11	<u>11–49</u> 39	<u>25–596</u> 88
Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>		<u>0,005–3,59</u> 0,70	<u>0,1–157</u> 55,61	<u>0,08–7,14</u> 1,47
Приблизительный объем, млн. м <sup>3</sup>		<u>0,000004–0,0057</u> 0,001	<u>0,0001–0,7850</u> 0,10	<u>0,0001–0,0071</u> 0,0013
Длина береговой линии, км		<u>0,2–13,2</u> 2,8	<u>1,4–54</u> 26,6	<u>1,2–21,8</u> 6,2
Длина озера, км		<u>0,1–28,0</u> 2,3	<u>0,6–19,3</u> 9,8	<u>0,3–6</u> 2,6
Ширина, км	средняя	<u>0,1–2</u> 0,5	<u>0,43–12</u> 5,7	<u>0,2–2,8</u> 1
	наибольшая	<u>0,1–1,4</u> 0,3	<u>0,2–8,1</u> 4,1	<u>0,2–4,2</u> 0,7
Наибольшая глубина, м		<u>1,5–5,2</u> 3,2	<u>3,0–15,0</u> 3,2	<u>1,1–3,3</u> 2,3
Показатель удлиненности		<u>1,3–328,2</u> 20,3	<u>1,6–4,4</u> 2,6	<u>0,4–20,7</u> 8,3
Ирезанность береговой линии		<u>0,98–2,40</u> 1,20	<u>1,18–1,59</u> 1,24	<u>1,14–2,30</u> 1,52
Прозрачность воды, м		<u>0,3–2,8</u> 1,8	<u>0,3–2,5</u> 0,5	<u>0,18–1,0</u> 0,4
Общая жесткость, мг-экв/л		<u>0,0–0,9</u> 0,2	<u>0,3–0,5</u> 0,3	<u>0,6–2,2</u> 1,1
pH		<u>4,0–8,6</u> 7,0	<u>7,2–9,0</u> 8,1	<u>6,02–8,8</u> 7,5
Минерализация воды, мг/л		<u>16,5–119,0</u> 73,4	<u>61,6–155,3</u> 81,7	<u>54,1–247,2</u> 123,4

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

Диатомовый анализ верхнего неконсолидированного слоя (0–1 см) озерных осадков был выполнен по общепринятой количественной методике [Общие закономерности ..., 1986]. Постоянные препараты изучали под световым микроскопом Axio Imager.A2 (фирмы Carl Zeiss) с использованием иммерсионного объектива ахромат 100×/1,25× (окуляр RI 10×/23×). Для выявления структурных особенностей диатомовых комплексов водоемов определяли процентное содержание особей каждого вида в выборке из 500 и более створок, подсчитанных по горизонтальному ряду в средней части препарата. По относительному обилию виды диатомовых подразделялись на доминанты (встреченные в пробах в количестве 10 % и более) и субдоминанты (от 5 до 10 %), составляющие «массовые» виды. Обычными видами считались таксоны, насчитывающие от 1 до 5 %, единичные или редкие – менее 1 % общей численности особей диатомей. При составлении таксономиче-

ского списка водорослей учитывались современные номенклатурные разработки с учетом системы Round, Grawford, Mann [Round et al., 1990; Krammer, 2000, 2002, 2003; Lange-Bertalot, 2001; Hekansson, 2002; и др.].

Для оценки современного состояния и выявления уровня трофности озер применен метод Пантле-Букка в модификации Сладечека [Sládeček, 1973, 1986], где определяется частота встречаемости ( $h$ ) организмов в комплексе. Обе величины входят в формулу для вычисления индекса сапробности:  $Ind\ S = \sum(Sh) / \sum h$ . Принадлежность диатомей-индикаторов к той или иной зоне сапробности определялась по спискам сапробных организмов [Макрушин, 1974; Унифицированные методы, 1976, 1977; Denus L., 1991; Баринова, Медведева, 1996]. Перечисленные характеристики зон сапробности также включены в ГОСТ [17.1.3.07-82], в экспертную систему определения класса качества вод.

### Результаты и их обсуждение

Изученные водоемы были сгруппированы по типам растительности: субарктические (43 % озер), озера лесотунды (31 %) и северной тайги (26 %) (см. рис. 1).

По основным морфометрическим показателям значительно выделяются озера, расположенные в лесотундровой зоне (см. табл. 1). В частности, здесь расположены два крупных уникальных озера региона, такие как Ожогино (157,0 км<sup>2</sup>) и Сутуруоха (70,6 км<sup>2</sup>), имеющие предположительно ледниковое происхождение [Пестрякова и др., 2015]. Морфометрические характеристики этих озер почти в 2–4 раза превышают значения других озер, образовывая сильную вариацию всей выборки.

Отличительная особенность водоемов, расположенных в зоне северной тайги – высокое положение озер над уровнем моря (до 596 м) и сильная изрезанность (расчлененность) их береговой линии. Озера субарктической тундры отличаются значительной вытянутостью озерных котловин и высокими значениями прозрачности воды.

Общеизвестно, что в Якутии преобладают мелководные термокарстовые озера (с глубиной не более 3,0 м) [Пестрякова, 2008]. Максимальная глубина изученных водоемов колебалась от 1,1 (IO-18) до 15 м (IO-42 или оз. Ожогино). Прозрачность воды по диску Секки изменялась в диапазоне от 0,18 до 2,8 м. Наибольшая прозрачность характерна для озер субарктической тундры.

По классификации С.П. Китаева, значительная часть (74 %) озер обладает очень малой (меньше 3,12 м) глубиной (табл. 2). Незначительная глубина почти всех озер района исследований обусловлена, прежде всего, суровыми природно-климатическими условиями региона, повсеместным распространением многолетней мерзлоты, где сезонно-тальный слой не превышает 0,4–0,8 м.

По величине площади водной поверхности изученные озера распределились неравномерно по природным зонам. Большинство озер субарктической тундры оказались малыми (33,3 %) и небольшими (44,4 %). Последние характерны и для северной тайги (54,5 %). В лесотундре преобладают средние озера (61,5 %).

По коэффициенту удлиненности можно судить о вытянутости озерной котловины. Этот показатель в нашем наборе менялся от 1,3 до 20,0. Согласно выполненным расчетам, большинство озер (64 %) имеют близкие к округлым формам котловины, преобладание такой формы отмечено в зонах субарктической тундры (66,7 %) и лесотунды (84,6 %). В зоне северной тайги наиболее многочисленными являются удлиненные озера (45,5 %).

Практически все изученные озера р. Индигирки имеют «очень мягкую» воду, однако наибольшими и наименьшими средними значениями общей жесткости обладают соответственно водоемы северной тайги и субарктической тундры. Водородный показатель (рН) варьирует в пределах от 4,0 (кислая среда) до 9,0 (щелочная). При этом преобладали озера с нейтральной и слабощелочной средой (26 % и 45 % соответственно). Наибольшая вариативность рН характерна для озер субарктической тундры, в то время как практиче-

ски все водные объекты лесотундры характеризуются щелочными значениями рН. По минерализации воды все озера являются ультрапресными (минерализация ниже 250 мг/л). Количество растворенных в воде озер солей демонстрирует широтные изменения. Водоемы с наибольшей минерализацией расположены в зоне северной тайги, с наименьшей – в субарктической тундре. Озера лесотундры характеризуются промежуточным положением по средним значениям минерализации.

Таблица 2  
 Table 2

Классификация озер по морфометрическим параметрам  
 Classification of lakes according to morphometric parameters

Показатель водоема	Субарктическая тундра (n = 18)	Лесотундра (n = 13)	Северная тайга (n = 11)
по величине площади водного зеркала [по П.В. Иванову и И.С. Захаренкову]			
озерки (0,001–0,01 км <sup>2</sup> )	1	–	–
маленькие (0,01–0,1 км <sup>2</sup> )	6	–	3
малые (0,1–1,0 км <sup>2</sup> )	<b>8</b>	4	2
небольшие (1,0–10,0 км <sup>2</sup> )	3	–	<b>6</b>
средние (10–100 км <sup>2</sup> )	–	<b>8</b>	–
большие (100–1000 км <sup>2</sup> )	–	1	–
по максимальной глубине [по С.П. Китаеву]			
с очень малой глубиной (меньше 3,12 м)	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
с малой глубиной (3,12–6,25 м)	7	2	1
со средней глубиной (6,25–12,5 м)	–	–	–
с повышенной глубиной (12,5–25 м)	–	1	–
по средней глубине [по С.П. Китаеву]			
очень малые (меньше 2 м)	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
малые (2–4 м)	–	–	–
средние (4–8 м)	–	1	–
по коэффициенту удлиненности (K <sub>удл</sub> ) [по С.В. Григорьеву]			
округлая (K <sub>y</sub> <1,5)	3	–	2
близкая к округлой (K <sub>y</sub> =1,5–3,0)	<b>12</b>	<b>11</b>	4
близкая к овальной (K <sub>y</sub> =3,0–5,0)	2	2	–
овально-удлинённая (K <sub>y</sub> =5,0–7,0)	–	–	–
удлинённая (K <sub>y</sub> =7,0–10,0)	1	–	<b>5</b>
по степени развития береговой линии			
круглое озеро (< 2)	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>9</b>
слабоизрезанные (2,0–6,0)	1	–	2

Наиболее перспективным объектом для оценки качества вод и состояния экосистем в целом являются водоросли, которые встречаются практически везде, где есть вода. Из них диатомовые водоросли создают основной фон фитопланктона водоемов. На их долю в течение значительного отрезка вегетационного периода приходится существенная часть общей численности, а по биомассе они преобладают постоянно. Для водоемов Якутии характерно преобладание диатомовых водорослей [Комаренко, Васильева, 1975]. При изме-

нении содержания органического вещества в воде изменяется видовой состав водорослей и, как правило, их обилие, т.е. таксоны, которые, являются видами-индикаторами.

В поверхностных осадках исследованных водоемов обнаружено 257 видов (в т.ч. 4 разновидности) диатомей, относящихся к 75 родам, 30 семействам и 3 классам Bacillariophyta. Из них самый многочисленный класс Bacillariophyceae включает 12 порядков, 27 семейств, 67 родов, 239 видов (93 % от общего числа видов).

Наиболее распространенным семейством в исследованных озерах были Cymbellaceae (8 родов), Naviculaceae (7), Achnanthidiaceae и Stephanodiscaceae (по 6). Из класса Coscinodiscophyceae следует выделить лишь род *Aulacoseira*, включающий 0,3 % от общего видового разнообразия флоры.

Ведущими родами диатомей являются *Eunotia*, *Pinnularia* (по 15 видов), *Gomphonema* и *Navicula* (по 12 видов) и *Nitzschia* (11 видов). Доля одно- и двувидовых родов равна 61,3 %.

Впервые для флоры Якутии обнаружено 11 новых видов диатомей: *Achnanthes coarc-tata* (Brébisson ex W. Smith) Grunow, *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B. Petersen, *Geissleria similis* (Hustedt) J.Y. Li & Y.Z. Qi, *Hippodonta costulata* (Grunow) Lange-Bertalot, Metzeltin & Witkowski, *Pinnularia semicruciata* (Schmidt) A. Cleve, *Planothidium joursacense* (Héribaud-Joseph) Lange-Bertalot, *P. peragalloi* (Brun & Hérib.) Round & Bukht., *Sellaphora medioconvexa* Hustedt, *Stauroneis prominula* (Grunow ex Cleve) Hustedt, *Staurosira dubia* (Grunow) Edlund, *Staurosirella pinnata* var. *trigona* (Brun & Héribaud-Joseph) Aboal & P.C. Silva. Из общего числа видов 12 % относились к «редким» таксонам для флоры Якутии.

Анализ сравнения диатомовой флоры по растительным зонам показал, что наибольшим видовым разнообразием обладали озера, расположенные в зоне субарктической тундры (177 видов), на втором месте – лесотундровые озера (150 видов), затем – водоемы северной тайги (140 видов).

В изученных озерах насчитывается 32 доминантных вида (12 % от общего числа видов), 41 – субдоминант (16 %). Из них самыми активными и постоянными оказались виды: *Staurosira venter* (встречается как доминант в 50 % озер), *Staurosirella pinnata* (в 29 %) и *Tabellaria flocculosa* (в 25 %). Все три вида – типичные массовые виды водоемов Якутии. Из них *Tabellaria flocculosa* характерен для торфяных болот и моховых подушек Севера и гор. В нашем наборе он доминировал в озерах субарктической тундры.

Для выявления природных условий, в которых формировался тот или иной диатомовый комплекс конкретного водоема, успешно применяется метод суммарного подсчета створок диатомей по экологическим группировкам [Давыдова, 1985] (табл. 3).

Сравнительный анализ численности створок диатомей показал относительно стабильную структуру комплексов отдела Bacillariophyta с абсолютным доминированием бентосных форм (донных и обрастателей), индифферентов по отношению к солености (66–75 %) и алкалифилов (45–70 %), предпочитающих слабощелочную среду. Следует отметить, что наибольшая численность планктонных форм (до 31 %) отмечена в озерах лесотундровой зоны. Особенности диатомовых комплексов указывают на относительно малую глубину и размеры озерных котловин, низкую минерализацию и повышенный pH воды.

Географический анализ видового спектра флор изученных озер представлен почти одинаковой долей участия бореальных форм и видов-космополитов. В количественном составе преобладают космополиты, характеризующиеся широким географическим ареалом, высокой пластичностью и выносливостью по отношению к действию факторов окружающей среды, что указывает на нестабильное состояние уровненного режима водоемов [Пестрякова, 2008].

Сопоставление минерализации озер с экологическими группами диатомей по отношению к солености воды не демонстрирует четкой закономерности в приуроченности

высокой доли галофильных диатомей к воде с повышенной минерализацией, а также роста доли галофобных диатомей по мере сокращения минерализации воды. Наиболее минерализованные воды, однако, характеризуются высокой долей галофильных диатомей и низкой долей или отсутствием галофобов. Тяготеющие к водам с повышенной минерализацией мезогалобы присутствуют в незначительных количествах (менее 2 %) и лишь в озерах с минерализацией не ниже 73 мг/л.

Таблица 3  
 Table 3

Экологово-географическая характеристика флоры диатомовых комплексов  
 Ecological and geographical characteristics of the diatoms flora

Группы	Субарктическая тундра (n = 18)		Лесотундра (n = 13)		Северная тайга (n = 11)	
	1*	2**	1	2	1	2
<i>по местообитанию</i>						
Донные	47	31	49	21	50	69
Обрастатели	43	61	43	47	43	28
Планктонные	10	8	9	31	7	3
<i>категория галобности</i>						
Галофилы	8	9	8	15	9	17
Индифференты	69	66	70	75	66	72
Галофобы	9	20	11	7	11	7
Неясная экология	12	5	10	3	12	4
<i>категория индикаторов pH</i>						
Алкалибионты	6	4	3	1	6	2
Алкалифилы	40	45	42	69	45	70
Нейтрофилы	18	17	24	11	20	16
Ацидофилы	17	27	15	8	12	9
Ацидобионты	1	2	1	-	2	1
Неясная экология	19	6	14	10	14	3
<i>биогеография</i>						
Арктоальпийские	9	4	10	1	9	1
Бореальные	40	34	37	39	41	41
Космополиты	40	60	44	57	38	55
Неясной географии	11	3	9	3	12	4

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

Сопоставление значений водородного показателя воды исследуемых озер и диатомовых водорослей-индикаторов pH не позволило установить выраженных тенденций в изменении долей индикаторных групп при изменении водородного показателя, при этом наиболее высокие доли ацидофильных и наименьшие количества алкалифильных диатомей приурочены к озерам с наиболее низким pH (IO41 и IO32).

Отсутствие ярко выраженных взаимосвязей между характеристиками воды и соответствующими индикаторными группами диатомей может быть объяснено особенностями методики отбора полевого материала: измеренные в полевых условиях физико-химические параметры воды характеризуют состояние воды в конкретный момент време-

ни, в то время как отбор проб диатомей донных отложений позволяет получить состав указанной группы водорослей, обобщенный за ряд лет.

С целью определения качества воды исследуемых озер произведены расчеты индексов сапробности по методу Пантле-Букка-Сладечека. Для этих целей использовано 140 видов диатомей-индикаторов сапробности, что составляет более половины списка видов и разновидностей. Из них 24,9 % характеризуют бета-мезосапробную зону, 17,1 % – олигосапробную, 7,8 % – ксеносапробную. Наряду с ними 4,3 % диатомей характерны для альфа-мезосапробных водоемов.

Расчетные индексы сапробности по диатомеям для изученных озер колеблются от 0,73 до 1,73 (табл. 4).

Таблица 4  
Table 4

Классы качества вод изученных озер в зависимости от индексов сапробности

Water quality classes of the studied lakes depending on the saprobity indices

Показатель	Группы озер		
	субарктические	лесотундры	северной тайги
Минимум значения сапробности	0,73	1,31	0,92
Максимум значения сапробности	1,54	1,73	1,69
Средний индекс сапробности	1,25	1,56	1,48
Зона самоочищения	олигосапробная	бета-мезосапробная	олигосапробная
Класс качества вод	2	3	2
Уровень загрязненности водоема	чистые	умеренно загрязненные	чистые

Озера субарктических территорий и северной тайги по уровню загрязненности оказались «чистыми». Для озер лесотундры класс качества вод относится к третьему, а водоемы оказались умеренно загрязненными (рис. 2).

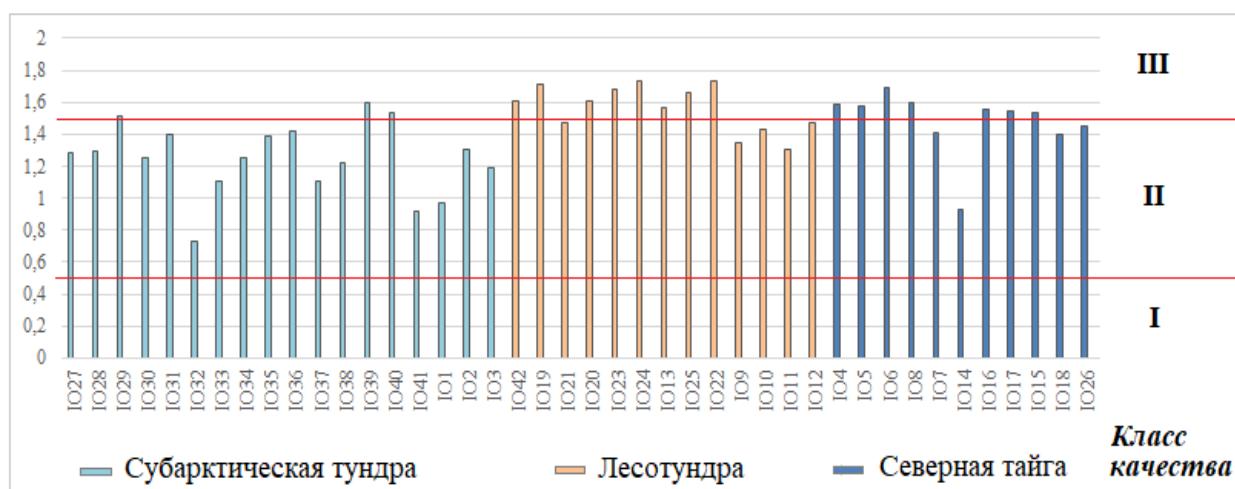


Рис. 2. Оценка сапробности изученных водоемов и их класс качества  
Fig. 2. Assessment of the saprobity of the studied reservoirs and their quality class

Таким образом, для выявления природных условий, в которых формировался тот или иной диатомовый комплекс, был применен метод суммарного подсчета створок диатомей по экологическим группировкам, также подсчитана доля участия в комплексе диатомей различной галобности, отношения к рН среде, географического распространения. Преобладание той или иной экологической группы позволяет с достаточной объективностью судить о характере изменения водосборного бассейна и условиях среды. Также для определения качества воды водоемов проведен сапробиологический анализ поверхностных вод, который занимает одно из главных мест среди биологических методов анализа поверхностных вод. Так как диатомовые водоросли встречаются практически везде, где есть вода, и всегда преобладают по биомассе, они являются хорошими видами-индикаторами.

### Заключение

Результаты исследований позволяют сделать следующие обобщения и выводы:

- исследуемые озера бассейна р. Индигирка характеризуются, главным образом, малыми размерами и очень малой глубиной, имеют форму, близкую к окружной (64 %);
- по своим морфометрическим параметрам значительно выделяются оз. Ожогино (Ю-42) и оз. Сутуруоха (Ю-13), они могут быть отнесены к числу крупнейших озер Якутии;
- в большинстве случаев озерная вода является ультрапресной, мягкой с преобладанием нейтральной и слабощелочной среды;
- диатомовая флора изученных озер, представляющих собой важную группу индикаторов состояния окружающей среды, включает 257 видов (в т. ч. 4 разновидности) из 75 родов, 30 семейств, 15 порядков и 3 классов, что составляет 18 % всей флоры диатомовых водорослей Якутии, в т.ч. впервые обнаружены 11 видов – новые для флоры региона;
- особенности диатомовых комплексов указывают на относительно малую глубину и размеры озерных котловин, низкую минерализацию и повышенный рН воды, а также природно-климатические условия района исследования, характеризующиеся морозным арктическим климатом;
- по степени органической нагрузки воды озера субарктических территорий и северной тайги относятся к категории чистых, а мелководные озера лесотундры, в основном, отнесены к водоемам с умеренно загрязненными водами.

### Список источников

1. Баринова С.С., Медведева Л.А. 1996. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). Владивосток, Дальнаука, 364 с.
2. Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л. 2006. Водоросли и грибы. Ботаника: в 4 тт. М., Издательский центр «Академия», 320 с.
3. Второв П.П., Дроздов Н.Н. 1978. Биогеография. М., Просвещение, 270 с.
4. Глушков А.В. 1996. 100 рек Якутии. Якутск, ЯНЦ СО РАН, 368 с.
5. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Введ. 1984-01-01. М., Изд-во стандартов, 10 с.

### Список литературы

1. Васильева И.И. 1980. Альгофлора водоемов субарктической тундры в районе стационара «Походск». В кн.: Васильева И.И., Ремигайло П.А. Растительность и почвы субарктической тундры. Новосибирск, Наука: 92–104.
2. Васильева И.И. 1989. Водоросли водоемов криолитозоны СССР: систематический состав, экология, распространение (на примере Якутии). Автореф. дис ... докт. биол. Наук. Кишинев, 50 с.

3. Габышев В.А., Габышева О.И. 2018. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири. Под ред. Л.Г. Корневой. Новосибирск, Изд. АНС «СибАК», 414 с.
4. Габышев В.А., Габышева О.И. 2011. Особенности развития фитопланктона и физико-химических свойств воды р. Индигирка. Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН, 3: 42–50.
5. Григорьев С.В. 1959. О некоторых определениях и показателях в озероведении. В кн.: Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии. Вып. 18. Петрозаводск, Государственное издательство Карельской АССР: 29–45.
6. Давыдова Н.Н. 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. Л., Наука, 244 с.
7. Егорова А.А., Васильева И.И., Степанова Н.А., Фесько Н.Н. 1991. Флора тундровой зоны Якутии. Якутск, Изд-во ЯНЦ СО РАН, 186 с.
8. 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. Якутск, ЯГУ: 4–47.
9. Захаренков И.С. 1964. О лимнологической классификации озер Белоруссии. В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. Минск: 175–176.
10. Захарова В.И., Исаев А.П., Иванова Е.И., Сосина Н.К., Михалева Л.Г., Чикидов И.И. 2004. Растительный покров, флора и микробиота среднего течения р. Молодо. В кн.: Экологическая безопасность при разработке россыпных месторождений алмазов. Якутск, Сахаполиграфиздат: 133–142.
11. Иванов П.В. 1948. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине. Бюллетень ЛГУ, 20: 29–36.
12. Китаев С.П. 2007. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 394 с.
13. Комаренко Л.Е. 1957. К изучению флоры водорослей реки Индигирки. Известия Восточных филиалов АН СССР, 4–5: 203–219.
14. Комаренко Л.Е. 1956. Флора водорослей бассейна среднего течения реки Лены и реки Индигирки. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 19с.
15. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. 1975. Пресноводные диатомовые и синезеленые водоросли водоемов Якутии. М., Наука, 424 с.
16. Копырина Л.И. 2010. Водоросли водоемов-отстойников бассейна верхнего течения реки Индигирки (северо-восточная Якутия). Вестник Северо-Восточного Федерального Университета им. М.К. Аммосова, 7 (4): 10–15.
17. Макрушин А.В. 1974. Биологический анализ качества вод. Л., Зоологический институт РАН, 63 с.
18. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. 1986. Серия: История озер СССР. Отв. редактор Д.Д. Квасов. Л., Наука, 256 с.
19. Пестрякова Л.А., Субетто Д.А., Потахин М.С., Фролова Л.А., Ушницкая Л.А., Ядрихинский И.В., Троева Е.И. 2015. Палеолимнологические и палеоэкологические исследования озера Сутуруоха (бассейн реки Индигирки). Общество. Среда. Развитие, 4: 190–195.
20. Пестрякова Л.А. 2008. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск, Изд-во ЯГУ, 173 с.
21. Разнообразие растительного мира Якутии. 2005. Ред. В.И. Захарова и др. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 326 с.
22. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. 1976. М., Изд-во СЭВ, 185 с.
23. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. Приложение 1: Индикаторы сапробности. 1977. М., Изд-во СЭВ, 92 с.
24. Denus L. 1991. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal planin with a survay of their apparent ecological requirments. Belgium, Ministerie van Economische Zaken, 93 p.

25. Hekansson H.A. 2002. Compilation and evaluation of species in the genera *Stephanodiscus*, *Cyclos-tephanos* and *Cyclotella* with a new genus in the family Stephanodiscaceae. *Diatom Research*, 17 (1): 1–139. DOI: 10.1080/0269249X.2002.9705534.
26. Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 529 p.
27. Krammer K. 2002. *Diatoms of Europe: Cymbella*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 584 p.
28. Krammer K. 2000. *Diatoms of Europe. The Genus Pinnularia*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 703 p.
29. Lange-Bertalot H. 2001. *Diatoms of Europe. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu lato, Frustulia*. Königstein, A.R.G. Gantner Verlag, 526 p.
30. Pestryakova L.A, Herzschuh U., Gorodnichev R., Wetterich S. 2018. The sensitivity of diatom taxa from Yakutian lakes (north-eastern Siberia) to electrical conductivity and other environmental variables. *Polar Research*, 37 (1):1485625. DOI: 10.1080/17518369.2018.1485625.
31. 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.
32. Sládeček V. 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 14 (5): 555–566. DOI: 10.1002/aheh.19860140519.
33. Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view. Stuttgart, Schweizerbart, 218 p.

## References

1. Vasil'eva I.I. 1980. Al'goflora vodoemov subarkticheskoy tundry v rayone statsiona-ra «Pokhodsk» [Algal flora of water bodies of the subarctic tundra in the area of the stationery "Pokhodsk"]. In: Vasil'eva I.I., Remigaylo P.A. Rastitel'nost' i pochvy subarkticheskoy tundry [Vegetation and soils of the subarctic tundra]. Novosibirsk, Nauka: 92–104.
2. Vasil'eva I.I. 1989. Vodorosli vodoemov kriolitozony SSSR: sistematicheskiy sostav, ekologiya, rasprostranenie (na primere Yakutii) [Algae of water bodies of the permafrost zone of the USSR: systematic composition, ecology, distribution (on the example of Yakutia)]. Abstract. Dis ... dokt. biol. nauk. Kishinev, 50 p.
3. Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. 2018. Phytoplankton of the largest rivers of Yakutia and adjacent territories of Eastern Siberia. Ed. L.G. Korneva. Novosibirsk, Pabl. SibAK, 414 p. (in Russian).
4. Gabyshev V.A., Gabysheva O.I. 2011. The Development Trends of Phytoplankton and Physicochemical Properties of the Indighirka R. Water. Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch, 3: 42–50 (in Russian).
5. Grigor'ev S.V. 1959. O nekotorykh opredeleniyakh i pokazatelyakh v ozerovedenii [On some definitions and indicators in lake science]. In: Materialy po gidrologii (limnologii) Karel'ii [Materials on hydrology (limnology) of Karelia]. Vol. 18. Petrozavodsk, Gosudarstvennoye izdatelstvo Karel'skoy ASSR, 29–45.
6. Davydova N.N. Diatomovye vodorosli – indikatory ekologicheskikh usloviy vo-doemov v golotsene [Diatoms – indicators of the ecological conditions of water bodies in the Holocene]. Leningrad, Pabl. Nauka, 244 p.
7. Egorova A.A., Vasil'eva I.I., Stepanova H.A., Fes'ko H.H. 1991. Flora tundrovoy zony Yakutii [Flora of the tundra zone of Yakutia]. Yakutsk, Pabl. YaNTs SO RAN, 186 p.
8. Zhirkov I.I. 1983. Morfogeneticheskaya klassifikatsiya kak osnova ratsional'nogo ispol'zovaniya, okhrany i vosprievodstva prirodnikh resursov ozer kriolitozony (na primere Tsentral'noy Yakutii) [Morphogenetic classification as the basis for the rational use, protection and reproduction of natural resources of permafrost lakes (on the example of Central Yakutia)]. In: Voprosy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnikh resursov raznotipnykh ozer kriolitozony [Issues of rational use and protection of natural resources of various types of lakes in the permafrost zone]. Yakutsk, Pabl. YGU: 4–47.
9. Zakharenkov I.S. 1964. O limnologicheskoy klassifikatsii ozer Belorussii [Limnological classification of lakes in Belarus]. In: Biologicheskie osnovy rybnogo khozyaystva na vnutrennikh vodoemakh Pribaltiki [Biological foundations of inland fisheries in the Baltics]. Minsk: 175–176.

10. Zakharova V.I., Isaev A.P., Ivanova E.I., Sosina N.K., Mikhaleva L.G., Chikidov I.I. 2004. Rastitel'nyy pokrov, flora i mikobiota srednego techeniya r. Molodo [Vegetation cover, flora and mycobiota of the middle reaches of the river Molodo]. In: Ekologicheskaya bezopasnost' pri razrabotke rossyynykh mestorozhdeniy almazov [Environmental safety in the development of alluvial diamond deposits]. Yakutsk, Pabl. Sakhapoligrafizdat: 133–142.
11. Ivanov P.V. 1948. Klassifikatsiya ozer mira po velichine i po ikh sredney glubine [Classification of the world's lakes by size and by their average depth]. Byulleten' LGU, 20: 29–36.
12. Kitaev S.P. 2007. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov [Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk, Pabl. Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 394 p.
13. Komarenko L.E. 1957. K izucheniyu flory vodorosley reki Indigirki [To the study of the flora of the Indigirka River algae]. Pabl. Izvestiya Vostochnykh filialov AN SSSR, 4–5: 203–219.
14. Komarenko L.E. 1956. Flora vodorosley basseyna srednego techeniya reki Leny i reki Indigirki [Flora of algae in the basin of the middle reaches of the Lena River and the Indigirka River]. Abstract. dis. ... kand. biol. nauk. Leningrad, 19 p.
15. Komarenko L.E., Vasil'eva I.I. 1975. Presnovodnye diatomovye i sinezelenye vodo-rosli vodoemov Yakutii [Freshwater diatoms and blue-green algae of water bodies of Yakutia]. Moscow, Pabl. Nauka, 424 p.
16. Kopyrina L.I. 2010. Algae of Settling Water Basins of the Upper Indigirka River (North-Eastern Yakutia). Vestnik of North-Eastern Federal University, 7 (4): 10–15 (in Russian).
17. Makrushin A.V. 1974. Biologicheskiy analiz kachestva vod [Biological analysis of water quality]. Leningrad, Zoologicheskiy institut RAN, 63 p.
18. Obshchie zakonomernosti vozniknoveniya i razvitiya ozer. Metody izucheniya ozer. Seriya: Istoryya ozer SSSR [General laws of the emergence and development of lakes. Methods for studying lakes. Series: History of the lakes of the USSR]. 1986. Ed. D.D. Kvasov. Leningrad, Pabl. Nauka, 256 p.
19. Pestryakova L.A., Subetto D.A., Potakhin M.S., Frolova L.A., Ushnitskaya L.A., Yadrikhinskiy I.V., Troeva E.I. 2015. Paleolimnologicheskie i paleoekologicheskie issledovaniya ozera Sutruokha (basseyn reki Indigirki) [Paleolimnological and paleoecological studies of Lake Sutruokha (basin of the Indigirka River)]. Obshchestvo. Sreda. Razvitiye, 4: 190–195.
20. Pestryakova L.A. 2008. Diatomovye kompleksy ozer Yakutii [Diatom complexes of the lakes of Yakutia]. Yakutsk, Pabl. YaGU, 173 p.
21. Raznoobrazie rastitel'nogo mira Yakutii [Diversity of the flora of Yakutia]. 2005. Ed. V.I. Zakharova et al. Novosibirsk, Pabl. SO RAN, 326 p.
22. Unifitsirovannye metody issledovaniya kachestva vod. Metody biologicheskogo analiza vod [Unified methods for the study of water quality. Methods for biological analysis of waters]. 1976. Moscow, Pabl. SEV, 185 p.
23. Unifitsirovannye metody issledovaniya kachestva vod. Metody biologicheskogo analiza vod. Prilozhenie 1: Indikatory saprobnosti [Unified methods for the study of water quality. Methods for biological analysis of waters. Appendix 1: Indicators of saprobity]. 1977. Moscow, Pabl. SEV, 92 p.
24. Denus L. 1991. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. Belgium, Ministerie van Economische Zaken, 93 p.
25. Hekansson H.A. 2002. Compilation and evaluation of species in the genera *Stephanodiscus*, *Cyclosteфанос* and *Cyclotella* with a new genus in the family Stephanodiscaceae. Diatom Research, 17 (1): 1–139. DOI: 10.1080/0269249X.2002.9705534.
26. Krammer K. 2003. *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbelopsis*, *Afrocymbella*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 529 p.
27. Krammer K. 2002. Diatoms of Europe: *Cymbella*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 584 p.
28. Krammer K. 2000. Diatoms of Europe. The Genus *Pinnularia*. Ruggell, A.R.G. Gantner Verlag K.G., 703 p.
29. Lange-Bertalot H. 2001. Diatoms of Europe. *Navicula* sensu stricto, 10 Genera Separated from *Navicula* sensu lato, *Frustulia*. Königstein, A.R.G. Gantner Verlag, 526 p.

30. Pestryakova L.A, Herzschuh U., Gorodnichev R., Wetterich S. 2018. The sensitivity of diatom taxa from Yakutian lakes (north-eastern Siberia) to electrical conductivity and other environmental variables. *Polar Research*, 37 (1):1485625. DOI: 10.1080/17518369.2018.1485625.
31. 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.
32. Sládeček V. 1986. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 14 (5): 555–566. DOI: 10.1002/aheh.19860140519.
33. Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view. Stuttgart, Schweizerbart, 218 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Левина Сардана Николаевна**, научный сотрудник Института естественных наук эколого-географического отделения, российско-германская лаборатория БИОМ Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Россия

**Давыдова Парасковья Васильевна**, аспирант, младший научный сотрудник Института естественных наук эколого-географического отделения, российско-германская лаборатория БИОМ Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Россия

**Баишева Изабелла Антоновна**, аспирант, ведущий инженер Института естественных наук эколого-географического отделения, российско-германская лаборатория БИОМ Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, Россия

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Sardana N. Levina**, researcher of the Institute of Natural Sciences of the Ecological and Geographical Department, Russian-German Laboratory BIOM of the M.K. Ammosov of North-Eastern Federal University, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

**Paraskovia V. Davydova**, post-graduate student, junior researcher at the Institute of Natural Sciences of the Ecological and Geographical Department, Russian-German Laboratory BIOM of the M.K. Ammosov of North-Eastern Federal University, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

**Izabella A. Baisheva**, post-graduate student, leading engineer of the Institute of Natural Sciences of the Environmental and Geographical Department, Russian-German laboratory BIOM of the M.K. Ammosov of North-Eastern Federal University, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia