

УДК 556.551(571.56)

КАЧЕСТВО ВОДЫ ОЗЕР СЕВЕРА ЯКУТИИ (УСТАНОВЛЕННОЕ НА ОСНОВЕ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА)

Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Перепелица И.М., Ядрихинский И.В.,
Ушницкая Л.А., Левина С.Н., Давыдова П.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск,
e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

В работе приведены результаты расчетов индекса сапробности Пантле – Букка в модификации Сладечека по значениям численности диатомовых водорослей – индикаторов органического загрязнения воды для 83 озер, расположенных на севере Якутии (в бассейнах рек Колыма, Индигирка, Лена, Оленек и Анабар). Изучаемые водоемы лежат в пределах южной субарктической, типичной и арктической тундры, лесотундры, северной тайги, а также в горных областях высотной поясности. По происхождению котловин изучаемые озера главным образом водно-эрозионные и эрозионно-термокарстовые. Большая часть объектов исследования обладает умеренной прозрачностью воды (в среднем 43% от максимальной глубины), очень малой глубиной (<3,12, 48 водоемов), формой зеркала близкой к округлой (коэффициент удлиненности ($K_{уд}$) = 1,5–3, 53 водоема), очень малыми значениями площади зеркала (<1 км²). Вода озер в основном ультрапресная, очень мягкая с нейтральными значениями водородного показателя, в большинстве случаев в ее ионном составе преобладает кальций (в 59 озерах) и гидрокарбонаты (в 73). В результате расчетов индекса сапробности установлено, что исследуемые озера относятся к 3-м классам по качеству их воды: 1-ый класс – очень чистые (59 озер); 2-ой – чистые (10 водоемов) и 3-й – умеренно загрязненные (14 озер). Отмеченное качество воды озер является результатом естественных причин ввиду большой удаленности исследуемых водоемов от промышленных мест и селитебных территорий. Результаты исследования могут быть использованы как данные об исходном состоянии природных водоемов для целей фоновой мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, Bacillariophyta, Якутия, индекс сапробности, Колыма, Индигирка, Лена, Оленек, Анабар, озеро

WATER QUALITY OF LAKES IN THE NORTH OF YAKUTIA (ESTABLISHED ON THE BASIS OF DIATOM ANALYSIS)

Gorodnichev R.M., Pestryakova L.A., Perepelitsa I.M., Yadriskinskiy I.V.,
Ushnitskaya L.A., Levina S.N., Davydova P.V.

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

In the article we show the results of Pantle-Buck Saprobity indices (in Sládeček modification) calculation conducted on the basis of diatoms (indicators of organic pollution of water) of 83 lakes located in the North of Yakutia (watersheds of Kolyma, Indigirka, Lena, Olenek and Anabar Rivers). Investigated lakes are located in northern subarctic, typical and arctic tundra, forest tundra, northern taiga and in the areas of mountain with vertical zonality. Accordance with the genesis of the water depressions the observed lakes are mostly fluvial-erosion ones and erosion-thermokarst ones. The most part of the lakes have moderate water transparency (average 43% of maximum water depth), very low water depth (<3,12 m for 48 lakes), shape of water surface similar to round (coefficient of elongation = 1,5–3 for 53 lakes), very small water area (<1 km²). Water of the lakes is generally ultra-fresh, very soft with neutral pH and with the dominance of calcium (for 59 lakes) and hydrocarbonates (for 73 lakes). As a result of Saprobity indices calculation we established that investigated lakes divided into 3 groups according with quality of their water: 1st group is very clean (59 lakes); 2nd one is clean (10) and 3rd one is temperate polluted (14 lakes). Indicated water quality of lakes is a result of natural reasons because of large distances from investigated lakes to industrial areas and living territories. Results of the research would be useful as data on initial condition of natural lakes and they could be used for the goals of a background environmental monitoring.

Keywords: diatom algae, Bacillariophyta, Yakutia, Saprobity index, Kolyma, Indigirka, Lena, Olenek, Anabar, lake

Якутия представляет собой регион с большим количеством озер. На ее территории насчитывается по меньшей мере 700 тыс. водоемов [1]. Хотя Республика Саха и славится крупными и уникальными озерами (Моготоево, Бустах, Нерпичье, Большое Токо и др.), наиболее широкое распространение здесь получили все же небольшие и неглубокие озера, чей генезис связан с повсеместно распространенными термокарстовыми процессами. Обладая малой глубиной и небольшой площадью зеркала, такие водоемы представляют собой

весьма динамичный компонент окружающей среды, чувствительный к внешним воздействиям и загрязнению. Особую актуальность работы по изучению состояния озер в Якутии приобрели и в связи с тем, что для большого количества населенных пунктов региона озера – это основной источник воды для хозяйственных нужд.

Материалы и методы исследования

Исследование базируется на применении анализа диатомовых водорослей поверхностного слоя (верхние 1–2 см) донных отложений 83 озер, распо-

ложенных на севере Якутии в бассейнах рек Колыма (3 водоема), Индигирка (12), Лена (18), Оленек (8) и Анабар (42). Полевые исследования на озерах проведены в период с 2002 по 2012 гг. в рамках российских и российско-германских экспедиций, организованных сотрудниками Института естественных наук СВФУ (главным образом под руководством Л.А. Пестряковой). Сбор полевого материала организован в летний период времени (июль – август) по единой программе исследований на всех территориях во время проведения всех экспедиционных работ. Поверхностные пробы донных отложений были получены в местах максимальной глубины озер с применением дночерпателя типа Экмана – Берджи и гравитационного бура фирмы UWITEC.

Диатомеи были обследованы в лабораторных условиях на световом микроскопе при увеличении 1000х (с применением иммерсионного масла) после удаления их органического содержимого путем термической обработки проб донных отложений в растворах H_2O_2 30% и HCl 10%. В качестве основных количественных характеристик диатомовых выступает общая численность особей таксона (вида или разновидности) и относительная (%) численность особей таксона от общего количества учтенных особей диатомей. Более подробная характеристика методики исследования приведена в опубликованных ранее авторами настоящего исследования статьях [2–4].

Уровень органического загрязнения озер определен косвенно – путем вычисления индекса сапробности (S) Пантле – Букка (в модификации Сладечека [5]) по численности особей диатомей – индикаторов органического загрязнения и значениям их сапробной валентности. В зависимости от величины индекса сапробности определяли уровень загрязнения и класс качества воды согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 [6].

$$S = \frac{\sum s_i h_i}{N},$$

где s_i – индикаторная значимость вида или разновидности;

h_i – число особей таксона, обладающего данной индикаторной значимостью;

N – общее количество особей индикаторных диатомей.

Результаты исследования и их обсуждение

Изученные озера расположены за полярным кругом и распределены в пределах (рис. 1, табл. 2) южной субарктической (7 водоемов), типичной (33) и арктической тундры (6), лесотундры (5), северной тайги (25), а также горных областей высотной поясности (7). В целом все исследуемые водные объекты по происхождению в той или иной степени связаны с термокарстовыми процессами. По лимнологической классификации И.И. Жиркова [7] изучаемые озера принадлежат, главным образом водно-эрозионному (40 водоемов) и эрозионно-термокарстовому (33) морфогенетическим типам. Водоемы (по значениям максимальной глубины, по С.П. Китаеву [8]) обладают средней (6,25–12,5 м, 16 озер), малой (3,12–

6,25 м, 19 объектов) и очень малой глубиной (<3,12, 48 водоемов), формой зеркала (по С.В. Григорьеву [9]), главным образом близкой к округлой (коэффициент удлиненности ($K_{уд}$) = 1,5–3, 53 водоема) и близкой к овальной ($K_{ов}$ = 3–5, 16 ед.). По площади зеркала (по П.В. Иванову [10]) водоемы являются малыми (1–10 км², 13), очень малыми (0,1–1 км², 33) и озерками (<0,1 км², 35). Прозрачность воды, измеренная диском Секки, умеренная (в среднем составляет 43% максимальной глубины). Химический состав воды характеризуется различными сочетаниями главных положительно и отрицательно заряженных ионов с преобладанием в большинстве случаев кальция (в 59 озерах) и гидрокарбонатов (в 73), водоемы обладают в основном ультрапресной, очень мягкой водой с нейтральными значениями водородного показателя.

Всего в озерах обнаружено 502 вида и разновидности диатомовых водорослей. 130 отмеченных таксонов диатомей обладают известными значениями сапробной валентности. При этом в озерах обнаружены диатомовые – ксеносапробы (21 таксон), олигосапробы (36 видов и разновидностей), α -мезосапробы (14) и β -мезосапробы (74) (табл. 1). Олигосапробы представлены наиболее широко распространенными и обладающими высокой относительной численностью таксонами: *Staurosirella pinnata*, *Achnantheidium minutissimum*, *Tabellaria flocculosa*, *Eunotia monodon*, *Asterionella formosa* и др.

Среди ксеносапробов наибольшей относительной численностью и частотой встречаемости обладает *Eunotia praeurpta* (один из наиболее часто встречающихся в исследуемых озерах вид). Представителями данной группы также выступают *Eunotia bilunaris*, *E. pectinalis*, *Caloneis bacillum*, *Cymbella gracilis*, *Pinnularia borealis*, *P. gibba* и др. Широко распространенными β -мезосапробными диатомеями являются *Stauroneis phoenicenteron*, *Sellaphora pupula*, *Caloneis silicula*, *Staurosira construens*, *Navicula radiosa*, *Staurosirella leptostauron*, *Fragilaria capucina* и *Aulacoseira italica*. К α -мезосапробам относятся *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea*, *Navicula cryptocephala*, *Craticula cuspidata*, *N. menisculus*, *N. viridula* и др.

Рассчитанный для всех исследуемых водоемов индекс сапробности изменяется в диапазоне от 0,63 (озеро бассейна р. Оленек) до 1,81 (водоем бассейна р. Лена) в среднем составляя 1,27 (рис. 2, табл. 2).

По величине отмеченного параметра озера разделены на 2 группы: олигосапробные (69 (или 83,1%) озера, значение индекса от 0,51 до 1,5 включительно) и β -мезосапробные (14 водоемов (16,9%), величина показателя от 1,51 до 2,5) водоемы. По классификатору качества вод Росгидромета исследуемые озера отнесены к 3-м классам по качеству их воды: 1-ый класс – очень чистые; 2-ой – чи-

стые и 3-й – умеренно загрязненные. Основная масса водных экосистем обладает чистой водой (59 озер (71,1% от общего количества), при значениях индекса сапробности от 1 до 1,5 включительно). На долю водоемов с умеренно загрязненной (при S от 1,51 до 2,5 включительно) и очень чистой ($S < 1$) водой приходится соответственно 16,9 (14 водоемов) и 12% (10) объектов выборки.

Таблица 1

Группы диатомей, характеризующиеся различной сапробностью

№ п/п	Название групп диатомей, обладающих различной сапробностью	Характеристика групп диатомей с различной сапробностью
1	ксеносапробные	обитатели очень чистых вод
2	олигосапробные	обитатели чистых вод
3	β -мезосапробный	обитатели умеренно загрязненных вод
4	α -мезосапробный	обитатели тяжело загрязненных вод

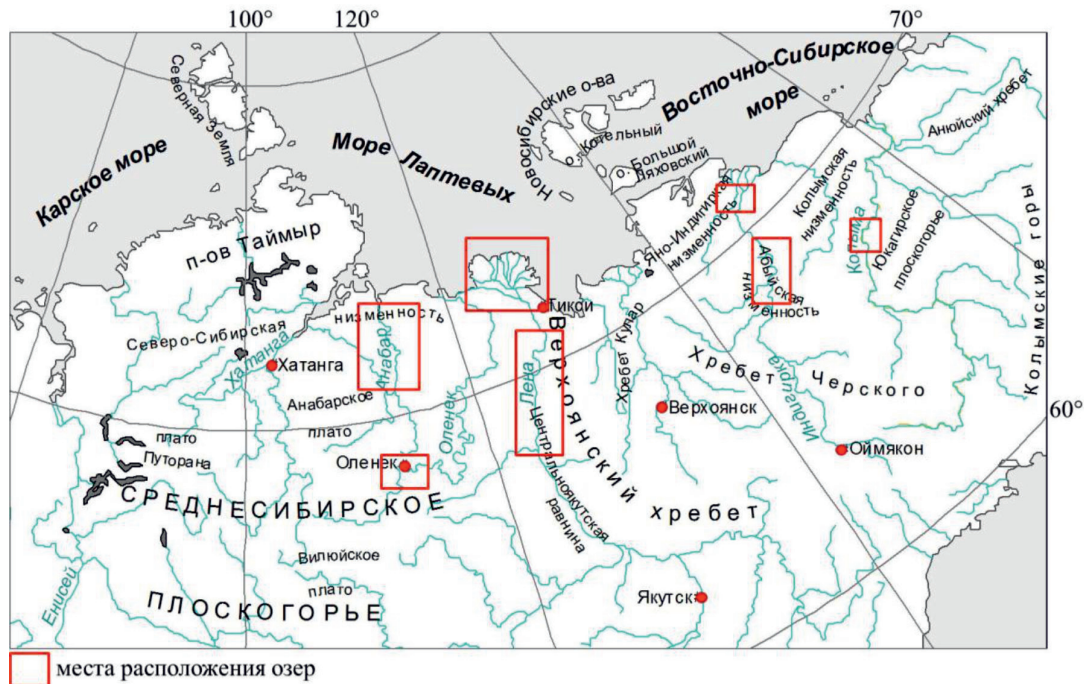


Рис. 1. Район исследования

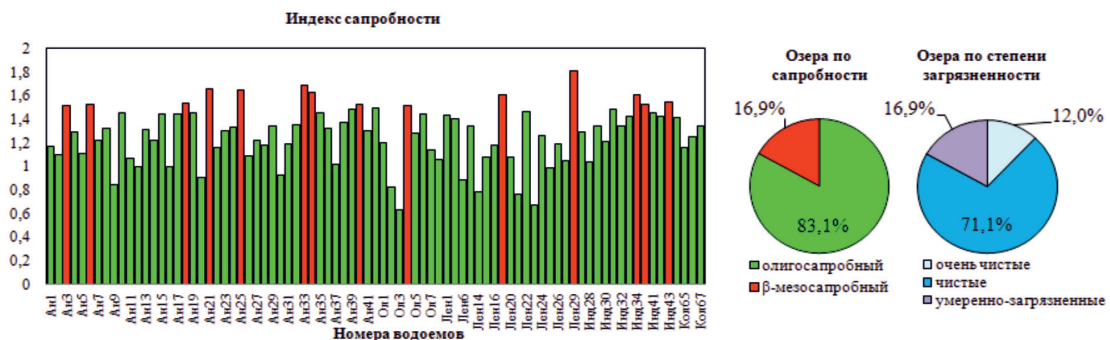


Рис. 2. Значения индексов сапробности и степень загрязненности воды озер

Таблица 2

Распределение значений индекса сапробности озер по территории района

Наименование параметра	Категория значений	Кольма			Индирикка			Лена			Оленек			Анабар			Вся выборка (n=83)
		СТ (n=3)	ТТ (n=3)	СТ (n=9)	АТ (n=6)	ЛТ (n=1)	СТ (n=5)	ГО (n=6)	СТ (n=8)	ТТ (n=30)	ЮГ (n=7)	ЛТ (n=4)	ГО (n=1)				
Индекс сапробности (S)	макс	1,3	1,3	1,6	1,4	1,5	1,8	1,6	1,5	1,7	1,5	1,3	1,8				
	сред	1,3	1,2	1,5	1,1	1,5	1,3	1,1	1,1	1,3	1,4	1,3	1,3				
	мин	1,2	1	1,3	0,8	1,5	1	0,7	0,6	0,8	1	1,1	1,3	0,6			
Класс качества воды	макс	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	2	3				
	сред	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
	мин	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1				
Водоёмы по величине S	макс	олигоса-пробный	олигоса-пробный	β-мезоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	β-мезоса-пробный	β-мезоса-пробный	β-мезоса-пробный	β-мезоса-пробный	β-мезоса-пробный	олигоса-пробный	β-мезоса-пробный				
	сред	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный				
	мин	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный	олигоса-пробный				
Степень загрязнённости воды	макс	чистые	чистые	умеренно загрязнённые	чистые	чистые	умеренно загрязнённые	умеренно загрязнённые	умеренно загрязнённые	умеренно загрязнённые	умеренно загрязнённые	чистые	умеренно загрязнённые				
	сред	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые	чистые				
	мин	чистые	чистые	чистые	очень чистые	чистые	очень чистые	очень чистые	очень чистые	очень чистые	чистые	чистые	очень чистые				

Примечание. СТ – северная тайга; ЛТ – лесотундра; ЮГ – южная субарктическая тундра; ТТ – типичная тундра; АТ – арктическая тундра; ГО – горные области высотной поясности. В круглых скобках отмечено общее количество обследованных озер. Серой заливкой отображены минимальные и максимальные значения параметров.

Средневзвешенные значения индекса сапробности озер по территории района исследования распределены достаточно равномерно (изменяются от 1,1 до 1,5) и позволяют охарактеризовать исследуемые озера как олигосапробные, или обладающие чистой водой. Наименьшие значения параметра отмечены для водоемов территории бассейна р. Оленек, а также арктической тундры и горных областей высотной поясности водосбора р. Лена; наибольшие – для озер лесотундры бассейна р. Лена и северной тайги территории близ р. Индигирка. Полученные результаты исследования согласуются с работами, выполненными ранее [11–13]. Следует отметить, что в сравнении с наиболее исследованными водоемами Центральной Якутии [14, 15], вода которых, как правило, принадлежит 3 классу качества (умеренно загрязненная), северные озера обладают меньшим индексом сапробности и степенью загрязненности, что, вероятно, связано с меньшим антропогенным прессом арктических территорий и меньшей продуктивностью их экосистем, за счет чего естественный уровень загрязнения на севере Якутии ниже. В целом следует сказать, что все рассмотренные водоемы находятся на значительном удалении от населенных мест и территорий с развитой промышленностью, что позволяет сказать, что установленный уровень загрязненности вод является следствием естественных причин.

Заключение

В результате вычисления индекса сапробности Пантле – Букка в модификации Сладечека для индикаторных диатомей 83 озер северной части Якутии установлено, что исследуемые озера могут быть отнесены к 3-м классам по качеству их воды: 1-ый класс – очень чистые (71,1 % водоемов или 59 озер); 2-ой – чистые (12 % или 10 водоемов) и 3-й – умеренно загрязненные (16,9 % – 14 озер). Средневзвешенные значения индекса сапробности водоемов по территориям водосборов рек, в которых данные водоемы расположены (Колыма, Индигирка, Лена, Оленек и Анабар), распределены достаточно равномерно (изменяются от 1,1 до 1,5) и позволяют охарактеризовать исследуемые озера как олигосапробные, или обладающие чистой водой. Все рассмотренные водоемы расположены на значительном удалении от территорий с развитой промышленностью и населенных мест, что позволяет считать установленный уровень качества воды результатом естественных причин.

Работа выполнена в рамках проектного финансирования СВФУ им. М.К. Аммосова (приказ 494-ОД от 02.05.2017 г.) «Палеоэкологические и биоиндикационные исследования водных экосистем криолитозоны Северо-Востока России в условиях изменения климата и антропогенного пресса», проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки РФ по заданию 5.2711.2017/ПЧ. «Биогеографические закономерности биоты озер арктической зоны Северо-Востока Российской Федерации», проекта РФФИ-регион №15-45-05063 p_восток_a «Палеоэкологические исследования голоценовой истории озер бассейна реки Индигирка» и в рамках комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие производительных сил и социальной сферы на 2016–2020 годы.

Список литературы

1. Реки и озера Якутии: крат. справ. / С.К. Аржакова, И.И. Жирков, К.И. Кусатов, И.М. Андросов. – Якутск: Бичик, 2007. – 136 с.
2. Городничев Р.М., Спиридонова И.М., Пестрякова Л.А. Разнообразие диатомовых водорослей водоемов северной части Якутии // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. URL: <http://www.science-education.ru/123-19641> (дата обращения: 09.01.2018).
3. Городничев Р.М., Спиридонова И.М., Пестрякова Л.А. Сходство таксономического состава диатомовых водорослей озер Севера Якутии // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. URL: <http://www.science-education.ru/123-20117> (дата обращения: 09.01.2018).
4. Городничев Р.М., Пестрякова Л.А., Ядрихинский И.В. Взаимосвязи диатомовых водорослей с морфометрическими, гидрохимическими характеристиками и параметрами местоположения озер Севера Якутии // Вестник СВФУ. – 2015. – № 6 (50). – С. 14–26.
5. Sladecek V. Diatoms as indicators of organic pollution // Acta hydrochimica et hydrobiologica. – 1986. – Vol. 14, № 5. – P. 555–566.
6. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – Введ. 1984-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 10 с.
7. Жирков И.И. К ландшафтно-генетической классификации озер Центральной Якутии // Природа и хозяйство Сибири. – Якутск, 1977. – С. 32–33.
8. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. – М.: Наука, 1984. – 208 с.
9. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Труды Карельского филиала АН СССР. – 1959. – Вып. 18. – С. 29–45.
10. Иванов П.В. Классификация озер мира по величине и по их средней глубине // Бюллетень ЛГУ. – 1948. – № 20. – С. 29–36.
11. Пестрякова Л.А. Закономерности развития озер Якутии и их современное состояние (по материалам диатомового анализа донных отложений): дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.36 / Л.А. Пестрякова. – Якутск, 2009. – 265 с.
12. Лукина С.А., Пестрякова Л.А. Диатомовые водоросли озер бассейна р. Анабар (в районе п. Юрюнг-Хая) // Наука и образование. – 2006. – № 2. – С. 13–17.

13. Лукина С.А., Пестрякова Л.А. Диатомовые комплексы донных осадков озер нижнего течения р. Анабара (п. Юрюнг-Хая) // Вестник ЯГУ. – 2006. – Т. 3, № 3. – С. 141–145.

14. Пестрякова Л.А. Процесс эвтрофирования озер долины Туймаада (Центральная Якутия) // Наука и образование. – 2010. – № 4. – С. 82–87.

15. Копырина Л.И. Эпифитные водоросли – индикаторы сапробности некоторых озер окрестностей г. Якутска // Наука и образование. – 2013. – № 4. – С. 77–81.

References

1. Reki i ozero Jakutii: krat. sprav. / S.K. Arzhakova, I.I. Zhirkov, K.I. Kusatov, I.M. Androsov. Yakutsk: Bichik, 2007. 136 p.

2. Gorodnichev R.M., Spiridonova I.M., Pestrjakova L.A. Raznoobrazie diatomovyh vodoroslej vodoemov severnoj chasti Jakutii // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 3. URL: <http://www.science-education.ru/123-19641> (data obrashhenija: 09.01.2018).

3. Gorodnichev R.M., Spiridonova I.M., Pestrjakova L.A. Shodstvo taksonomicheskogo sostava diatomovyh vodoroslej ozer Severa Jakutii // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 3. URL: Rezhim dostupa: <http://www.science-education.ru/123-20117> (data obrashhenija: 09.01.2018).

4. Gorodnichev R.M., Pestrjakova L.A., Jadrinhinskij I.V. Vzaimosvjazi diatomovyh vodoroslej s morfometricheskimi, gidrohimičeskimi harakteristikami i parametrami mestopolozhenija ozer Severa Jakutii // Vestnik SVFU. 2015. no. 6 (50). pp. 14–26.

5. Sladesek V. Diatoms as indicators of organic pollution // Acta hydrochimica et hydrobiologica. 1986. Vol. 14, no. 5. pp. 555–566.

6. GOST 17.1.3.07-82. Ohrana prirody. Hidrosfera. Pravila kontrolja kachestva vody vodoemov i vodotokov. Vved. 1984-01-01. M.: Izd-vo standartov, 2010. 10 p.

7. Zhirkov I.I. K landshaftno-geneticheskoj klassifikacii ozer Centralnoj Jakutii // Priroda i hozjajstvo Sibiri. Yakutsk, 1977. pp. 32–33.

8. Kitaev S.P. Jekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer razlichnyh prirodnyh zon. M.: Nauka, 1984. 208 p.

9. Grigorev S.V. O nekotoryh opredelenijah i pokazateljah v ozerovedenii // Trudy Karelskogo filiala AN SSSR. 1959. Vyp. 18. pp. 29–45.

10. Ivanov P.V. Klassifikacija ozer mira po velichine i po ih srednej glubine // Bjulleten LGU. 1948. no. 20. pp. 29–36.

11. Pestrjakova L.A. Zakonomernosti razvitija ozer Jakutii i ih sovremennoe sostojanie (po materialam diatomovogo analiza donnyh otlozhenij): dis. ... d-ra geogr. nauk: 25.00.36 / L.A. Pestrjakova. Yakutsk, 2009. 265 p.

12. Lukina S.A., Pestrjakova L.A. Diatomovye vodorosli ozer bassejna r. Anabar (v rajone p. Jurjung-Haja) // Nauka i obrazovanie. 2006. no. 2. pp. 13–17.

13. Lukina S.A., Pestrjakova L.A. Diatomovye komplekсы donnyh osadkov ozer nizhnego techenija r. Anabara (p. Jurjung-Haja) // Vestnik JaGU. 2006. T. 3, no. 3. pp. 141–145.

14. Pestrjakova L.A. Process jevtrofirvanija ozer doliny Tujmaada (Centralnaja Jakutija) // Nauka i obrazovanie. 2010. no. 4. pp. 82–87.

15. Kopyrina L.I. Jepifitnye vodorosli indikatory saпрobnosti nekotoryh ozer okrestnostej g. Jakutсka // Nauka i obrazovanie. 2013. no. 4. pp. 77–81.