

РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ВОДОЕМОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯКУТИИ

Городничев Р.М.¹, Спиридонова И.М.¹, Пестрякова Л.А.¹

¹ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, Россия (677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, д. 58), e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

В работе приведена характеристика систематического состава водорослей отдела Bacillariophyta (диатомовые водоросли). Установлено 502 вида и разновидности, принадлежащих 73 родам, 34 семействам, 16 порядкам и 3 классам (Bacillariophyceae, Fragilariophyceae и Coscinodiscophyceae). Определена частота встречаемости, а также относительное обилие установленных внутривидовых таксонов. Наибольшим числом видов представлены роды *Navicula* (50 видов и разновидностей), *Pinnularia* (37), *Eunotia* (37), *Nitzschia* (33), *Achnanthes* (27) и *Cymbella* (24 таксона). Самой высокой зафиксированной частотой встречаемости среди видов характеризуются *Sellaphora pupula* (88%). Рассчитанные индексы биологического разнообразия позволяют сделать вывод о высоком биологическом разнообразии диатомовых водорослей изучаемых водных экосистем. Озера характеризуются высокой относительной численностью нескольких таксонов на фоне высокого видового богатства.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, относительное обилие, Якутия, индекс разнообразия.

DIVERSITY OF DIATOM ALGAE FROM LAKES IN THE NORTHERN PART OF YAKUTIA

Gorodnichev R.M.¹, Spiridonova I.M.¹, Pestryakova L.A.¹

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia (677000, Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Belinskiy Street, 58), e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

Taxonomic composition characteristic of algal phylum Bacillariophyta was conducted in the article. 502 species and intraspecific form and variations of 73 genera, 34 families, 16 orders and 3 classes (Bacillariophyceae, Fragilariophyceae and Coscinodiscophyceae) were defined. The frequency of occurrence and relative abundance of defined taxa were calculated. The most numerous species belong to *Navicula* (50 species and intraspecific forms and variation), *Pinnularia* (37), *Eunotia* (37), *Nitzschia* (33), *Achnanthes* (27) and *Cymbella* (24) genera. *Sellaphora pupula* has the greatest frequency (88%) among all identified taxa. Numerical values of counted biodiversity indices of investigated water ecosystems let to conclude that the biological diversity is high. Lakes are characterized by high relative abundance of few taxa with numerous low relative abundance taxa.

Keywords: diatom algae, relative abundance, Yakutia, biodiversity index.

Озера северной части Якутии представляют собой значительные сосредоточения водных масс, являющихся как перспективным источником для хозяйственного использования воды и развития промысла ценных пород рыб, так и объектом фонового мониторинга (в исследовании выбраны озера, не подверженные видимому антропогенному воздействию) за состоянием окружающей природной среды перспективного для освоения горнодобывающей промышленностью региона.

Актуальность работы обусловлена исследованием одного из наиболее чувствительных компонентов водных экосистем – диатомовых водорослей. Современная диатомовая флора арктических водных экосистем до сих пор изучена слабо [2]. В данном исследовании приводятся результаты диатомового анализа поверхностного слоя донных осадков озер северных районов Якутии.

Материалы и методы

В работе приводятся материалы по диатомовым комплексам 83 озер, находящихся на водосборных территориях рек Анабар (42 водоема), Оленёк (8), Лена (18), Индигирка (12 озер) и Колыма (3 водных объекта) (рис. 1). Озера расположены за Северным полярным кругом, в пределах 67,47-73,39° с.ш. и 110,82-153,66° в.д. Абсолютные отметки высот в местах нахождения исследуемых водоемов изменяются от 1 (бассейн р. Анабар) до 155 м (бассейн р. Оленек) над уровнем моря.

В ходе работы озёра объединены в группы по природным зонам и подзонам, в которых они располагаются [1]. Таким образом выделены озёра арктической тундры (АТ) (количество 6 ед.), типичной тундры (ТТ) (33), южной субарктической тундры (ЮТ) (7), лесотундры (ЛТ) (5), северной тайги (СТ) (25) и горных областей высотной поясности (ГО) (7).

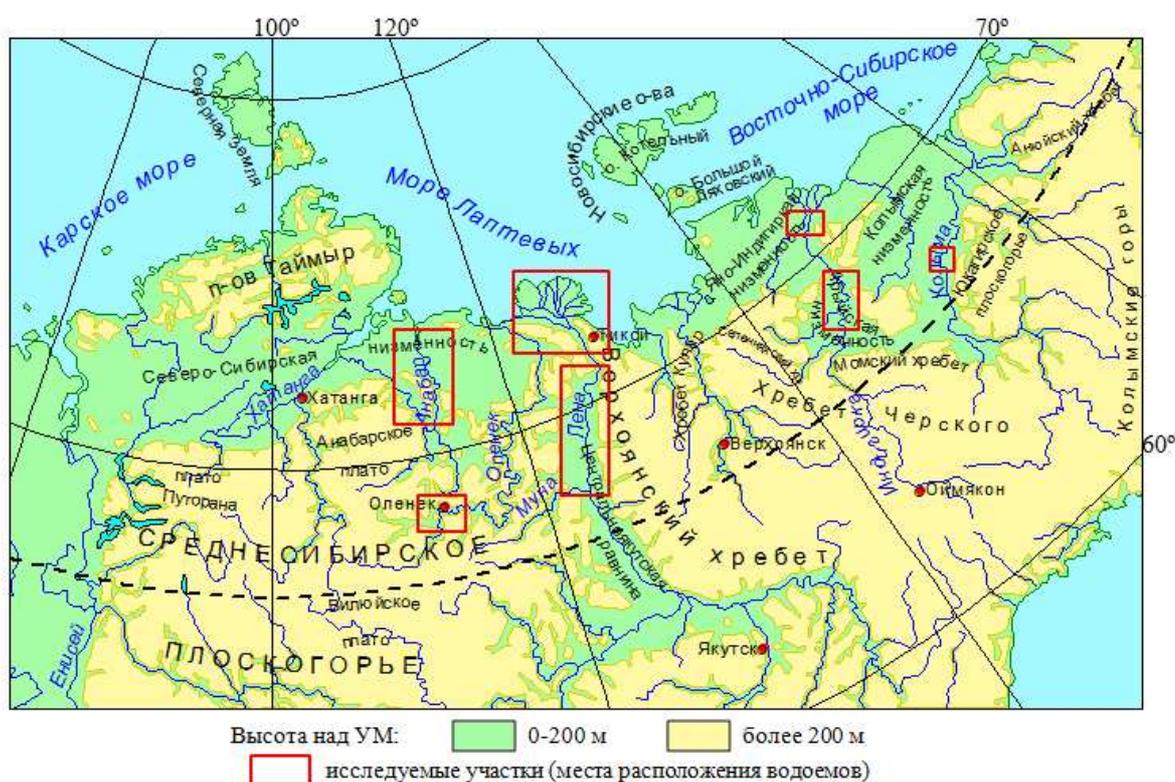


Рис. 1. Карта-схема района исследования

Фактический материал, используемый в работе, был собран в период с 2002 по 2012 г. в рамках совместных российско-германских экспедиций сотрудников кафедры экологии Института естественных наук СВФУ и Института полярных и морских исследований им. А. Вегенера.

Диатомовые водоросли исследованы в поверхностном слое донных отложений (0-2 см), отбор которых осуществлен с использованием дночерпателя типа Экмана-Берджи и гравитационного бура фирмы UWITEC. Консервация и лабораторная обработка проб

реализована в соответствии со стандартными методиками [4]. Определение таксономического состава диатомей выполнено с использованием сводок, монографий, определителей и атласов отечественных и зарубежных исследователей [5; 7]. В работе применяется система диатомовых водорослей, предложенная Раундом, Кравфордом и Манном в соавторстве [8] с учетом ревизии родов *Achnanthes*, *Fragilaria*, *Navicula* и *Symbella*.

Для каждого вида и разновидности определили долю от общего количества диатомей в пробе согласно количественной методике, предложенной Н.Н. Давыдовой [3], в соответствии с которой считали доминантами таксоны, насчитывающие более 10% относительной численности всего количества учтенных особей; субдоминантами - более 5, но менее 10%; обычными - от 1 до 5% включительно; единичными - менее 1%. Доминанты и субдоминанты составляют группу «массовых видов».

Анализ изменения разнообразия биотических группировок выполнен с использованием различных общепринятых индексов, определяющих степень видового богатства, выравненности, разнообразия и доминирования сообществ диатомовых водорослей.

Результаты и обсуждение

Таксономический список диатомовых водорослей 83 озер включает 488 видов (с учетом разновидностей и форм – 502 таксона) 3 классов: Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae и Bacillariophyceae (табл. 1).

Таблица 1

Таксономический состав флоры диатомей изученных водоемов

Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Разновидность и форма
Coscinodiscophyceae	5	6	8	36	-
Fragilariophyceae	2	2	13	48	3
Bacillariophyceae	9	26	52	404	11
Всего	16	34	73	488	14

В исследуемых диатомовых комплексах ведущее место по количеству видов занимают такие роды, как: *Navicula* (49 видов и разновидностей), *Pinnularia* и *Eunotia* (по 37), *Nitzschia* (33), *Achnanthes* (27) и *Symbella* (24), составляющие более 41% всей флоры (табл. 2). Доля одно- и двувидовых родов равна 48%.

Таблица 2

Видовое насыщение родов диатомовых водорослей изученных озер по природным зонам

пп	Роды	Всего видов	Озера					
			АТ* (6)	ТТ (33)	ЮТ (7)	ЛТ (5)	СТ(25)	ГО (7)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Achnanthes</i>	27	4	15	3	6	5	6
2	<i>Karayevia</i>	3	1	2	1	1	1	2
3	<i>Planothidium</i>	7	3	4	2	1	2	4

4	<i>Psammothidium</i>	6	5	5	4	4	3	6
5	<i>Rossithidium</i>	2	-	1	-	-	2	1
6	<i>Achnantheidium</i>	4	1	4	2	2	2	1
7	<i>Eucoconeis</i>	3	2	3	-	-	2	-
8	<i>Lemnicola</i>	1	-	1	1	1	1	-
9	<i>Cocconeis</i>	2	1	1	-	1	2	-
10	<i>Denticula</i>	1	-	1	-	-	1	-
11	<i>Hantzschia</i>	4	2	3	1	1	1	1
12	<i>Nitzschia</i>	33	9	29	10	8	9	7
13	<i>Tryblionella</i>	1	-	1	-	-	-	-
14	<i>Anomoeoneis</i>	2	-	-	-	1	-	1
15	<i>Cymbella</i>	24	8	22	8	2	12	7
16	<i>Cymbopleura</i>	3	2	3	3	3	3	3
17	<i>Encyonema</i>	10	7	8	3	4	6	3
18	<i>Placoneis</i>	7	2	6	5	1	2	3
19	<i>Didymosphenia</i>	1	-	1	-	-	-	-
20	<i>Gomphonema</i>	21	7	15	8	5	15	6
21	<i>Reimeria</i>	1	1	1	-	1	1	-
22	<i>Rhoicosphenia</i>	1	-	1	-	-	1	-
23	<i>Amphicampa</i>	1	-	1	-	-	-	-
24	<i>Eunotia</i>	37	13	29	10	9	13	18
25	<i>Mastogloia</i>	2	-	1	1	-	1	-
26	<i>Aneumastus</i>	1	-	1	-	-	1	-
27	<i>Frustulia</i>	1	-	1	-	-	-	1
28	<i>Amphipleura</i>	1	-	1	-	-	-	-
29	<i>Brachysira</i>	1	-	1	1	-	1	-
30	<i>Cavinula</i>	4	3	4	3	2	3	4
31	<i>Cosmioneis</i>	1	-	1	-	-	-	-
32	<i>Luticola</i>	2	-	2	-	-	-	-
33	<i>Diploneis</i>	16	6	11	8	3	7	6
34	<i>Caloneis</i>	11	3	8	3	3	5	3
35	<i>Geissleria</i>	2	-	2	1	-	-	-
36	<i>Hippodonta</i>	3	2	3	2	1	2	1
37	<i>Navicula</i>	49	6	33	15	8	17	7
38	<i>Neidium</i>	17	10	15	5	5	9	9
39	<i>Neidiopsis</i>	1	-	1	-	-	-	-
40	<i>Pinnularia</i>	37	15	28	16	12	15	12
41	<i>Gyrosigma</i>	4	-	3	1	3	1	2
42	<i>Fallacia</i>	1	-	1	-	-	-	-
43	<i>Sellaphora</i>	4	2	4	2	2	3	2
44	<i>Craticula</i>	2	-	2	1	1	1	-
45	<i>Stauroneis</i>	16	6	11	8	3	7	3
46	<i>Epithemia</i>	5	-	1	-	1	4	1
47	<i>Rhopalodia</i>	2	1	1	-	1	2	1
48	<i>Entomoneis</i>	4	-	2	2	1	1	2

49	<i>Campylodiscus</i>	2	-	1	1	-	1	1
50	<i>Cymatopleura</i>	3	1	1	1	1	2	-
51	<i>Surirella</i>	14	1	10	6	4	7	3
52	<i>Amphora</i>	7	3	7	5	3	4	5
53	<i>Aulacoseira</i>	14	4	8	7	7	8	9
54	<i>Actinocyclus</i>	1	-	1	1	-	-	-
55	<i>Melosira</i>	2	-	-	-	-	1	1
56	<i>Ellerbeckia</i>	1	1	-	1	-	-	1
57	<i>Cyclostephanos</i>	1	-	1	-	-	-	-
58	<i>Cyclotella</i>	11	4	7	4	1	5	4
59	<i>Stephanodiscus</i>	4	-	2	4	1	-	1
60	<i>Thalassiosira</i>	2	-	2	1	-	-	-
61	<i>Asterionella</i>	2	1	2	1	1	2	1
62	<i>Diatoma</i>	7	1	6	1	1	1	1
63	<i>Fragilaria</i>	19	8	13	6	4	7	10
64	<i>Fragilariforma</i>	1	-	1	1	1	1	-
65	<i>Hannaea</i>	1	-	-	-	-	1	-
66	<i>Meridion</i>	1	-	1	1	-	1	1
67	<i>Opephora</i>	1	-	1	-	-	-	-
68	<i>Pseudostaurosira</i>	4	3	2	2	2	4	3
69	<i>Staurosira</i>	4	2	3	3	2	2	2
70	<i>Staurosirella</i>	3	3	2	2	2	3	3
71	<i>Synedra</i>	2	-	1	-	-	1	-
72	<i>Tabellaria</i>	4	3	2	2	2	3	3
73	<i>Tetracyclus</i>	2	-	2	1	1	1	2
Всего:		502	157	371	181	130	219	174
<i>Примечание.</i> Здесь и далее: АТ - озёра арктической тундры, ТТ - озёра типичной тундры, ЮТ - озёра южной субарктической тундры, ЛТ - озёра лесотундры, СТ - озёра северной тайги, ГО - озёра горных областей высотной поясности.								

При достаточно большом таксономическом разнообразии диатомей набор массовых видов в водоемах сравнительно невелик. Половина (51%) массовых видов является эпифитами, планктонными формами представлено лишь 14% таксонов. К основным доминантам следует отнести *Tabellaria flocculosa* (Roth.) Kutz. (в 37 озерах или 45% всех водоемов), *T. fenestrata* (Lungb.) Kutz. (19,5%), *Staurosirella pinnata* Ehr. (29%), *Staurosira venter* (Ehr.) Cleve & Möller (35,4%) и *S. construens* Hust. (17%).

В целом диатомовая флора изученных водоемов представляет флору умеренно континентального типа, характерную для Палеарктики. По составу и характеру экологических групп определяется как пресноводная, характерная для относительно мелководных водоемов со слабощелочной активной реакцией среды.

Из общего количества видов и разновидностей наибольшей частотой встречаемости отмечены: *Sellaphora pupula* (встречен в 88% озер), *Tabellaria flocculosa* (87%), *Stauroneis*

phoenicenteron (81%), *S. anceps f. gracilis* (75%), *Eunotia praeurupta* (73,5%), *Staurosirella pinnata* (72,3%), *Navicula radiosa* (68,7%), *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria capucina* и *Achnanthydium minutissimum* (по 65%), а также *Amphora libyca* (63,9%).

Диапазон видового богатства (числа видов и внутривидовых разновидностей) диатомовых флор 83 озер колеблется от 6 до 77 при среднем значении 45. Видовое богатство выше в озерах, расположенных в более высоких широтах региона (табл. 3). Доля редких видов диатомей значительно выше в озерах южной субарктической тундры.

Таблица 3

Показатели средних значений индексов видового разнообразия и доминирования диатомовых водорослей озер, принадлежащих к различным природным зонам

		АТ (n=6)	ТТ (n=33)	ЮТ (n=7)	ЛТ (n=5)	СТ (n=25)	ГО (n=7)
Количество видов		43	50	55	41	35	44
Доля редких видов (h)		0,33	0,35	0,46	0,37	0,33	0,43
Индексы	Шеннона-Уивера (H)	2,88	2,93	2,61	2,62	2,68	2,48
	Симпсона (мера доминирования) (C)	0,12	0,12	0,15	0,16	0,13	0,22
	Симпсона (разнообразия) (D)	11,78	11,90	6,78	9,13	10,05	8,56
	Выравненности Пиелу (E)	0,77	0,76	0,67	0,72	0,77	0,66
	Животовского (μ)	29,9	33,14	27,72	24,19	23,1	26,28
<i>Примечание.</i> Цветом выделены наибольшие значения.							

Множество индексов, основанных на относительном обилии видов, учитывают одновременно и видовое богатство, и количественные различия между видами. Одним из таких показателей является индекс Шеннона-Уивера, который увеличивает значимость редких видов. В среднем для 83 озер он принимает значение 2,77. Наименьшее и наибольшее значения равны соответственно 0,66 и 3,8. Исследуемые водоемы характеризуются достаточно высоким биологическим разнообразием, особенно следует отметить озера типичной тундры (2,93).

Такой показатель, как мера доминирования Симпсона (индекс Симпсона), позволяет оценить насколько равномерно распределены доли отдельных таксонов в сообществе. Высокие значения параметра указывают на дисбаланс в пользу численности небольшого количества видов. Мера доминирования в рассматриваемых озерных экосистемах варьирует в диапазоне от 0,04 до 0,72, в среднем составляя 0,14. Указанный параметр для диатомовых комплексов высоких широт является достаточно низким, что объясняется наличием большого количества «обычных» и «единичных» видов диатомей и небольшим количеством «массовых видов».

Индекс разнообразия Симпсона, который представляет собой обратно пропорциональную предыдущему параметру характеристику, изменяется в диапазоне от 1,4 до 28,2, при среднем значении для всей выборки, равном 10,5. Относительно более высокое видовое разнообразие в соответствии с данным показателем отмечено в озерах типичной тундры (до 11,9).

Индекс Животовского (μ) варьирует в широких пределах (3,11-56,22 при среднем 28,27). В целом значения данного индекса также позволяют сказать, что выборка характеризуется достаточно высоким биологическим разнообразием, наибольшим средним обладают водоемы типичной тундры.

Индекс Пиелу (E) указывает насколько относительная численность особей при данном количестве видов распределена в сообществе равномерно. Низкие значения показателя свидетельствуют о дисбалансе, демонстрирующем наличие таксонов, резко отличающихся по количеству особей. Распределение среди видов в изучаемых озерах изменяется от 0,37 до 0,93, составляя в среднем для выборки 0,74. В сообществах большинства озерных групп (АТ, ТТ и СТ) индекс E остается постоянным. Несмотря на присутствие в каждом озере массовых видов, индекс Пиелу все же характеризуется высоким значением благодаря тому, что данный дисбаланс разбавляется большим количеством обычных и единичных таксонов.

Доля редких видов (h , вычисленная из индекса Животовского) варьирует от 0,096 до 0,6, в среднем равна 0,36. Наибольшее средневзвешенное показателя зафиксировано для озер южной тундры. В целом выборка из 83 исследуемых водных объектов характеризуется достаточно высокой долей редких видов и большим количеством таксонов с малыми значениями относительной численности. В водоемах распространены виды, на долю которых приходится значительная часть зафиксированных особей отдела диатомовых водорослей.

Заключение

Диатомовые комплексы поверхностных донных отложений 83 озер, расположенных в северной части Якутии (низовьях рек Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма) представлены большим количеством видов и разновидностей (502 таксона) из 3 классов (Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae, Bacillariophyceae). Наибольшим числом видов представлены роды *Navicula* (49 таксонов), *Pinnularia* и *Eunotia* (по 37), *Nitzschia* (33), *Achnanthes* (27) и *Cymbella* (24). Относительно высокая доля одно- и двувидовых родов (48%) является отличительной чертой флоры фитопланктона северных озер [5]. Наибольшей частотой встречаемости среди видов характеризуются *Sellaphora pupula*, *Tabellaria flocculosa* и *Stauroneis phoenicenteron*. Доминирование перечисленных выше таксонов диатомей в озерах высоких широт объясняется тем, что эти виды наиболее адаптированы к

существованию в условиях резко континентального климата, повсеместного распространения многолетней мерзлоты и нестабильного гидрологического режима большинства водоемов региона. Рассчитанные индексы, определяющие степень видового богатства, выравненности, разнообразия и доминирования сообществ диатомовых водорослей, указывают на достаточно высокое биоразнообразие и выравненность диатомовых комплексов высоких широт.

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности научно-исследовательской работы № 5.1771.2014/К «Реконструкция климатических изменений голоцена Центральной Якутии с применением комплексных геоэкологических лимнологических методов».

Список литературы

1. Андреев В.Н. Растительность Якутии // Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. - М. : ГУГК, 1989. - 115 с.
2. Васильева И.И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии. – Якутск : Якутский науч. центр СО АН СССР, 1989. - 48 с.
3. Давыдова Н.Н. Диатомовые водоросли – индикаторы экологических условий водоемов в голоцене. - Л., 1985. - 244 с.
4. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения озер. Сер.: История озер СССР. - Л. : Наука, 1986. - С. 69-101.
5. Объединенная таксономическая информационная служба [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.itis.gov> (дата обращения: 11.03.2015).
6. Пестрякова Л.А. Диатомовые комплексы озер Якутии : монография. – Якутск : Изд-во ЯГУ, 2008. - 197 с.
7. Современный таксономический состав микроскопических водорослей и родственных им организмов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://nordicmicroalgae.org/ru>. - (дата обращения: 11.03.2015).
8. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera // Cambridge University Press, 1990. - 747 pp.

Рецензенты:

Исаев А.П., д.б.н., заведующий лабораторией мерзлотного лесоведения ИБПК СО РАН, г. Якутск;

Шадрина Е.Г., д.б.н., профессор кафедры биологии ИЕН СВФУ, г. Якутск.