

СХОДСТВО ТАКСОНОМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОЗЕР СЕВЕРА 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), Якутск, ул. Белинского, д.58), e-mail: rusgorodnichev@gmail.com

В статье приведена оценка сходства флористического состава диатомовых водорослей озерных экосистем, расположенных на Севере Якутии в бассейнах крупных рек (Анабар, Оленек, Лена, Индигирка и Колыма). Все исследуемые водные объекты по таксономическому составу охарактеризованы как обладающие высокой специфичностью и достаточно низким сходством. Коэффициенты Серенсена-Чекановского и Брея-Кертиса во всех случаях менее 0,7. Исследуемые водоемы могут быть объединены в группы на основании относительного сходства флористического состава, внутри которых основным группирующим признаком выступает общность массовых видов. Характерной структурой таксономического состава для экосистем озер Севера Якутии является наличие нескольких массовых видов (доминантов и субдоминантов) на фоне большого количества таксонов с невысокой относительной численностью (единичных видов).

Ключевые слова: диатомовые водоросли, индекс Брея-Кертиса, индекс Серенсена-Чекановского, кластерный анализ, Якутия.

SIMILARITY OF DIATOM ASSEMBLAGES FROM LAKES IN THE NORTH 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

In this article we show an estimation of taxonomic composition similarity of diatom algae from lake ecosystems, which are located in the North of Yakutia, on the water shields of major rivers (Anabar, Olenek, Lena, Indigirka and Kolyma). All observed water objects accordance with their taxonomic composition were characterized like lakes with high level of specific and with pretty low similarity. Indexes of Bray-Curtis and Sørensen-Czekanowski were less than 0,7 in all cases. Observed lakes could be integrated into the clusters accordance with relative similarity of floristic composition. Main overall parameter inside that clusters was conjoint mass species. Widespread feature of taxonomic structure for lake ecosystems in the North of Yakutia is existence of few mass species (dominant and subdominant taxa) with great quantities of taxa with low relative abundance.

Keywords: diatom algae, Bray-Curtis index, Sørensen- Czekanowski index, cluster analysis, Yakutia.

Якутия является одним из наиболее перспективных в хозяйственном отношении регионов Российской Федерации, это обусловлено значительными запасами минеральных ресурсов и обширными нетронутыми природными богатствами. Одним из наиболее ценных компонентов природной среды являются водоемы, выступающие как в роли источников ценной питьевой воды, так и местообитанием для множества гидробионтов. Одним из основных структурообразующих компонентов водной экосистемы являются водоросли отдела Bacillariophyta (диатомовые водоросли). Данная группа организмов выступает в роли индикатора условий окружающей среды и значительного продуцента во всех природных водоемах [1, 10]. В настоящее время недостаточное внимание уделено тому, насколько велика общность современного таксономического состава диатомей водоемов на территории Якутии, именно поэтому данное исследование является актуальным.

Материалы и методы

В работе произведен анализ таксономического состава диатомовых водорослей 83 озер северной части Якутии. Материалом для данной работы послужили диатомовые водоросли первого сантиметра донных отложений озер, расположенных в бассейнах рек Анабар (42 водных объекта), Оленек (8), Лена (18), Индигирка (12 водоемов) и Колыма (3 озера).

Пробы донных отложений отобраны дночерпателем типа Экмана-Берджи и гравитационным буром фирмы UWITEC в период с 2002 по 2012 гг. в рамках совместных российско-германских экспедиций, проведенных сотрудниками кафедры экологии института естественных наук СВФУ (г. Якутск) и Института полярных и морских исследований им. А. Вегенера (г. Потсдам, Германия). Консервация, лабораторная обработка материалов и определение таксономического состава диатомей выполнена в соответствии со стандартными методиками [4, 5, 8]. В работе применена система отдела Bacillariophyta, предложенная Раундом, Кравфордом и Манном [11].

В качестве исходных данных для статистического исследования применены данные относительной численности (относительного обилия), которую вид, разновидность или форма имеют в водоеме (в %). Относительная численность определена в соответствии с методикой предложенной Давыдовой Н.Н. [3].

Для определения таксономического сходства применены индексы сходства Серенсена-Чекановского и Брея-Кертиса. В программе PAST [9] проведен кластерный анализ методом невзвешенного парного среднего (UPGMA), в качестве меры сходства использован индекс сходства Брея-Кертиса. Для удобства отображения на дендрограмме сходства озерам присвоены номера, включающие сокращенное название реки, на водосборе которой озеро расположено и порядковый номер (рис. 1).

Результаты и обсуждение

В донных отложениях 83 озер обнаружено 502 вида и разновидности диатомовых водорослей, принадлежащих 73 родам, 34 семействам, 16 порядкам и 3 классам (Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae и Bacillariophyceae) [2].

Основными доминантами являются такие таксоны как *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 %).

Индекс Серенсена-Чекановского для исследуемой выборки варьирует от 0 (между флористическими списками озер Лен5 и таких водных объектов как Ан8, Ан9, Ан11, Ан12, Ан16, Ан22, Ан27, Ан30, Ол2, Ол8, Лен14, Лен15, Лен29, Инд28 и Инд29) до 0,69 (между

Ол1 и Ол7), в среднем составляя 0,3. Наименьшие значения меры сходства Серенсена-Чекановского отмечены между озером Лен5 (в виду малого количества зафиксированных таксонов рангом ниже рода (6 видов и разновидностей) в отмеченном озере) и рядом водоемов водосборных территорий рек Анабар, Оленек, Лена и Индигирка.

Таким образом, в целом для всей выборки изучаемых водных объектов характерна достаточно высокая специфичность таксономического состава диатомей, характеризующаяся низкими значениями меры сходства Серенсена-Чекановского.

Индекс Брея-Кертиса, для исследуемой выборки варьирует от 0 до 0,66 (между Ол2 и Ол3), в среднем составляя 0,175. Нулевые значения показателя зафиксированы между таксономическими списками озер Лен5 и ряда водных объектов: Ан8, Ан9, Ан11, Ан12, Ан16, Ан22, Ан25, Ан27, Ан30, Ол2, Ол8, Лен14, Лен15, Лен29, Инд28 и Инд29. Данное обстоятельство объясняется малой численностью зафиксированных створок диатомей при малом количестве видов и разновидностей зафиксированных в озере Лен5.

В целом значения меры сходства Брея-Кертиса свидетельствуют о достаточно низкой степени сходства таксономического состава и значений относительной численности диатомовых водорослей изучаемых водных объектов.

Внутри выборки водных объектов наблюдается значительное различие таксономического состава между озерами как по коэффициенту Серенсена-Чекановского, учитывающего факт встречаемости таксонов между озерами, так и по коэффициенту Брея-Кертиса, который позволяет брать во внимание и относительное обилие таксонов. Несмотря на высокую специфичность, внутри исследуемой выборки можно установить группы озер с относительно высоким сходством между таксономическим составом водных объектов. В ходе проведения кластерного анализа на уровне, соответствующем значению меры сходства Брея-Кертиса равном примерно 0,23 можно выделить 14 кластеров, включающих от 1 до 28 озер (рис. 1, табл. 1).

Кластер 1 объединил 4 озера (Ан8, Ан30, Ан40 и Инд33). Внутри указанной группы водоемы характеризуются относительно невысоким количеством отмеченных таксонов рангом ниже рода. Количество видов и разновидностей варьирует от 31 (Ан40) до 45 (Ан8), в среднем составляя 37. Во всех озерах отмечено не менее 2 видов-доминантов. Таксон с максимальной относительной численностью охватывает во всех водных объектах более 36 % отмеченных створок (от 36,2 до 52,4 %). Хотя бы в 3 из указанных водных объектов в качестве доминантов и субдоминантов отмечены *Aulacoseira subarctica*, *Asterionella formosa* и *Tabellaria fenestrata*. В озерах территории бассейна р. Анабар по относительной численности преобладает вид *Aulacoseira subarctica* (более 36,2 %), в озере Инд33 - *Asterionella formosa* (47,9 %).

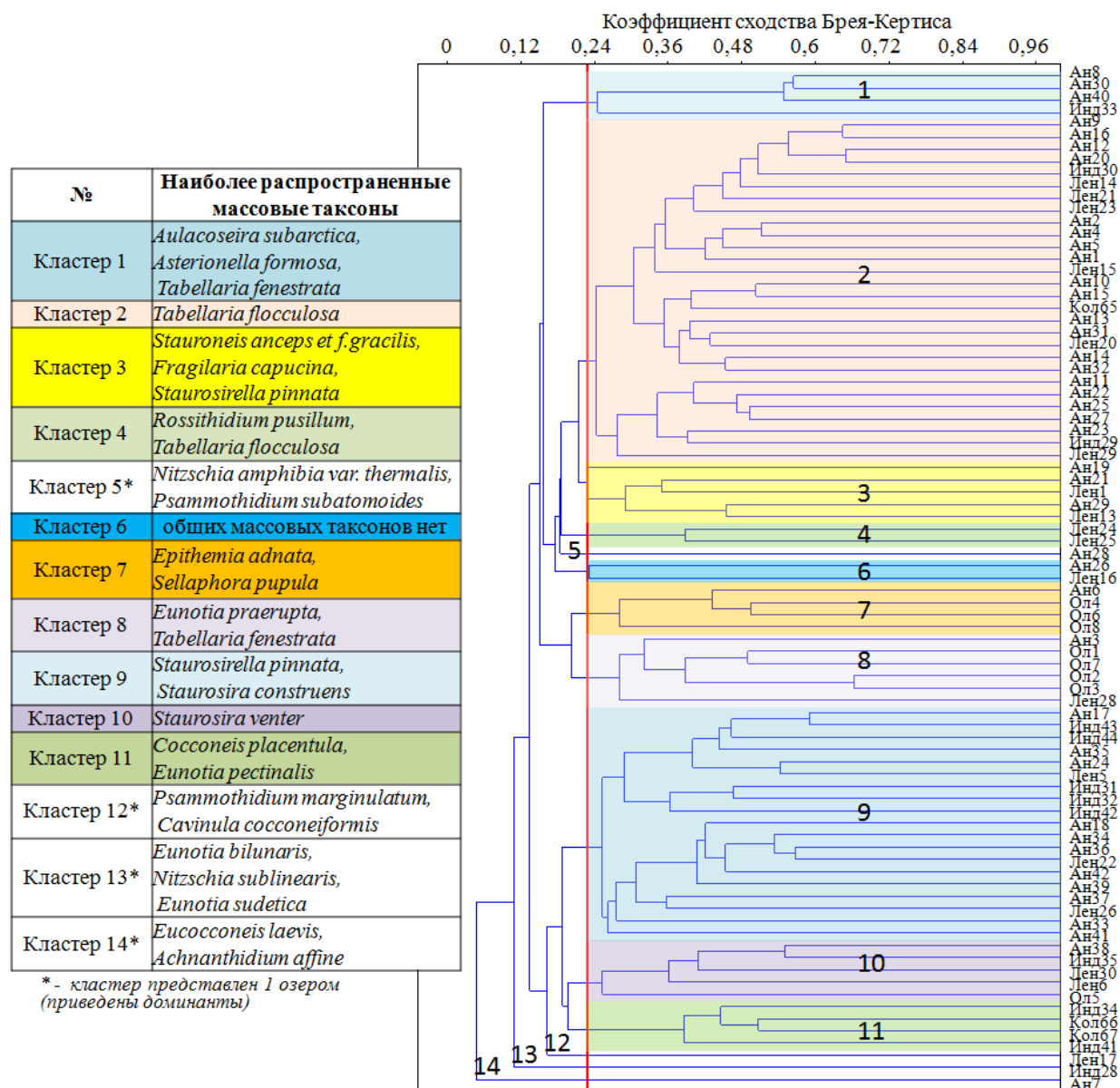


Рис. 1 Дендрограмма сходства флористического состава озер

Кластер 2 является наиболее крупным, объединил 28 озер бассейнов рек Анабар (19 водоемов), Лена (6), Индигирка (2) и Колыма (1). Количество видов и разновидностей диатомей варьирует от 22 (Ан5) до 77 (Ан31), в среднем составляя 51. Кластер характеризуется средней относительной численностью доминантов равной 36,2 %. Количество доминантов в таксономическом составе озер варьирует от 1 до 3. Практически во всех озерах в качестве массового вида (среди доминантов или субдоминантов) присутствует *Tabellaria flocculosa*. Во всех озерах, где зафиксирован вид в качестве массового, его относительное обилие превышает 6,7 % (до 46,4 % - в Ан20). Лишь в 3 озерах кластера данный вид в качестве массового не зафиксирован (Ан11, Ан25 и Лен29).

Таблица 1

Распределение озер кластеров по водосборам рек и природным зонам

№ кластера	Количество озер	Водосборные территории рек					Природные зоны и подзоны					
		Анабар	Оленек	Лена	Индигирка	Колыма	арктическая тундра	типичная тундра	южная тундра	лесотундра	северная тайга	горные области высотной поясности
Кластер 1	4	3	-	-	1	-	-	2	-	1	1	-
Кластер 2	28	19	-	6	2	1	2	20	-	1	2	3
Кластер 3	5	3	-	2	-	-	2	3	-	-	-	-
Кластер 4	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-
Кластер 5	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Кластер 6	2	1	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-
Кластер 7	4	1	3	-	-	-	-	-	-	1	3	-
Кластер 8	6	1	4	1	-	-	-	1	-	-	5	-
Кластер 9	19	11	-	3	5	-	-	3	6	2	5	3
Кластер 10	5	1	1	2	1	-	1	-	1	-	3	-
Кластер 11	4	-	-	-	2	2	-	-	-	-	4	-
Кластер 12	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Кластер 13	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-
Кластер 14	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-

Кластер 3 включает в себе 5 объектов водосборов рек Анабар и Лена (Ан19, Ан21, Ан29, Лен1 и Лен13). Количество видов и внутривидовых таксонов в озерах варьирует от 40 до 73, в среднем составляя 57. Количество доминантов изменяется от 0 (Ан19) до 2 (Ан29). Практически во всех озерах в качестве массового вида присутствует *Stauroneis anceps et f.gracilis* (кроме Ан19). В 3 водоемах в качестве доминантов и субдоминантов отмечены *Fragilaria capucina* и *Staurosirella pinnata*.

Кластер 4 сформирован 2 озерами водосбора р. Лена (Лен24 и Лен25), коэффициент сходства Брея-Кертиса между указанными водоемами 0,39. Количество видов и разновидностей, отмеченных в указанных водных объектах, соответственно равно 57 и 59. Для данных водоемов характерным является наличие 3 доминантов. В качестве одного из доминантов в обоих водоемах отмечен *Rossithidium pusillum*, в качестве одного из субдоминантов *Tabellaria flocculosa*.

Кластер 5 сформирован озером Ан28, которое характеризуется высокой долей доминантов (52,3 %). Озеро представлено 2 доминирующими таксонами *Nitzschia amphibia var. thermalis* (38,4 %) и *Psammothidium subatomoides* (13,8 %). В качестве субдоминантов представлены *Planothidium lanceolatum* (6,5 %), *Tabellaria flocculosa* (5,8 %) и *Achnanthes fragilariodes* (5 %).

Кластер 6 образован 2 водоемами - Ан26 и Лен16. Для данных водоемов характерно достаточно высокое количество зафиксированных родов рангом ниже рода (63 - для Ан26 и 58 - для Лен16). Между таксономическими составами озер коэффициент Брея-Кертиса является низким и равен 0,23. Для обоих водоемов характерна сравнительно низкая суммарная доля доминантов (до 21,6 %) и высокая относительная численность обычных видов (более 44,8 %). Среди массовых видов общих таксонов не выявлено.

Доминанты и субдоминанты Ан26 представлены *Cavinula jaernefeltii* (11,1 %), *Tabellaria flocculosa* (10,5 %), *Cavinula pseudoscutiformis* (9,5 %) и *Sellaphora bacillum* (5,8 %). Массовые виды Лен16 - *Caloneis bacillum* (20,6 %), *Navicula rhynchocephala* (6,1 %) и *Stauroneis anceps et f.gracilis* (6,1 %).

Кластер 7 состоит из 4 озер расположенных в бассейнах рек Анабар (Ан6) и Оленек (Ол4, Ол6 и Ол8), характеризуется количеством видов и внутривидовых таксонов от 31 (Ол6) до 39 (Ол8), в среднем - 36,5. В таксономическом составе массовых видов указанных озер наблюдается сходство. Так в 3 озерах (Ан6, Ол4 и Ол6) в качестве доминантов и субдоминантов отмечен вид *Epithemia adnata*, в качестве субдоминанта *Sellaphora pupula*. Среди указанных озер у двух наблюдается присутствие в качестве массового вида *Tabellaria fenestrata* (Ан6 и Ол6), *Navicula radiosa* (Ол4 и Ол6) и *Achnantheidium affine* (Ан6 и Ол4). Озеро Ол8 в целом отличается от указанных трех водоемов наиболее сильно, однако, среди доминантов имеет общего с озером Ол4 (*Amphora ovalis*).

Кластер 8 представлен 6 озерами, расположенными в бассейнах рек Анабар (Ан3), Оленек (Ол1, Ол2, Ол3 и Ол7) и Лена (Лен28). Количество зафиксированных видов и внутривидовых таксонов в озерах варьирует от 16 (Ан3 и Ол2) до 37 (Лен28). В целом для всех указанных озер характерна высокая доля доминантов, варьирующая от 30 (Ол7) до 78,7 % (Ол2). Характерной особенностью кластера является то, что в качестве доминанта во всех озерах представлен вид *Eunotia praerupta*. Относительная численность его варьирует от 14,8 (Лен28) до 53,8 % (Ол3). В качестве массового вида во всех водных объектах отмечен вид *Tabellaria fenestrata*, с относительной численностью от 6,8 (Ол3) до 16,1 % (Ол2).

Кластер 9 объединяет 19 озер территории водосборов рек Анабар (Ан17, Ан18, Ан24, Ан33, Ан34, Ан35, Ан36, Ан37, Ан39, Ан41 и Ан42), Лена (Лен5, Лен22 и Лен26) и Индигирка (Инд31, Инд32, Инд42, Инд43 и Инд44). Количество зафиксированных в озерах видов и внутривидовых таксонов варьирует в широких пределах, от 6 (Лен5) до 77 (Ан33), в среднем составляя 43. Для озер кластера характерно преобладание доминантов в структуре видов по значениям относительного обилия, доля которых варьирует от 25,6 (Лен26) до 84,4 % (Лен5). Другой особенностью является наличие общих массовых видов. Так *Staurosirella pinnata* является доминантом в 18 из 19 озер (кроме Ан39), относительная численность вида

в озерах, где он является доминантом, варьирует от 10,4 % (Ан18 и Ан33) до 84,4 % (Лен5). Второй широко встречающийся массовый вид кластера - *Staurosira construens*, отмечен в 11 озерах. Характеризуется относительным обилием от 5,4 (Ан41) до 43,5 % (Ан39).

Кластер 10 объединяет 5 озер бассейнов рек Анабар (Ан38), Оленек (Ол5), Лена (Лен6 и Лен30) и Индигирка (Инд35). Число зафиксированных таксонов рангом ниже рода варьирует от 15 (Лен6) до 70 (Ан38), в среднем составляя 33. Как и для большинства других кластеров отмечена высокая суммарная доля доминантов, варьирующая от 48,5 (Ол5) до 81 % (Лен6). Во всех озерах кластера в качестве одного из доминантов зафиксирован вид *Staurosira venter*, относительное обилие таксона варьирует от 16,3 (Ол5) до 49,5 % (Инд35). В 3 озерах в качестве массового вида встречен *Staurosirella pinnata* (Ан38, Лен30 и Инд35). В водоемах Ан38 и Лен6 зафиксирована высокая доля *Pseudostaurosira brevistriata*.

Кластер 11 представлен 4 озерами бассейнов рек Индигирка (Инд34, Инд41) и Колыма (Кол66 и Кол67). Количество зафиксированных в озерах видов и разновидностей изменяется от 39 (Инд41) до 54 (Инд34), при среднем 44. Для озер указанного кластера характерна высокая доля обычных видов, суммарное относительное обилие которых варьирует от 30,4 (Инд34) до 45,7 % (Инд41). Доля доминантов изменяется от 27,3 (Кол66) до 40,7 % (Инд34). Для всех озер характерно наличие 2 доминантов. Характерной особенностью водоемов является наличие общего доминанта, которым является *Cocconeis placentula*. Доля указанного таксона от общего количества зафиксированных диатомей варьирует от 11,9 (Кол66) до 23,2 % (Инд34). Среди субдоминантов в 3 из 4 озер (кроме Инд34) встречается *Eunotia pectinalis*. В половине озер кластера (Инд34 и Кол66) среди массовых видов зафиксированы *Staurosira venter* и *Staurosirella pinnata*.

Кластер 12 представлен озером Лен17. В указанном объекте зафиксировано 38 видов и разновидностями диатомей, примерно в равных пропорциях приходящихся на доминантов (33,2 %), субдоминантов (26,7 %) и обычные виды (27,4 %). Среди доминантов в озере отмечены *Psammothidium marginulatum* (17,8 %) и *Cavinula cocconeiformis* (15,4 %). Субдоминанты представлены *Staurosirella pinnata*, *Campylodiscus hibernicus*, *Diploneis boldtiana* и *Staurosira construens*.

Кластер 13 представлен озером Инд28. В данном водоеме отмечено 27 таксонов рангом ниже рода. На долю доминантов приходится 52,3 % относительной численности диатомей. Достаточно высокое относительное обилие демонстрируют обычные виды (27,9 %). Среди доминантов представлено 3 таксона: *Eunotia bilunaris* (27,5 % общей численности диатомовых водорослей), *Nitzschia sublinearis* (13,9 %), *Eunotia sudetica* (10,8 %). В качестве субдоминантов представлены *Eunotia arcus* (8,4 %) и *Gomphonema angustum* (5,6 %).

Кластер 14 представлен озером Ан7. Данный водный объект характеризуется самыми низкими значениями коэффициента таксономического сходства Брея-Кертиса (максимальное значение равно 0,16 - с озером Ол2) и соответственно самой высокой видовой специфичностью. В озере обнаружено 20 таксонов рангом ниже рода. На долю доминантов, которые представлены *Eucocconeis laevis* (42,8 %) и *Achnanthydium affine* (35,3 %), приходится более 78 % общей численности диатомей. В качестве субдоминанта отмечен вид *Eucyonema silesiacum* (5,2 %).

Таким образом, внутри выделенных кластеров исследуемые озера характеризуются достаточно высокой видовой специфичностью (уникальностью). Даже близко расположенные водные объекты значительно отличаются по таксономическому составу. Внутри выделенных групп водоемов обнаруживается высокая общность массовых видов.

Заключение

Все исследуемые озерные экосистемы по таксономическому составу охарактеризованы как обладающие высокой специфичностью (индексы сходства менее 0,7). Исследуемая выборка водоемов может быть подразделена на 14 кластеров, внутри которых объединены озера с относительно сходным таксономическим составом. В роли главного объединяющего компонента выступают общие массовые таксоны, характеризующиеся высокой относительной численностью. Характерной особенностью таксономической структуры диатомовых комплексов озер северной части Якутии является наличие резко преобладающих по численности видов и разновидностей (доминантов и субдоминантов) на фоне большого количества таксонов с малым относительным обилием [6, 7].

Работы выполнены 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. Васильева И. И. Анализ видового состава и динамики развития водорослей водоемов Якутии. - Якутск: Якутский науч. центр СО АН СССР, 1989. - 48 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: 09.06.2015).
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. Серия 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. Пестрякова Л. А., Слепцова Л. С. Диатомовая флора озер Якутии // Вестник Якутского государственного университета. - 2007. - Т. 4, № 1. - С. 17-22.
8. Современный таксономический состав микроскопических водорослей и родственных им организмов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://nordicmicroalgae.org/ru>. - (дата обращения: 11.03.2015).
9. Hammer O., Harper D.A.T. and Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // *Paleontologia Electronica*. – 2001. – 4(1). – 9 pp.
10. Pestryakova L. A., Herzsuh U., Wetterich S., Ulrich M. Present-day variability and Holocene dynamics of permafrost-affected lakes in central Yakutia (Eastern Siberia) // *Journal of Quaternary Science*. - 2012. - Vol. 51. – P. 56-70.
11. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms: Biology and Morphology of the Genera // Cambridge University Press, 1990. - 747 pp.

Рецензенты:

Черосов М.М., д.б.н., заведующий кафедрой экологии ИЕН СВФУ, г. Якутск;

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