

к уменьшению продуцирования биомассы, снижению биологической активности, трансформации процессов разложения и нарушению буферности системы. Вторая и третья стадии нарушенности почв наблюдаются на участках, где была зафиксирована полная или частичная гибель первоначального растительного сообщества (лиственничника), поэтому в настоящее время на этих территориях отмечается смена типа растительности и водного режима, что в свою очередь обязательно станет причиной изменения характера типобразующих почвенных процессов.

Литература

1. *Реки и озера Якутии*. Краткий справочник / Отв. ред. В.И. Агеев. – Якутск: Бичик, 2007. – 136 с.
2. *Андреев В.Н.* Сезонная и погодная динамика, фитомассы в субарктической тундре. – Новосибирск: Наука, 1978. – 189 с.
3. *Готовцев С.П., Находкин Н.А., Барышев Е.В., Копырина Л.И.* О причинах подтопления населенных пунктов в бассейне р. Алазеи // Наука и техника в Якутии. – Якутск, 2008. – № 2 (15). – С. 23–26.
4. *Davydov S.P., Fyodorov-Davydov D.G., Neff J.C. et al.* Changes in Active Layer Thickness and Seasonal Fluxes of Dissolved Organic Carbon as a Possible Baseline for Permafrost Monitoring. Ninth International Conference on Permafrost. Vol.1. Institute of Northern Engineering. University of Alaska Fairbanks. USA. – 2008. – P. 333–336.
5. *Fyodorov-Davydov D.G., Kholodov A.L., Ostroumov V.E. et al.* 2008. Seasonal Thaw of Soils in the North Yakutian Ecosystems. Ninth International Conference on Permafrost. Volume 1. Institute of Northern Engineering. University of Alaska Fairbanks. USA. – 2008. – P. 481–486.
6. *Сивцева А.И., Мостахов С.Е., Дмитриева З.М.* География Якутской АССР. – Якутск: Кн. изд-во, 1984. – 168 с.
7. *Национальный атлас почв Российской Федерации*. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
8. *Классификация и диагностика почв России*. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
9. *Григорьев М.Н., Куницкий В.В., Чжан Р.В., Шелёв В.В.* Об изменении геоэкологических, ландшафтных и гидрологических условий в арктической зоне Восточной Сибири в связи с потеплением климата. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2009. – С. 5–11.
10. *Иванова А.З., Десяткин Р.В.* Криоземы бассейна р. Алазея // Наука и образование. – 2011. – №2(62). – С.70–73.
11. *Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В.* Почвы Северной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1979. – С.73–109.
12. *Еловская Л.Г.* Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. – 172 с.
13. *Schwertmann U.* Some properties of soil and synthetic iron oxides // *Iron in Soil and Clay Minerals*. – Dordrecht: Reidel, 1988. – P. 203–250.
14. *Bodegom P.M., Reeve J., Gon H.A.C.D.* Prediction reducible soil iron content from iron extraction data // *Biogeochemistry*. – 2003. – V.64. – P.231–245.
15. *Водяницкий Ю.Н.* Диагностика переувлажненных минеральных почв. – М.: ГНУ «Почвенный институт им. В.В.Докучаева РАСХН», 2008. – 80с.
16. *Десяткин Р.В., Оконешикова М.В., Десяткин А.Р.* Почвы Якутии. – Якутск, 2009. – 61 с.
17. *Аветов Н.А., Сопова Е.О., Головлева Ю.А. и др.* Диагностика гидроморфизма в почвах автономных позиций Северо-Сосьвинской возвышенности (Западная Сибирь) // *Почвоведение*. – 2014. – №11. – С. 1283–1292.
18. *Зайдельман Ф.Р.* Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 320 с.
19. *Зайдельман Ф.Р.* Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР: справочная книга. – М.: Колос, 1981. – 186 с.

Поступила в редакцию 06.02.2015

УДК 574.52

Зависимость состава диатомовых комплексов водоемов мегаполиса от параметров водной среды (на примере г. Санкт-Петербурга)

А.В. Лудикова

Институт озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

Приведены результаты изучения особенностей состава диатомовых комплексов поверхностного слоя донных отложений г. Санкт-Петербурга в зависимости от заданных параметров водной среды (глубины, содержания общего фосфора, рН и удельной электропроводности). Применение многомер-

ной статистики (канонического анализа соответствий) позволило выявить закономерности распределения видов диатомей в городских водоемах. Установлены количественно выраженные экологические предпочтения основных таксонов.

Ключевые слова: диатомовые комплексы, городские водоемы, гидрохимия, канонический анализ соответствий.

The paper discusses the results of the study of surface-sediment diatom species – environment relationships in the water bodies of St. Petersburg city. Application of canonical correspondence analysis (CCA) enabled establishing a relationship between the diatom assemblages composition and water depth, total phosphorus, pH and specific conductivity. Ecological preferences of main diatom species have been established as well.

Key words: surface-sediment diatoms, urban ponds, hydrochemistry, canonical correspondence analysis, St. Petersburg.

Введение

Диатомеи (*Bacillariophyta*) являются одной из наиболее важных индикаторных групп водорослей и широко используются для оценки качества водной среды, в связи с чем главной задачей представляется уточнение их экологических предпочтений в водных объектах, характеризующихся различной степенью антропогенного воздействия. Для водоемов урбанизированных территорий, как правило, присуще нарушение естественных процессов функционирования экосистем и формирования качества вод вследствие интенсивной антропогенной нагрузки и низкой способности к самоочищению [1].

Хорошая сохранность кремниевых створок диатомей в донных осадках дает возможность изучать диатомовые комплексы из поверхностного слоя донных отложений, которые, в отличие от живых водорослевых сообществ, представляют интегрированную пространственно-временную характеристику состояния водной экосистемы. В свою очередь использование методов многомерной статистики позволяет выявлять факторы среды, определяющие состав диатомового населения водоемов, и устанавливать количественно выраженные экологические предпочтения отдельных видов [2].

Целью настоящей работы стало установление зависимости состава современных диатомовых комплексов водоемов г. Санкт-Петербурга и распространения отдельных видов диатомей от различных параметров водной среды.

Материалы и методы

Исследован состав диатомовых комплексов из поверхностного слоя донных отложений 54 водоемов, рас-

положенных на территории г. Санкт-Петербурга (рис. 1), 3 из которых имеют естественное происхождение, тогда как остальные представляют собой искусственные образования (пруды, карьеры, пруды-водохранилища на малых реках). Основными источниками загрязнения водоемов г. Санкт-Петербурга являются автомагистрали и железные дороги, хозяйственно-бытовые стоки, поверхностный сток и дренажные воды, несанкционированные свалки в береговой зоне, рекреационное использование и т.д. [3]. Пробы отбирались в предполагаемой точке максимальной глубины, где происходит интегральная седи-

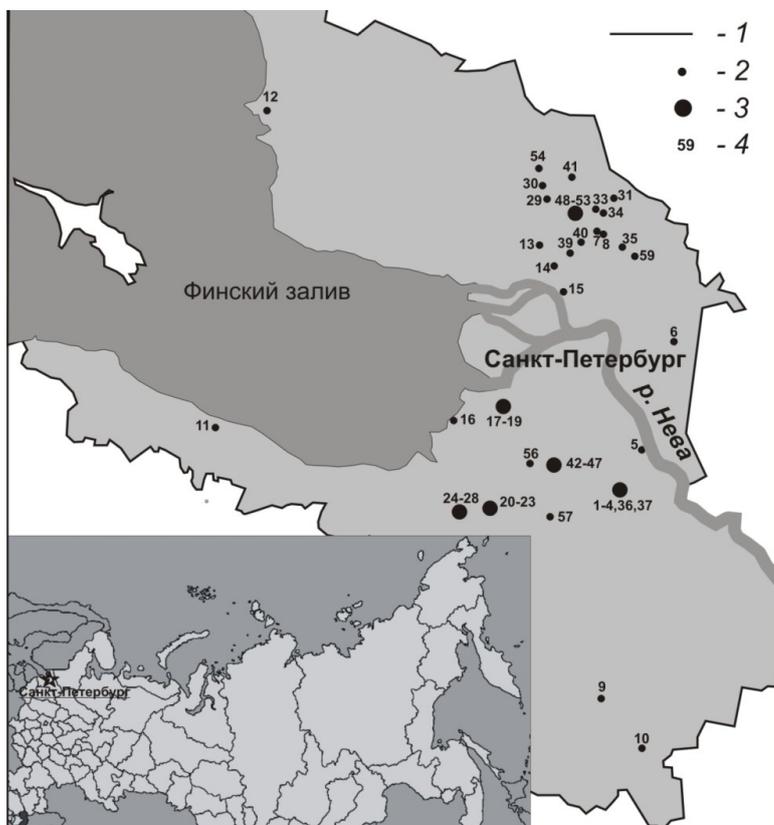


Рис. 1. Местоположение объектов исследования: 1 – граница г. Санкт-Петербурга; 2 – отдельные водные объекты; 3 – группы объектов; 4 – номера объектов

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОДОЕМОВ МЕГАПОЛИСА

ментация тонкого материала. Подготовка проб выполнялась по стандартной методике [4] за исключением обработки тяжелой жидкостью. Идентификация диатомей проводилась с применением определителей [5].

Для выявления зависимости состава диатомовых комплексов от параметров водной среды (максимальная глубина, H_{max} ; среднегодовые значения содержания общего фосфора; $P_{общ}$, удельной электропроводности, УЭП и активной реакции среды, pH) был использован канонический анализ соответствий (canonical correspondence analysis, CCA). Канонический анализ соответствий относится к методам прямой ординации – ординации с участием известных параметров среды. С учетом данных об относительной численности видов и значений параметров среды он позволяет синтезировать из комбинаций последних искусственные градиенты (канонические оси), вдоль которых происходит максимальное разделение видов по экологическим нишам [6]. Статистическая обработка данных производилась в программе CANOCO 4.5 [7].

Результаты и обсуждение

В поверхностном слое донных отложений 54 водоемов г. Санкт-Петербурга было обнаружено 350 видов и внутривидовых таксонов диатомей. Основные виды показаны на диаграмме (рис. 2). В математическую обработку



Рис. 2. Параметры водной среды и основные виды диатомей в диатомовых комплексах водоемов г. Санкт-Петербурга (по группам – см. объяснение в тексте)

были включены 133 таксона, отмеченные как минимум в 3 водоемах и достигающие относительной численности 1%, хотя бы в одном из них (рис. 3). Использование метода перестановок Монте-Карло показало, что все 4 параметра среды, включенные в ординацию, являются статистически значимыми ($p < 0,01$). В сумме на две первые оси канонического анализа соответствий приходится 13,3% совокупной изменчивости состава диатомовых комплексов. Корреляция между составом диатомовых комплексов и параметрами среды для осей 1 и 2 довольно высока (0,864 для оси 1 и 0,841 для оси 2), и вместе они «объясняют» 69,7% изменчивости состава диатомовых комплексов в зависимости от указанных параметров среды. Каноническая ось 1 ($\lambda = 0,219$) обнаруживает тесную связь с $P_{\text{общ}}$ и УЭП, тогда как каноническая ось 2 ($\lambda = 0,171$) коррелирует с глубиной и рН.

Поскольку значения активной реакции среды для исследованных водоемов изменяются в незначительных пределах, определяющим фак-тором ранжирования объектов вдоль оси 2, очевидно, является глубина. Таким образом, канонические оси 1 и 2 позволили в первом приближении разделить наиболее высокотрофные объекты и водоемы с меньшими концентрациями $P_{\text{общ}}$, а также относительно глубокие и более мелкие водоемы. Взаиморасположение объектов на ординационной диаграмме обусловлено сходством их видового состава (рис. 3, А), а их локализация относительно векторов изменчивости параметров среды позволяет выделять объекты с близкими значениями этих параметров. Это дает возможность выявить определенные закономерности изменения состава диатомовых комплексов в зависимости от заданных параметров среды. Сходство видового состава позволило объединить объекты исследования в 6 групп, характеризующихся определенными показате-

лями среды. Для каждой группы выделены наиболее характерные доминанты ($> 10\%$) и субдоминанты (5–10%) (таблица).

Группу I составили водоемы, имеющие на ординационной диаграмме положительные координаты по оси 1 и отрицательные по оси 2 (рис. 3, А). Это относительно глубокие преимущественно мезоэвтрофные и эвтрофные объекты с относительно невысокими значениями УЭП. В данную группу вошли 3 озера, являющиеся крупнейшими водоемами г. Санкт-Петербурга, а также искусственно созданные ландшафтные водоемы и пруды, расположенные в парковой зоне.

В группу II вошли объекты, имеющие на ординационной диаграмме положительные координаты как по оси 1 (кроме № 4), так и по оси 2. Таким образом, помимо сравнительно больших глубин, более высокой трофности и наиболее высоких значений рН, особенности состава диа-

Основные доминанты (>10%) и субдоминанты (5–10%) в составе диатомовых комплексов исследованных водоемов

Группа ССА		Параметры среды	Виды доминант-субдоминантного комплекса
Группа I	диапазон H_{max} 3,8–11 рН 6,86–8,17 $P_{\text{общ}}$ 28–158 УЭП 259–625		
Группа I	диапазон H_{max} 3,8–11 рН 6,86–8,17 $P_{\text{общ}}$ 28–158 УЭП 259–625	ср.знач. H_{max} 5,5 рН 7,56 $P_{\text{общ}}$ 74 УЭП 409	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Cyclotella pseudostelligera</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Cyclostephanos dubius</i> , <i>Cyclotella radiosa</i> , <i>Diatoma tenuis</i>
Группа II	диапазон H_{max} 2,8–9,5 рН 7,42–8,08 $P_{\text{общ}}$ 35–354 УЭП 533–2006	ср.знач. H_{max} 5,7 рН 7,85 $P_{\text{общ}}$ 140 УЭП 1213	<i>Stephanodiscus minutulus</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Cyclostephanos dubius</i> , <i>Diatoma tenuis</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Cyclotella ocellata</i>
Группа III	диапазон H_{max} 1,6–3,1 рН 7,12–7,90 $P_{\text{общ}}$ 550–1278 УЭП 385–1676	ср.знач. H_{max} 2,5 рН 7,40 $P_{\text{общ}}$ 976 УЭП 760	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Stephanodiscus minutulus</i> , <i>Cyclostephanos invisitatus</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cyclostephanos dubius</i>
Группа IV	диапазон H_{max} 0,7–2,0 рН 7,08–8,04 $P_{\text{общ}}$ 740–1091 УЭП 446–828	ср.знач. H_{max} 1,5 рН 7,39 $P_{\text{общ}}$ 862 УЭП 556	<i>Achnanthes hungarica</i> , <i>Cyclotella pseudostelligera</i> , <i>Navicula minima</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Cocconeis placentula</i> et var. <i>euglypta</i> , <i>Cyclostephanos invisitatus</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> , <i>Navicula seminulum</i>
Группа V	диапазон H_{max} 0,7–2,6 рН 6,74–8,03 $P_{\text{общ}}$ 107–312 УЭП 303–690	ср.знач. H_{max} 1,6 рН 7,44 $P_{\text{общ}}$ 188 УЭП 443	<i>Stephanodiscus minutulus</i> , <i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Cocconeis placentula</i> et var. <i>euglypta</i> , <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capucina</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Achnanthes hungarica</i> , <i>Achnanthes lanceolata</i> , <i>Cyclostephanos invisitatus</i> , <i>Cyclotella pseudostelligera</i> , <i>Navicula minima</i> , <i>Navicula seminulum</i> , <i>Nitzschia palea</i>
Группа VI	диапазон H_{max} 1,3–3,3 рН 6,59–8,54 $P_{\text{общ}}$ 12–335 УЭП 68–747	ср.знач. H_{max} 2,0 рН 7,4 $P_{\text{общ}}$ 97 УЭП 312	<i>Achnanthes minutissima</i> , <i>Fragilaria elliptica</i> , <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> , <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> , <i>Fragilaria pinnata</i> , <i>Cocconeis placentula</i> et var. <i>euglypta</i> , <i>Cymbella microcephala</i> , <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>gracilis</i> , <i>Fragilaria exigua</i> , <i>Fragilaria pinnata</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Navicula cryptocephala</i>

ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВА ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОДОЕМОВ МЕГАПОЛИСА

томовых комплексов здесь также в значительной степени определяются крайне высокими значениями УЭП (рис. 3, А). Это водоемы, образовавшиеся на месте карьеров по добыче глины, ландшафтные водоемы и пруды парковой зоны.

Группа III объединяет объекты с положительными, в целом, достаточно высокими значениями координат по оси 1 и также положительными, но небольшими значениями по оси 2. В целом это значительно менее глубокие водоемы по сравнению с объектами двух предыдущих групп, гипертрофные по содержанию $R_{общ}$, с высокими значениями УЭП. В группу вошли преимущественно водоемы, расположенные в парковой зоне, ландшафтные водоемы, а также ряд прудов водохранилищ.

Водоемы, вошедшие в группу IV, по своим характеристикам в целом сходны с объектами группы III: это гипертрофные объекты с высокими значениями УЭП, однако, их отрицательные координаты по оси 2 обусловлены меньшими глубинами (рис. 3, А). Аналогично предыдущей группе, сюда вошли водоемы парковой зоны, ландшафтные водоемы и пруды-водохранилища.

В отличие от объектов предыдущей группы, водоемам группы V, при малых глубинах, свойственны значительно более низкие концентрации $R_{общ}$ и значения УЭП. Группа также объединяет ландшафтные водоемы, пруды парковой зоны, некоторые пруды-водохранилища.

Наиболее многочисленна группа VI, объединившая

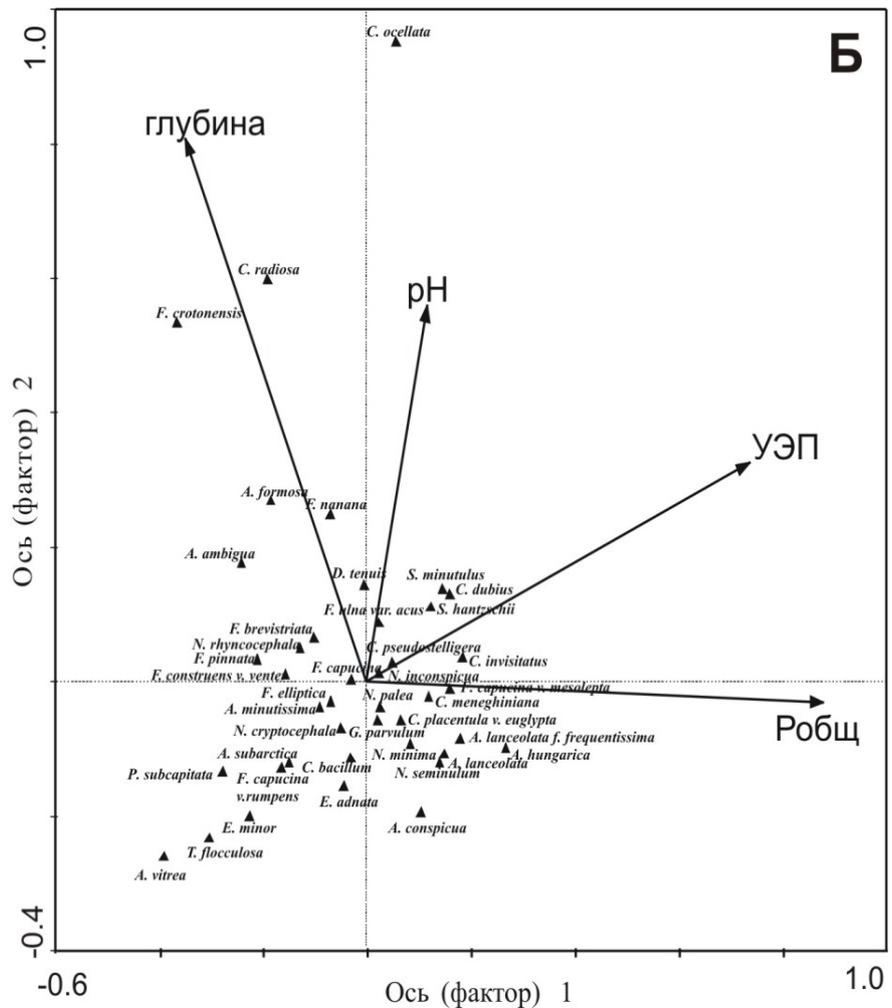
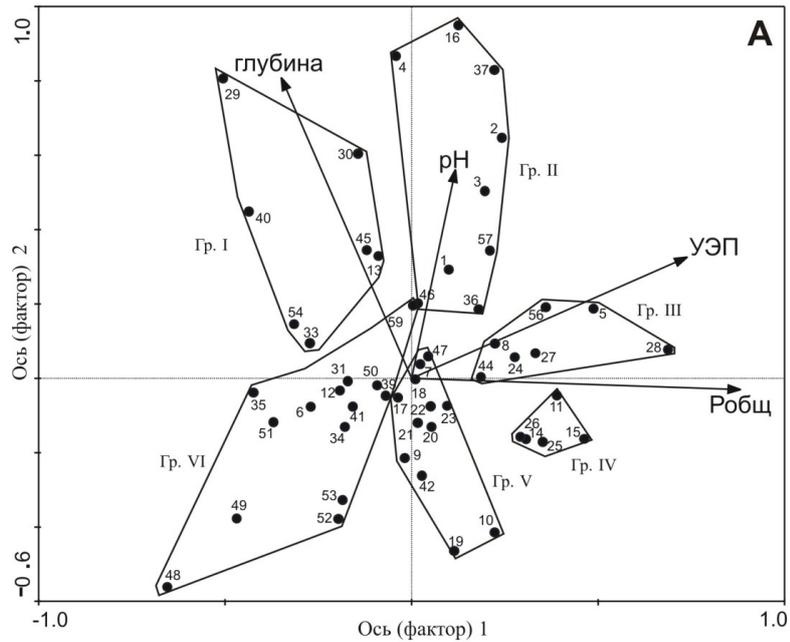


Рис. 3. Ординационная диаграмма канонического анализа соответствий: А – взаиморасположения объектов исследования и параметров среды; Б – распространения основных видов диатомей в зависимости от параметров среды

водоемы, имеющие отрицательные координаты по обеим осям (кроме №59). Для них характерны малые глубины, сравнительно невысокие концентрации $P_{\text{общ}}$ и в целом низкие значения УЭП. Это, преимущественно, водоемы городских парков и скверов, основная антропогенная нагрузка на которые, по-видимому, обусловлена рекреационным использованием.

Положение основных видов диатомей относительно канонических осей и векторов изменчивости параметров среды на ординационной диаграмме характеризует зависимость их распространения от экологических факторов и позволяет сделать вывод о надежности использования тех или иных видов в качестве биоиндикаторов (рис. 3, Б). Поскольку начало координат ординационной диаграммы отмечает среднее значение параметра водной среды, виды, расположенные в той части ординационного пространства, в которую направлен вектор изменчивости данного параметра, характерны для объектов, в которых его значения превышают среднее для выборки, и наоборот. Проекция вида на линию вектора изменчивости параметра среды аппроксимирует оптимальное значение данного параметра для указанного вида.

Таким образом, канонический анализ соответствий позволил установить определенные закономерности распространения некоторых основных таксонов в водоемах г. Санкт-Петербурга, обусловленные их экологическими предпочтениями. Так планктонные *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Cyclotella radiosia* (Grun.) Lemm. массово развиваются в мезоэвтрофных и эвтрофных объектах ($P_{\text{общ}} < 100$ мкг/л) с глубинами более 3 м (рис. 2, 3, Б). Относительно глубоководные (5 м и более) эвтрофные условия в сочетании с крайне высокими значениями УЭП, вероятно, благоприятствуют развитию планктонных *Cyclotella ocellata* Pant. и *Diatoma tenuis* Ag. Распространению планктонных *Stephanodiscus hantzschii* Grun. и *S. minutulus* (Kütz.) Cl. & Möll., очевидно, благоприятствуют содержание $P_{\text{общ}}$, более высокое, чем среднее значение для выборки (> 300 мкг/л), и высокая УЭП. Однако их присутствие в составе доминант-субдоминантного комплекса водоемов группы II свидетельствует о том, что глубина, и вероятно, более высокий pH также являются определяющими для их развития. В свою очередь планктонные *Cyclostephanos invisitatus* (Hohn & Hel.) Ther., Stoerm. & Håk., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., обростатели *Achnanthes hungarica* Grun., *A. lanceolata* (Grun.) Hust., *Fragilaria capucina* var. *mesolepta* Rabh. и донные *Navicula minima* Grun. и *N. seminulum* Grun.,

по-видимому, предпочитают гипертрофные и неглубокие (2–3 м и менее) объекты с высокой УЭП. Обростатель *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehr.) Cl. тяготеет к более мелководным объектам (< 3 м) с относительно менее высокими концентрациями $P_{\text{общ}}$. Планктонные *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round и *Cyclotella pseudostelligera* Hust. отмечаются в широком диапазоне условий (рис. 3, Б), однако, для первого в большей степени определяющими являются содержание $P_{\text{общ}}$ (> 100 мкг/л) и глубина ($> 1,5–2$ м). Обростатель *Achnanthes minutissima* Kütz., отмечаемый практически во всех водоемах, достигает максимальной численности в объектах с наименьшими глубинами (менее 2 м) и, как правило, с содержанием $P_{\text{общ}} < 100$ мкг/л. Для обростателей *F. capucina* var. *rumpens* (Kütz.) Lange-B., *F. construens* var. *venter* (Ehr.) Hust., *F. elliptica* Schum., *F. pinnata* Ehr., *Eunotia minor* (Kütz.) Grun., *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., достигающих наибольшей численности в основном в водоемах группы VI, также более благоприятными являются специфические условия, характерные для данной группы объектов: небольшие глубины (в среднем < 2 м) и сравнительно невысокие концентрации $P_{\text{общ}}$, обусловленные меньшей антропогенной нагрузкой. Донные *Nitzschia inconspicua* Grun. и *N. palea* (Kütz.) W. Sm. являются убиквистами в рассматриваемой выборке объектов, не демонстрируя отчетливых экологических предпочтений.

Выделяя в качестве основных факторов среды, определяющих состав диатомовых комплексов водоемов г. Санкт-Петербурга, помимо содержания $P_{\text{общ}}$, максимальную глубину и УЭП, необходимо учитывать следующее. Известно, что глубина является «составным» параметром, определяющим целый ряд других показателей водной среды [8], влияющих на состав диатомовых комплексов. Следовательно, отмечаемая приуроченность отдельных видов к более глубоким или более мелким водоемам, возможно, обусловлена не непосредственным значением этого показателя, а связанными с ним характеристиками водного объекта (глубина фотической зоны, доступность/тип субстрата для колонизации, содержание биогенов и др.). В свою очередь повышенные значения УЭП, присущие для городских водоемов, могут быть связаны как с загрязнением (например, высоким содержанием фосфатов), так и с особенностями состава рыхлых осадков, слагающих котловины водоемов [3]. В частности, крайне высокая УЭП, характерная для водоемов, представляющих собой бывшие карьеры по добыче глины, может быть обусловлена присутствием в воде

глинистых частиц, несущих электрический заряд. Таким образом, несмотря на статистическую значимость всех заданных параметров, наиболее уверенно можно говорить о том, что особенности распределения видов диатомей в составе диатомовых комплексов водоемов г. Санкт-Петербурга определяются содержанием общего фосфора. Для уточнения роли глубины и удельной электропроводности и установления более четких экологических предпочтений видов необходимо использовать дополнительные параметры среды, в том числе данные об ионном составе вод городских водоемов, прозрачности, содержании загрязняющих веществ.

Заключение

Изучение состава диатомовых комплексов водоемов г. Санкт-Петербурга показало, что многие виды диатомей способны достигать высокой численности в водоемах с различными характеристиками. Применение канонического анализа соответствий позволило разделить исследуемые водоемы на группы, характеризующиеся сходными параметрами водной среды и составом диатомовых комплексов. Наиболее значимыми факторами, определяющими особенности состава диатомовых комплексов, являются, с одной стороны, содержание $P_{\text{общ}}$ и УЭП, с другой – глубина объекта. Были установлены закономерности распространения основных видов диатомей в водоемах г. Санкт-Петербурга, связанные с их экологическими предпочтениями. Полученные результаты лишней раз подтверждают тот факт, что диатомовые водоросли являются надежными индикаторами условий среды. Однако, оценивая экологическое состояние водного объекта на основе данных диатомового анализа, нужно помнить о том, что многие виды способны существовать в широком диапазоне. Кроме того, необходимо учитывать, что среда обитания

оказывает комплексное воздействие на организм, и стремиться в каждом конкретном случае выделить тот фактор(ы), который в наибольшей степени определяет массовое развитие того или иного вида.

Автор признателен сотрудникам лаборатории гидрохимии ИНОЗ РАН к.г.н. Н.В. Игнатъевой и О.М. Сусаревой за предоставленные данные гидрохимических анализов.

Литература

1. *Водные объекты Санкт-Петербурга* / Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. – СПб., 2002. – 252 с.
2. *Birks H.J.B.* Numerical methods for the analysis of diatom assemblage data. In: *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences.* (ed. by J.P. Smol, E.F. Stoermer). – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – P. 23–54.
3. *Румянцев В.А., Игнатъева Н.В.* Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах. – СПб.: ВВМ, 2006. – 152 с.
4. *Давыдова Н.Н.* Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. – Л.: Наука, 1985. – 244 с.
5. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae // *Süßwasserflora von Mitteleuropa.* Band 2/1–4. / Ed. by H. Ettl, J. Gerloff, H. Heying, D. Mollenhauer. – Stuttgart-Jena: G. Fisher Verlag, 1986–1991.
6. *ter Braak C.J.F., Verdonschot P.F.M.* Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology // *Aquat. Sci.*, – 1995. – Vol. 57, № 3. – P. 255–289.
7. *ter Braak C.J.F., Šmilauer P.* CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows. User's guide software for canonical community ordination (version 4.5). – New York: Microcomputer Power, 2002. – 500 p.
8. *Juggins S.* Quantitative reconstructions in palaeolimnology: new paradigm or sick science? // *Quat. Sci. Rev.* – 2013 – Vol. 64. – P. 20–32.

Поступила в редакцию 14.11.201