

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Малашенков Дмитрий Владимирович

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ФИТОПЛАНКТОНА В РЕКЕ МОСКВЕ

03.00.18 – гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре гидробиологии
Биологического факультета Московского государственного университета им.
М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Хромов Виктор Михайлович

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Абакумов Владимир Анатольевич
кандидат биологических наук, доцент
Белякова Галина Алексеевна

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Институт биологии внутренних вод
им. И.Д. Папанина РАН

Защита состоится 25 декабря 2009 г. в 14⁰⁰ часов на заседании
специализированного ученого совета Д.501.001.55 в Московском
государственном университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119899,
Москва, Воробьевы Горы, Биологический факультет, ауд. 389.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан «___» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
к.б.н.

Н.В. Карташева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема водных ресурсов в настоящее время становится наиболее актуальной. Вода уже является одним из важнейших экономических ресурсов России. Поэтому становится необходимым детальная оценка экологического состояния водоемов и водотоков, оценка качества воды в них, а также определение степени ее загрязнения, выявление источников загрязнения и разработка эффективных мер по восстановлению водных объектов.

Водотоки (реки, ручьи, каналы), в отличие от водоемов, представляют собой объекты, характеризующиеся высокой степенью пространственной и временной неоднородности как по гидролого-гидрохимическим характеристикам, так и по гидробиологическим параметрам. Все это создает большие сложности в системе гидробиологического мониторинга состояния речных систем.

Водные растительные сообщества и, в особенности, фитопланктон, в настоящее время широко используются как показатель состояния речных систем и качества вод в них (Абакумов 1977, 1979). Однако в этом направлении остается еще целый ряд нерешенных вопросов, которые часто осложняют правильность оценки качества речных вод. Одним из таких аспектов является высокая степень пространственной и временной изменчивости структурных характеристик (численность, биомасса, видовое богатство) фитопланктонного сообщества.

Поэтому представляется важным изучение особенностей естественной изменчивости фитопланктона в реках, установление степени влияния на изменение структуры фитопланктона гидролого-гидрохимических факторов.

Все это явилось основанием для проведения научных исследований в данном направлении.

Цель работы. Изучить особенности пространственной и временной изменчивости структурных характеристик фитопланктона верховья реки

Москвы и установить степень влияния изменчивости фитопланктона на адекватность оценки качества воды методами биоиндикации. Для достижения данной цели нами были поставлены следующие задачи:

- исследовать качественный и количественный состав фитопланктона верховья реки Москвы по 160-километровому тракту от нижнего бьефа Можайского водохранилища до пос. Ильинское;
- изучить изменчивость качественного и количественного состава фитопланктона в зависимости от ряда гидрологических и гидрохимических характеристик;
- выявить закономерные изменения структурных характеристик фитопланктона в течение вегетационного сезона по тракту реки;
- провести сравнительную оценку структуры фитопланктонного сообщества в прибрежной зоне и на стрежне реки;
- установить степень влияния пространственно-временной изменчивости структурных характеристик фитопланктона на оценку качества воды при использовании разных методов биоиндикации.

Научная новизна работы. Составлен флористический список фитопланктона реки Москвы. Выявлено 250 таксономических единиц видового и внутривидового ранга, из которых 22 вида и разновидности являются новыми для реки Москвы. Выявлено также 8 новых для реки Москвы видов-индикаторов качества воды. Установлено, что водоросли отдела *Euglenophyta* могут быть успешно использованы для оценки качества воды по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека. На основе анализа и обобщения полученных результатов установлены основные закономерности формирования структуры фитопланктонного сообщества по тракту реки. Показано, что в речных условиях основную роль в изменчивости структуры фитопланктонного сообщества играет скорость течения. При высоких скоростях течения (более $0,3 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$) формируется реофильный фитопланктон, а при низких скоростях (менее $0,3 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$) формируется лимнофильный фитопланктон.

Установлена степень различия в структуре фитопланктона у берега и на стрежне реки, обусловленного влиянием скорости течения и смывом эпифитных микроводорослей с поверхности макрофитов.

Сравнительный анализ индексов оценки качества воды по видам-индикаторам показал их достоинства и недостатки и позволил сделать вывод о необходимости использования комплекса методов. В условиях реки Москвы наиболее адекватную оценку качества воды дают индексы сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека, по Ротшайну, а также индекс DA_{pro} по Ватанабе.

Практическая значимость работы. Полученные результаты существенно дополняют имеющиеся в литературе сведения по изменчивости структурных характеристик фитопланктона в реках и могут быть использованы для создания более эффективной схемы гидробиологического мониторинга рек, позволяя обоснованно выбирать место и время отбора проб.

Личный вклад соискателя. Соискатель сформулировал и обосновал тему, цель и задачи работы. Самостоятельно собрал и обработал большое число проб, а также провел анализ полученных результатов. Обобщил и представил полученный материал, сформулировал выводы.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Структура фитопланктона реки Москвы сформирована 7 отделами водорослей, из которых доминируют и составляют большинство видов-индикаторов качества воды – зеленые, диатомовые, цианобактерии, эвгленовые;
2. пространственная изменчивость структурных характеристик фитопланктона по тракту реки, а также различия между прибрежной зоной и стрежнем в основном определяются скоростью течения;
3. влияние гидрохимических факторов (биогенные элементы) на структурные характеристики фитопланктона в большей степени проявляется при низких скоростях течения;

4. из существующих методов оценки качества воды по биоиндикаторным организмам в условиях высокой степени изменчивости фитопланктона, наиболее эффективным представляется сочетание трех методов (Сладечека, Ватанабе, Ротшайна), что дает наиболее адекватную оценку качества воды;
5. для оценки качества воды реки Москвы по методу Пантле и Букка могут быть эффективно использованы эвгленовые водоросли.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на III Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии» (Харьков, 2005); на IX Съезде гидробиологического общества РАН (Тольятти, 2006); на Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 2006); на Всероссийской школе-семинаре «Проблемы современной альгологии» (Уфа, 2008); на конференции по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок» и школе-семинаре «Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки» (Борок, 2008); на Международной научной конференции «Современные проблемы альгологии» (Ростов-на-Дону, 2008); на научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России» (Азов, 2009); на конференции МОИП, посвященной 200-летию первой комплексной экспедиции МОИП (Москва, 2009).

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 12 работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа включает введение, 6 глав, выводы, список литературы и приложение. Диссертация изложена на 172 страницах машинописного текста и включает 10 таблиц и 37 рисунков. Список литературы включает 250 источников (175 отечественных и 75 иностранных наименований работ).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Особенности формирования фитопланктонного сообщества в речных условиях (Обзор литературы)

Рассматривается степень изученности пространственно-временной изменчивости фитопланктона различных рек, а также качественный и количественный состав фитопланктона реки Москвы за многолетний период.

Глава 2. Материалы и методы исследований

Материалом для настоящей работы послужили пробы, отобранные по тракту реки Москвы протяженностью 160 км, от нижнего бьефа Можайского водохранилища до пос. Ильинское, в вегетационные сезоны с 2004 по 2006 год, на 17 станциях, расположенных с учетом морфометрических и гидрологических особенностей водотока, в прибрежной части и на стрежне. Для исследования сезонной динамики фитопланктона отбор проб проводили с частотой один раз в декаду, с мая по октябрь месяцы. Для сравнительного анализа были также использованы материалы по сезонной динамике, предоставленные лабораторией Рублевской водопроводной станции.

Отбор и обработку проб проводили общепринятыми методами. Одновременно с отбором проб проводили измерение скорости течения, температуры воды и концентрации кислорода. Гидрохимические данные по концентрациям биогенных элементов были любезно предоставлены лабораторией Рублевской водопроводной станции.

Всего было собрано и обработано 148 проб фитопланктона. Для определения отдельных видов диатомовых готовили постоянные препараты методом выжигания.

Для оценки качества воды реки Москвы и ее притоков был проведен сравнительный анализ индексов по 7 различным методам: индекс сапробности по Пантле и Букку (*Pantle, Buck* 1955) в модификации Сладечека (*Сладечек* 1967; *Sládeček* 1973); индекс сапробности по Ротшайну (*Rotschein* 1959, 1962); индексы относительной чистоты и относительной загрязненности по Кнеппу (*Knöpp* 1954, 1955); индекс диатомового комплекса органического загрязнения

воды по Ватанабе (*Watanabe et al.* 1986a; *Watanabe et al.* 1988a,b, 1990); индекс загрязнения по Делль-Уомо (*Dell'Uomo* 1995); средневзвешенные сапробные валентности по Зелинке и Марвану (*Zelinka, Marvan* 1961, 1966); индекс загрязнения реки (*Sumita* 1986).

Статистический анализ данных, включающий как методы классификации, так и ординации, проводили с использованием программного пакета STATISTICA 6.0. Для нахождения минимального числа факторов, описывающих варьирование всех включенных в систему переменных, использовали метод многомерного непараметрического шкалирования (МНШ) (*Терехина* 1986; *Пузаченко* 2004).

Глава 3. Общая характеристика фитопланктона в реке Москве

Анализ альгофлоры реки Москвы в период исследований показал, что состав фитопланктонного сообщества на участке от Можайского водохранилища до пос. Ильинское представлен 250 видами и разновидностями, относящимися к восьми отделам водорослей. Наибольшим представительством отличаются отделы Chlorophyta (105 видов и разновидностей, 42 % от общего числа видов) и Bacillariophyta (80 видов и разновидностей, 32 %) (Рис. 1).

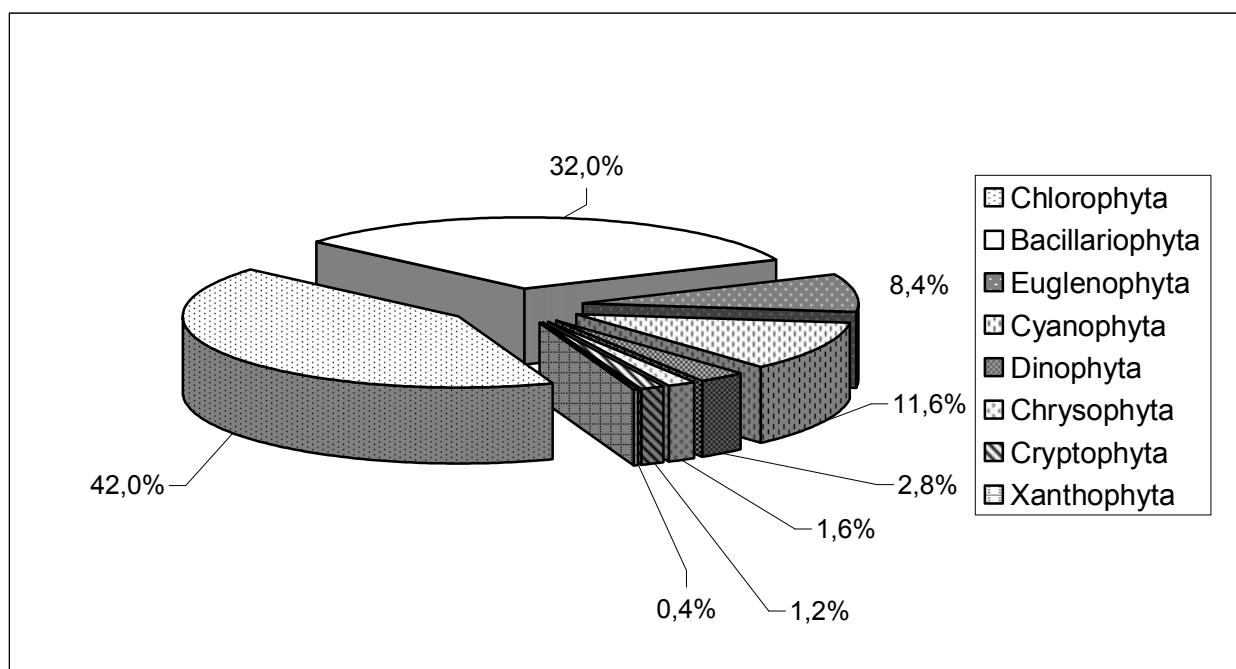


Рис. 1. Таксономический состав фитопланктона верховья реки Москвы.

Наибольшим числом видов характеризуется порядок Chlorococcales (80 видов и разновидностей). Общий родовой коэффициент для всего сообщества фитопланктона показал невысокое значение (родовой коэффициент = 2,3). В то же время, для Euglenophyta родовой коэффициент равен 5,3, что свидетельствует о большом видовом богатстве эвгленовых.

Впервые для фитопланктона исследованного участка р. Москвы отмечено 22 вида и разновидности водорослей (18 видов и разновидностей Chlorophyta, 3 вида Cyanophyta и 1 - Xanthophyta), из которых 8 являются индикаторами качества воды.

Таким образом, определяющую роль в формировании видового богатства по тракту реки играют зеленые и диатомовые водоросли, доминирующие по числу видов на протяжении всего тракта реки Москвы. В целом, общее видовое богатство по тракту реки изменяется в пределах от 33 до 76 видов водорослей.

Глава 4. Сезонная изменчивость фитопланктона

В сезонной динамике фитопланктона можно выделить три периода: весенний, летний и осенний (Рис. 2). В весенний период распределение фитопланктона по тракту реки Москвы имеет тенденцию увеличения численности от Можайского гидроузла до пос. Ильинское в период цветения *Stephanodiscus Hantzschii* Grün..

В летнем фитопланктоне происходит постепенная замена диатомовых зелеными водорослями. Доминирующее положение по численности занимают виды *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb., *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz., *Coelastrum microporum* Näg. и другие зеленые хлорококковые. Массовое развитие фитопланктона в летне-осенний период на ряде станций обусловлено доминированием эпифитной водоросли *Cocconeis placentula* Ehr., смываемой с макрофитов.

В осенний период в русле реки в начале сентября наблюдалось массовое развитие цианобактерий *Gomphosphaeria lacustris* Chod. и *Microcystis aeruginosa* Kütz. Emend. Elenk., а затем *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.

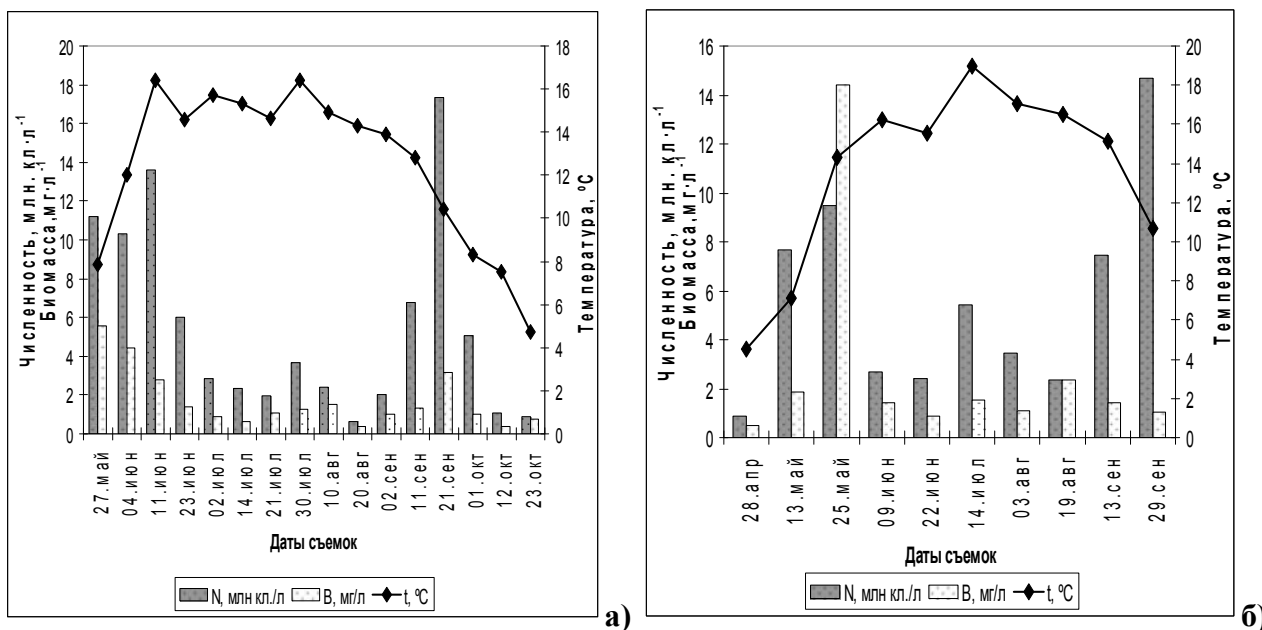


Рис. 2. Сезонная изменчивость численности (N), биомассы (B) фитопланктона и температуры воды (t) в вегетационные периоды 2005 (а) и 2006 (б) годов.

В целом, полученные данные по сезонной динамике фитопланктона в р. Москве повторяют результаты предыдущих лет (Витвицкая, Хромов 1991; Витвицкая 1997) и позволяют говорить об относительно постоянной изменчивости фитопланктонного сообщества в сезонном аспекте.

Глава 5. Пространственная изменчивость фитопланктона по тракту реки Москвы

Пространственная изменчивость численности, биомассы и качественного состава фитопланктона, рассмотренная нами как по тракту, так и в прибрежной зоне и на стрежне, показывает достаточно сложную картину, и зависит от целого ряда факторов.

Наибольшие значения численности и биомассы фитопланктона отмечены на участках, характеризующихся низкими скоростями течения ($0-0,1 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$). Наоборот, на участках с высокими скоростями течения ($0,3-0,5 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$), и, как правило, относительно низкими значениями температуры ($16-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$), отмечены низкие численности и биомассы фитопланктона. В целом, численность фитопланктона по длине тракта реки варьирует от $0,89$ до $10,04 \text{ млн. кл} \cdot \text{л}^{-1}$, а биомасса – от $0,88$ до $6,06 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (Рис. 3).

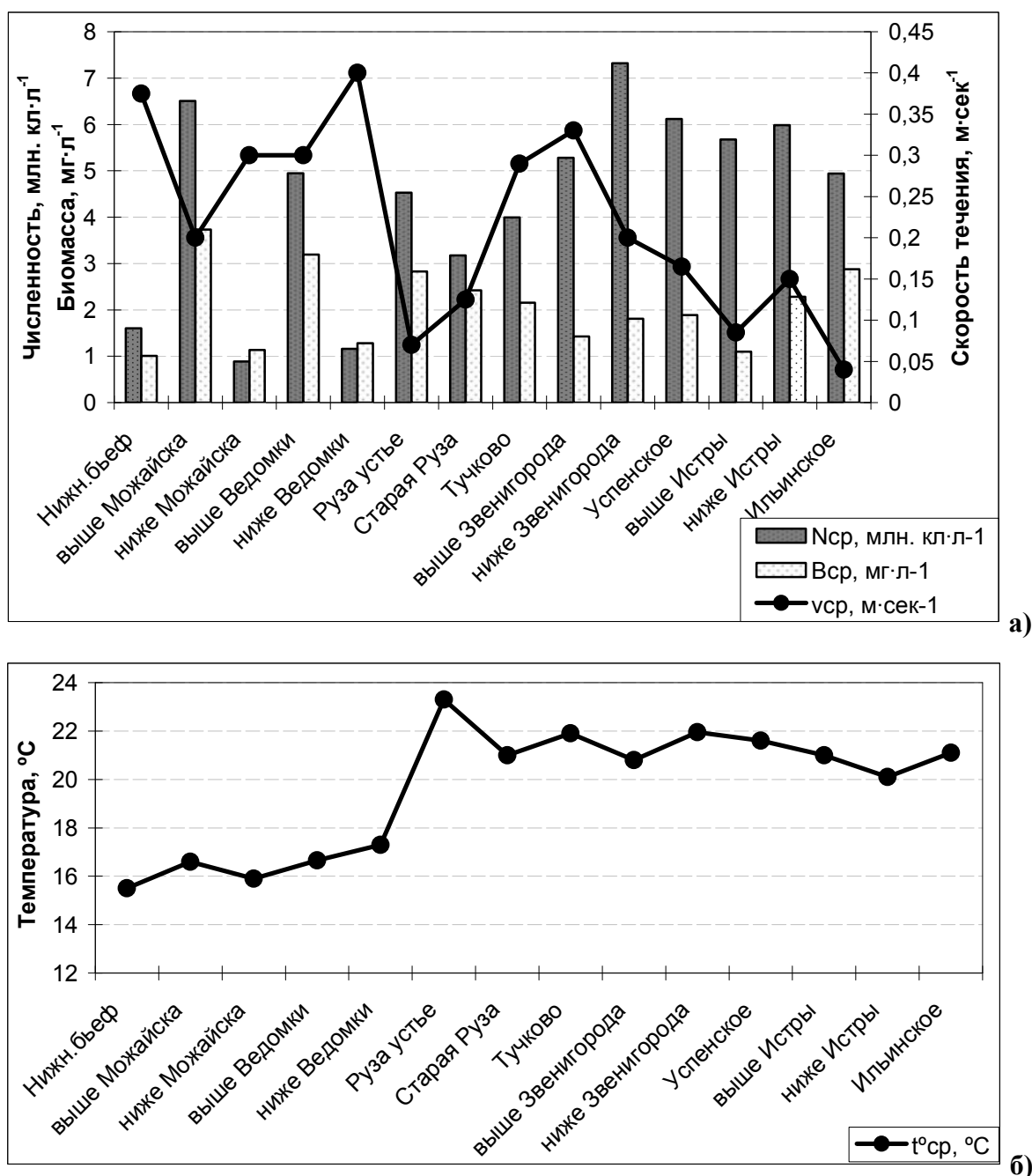


Рис. 3. Динамика средних показателей численности (N_{cp}), биомассы (B_{cp}) фитопланктона, скорости течения (v_{cp}) (а) и температуры воды (t°_{cp}) (б) по тракту реки Москвы.

Кластерный анализ данных по видовому богатству, общей численности и биомассе всех таксонов водорослей (Рис. 4), на исследованном тракте реки Москвы позволил выделить два участка – верхний (от нижнего бьефа Можайского водохранилища до района пос. Старая Руза) и нижний (от пос. Старая Руза до пос. Ильинское). Верхний участок в целом характеризуется

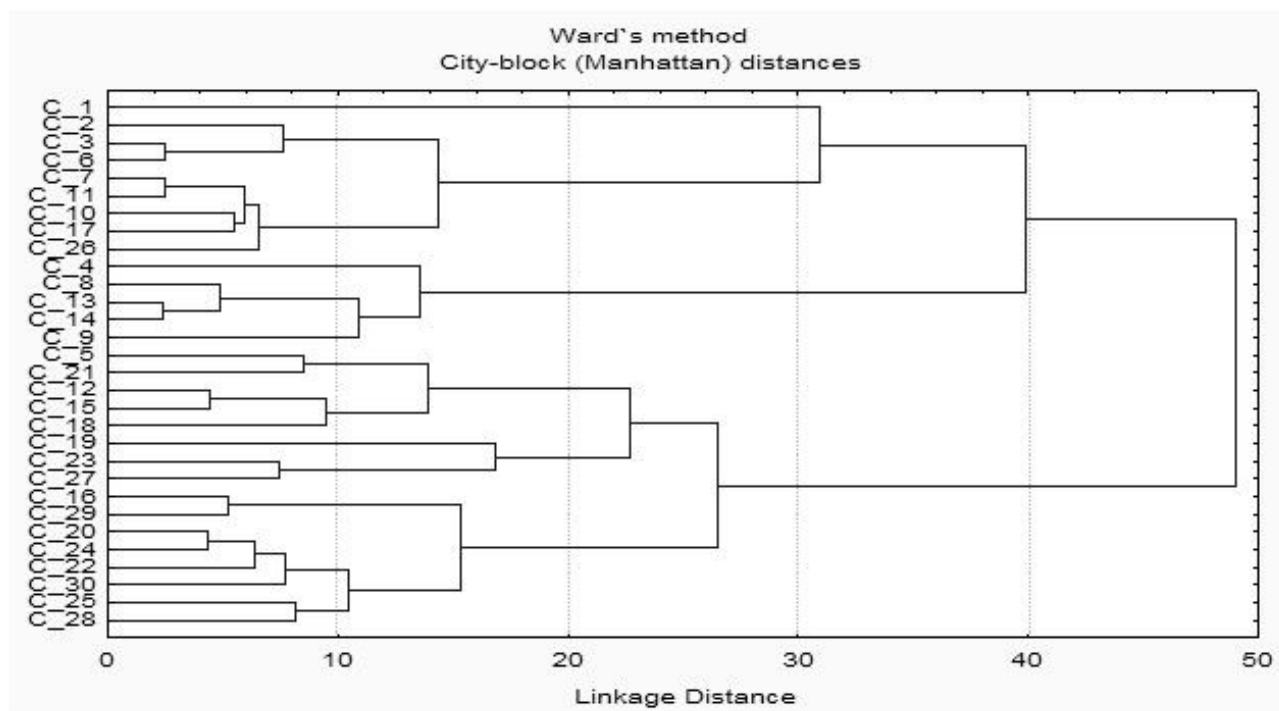


Рис. 4. Общая структура фитопланктона р. Москвы (данные стандартизованы).

Станции отбора проб по тракту реки: *C_1* - Можайское водохранилище, *C_2* - нижний бьеф (берег), *C_3* - нижний бьеф (стрежень), *C_4* - выше г. Можайска (берег), *C_5* - выше г. Можайска (стрежень), *C_6* - ниже г. Можайска (берег), *C_7* - ниже г. Можайска (стрежень), *C_8* - выше р. Ведомки (берег), *C_9* - выше р. Ведомки (стрежень), *C_10* - р. Ведомка, *C_11* - ниже р. Ведомки (берег/стрежень), *C_12* - устье р. Рузы (берег), *C_13* - устье р. Рузы (стрежень), *C_14* - пос. Старая Руза (берег), *C_15* - пос. Старая Руза (стрежень), *C_16* - г. Тучково (берег), *C_17* - г. Тучково (стрежень), *C_18* - выше г. Звенигорода (берег), *C_19* - выше г. Звенигорода (стрежень), *C_20* - ниже г. Звенигорода (берег), *C_21* - ниже г. Звенигорода (стрежень), *C_22* - пос. Успенское (берег), *C_23* - пос. Успенское (стрежень), *C_24* - выше р. Истры (берег), *C_25* - выше р. Истры (стрежень), *C_26* - р. Истра (берег/стрежень), *C_27* - ниже р. Истры (берег), *C_28* - ниже р. Истры (стрежень), *C_29* - пос. Ильинское (берег), *C_30* - пос. Ильинское (стрежень).

достаточно большим количеством мелководий, высокой скоростью течения ($\sim 0,5 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$) и низкой температурой. На этом участке реки доминирует комплекс диатомовых водорослей (до 91 % от общей биомассы) и цианобактерий. Нижний участок в целом отличается от верхнего более широким и глубоким руслом, медленной скоростью течения и более высокой температурой воды. Здесь преобладает комплекс зеленых водорослей и цианобактерий.

Высокие отрицательные корреляции, выявленные между численностью фитопланктона и скоростью течения (Рис. 5), показывают, что скорость течения является основным лимитирующим фактором.

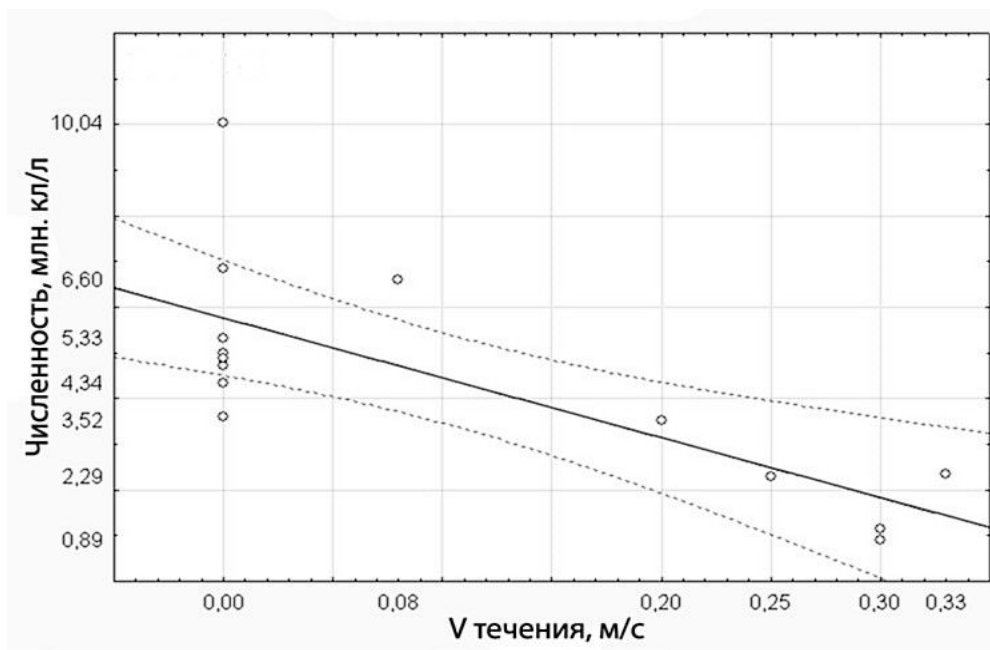


Рис. 5. Соотношение между численностью фитопланктона и скоростью течения ($r = -0,7411$; $r^2 = 0,5492$, при $p = 0,0024$).

Сравнение качественного и количественного состава фитопланктона на стрежне и в прибрежной части тракта реки Москвы выявляет определенные различия. Видовой состав фитопланктона на стрежне несколько беднее, чем у берега. Изменение соотношения «число видов берег/стрель» в целом скоррелировано ($r^2 = 0,3120$, $r = 0,5586$, при $p = 0,0245$) (Рис. 6), а коэффициенты сходства (по Серенсену) между берегом и стрелом составляли в среднем 60 %.

Распределение общей биомассы фитопланктона по тракту реки показывает более высокие значения в прибрежной зоне (Рис. 7а), а численность фитопланктона в ряде случаев была выше на стрелом реки (Рис. 7б).

Распределение численности и биомассы фитопланктона на стрелом реки объясняется, в первую очередь, сложной гидродинамикой вод, вследствие чего фитопланктон может поступать из прибрежной части, а также с участков, расположенных выше по течению. Поэтому значительная доля фитопланктона на стрелом формируется из бентосных и эпифитных форм, смываемых с субстратов прибрежной зоны.

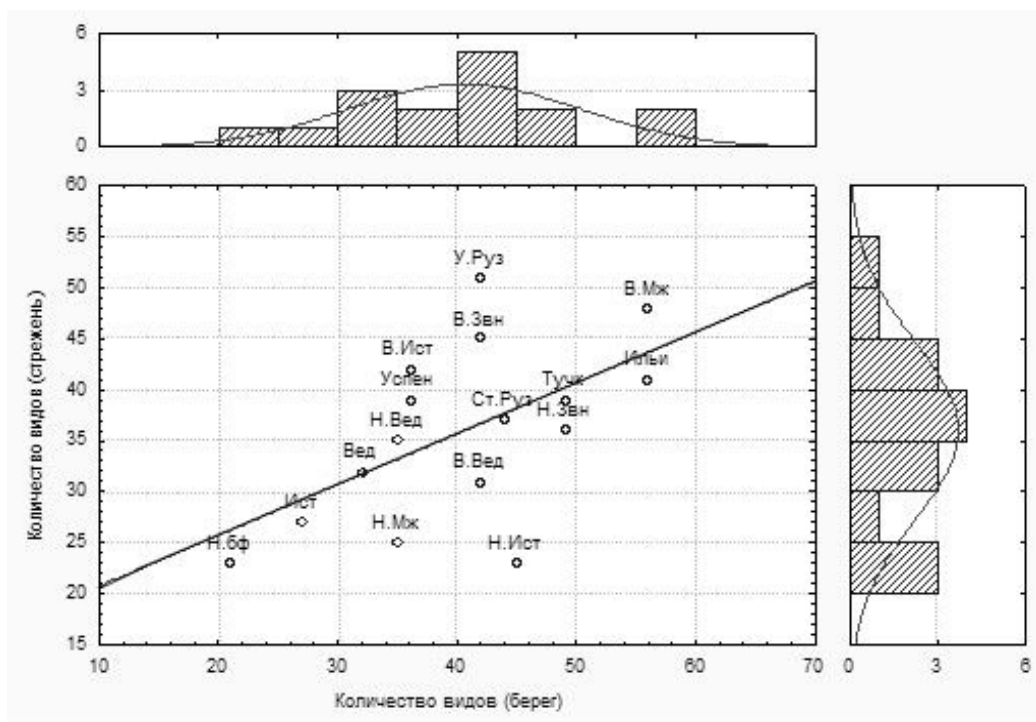


Рис. 6. Количество видов фитопланктона у берега и на стрежне.

Количество видов (берег): SW-W = 0,969927741, $p = 0,8374$; N = 16, Mean = 40,4375, StdDv = 9,66070218, Max = 56, Min = 21; D = 0,126743803, $p < \text{n.s.}$, Lilliefors-p < 1

Количество видов (стрезень): SW-W = 0,964177638, $p = 0,7378$; N = 16, Mean = 35,875, StdDv = 8,60910371, Max = 51, Min = 23; D = 0,0987027365, $p < \text{n.s.}$, Lilliefors-p < 1

Количество видов (берег) : количество видов (стрезень): $r^2 = 0,3120$; $r = 0,5586$, $p = 0,0245$.

В целом, фитопланктон на стрежне можно охарактеризовать как «приносной» с участков выше по течению, в том числе и с прибрежных. Степень изменчивости численности, биомассы и количества видов выше у берега по сравнению со стрежнем.

В прибрежной зоне скорость течения также является основным лимитирующим фактором; отрицательные корреляции были выявлены между численностью фитопланктона и скоростью течения ($r = -0,7411$, $r^2 = 0,5492$, при $p = 0,0024$). Зависимость биомассы фитопланктона от скорости течения у берега имеет ту же тенденцию ($r = -0,4823$, $r^2 = 0,2326$, при $p = 0,0806$).

В прибрежной зоне, в условиях низких скоростей течения заметно увеличивается численность лимнофильных видов, в частности *Microcystis aeruginosa* Kütz. Emend. Elenk., а также численность планктонных форм – *Coelastrum*, *Scenedesmus*, *Melosira*.

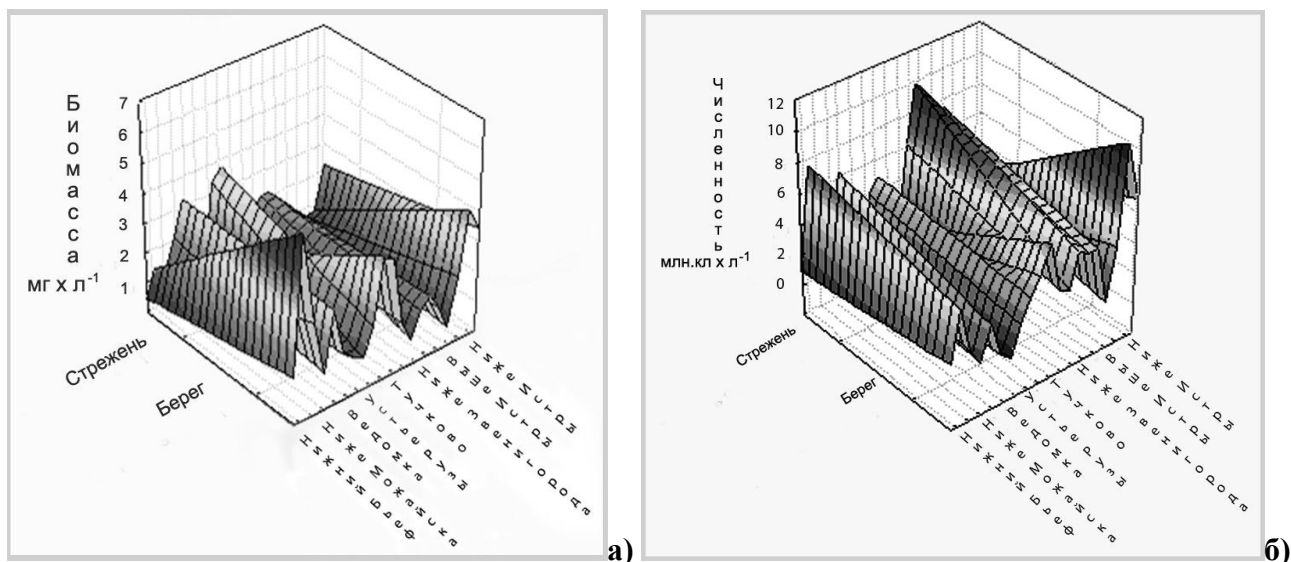


Рис. 7. Суммарная биомасса (B) (а) и численность (N) (б) всех таксонов в пробах фитопланктона, отобранных у берега и на стрежне реки Москвы.

Было установлено, что влияние биогенных элементов (азот и фосфор) на численность и биомассу фитопланктона проявляется в основном при низких скоростях течения ($< 0,3 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$). В прибрежной зоне наблюдаются высокие положительные корреляции между численностью фитопланктона и биогенными элементами (азот и фосфор): $r = 0,731$, при $p = 0,0392$. На стрежне подобная корреляция отсутствует.

Глава 6. Сравнительная оценка качества воды в реке Москве с использованием различных методов.

Высокая степень пространственно-временной изменчивости качественного и количественного состава фитопланктонного сообщества должна учитываться для оценки качества воды в условиях водотока.

В качестве важнейших независимых составляющих пространственно-временного поведения системы факторов, влияющих на состояние водотока, рассматривали гидродинамические характеристики водотока, а также факторы, обуславливающие развитие водорослей в реке – биогенные элементы, свет, температура.

В целом, по тракту реки индексы сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека, индексы сапробности по Ротшайну, а также расчет сапробности с помощью кривой среднего балла по методу Кнеппа и

средневзвешенных сапробных валентностей по Зелинке и Марвану, указывают на β -мезосапробную степень загрязнения вод верховья реки Москвы (Табл. 1).

Таблица 1

Значения индексов качества воды по станциям р. Москвы

Станции отбора проб	Значения индексов										и.о.ч	и.о.з
	S	DAI po	EPI	S Rotschein	A _k							
					х	о	β	α	ρ			
1. Нижний бьеф берег	1,93	53	1,18	35,3	0,04	2,82	5,77	1,37	0	85,4	14,6	
стрежень	1,98	57	2,3	41,2	0,05	2,49	5,59	1,86	0,01	87,8	12,2	
2. Выше г. Можайска берег	1,88	60,5	2,8	81,9	0,42	3,42	4,86	1,28	0	87	13	
стрежень	1,95	53,5	3,7	72,6	0,06	2,91	5,87	1,16	0	94,5	5,5	
3. Ниже г. Можайска берег	1,97	53,9	1,86	49,4	0,61	3,39	4,4	1,93	0,02	92,2	7,8	
стрежень	2,02	55	1,6	42,9	0,44	3,47	4,54	1,55	0,01	87,8	12,2	
4. Выше р. Ведомки берег	1,84	56,8	2,45	60,3	0,47	4,01	4,55	1,13	0	89,7	10,3	
стрежень	1,94	54,5	3,36	45,4	0,2	3,3	5,46	1,05	0,01	91,2	8,8	
5. Ниже р. Ведомки берег	1,93	59,6	2,91	50,7	0,43	3,45	4,95	1,19	0,01	92,3	7,7	
стрежень	1,82	57,3	2,28	58,1	0,14	2,53	5,66	1,74	0,01	92,5	7,5	
стрежень	1,88	57,3	2,83	71,6	0,42	2,76	5,34	1,47	0,01	91,5	8,5	
7. Пос. Старая Руза берег	1,89	58,6	2,43	67,9	0,3	3,03	5,28	1,39	0,01	89	11	
стрежень	1,9	49,8	1,92	62,3	0,23	2,84	5,35	1,56	0,02	89,3	10,7	
8. Тучково берег	1,91	53,3	2,38	74,3	0,15	2,76	5,59	1,48	0,02	88,9	11,1	
стрежень	1,9	52,9	2,79	57,4	0,16	2,63	5,45	1,7	0,04	94,5	5,5	
9. Выше г. Звенигор. берег	1,9	50,6	1,86	59,1	0,06	1,94	5,58	2,09	0,02	94,4	5,6	
стрежень	1,84	56,6	2,8	68,2	0,07	2,31	5,38	2,22	0,02	93,9	6,1	
10. Ниже г. Звенигор. берег	1,91	58,8	2,03	69,3	0,06	2,39	5,49	2,03	0,01	95,2	4,8	
стрежень	2,05	50,6	2,2	51,8	0,08	2,05	5,57	2,27	0,01	95,5	4,5	
11. Пос. Успенское берег	1,94	56,1	1,67	50,3	0,04	2,25	5,18	2,47	0	95,5	4,6	
стрежень	1,89	58,5	2,37	57,2	0,02	2,16	5,46	2,36	0	94,9	5,1	
12. Выше р. Истры берег	1,91	57	1,7	56,3	0,03	2,16	5,38	2,43	0	94,4	5,6	
стрежень	1,9	61,3	2,56	52,3	0,02	2,6	5,73	1,66	0	92,1	7,9	
13. Ниже р. Истры берег	2,0	53,8	1,52	66,6	0,05	2,47	5,67	2,02	0,03	91,5	8,5	
стрежень	1,92	50	1,22	38,7	0,03	2,18	5,25	2,54	0	91,5	8,5	
14. Пос. Ильинское берег	1,89	58,8	2,83	83,3	0,16	2,66	5,83	1,36	0	93,1	6,9	
стрежень	1,97	58,1	2,06	66,6	0,2	2,54	5	2,25	0,02	91,25	8,8	

Индексы: S – индекс сапробности по Пантле и Букку в модификации сладчека; DAI_{po} – индекс диатомового комплекса органического загрязнения воды по Ватанабе; EPI – индекс загрязнения по Делль-Уомо; S_{Rotschein} – индекс сапробности по Ротшайну; A_k – средневзвешенные сапробные валентности по Зелинке и Марвану; и.о.ч. и и.о.з. – индексы относительной чистоты и относительной загрязненности по Кнеппу.

Статистические свойства рассматриваемых показателей неодинаковы. Наибольшей изменчивостью отличаются индексы EPI и $S_{\text{Rotschein}}$. Индекс $S_{\text{Rotschein}}$ оказался чувствителен ко всему спектру факторов, и может быть использован с высокой степенью эффективности в речных условиях.

Среди рассмотренных нами специальных «диатомовых» индексов (DAI_{pro} и EPI), представляется важным выделить следующие особенности. Диатомовый индекс EPI является более чувствительным в основном к гидродинамике вод и практически мало реагирует на другие изменения окружающей водной среды, что приводит к заключению о его малой эффективности в речных условиях. Индекс DAI_{pro} чувствителен ко всему спектру факторов, и, как правило, в большей степени отражает изменчивость структуры сообщества диатомовых, доминирующих на той или иной станции отбора проб. Поэтому данный индекс дает более точную информацию об уровне загрязнения водотока.

Сопоставление индексов сапробности по Пантле и Букку и индексов DAI_{pro} в целом по тракту показывает достаточное их сходство для береговой зоны.

Для выявления роли определенных групп водорослей при оценке качества воды, были проведены расчеты классического индекса сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека S ($S_{\text{классика}}$), в котором учитывали все индикаторные виды фитопланктона, а также S с учетом видов только Chlorophyta (S_{Chlor}) или Bacillariophyta (S_{Bacill}) или Cyanophyta (S_{Cyan}) или Euglenophyta (S_{Eugl}), и S по общему составу фитопланктона, но без учета диатомовых водорослей ($S_{\text{без диатомовых}}$).

Рассчитанные индексы сапробности по отделам водорослей слабо согласованы (непараметрический ранговый коэффициент конкордации Кендала (Coeff. of Concordance) = 0,31; Aver. rank r = 0,25), что позволяет говорить о том, что данные «таксономические» индексы несут специфическую информацию.

Сопоставление индексов $S_{\text{без диатомовых}}$ и индекса сапробности по способу Сладечека в форме классического расчета, показывающих сходную картину качества воды по тракту реки ($S_{\text{классика}} : S_{\text{без диатомовых}}$; непараметрический ранговый коэффициент корреляции Спирмена – $R = 0,91$; $p = 0,000$), позволяет говорить о том, что учет диатомовых в общем составе фитопланктона в целом не существенно сказывается на оценке качества воды по методу Пантле и Букка.

Индексы сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека, рассчитанные на основании данных, включающих более чем один отдел водорослей ($S_{\text{классика}}$, $S_{\text{без диатомовых}}$), имеют высокую чувствительность к изменчивости гидродинамических характеристик водотока; чувствительность к условиям развития, по-видимому, нивелируется присутствием организмов с разными экологическими потребностями. Индексы сапробности по Пантле и Букку, рассчитанные по отдельным группам водорослей (S_{Bacill} , S_{Chlor} , S_{Cyan}), показывают большую чувствительность к условиям развития. Поэтому, в ряде случаев представляется более правильным давать оценку состояния водной среды не по изменчивости структуры всего фитопланктона, а по изменчивости структуры конкретных таксономических отделов водорослей на конкретных участках отбора проб.

Расчет сапробности по эвгленовым водорослям показал высокие значения индексов по сравнению с расчетом сапробности в классической форме (Табл. 2). Виды-индикаторы Euglenophyta ярко реагируют на изменение качества воды на протяжении всего 160-километрового участка реки Москвы. Поэтому расчет индекса сапробности по эвгленовым водорослям для реки Москвы представляется весьма перспективным.

Индекс Пантле и Букка в модификации Сладечека дает приблизительную оценку качества воды, и не всегда реагирует на локальные изменения по тракту. Индекс сапробности в модификации Ротшайна ($S_{\text{Rotschein}}$) более предпочтителен для речных условий. Однако расчет данного показателя, а также сапробных валентностей по Зелинке и Марвану, достаточно трудоемок. Индексы качества,

рассчитываемые по видам-индикаторам диатомового комплекса (S_{Bacill} и DA_{Ipo}), в речных условиях несколько завышают качество воды.

Таблица 2

Расчет индексов сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека используя разные отделы водорослей.

Отделы	Станции отбора проб													
	Нижний бьеф	Выше г. Можайска	Ниже г. Можайска	Выше р. Ведомки	Ниже р. Ведомки	Устье р. Рузы	Пос. Старая Руза	Тучково	Выше г. Звенигор.	Ниже г. Звенигор.	Пос. Успенское	Выше р. Истры	Ниже р. Истры	Пос. Ильинское
Все отделы														
берег	1,93	1,88	1,97	1,84	1,93	1,82	1,89	1,91	1,9	1,91	1,94	1,91	2,0	1,89
стрезень	1,98	1,95	2,02	1,94	1,93	1,88	1,9	1,9	1,84	2,05	1,89	1,9	1,92	1,97
Chlorophyta														
берег	1,84	1,95	1,92	2,1	1,87	1,97	1,91	1,91	1,97	1,96	1,98	1,93	1,97	1,96
стрезень	2	1,96	2,14	1,95	1,87	2,02	1,89	2,03	2,01	2,03	1,98	2,01	2,01	1,82
Bacillariophyta														
берег	1,92	1,9	1,84	1,78	1,9	2,01	1,97	1,93	1,86	1,8	1,9	1,91	1,79	1,91
стрезень	1,88	1,9	2	1,88	1,9	1,9	2,01	1,8	1,71	1,83	1,81	1,81	1,75	1,89
Cyanophyta														
берег	1,75	1,74	2,3	1,71	2,19	1,6	1,77	1,73	1,51	1,73	1,88	1,73	2,06	1,89
стрезень	1,75	2,07	2,03	1,75	2,19	1,82	2,01	1,75	1,77	1,95	1,62	1,86	1,7	2,19
Euglenophyta														
берег	2,21	2,02	2,42	1,94	2	2	2	3	2,26	2	2	2	2,5	2
стрезень	2,3	1,94	1,93	2,24	2	2	2	2,62	1,98	2,66	2	2	2	2,63
Без диатомовых														
берег	1,93	1,85	2,07	1,93	1,96	1,75	1,8	1,91	1,91	2,02	1,96	1,91	2,03	1,88
стрезень	2,03	1,98	2,04	2	1,96	1,85	1,84	1,94	1,91	2,16	1,92	1,93	1,99	2,04

Однако, ввиду легкости расчета и достаточной эффективности показателя, применение DA_{Ipo} следует признать целесообразным в комплексе с другими методами оценки. Особенно удобным представляется его использование в весенне-летний сезон, во время цветения диатомовых водорослей, а также на отдельных станциях с доминированием смытых с субстратов видов-обрастателей – индикаторов качества воды. В условиях реки Москвы эффективность DA_{Ipo} объясняется тем, что в комплексе реопланктона реки Москвы в массе встречаются диатомовые виды-индикаторы перифитонного происхождения, такие как *Cocconeis placentula* Ehr.

Индексы EPI основаны на сведениях, полученных в результате изучения группировки диатомовых водорослей, и не учитывают большую часть видов в сообществе, если оно составлено с доминированием других групп водорослей. Индексы EPI крайне чувствительны к изменению скоростных условий, что

ставит под сомнение адекватность их использования применительно к речному фитопланктону.

Сравнительный анализ методов оценки качества воды в речных условиях позволяет говорить о необходимости комплексного использования, по крайней мере, трех методов – метода Пантле и Бука в модификации Сладечека, метода Ротшайна и метода Ватанабе, – для получения более адекватной оценки.

ВЫВОДЫ

1. Фитопланктонное сообщество реки Москвы состоит из 250 видов и разновидностей, из которых принадлежат к: Chlorophyta – 42 % от общего числа видов, Bacillariophyta – 32 %, Cyanophyta – 11,7 %, Euglenophyta – 8,5 %, Dinophyta – 2,8 %, Chrysophyta – 1,6 %, Cryptophyta – 1,2 %, Xanthophyta – 0,4 %. При этом 22 вида впервые обнаружены в верховье реки Москвы.
2. Численность и биомасса фитопланктона по тракту реки значительно изменяется. Определяющим фактором количественного и качественного развития является скорость течения реки. Эффект влияния биогенных элементов проявляется, как правило, при низких скоростях течения (менее $0,3 \text{ м} \cdot \text{сек}^{-1}$), что приводит к массовому развитию цианобактерий.
3. Степень изменчивости численности, биомассы и видового богатства фитопланктона по тракту реки выше у берега по сравнению со стрежнем, что указывает на значительное влияние прибрежной зоны в общем формировании фитопланктона реки.
4. Для реки Москвы характерно относительное постоянство сезонной динамики структурных показателей фитопланктона, с ясно выраженными пиками развития, диатомового комплекса весной и комплекса зеленых водорослей и цианобактерий в летне-осенний период.
5. Сравнительный анализ показателей качества воды по разным индексам выявил различную степень их информативности в условиях для стрежня реки и прибрежной зоны. Наиболее рекомендуемыми индексами для

оценки качества воды для стрежня реки являются индекс сапробности по Пантле и Букку в модификации Сладечека и индекс сапробности по Ротшайну, а для прибрежной зоны – индексы сапробности по Сладечеку и Ротшайну, а также индекс DA_{pro} по Ватанабе.

6. Установлено, что в условиях реки Москвы индекс сапробности, рассчитанный по видам-индикаторам Euglenophyta, является хорошим показателем качества воды.
7. Качество воды тракта реки Москвы, рассчитанное разными методами, соответствует β-мезотрофному классу.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации в изданиях,
рекомендованных ВАК РФ:**

1. Малашенков Д.В., Недосекин А.Г., Хромов В.М. Сравнительный анализ некоторых индексов для оценки качества воды в реке // Естественные и технические науки. М.: «Компания Спутник+», 2009. №3(41). С. 140-142.
2. Малашенков Д.В., Недосекин А.Г., Хромов В.М. Возможности использования индексов при оценке качества воды в реке Москве // Естественные и технические науки. М.: «Компания Спутник+», 2009. №5(43). С. 125-127.
3. Недосекин А.Г., Малашенков Д.В., Ростанец Д.В., Хромов В.М. Результаты исследования фитопланктона у берега и на стрежне реки Москвы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Биологический. Т. 114, выпуск 3. 2009. Приложение 1. Часть 2. С. 110-115.

Список работ, опубликованных по теме диссертации в других изданиях:

1. Малашенков Д.В. Изменение качественного состава фитопланктона по тракту реки Москвы // III Международная конференция «Актуальные проблемы современной альгологии» (Харьков, 20-23 апреля 2005 г.). Харьков: 2005. С. 20-22.

2. Григорьева В.Н., Малашенков Д.В., Заузолкова А.Д., Брагин Е.Г. Исследование планктона реки Москвы в районе Звенигородской биостанции // Флора и фауна Западного Подмосковья. М.: МГУ, 2005. Вып. 3. С. 6-13.
3. Малашенков Д.В. Пространственная изменчивость фитопланктона в реке Москве // IX Съезд гидробиологического общества РАН (г.Тольятти, Россия, 18-22 сентября 2006 г.), тезисы докладов. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. Том II. С. 14.
4. Малашенков Д.В. Использование фитопланктона для оценки качества воды реки Москвы // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сборник тезисов докладов международной конференции (г.Санкт-Петербург, 23-27 октября 2006 г.). СПб.: 2006. С. 98.
5. Малашенков Д.В. Сравнительный анализ методов оценки качества воды по структурным характеристикам фитопланктона // Материалы Международной научной конференции «Современные проблемы альгологии» (г.Ростов-на-Дону, 9-13 июня 2008 г.). С. 229-232.
6. Хромов В.М., Малашенков Д.В., Недосекин А.Г., Смирнова Я.Ю., Ростанец Д.В. Изменчивость структурных характеристик фитопланктона в условиях канал – насосная станция – река – водохранилище // Материалы Всероссийской школы-семинара «Проблемы современной альгологии» (г.Уфа, 7-9 октября 2008 г.). Уфа: 2008. С. 133-136.
7. Малашенков Д.В. Оценка антропогенного воздействия на речные системы по качественному и количественному составу фитопланктона // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы», конференции по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок» и школы-семинара «Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки» (Борок, 11-16 ноября 2008 г.). Борок: 2008. Часть 2. С. 278-281.

8. Недосекин А.Г., Малашенков Д.В., Недосекин А.А., Смирнова Я.Ю. Удобная форма регистрации данных о водоемах бассейна реки Москвы и Вазузской гидротехнической системы // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы», конференции по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок» и школы-семинара «Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки» (Борок, 11-16 ноября 2008 г.). Борок: 2008. Часть 3. С. 104-106.
9. Малашенков Д.В., Хромов В.М., Недосекин А.Г. Удаленность от берега – фактор изменения структурных характеристик фитопланктона р. Москвы // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России» (г.Азов, 8-10 июня 2009 г.). Ростов-на-Дону: 2009. Часть 2. С. 83-85.