



На правах рукописи

АФОНИНА Екатерина Александровна

**СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА
РЕКИ ВЕЛИКОЙ**

03.02.08 –экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата

биологических наук

Сыктывкар, 2016

Работа выполнена в ФГБУН Институте озераведения РАН.

Научный руководитель: **Трифенова Ирина Сергеевна**
доктор биологических наук, профессор, главный научный
сотрудник лаборатории гидробиологии ФГБУН
Института озераведения РАН

Официальные
оппоненты: **Комулайн Сергей Федорович**
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных
ФГБУН Института биологии Карельского научного
центра РАН

Патова Елена Николаевна
кандидат биологических наук, заведующая лабораторией
геоботаники и сравнительной флористики ФГБУН
Института биологии Коми научного центра УРО РАН

Ведущая организация: ФГБУН Институт биологии внутренних вод РАН
им. Папанина (Борок)

Защита состоится «_1_» _марта 2016 г. в 14-30 час. на заседании
диссертационного совета Д 004.007.01 в Федеральном государственном бюджетном
учреждении науки Институте биологии Коми научного центра Уральского отделения
РАН по адресу: 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28.

Факс: (8212)24-01-63

Телефон: (8212)24-11-19

E-mail: dissovet@ib.komisc.ru

С диссертацией можно ознакомиться на сайте ФГБУН Института биологии Коми
научного центра Уральского отделения РАН по адресу www.ib.komisc.ru

Автореферат разослан «___»_____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



Алевтина Григорьевна Кудряшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В условиях усиления антропогенного воздействия на водоемы мониторинг состояния водных объектов становится все более важной частью экологических исследований. Это определяется как необходимостью сохранения стабильности и биоразнообразия водных экосистем, так и исключительной ролью водоемов, прежде всего как источников питьевой воды. Одним из важнейших компонентов экологического мониторинга является фитопланктон, показатели которого позволяют оценить трофический статус водоемов и уровень их сапробности (Трифонов, 2007). Важная роль фитопланктона в оценке состояния водотоков подтверждена и Водной Рамочной Директивой Европейского Союза (Directive..., 2000).

Река Великая является важнейшим водоемом Псковской области и основным притоком Псковско-Чудского озера (Природа..., 1974). По ее берегам располагаются города Опочка, Остров, Псков и другие населенные пункты. Река имеет большое значение для водоснабжения городов региона и рекреации. На своем протяжении она подвергается значительному антропогенному воздействию, что оказывает влияние на ее экосистему и качество воды. Основными источниками загрязненных сточных вод, сбрасываемых в реки, являются предприятия жилищно-коммунального хозяйства и агропромышленного комплекса. Изучение фитопланктона р. Великой, его структуры, динамики и показателей продуктивности позволяет выявить современное экологическое состояние реки и является основой для дальнейших исследований и прогноза его изменений.

Цели и задачи. Цель работы – выявить особенности таксономического состава, сезонную динамику структуры и биомассы фитопланктона р. Великой и оценить экологическое состояние реки и качество ее вод по фитопланктону. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- 1) изучить таксономический состав фитопланктона, его пространственную и временную динамику;
- 2) изучить пространственную и сезонную динамику биомассы фитопланктона и ее структуры;
- 3) выявить основные факторы, определяющие изменение видового разнообразия и структуры биомассы фитопланктона;
- 4) оценить экологическое состояние реки и качество ее вод по показателям фитопланктона.

Научная новизна и практическое значение работы. Автором впервые проведено систематическое исследование фитопланктона р. Великой от истока до устья и приводится достаточно полный таксономический состав фитопланктона р. Великой – список, насчитывающий 511 таксонов водорослей. Впервые получены данные о биомассе фитопланктона, ее сезонной динамике и пространственном распределении по течению реки. В верхнем течении реки, где большое влияние оказывает фитопланктон озер, выявлены наибольшие значения биомассы, в среднем течении она снижается и затем увеличивается ближе к устью. В сезонной динамике биомассы фитопланктона нижнего течения р. Великой отмечено

2–3 пика: в конце мая – начале июня, в июле и в августе. Показано, что в отличие от многих европейских рек таксономическое разнообразие фитопланктона р. Великой максимально в истоке реки, значительно снижается в среднем течении и затем увеличивается по направлению к устью. Оценены основные факторы формирования таксономического разнообразия, структуры и биомассы сообщества, к которым относятся влияние озер и зарегулирование. На станциях ниже плотин ГЭС и после порогов происходит сокращение биомассы, числа видов и изменение таксономической структуры фитопланктона. Экологическое состояние реки по фитопланктону оценено, как промежуточное между 3 и 4 классом качества (от «слабо загрязненных» до «умеренно загрязненных» вод).

Теоретическое и практическое значение работы. Исследования вносят вклад в изучение закономерностей формирования и распределения речного фитопланктона. Анализ особенностей динамики структурных и продукционных показателей фитопланктона р. Великой в зависимости от факторов среды является дополнением в развитие концепции речного континуума. Полученные данные о составе, таксономической структуре, сезонной динамике биомассы, характеристиках водорослей фитопланктона и оценка экологического состояния на всем протяжении реки необходимы для анализа происходящих в реке явлений и прогноза дальнейших изменений ее экологического состояния, вызванных влиянием антропогенных факторов. Результаты исследований могут использоваться для обоснования мониторинга и разработки природоохранных мероприятий с целью оптимизации экологического состояния р. Великой.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Основу таксономической структуры фитопланктона р. Великой составляют диатомовые и зеленые водоросли. Фитопланктон реки можно охарактеризовать как диатомово-зеленый со значительным участием синезеленых водорослей.
2. В отличие от многих европейских рек таксономическое разнообразие и биомасса фитопланктона р. Великой максимальны в истоке реки, значительно снижаются в среднем течении и затем увеличиваются по направлению к устью. Основными факторами формирования фитопланктона являются влияние озер, изменение гидрологического режима, включая зарегулирование, и антропогенное загрязнение.
3. По показателям фитопланктона р. Великая относится к олиго-мезотрофному типу, классу умеренно загрязненных вод.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является самостоятельно выполненной, законченной научно-исследовательской работой, посвященной исследованию фитопланктона реки Великой (Псковская область). Автором лично проведен сбор проб в полевых условиях, обработка материала под микроскопом, идентификация водорослей, определение биомассы и содержания хлорофилла, анализ, математическая и статистическая обработка материала. Для проведения многомерного статистического анализа были использованы гидрохимические данные сотрудников Псковского отделения ГосНИОРХ и лаборатории гидрохимии ИНОЗ РАН. Для оценки многолетних изменений использованы литературные и архивные материалы

сотрудников Псковского отделения ГосНИОРХ. Доля участия автора в совместных публикациях пропорциональна числу авторов.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на заседаниях Лаборатории гидробиологии Института озераведения РАН (СПб. 2013, 2014) и Альгологической секции Русского ботанического общества БИН РАН им. В.Л. Комарова (СПб. 2014), Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология-2009» (Пушино, 2009), международной научно-практической конференции «Проблемы социально-экономической и эколого-хозяйственной политики стран бассейна Балтийского моря» (Псков, 2011), Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (СПб. 2011), VIII Международном симпозиуме «Use of Algae for Monitoring Rivers» (Madrid, 2012), XIII Международной научной конференции «Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований» (Борок, 2013).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа изложена на 168 страницах машинописного текста и включает введение, 7 глав, выводы, список литературы, 2 приложения, 13 таблиц и 34 рисунка. Список литературы включает 220 источников (в том числе 52 зарубежных).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава1. История исследования речного фитопланктона и изученность фитопланктона реки Великой (обзор литературы)

Речной фитопланктон до последнего времени был изучен значительно слабее по сравнению с фитопланктоном озер. Тем не менее, первые исследования речного фитопланктона проводились еще в начале 20 века (Zacharias, 1898; Schröder, 1899; Kofoid, 1903, 1908; Lemmermann, 1907; Steuer, 1911; Kolkwitz, 1912 и др.), когда было введено само понятие «потамифитопланктон». При этом одни авторы считали, что в силу воздействия течения и постоянного перемешивания вод характерной чертой потамифитопланктона является постоянное присутствие донных и случайно-планктонных видов (Воронихин, 1953, и др.). Другие исследователи в понятие «потамифитопланктон» включали только истинно-планктонные организмы, обитающие в толще воды и не зависящие от твердого субстрата (Скабичевский, 1950, 1960; Hynes, 1970). В настоящее время в сообществе речного фитопланктона признается равнозначное существование водорослей бентоса и перифитона, лимнопланктона и собственно потамопланктона (настоящего речного планктона) (Holmes, Whitton, 1981; Reynolds, 1988). В дальнейшем, в ходе изучения речных экосистем были установлены некоторые особенности видовой структуры фитопланктона рек, ведущие факторы, влияющие на его структуру и обилие, особенности сезонной динамики (Гусева, 1961, 1966; Приймаченко, 1981 и др.). В конце XX века развивается фитоценотическое направление в изучении потамифитопланктона, особенностей его

реагирования на комплексное воздействие абиотических факторов среды (Охапкин, 2000; Корнева, 2005 и др.). Среди общих концепций формирования лотических экосистем основными считаются три: речного континуума (The river continuum..., 1980), четырехмерной природы лотических экосистем (Ward, 1989; Богатов, 1994; Riverine landscape diversity, 2002) и динамики пятен (Townsend, 1989).

Фитопланктон р. Великой до сих пор недостаточно изучен, хотя первые его исследования были проведены в 1976 г. в рамках комплексного изучения Псковско-Чудского озера (Судницина, Ястремский, 1976). Фитопланктон устьевых участков крупных рек, впадающих в Псковско-Чудское озеро изучался эстонскими учеными в 1985–87 гг. и русскими – в 1991–94 гг. (Laugaste, Yastremskij, 2000). С 1990 г. осуществляется комплексный мониторинг дельты р. Великой, в том числе по фитопланктону (Судницина, 1996, 2003). В 1995–2007 гг. изучался фитопланктон и фитоперифитон р. Великой у г. Пскова (Экологический мониторинг..., 2009).

Глава 2. Характеристика объекта исследований

Река Великая относится к бассейну р. Нарвы и в целом к бассейну Балтийского моря. Территория бассейна расположена на северо-западе Русской равнины в пределах Прибалтийской низменности. Климат характеризуется как умеренно-континентальный, влажный, смягченный близостью Балтийского моря, что определяет неустойчивый характер погоды во все сезоны (План управления..., 2006). Река берет начало из озера Малый Вяз на юге области и впадает в Псковское озеро на севере, образуя обширную дельту. В верхнем течении на протяжении 124 км река проходит через систему озер, соединенных протоками (Природа..., 1974). Вода р. Великой относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция (Алекин, 1970), со средней минерализацией 151 – 343,5 мг/л. Жесткость варьирует от 2 до 5,2 мг-экв/л. Вода характеризуется повышенной цветностью, изменяющейся вниз по течению и сезонам от 8 до 120°. Коричневатый цвет воды обусловлен растворенными в воде органическими веществами, поступающими из заболоченных участков. На протяжении реки рН колеблется в пределах 7,6 – 8,6. Содержание кислорода высокое, но вниз по течению снижается с 13,9 до 7,2 мг/л, перманганатная окисляемость, напротив, возрастает от истока к устью (0,8 – 34,8 мгО₂/л). БПК₅ варьирует в пределах 0,2 – 3,0 мгО₂/л и наибольших значений достигает в истоке реки в озере Б. Вяз и нижнем течении. Удельная электропроводность (179 – 397 мкСм/см) и сумма ионов увеличиваются вниз по течению. Содержание общего фосфора изменяется от 0,02 до 0,06 мг/л, общего азота от 0,08 до 1,5 мг/л, возрастая вниз по течению реки, и, как правило, от весеннего сезона к осеннему. По содержанию органического вещества (БПК₅) и биогенных элементов воды р. Великой можно считать мезотрофными и только в нижнем течении у Пскова – эвтрофными (OECD, 1982).

К основным точечным источникам загрязнения относятся предприятия ЖКХ и промышленности, сельские населенные пункты. Значительная доля сбрасываемых в реку сточных вод остается без очистки. Оценка качества воды по индексу загрязненности за ряд лет свидетельствует о том, что на станциях среднего и нижнего течения реки (Опочка, Остров,

Псков) до 2004 г. воды относились к III классу – «умеренно загрязненные», но в 2004 г. качество вод ухудшилось на всех станциях ниже г. Опочка и относилось к IV классу вод – «загрязненные» (План управления..., 2006).

Глава 3. Материал и методы исследования

Материалом для работы послужили качественные и количественные пробы фитопланктона, собранные в 2011 – 2012 гг. на 19 станциях на всем протяжении р. Великой (рис. 1). Кроме того, были использованы пробы, собранные на 6 участках в 2008 – 2010 гг. Количественные пробы фитопланктона на 19 станциях отбирали раз в 3 месяца с мая по октябрь. Весной 2011 г. пробы собирали только на 13 станциях, а летом 2011 и 2012 гг. – на 17. Зимний отбор проб был проведен в декабре 2011 г. и в феврале 2012 г. Для анализа сезонной динамики фитопланктона количественные пробы отбирались раз в две недели с апреля по октябрь на 3-х станциях – у дер. Промежицы (выше Пскова), у центральной части города и в районе Снятной Горы (ниже города) в 2011 г. и на одной станции – ниже города в 2012 г. За весь период исследований собрано и обработано около 300 количественных проб фитопланктона.

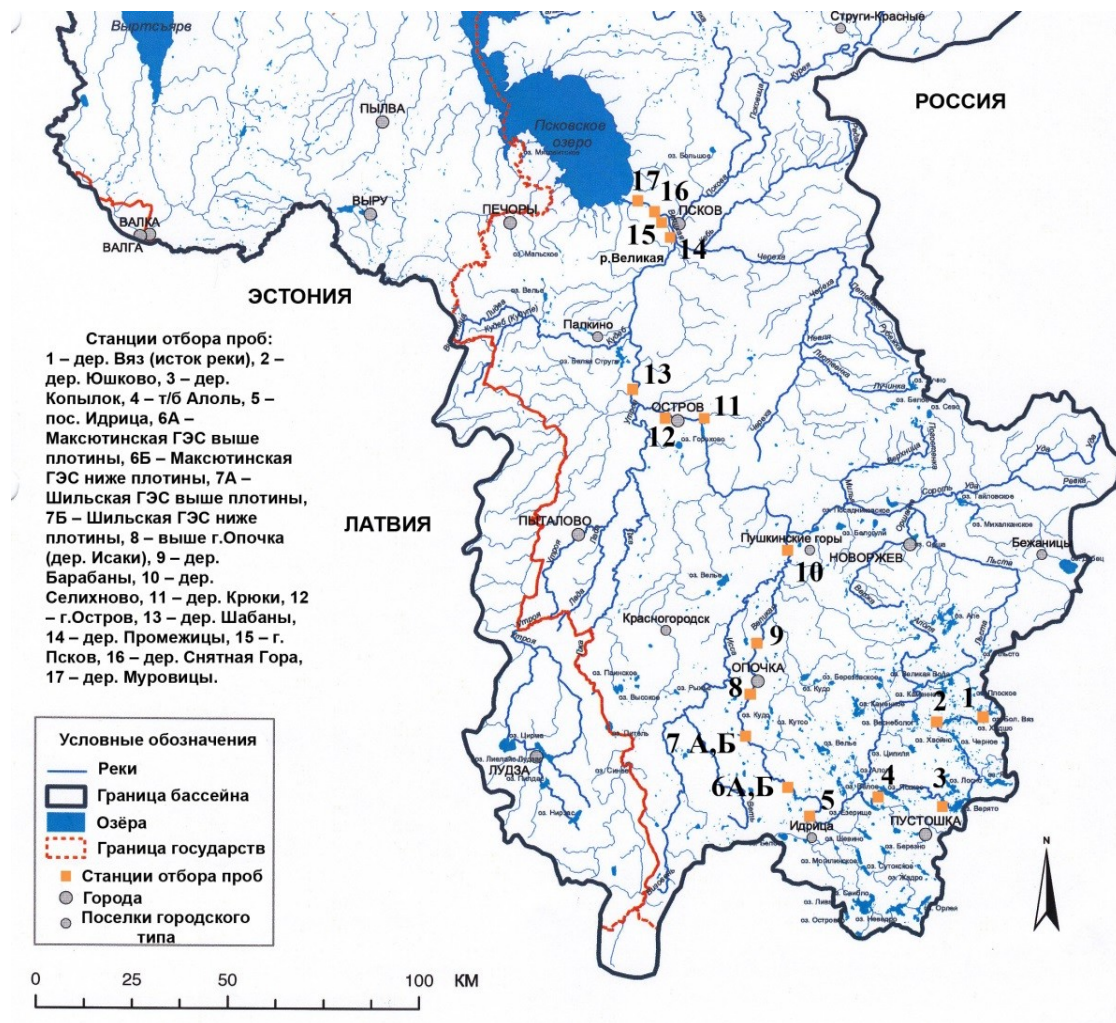


Рис.1. Карта станций отбора проб

Количественные пробы фитопланктона отбирали из поверхностного слоя воды пластиковым пробоотборником объемом 1 л, фиксировали раствором Люголя (Гусева, 1959) с дофиксацией 40% раствором формалина, концентрировали осадочным методом до 50 мл и просматривали в камере Нажотта (0,01 см³) с использованием микроскопа МБР-1 (Гусева, 1959; Унифицированные методы..., 1975). Кроме того, просматривали живые пробы для уточнения некоторых видов криптомонад и других жгутиковых по характеру движения. Для отбора качественных проб использовали планктонную сеть из газа № 73.

Биомассу водорослей рассчитывали общепринятым способом по объемам водорослей, определенных методом геометрического подобия для каждой пробы (Гусева, 1959; Кузьмин, 1984; Willen et al, 1985). Диатомовые водоросли определяли в постоянных препаратах, предварительно обработав водоросли по методу сжигания хромовой смесью (Балонов, 1975), а также исследовали в сканирующем электронном микроскопе JSM-25S в ЦКП электронной микроскопии ИБВВ РАН (Борок). Идентификацию водорослей проводили с использованием отечественных и зарубежных определителей.

Для оценки сапробности воды использовали метод индикаторных организмов Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sladecsek, 1973). Анализ сходства видового состава водорослей исследованных участков реки проведен методом кластеризации с использованием индексов Сёренсена-Чекановского (Шмидт, 1980). Для оценки разнообразия использовали индекс Шеннона-Уивера (Одум, 1975). Определение содержания хлорофилла проводили стандартным спектрофотометрическим методом и рассчитывали по формулам ЮНЕСКО (UNESCO, 1966). Первичную продукцию определяли скляночным методом в кислородной модификации (Винберг, 1960). Параллельно отбирали пробы для гидрохимического анализа воды.

Глава 4. Таксономический состав и экологическая характеристика фитопланктона реки Великой

За период исследований во флоре р. Великой идентифицированы 463 вида (511 таксонов рангом ниже рода) водорослей, принадлежащих к 8 отделам (табл. 1). Наиболее разнообразны отделы Bacillariophyta – 212 таксонов (41,5 %), Chlorophyta – 161 (31,5 %) и Cyanophyta – 56 (11 %). Менее разнообразны Euglenophyta (5,9 %), Chrysophyta (4,5 %) и Dinophyta (3,5 %). Cryptophyta и Xantophyta представлены единичными видами.

Число видов на разных станциях изменялось от 76 до 222 и имело тенденцию к увеличению вниз по течению (рис. 2). Наибольшее число таксонов (222) отмечено в районе г. Пскова на ст. № 15, где в реку Великую впадает сразу два притока. Видовое богатство несколько уменьшается в устьевом участке (179 таксонов), что может быть связано с антропогенным влиянием. Наименьшее число видов обнаружено на ст. 13, на порожистом участке, расположенном ниже г. Остров (76 таксонов), и на ст. 6А – 7Б (84 – 99 таксонов). Сокращение числа видов на этих станциях обусловлено влиянием плотин ГЭС и прохождением реки через участки с порогами. Подобная закономерность была отмечена при изучении р. Вуоксы, где

расположенные на реке ГЭС, оказывают негативное влияние, аналогичное воздействию порогов (Состояние биоценозов..., 2004).

Таблица 1. Таксономическая структура фитопланктона р. Великой

Отделы	Число											
	классов	%	порядков	%	семейств	%	родов	%	видов	%	внутри-видовых таксонов	%
Cyanophyta	1	8,3	4	14,8	12	18,8	29	17,8	54	11,7	56	11,0
Bacillariophyta	2	16,7	7	25,9	19	29,7	53	32,5	179	38,7	212	41,5
Chlorophyta	4	33,3	9	33,3	23	35,9	56	34,4	154	33,3	161	31,5
Euglenophyta	1	8,3	1	3,7	1	1,6	5	3,1	25	5,4	30	5,9
Chrysophyta	1	8,3	1	3,7	1	1,6	6	3,7	23	5,0	23	4,5
Dinophyta	1	8,3	1	3,7	2	3,1	8	4,9	18	3,9	18	3,5
Cryptophyta	1	8,3	2	7,4	2	3,1	2	1,2	6	1,3	7	1,4
Xanthophyta	1	8,3	2	7,4	4	6,3	4	2,5	4	0,9	4	0,8
Всего	12	100	27	100	64	100	163	100	463	100	511	100

Почти на всех исследованных станциях диатомовые водоросли преобладали по числу таксонов. Исключение составляют зарегулированные участки, где наиболее разнообразны зеленые водоросли или находятся почти в равных долях с диатомеями. Зеленые водоросли также разнообразны на станциях верхнего течения, где их доля достигает 35–37 %.

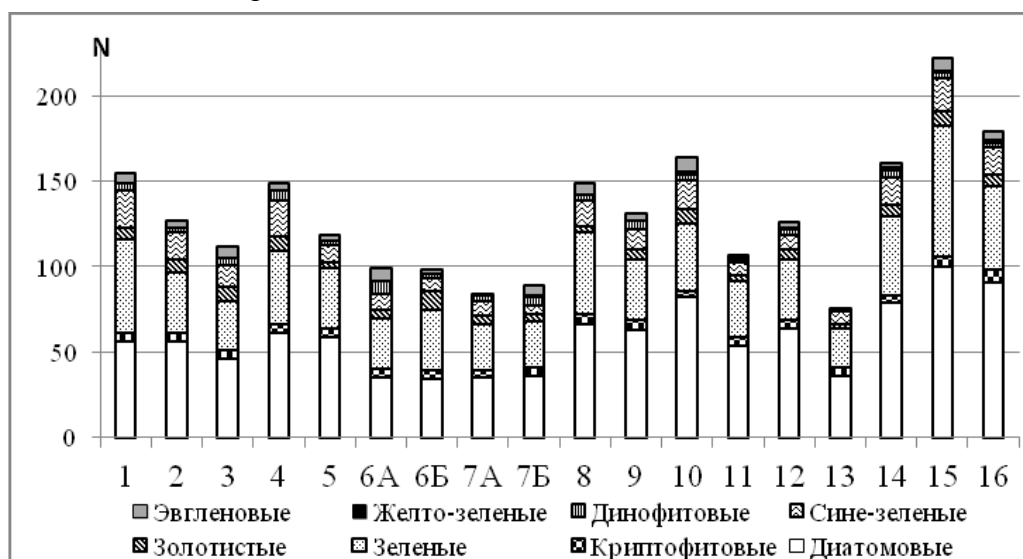


Рис.2. Таксономический состав фитопланктона исследованных участков реки Великой

Примечание: по оси ординат – число таксонов (N), по оси абсцисс – станции отбора проб.

Разнообразие синезеленых водорослей увеличивается на станциях верхнего течения, где река проходит через систему озер, и вблизи городов и населенных пунктов (до 22 таксонов – ст. 1, 4, 15). В среднем и нижнем течении реки (ст. 7Б, 10–12, 14–16) отмечены водоросли из всех 8 отделов, включая виды из отдела Xanthophyta. Эвгленовые чаще встречаются на антропогенно загрязненных участках в районе г. Пскова, д. Селихово и г. Опочки, а также в районе крупных озер, что согласуется с литературными данными о разнообразии эвгленовых в эвтрофных и

загрязняемых водоемах (Попова, 1966; Сафонова, 1987; Трифонова, 1990). Золотистые и динофитовые водоросли наиболее разнообразны на станциях верхнего течения и некоторых зарегулированных участках.

При сравнении полученных нами данных с данными исследований 1972–73 гг. и 1992–2001 гг., имеющимися для нижнего течения реки Великой (г. Псков и устьевой участок), было выявлено значительное увеличение видового разнообразия фитопланктона. Произошло усложнение таксономической структуры, появились виды из отделов Chrysophyta, Cryptophyta и Xanthophyta, причем представители криптофитовых вошли в состав доминантов. Подобные изменения структуры фитопланктона наблюдались и в других реках, например, в притоках р. Иртыш, в результате антропогенного эвтрофирования и загрязнения органическими веществами (Баженова, 2005; Барсукова, 2011).

Кластерный анализ на основе индексов Сёренсена-Чекановского показал, что наиболее сходны станции нижнего течения, которые в свою очередь близки к ст. 8 и 10, где также отмечено большое число видов (рис. 3). Станции верхнего течения выделяются в отдельный кластер, что, в основном, объясняется их близостью расположения и влиянием озер. Общность альгофлоры близко расположенных зарегулированных участков у Максютинской и Шильской ГЭС, а также станции 13 у д. Шабаны, может быть связана со сходством гидрологических условий в этой части реки (наличием порогов).

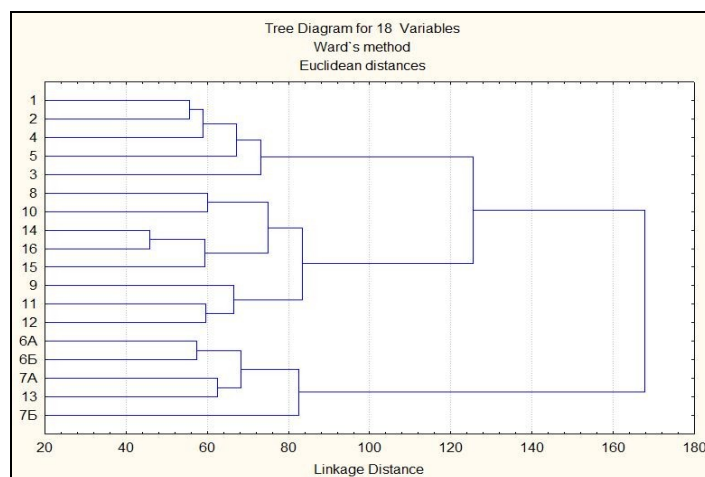


Рис. 3. Кластерный анализ участков реки по таксономической структуре фитопланктона с использованием индексов Сёренсена-Чекановского

Изменение таксономического разнообразия по руслу реки не в полной мере описывается концепцией речного континуума. В пользу концепции свидетельствует то, что есть виды, присутствующие на каждой станции на всем протяжении реки. Но в зависимости от условий на исследованных участках на первое место выходят те или иные отделы и виды водорослей, происходит смена доминантов. Изменение видового разнообразия зависит от градиента гидрологических факторов и гидрохимических параметров реки. Высокое разнообразие водорослей в верхнем течении р. Великой, обусловленное замедлением течения и прохождением ее через систему озер, является нетипичным для большинства рек умеренной зоны, имеющих, как правило, происхождение из небольших ручьев, отличающихся высокой скоростью течения и низким видовым разнообразием фитопланктона в истоке (Охапкин, 1997; Фитопланктон..., 2003;

Состояние биоценозов..., 2004; Корнева, 2009; Протасов, 2011). Нарушение естественного гидрологического режима реки строительством ГЭС также отражается на видовом богатстве, приводит к его уменьшению, аналогично воздействию порогов. В среднем течении реки, где согласно концепции речного континуума видовое разнообразие должно быть максимальным, число видов значительно варьирует на разных станциях и определяется различными факторами, в том числе и антропогенными.

Для сезонной динамики таксономического состава характерно наибольшее разнообразие весной диатомовых водорослей – до 131 таксонов. По числу таксонов они доминируют на всех станциях. Значительным является вклад зеленых водорослей – 68 таксонов, занимающих второе место по разнообразию.

В летний период разнообразие зеленых водорослей увеличивается до 80 таксонов, а число синезеленых – до 32. Хотя в летний сезон диатомовые превосходят по общему количеству видов остальные отделы (101), на большинстве станций среди водорослей, обнаруженных при каждом отборе, зеленые преобладают по числу таксонов. Разнообразие диатомовых уменьшается в сравнении с весенним периодом, изменяются доминирующие виды, представленные в основном пennisнатыми диатомеями.

Осенью разнообразие всех отделов снижается. По числу таксонов преобладают диатомовые, но разнообразие зеленых водорослей также остается значительным. Зимой основу таксономической структуры составляют диатомовые, второе место занимают зеленые водоросли. Число синезеленых водорослей снижается до 2 таксонов, сохраняются холодоустойчивые золотистые водоросли. На всех станциях во все сезоны отмечены представители Cryptophyta.

При эколого-географическом анализе альгофлоры р. Великой выявлено, что основная часть водорослей является космополитами (80 % от числа видов с известной характеристикой). По приуроченности к местообитанию в альгофлоре реки Великой доминируют планктонные виды — 47 %. По отношению к солености воды на всех исследованных участках реки преобладают олигогалобы-индифференты (75,7 %), по отношению к pH – алкалифилы (55,9 %).

Глава 5. Биомасса фитопланктона и ее динамика

Весной биомасса фитопланктона изменялась на исследованных участках от 0,1 до 2,0 мг/л и достигала максимума в устьевом участке ниже г. Пскова (рис. 4 А). Довольно высокие биомассы (до 1,5 мг/л) также зарегистрированы в верхнем течении, где река проходит через систему озер (ст. 1 – 4). В основном доминировали диатомовые, но на ст. 3 более значительной становилась роль криптофитовых водорослей (до 36 %), а на ст. 4 – увеличивалась биомасса динофитовых (до 26,4 %). В среднем течении реки биомасса весеннего фитопланктона уменьшалась, достигая минимальных значений в районе г. Опочка (ст. 8) – 0,14 мг/л. Изменялось процентное соотношение – на долю диатомовых приходилось в среднем около 24 % от общей биомассы (ст. 8 – 9), основу биомассы составляли криптофитовые (до 56 %) и зеленые (до 38,6 %) водоросли. Биомасса уменьшалась на станциях 9, 11, 12, и увеличивалась на ст. 10, расположенных вблизи крупных городов. Это может быть связано с антропогенным влиянием,

т.к. в реку поступают городские, промышленные сточные воды и стоки с полей. В нижнем течении реки количественные показатели фитопланктона значительно возрастали. Диатомовые составляли основу биомассы, среди них преобладали в основном центрические, а также значителен был вклад криптофитовых и зеленых водорослей.

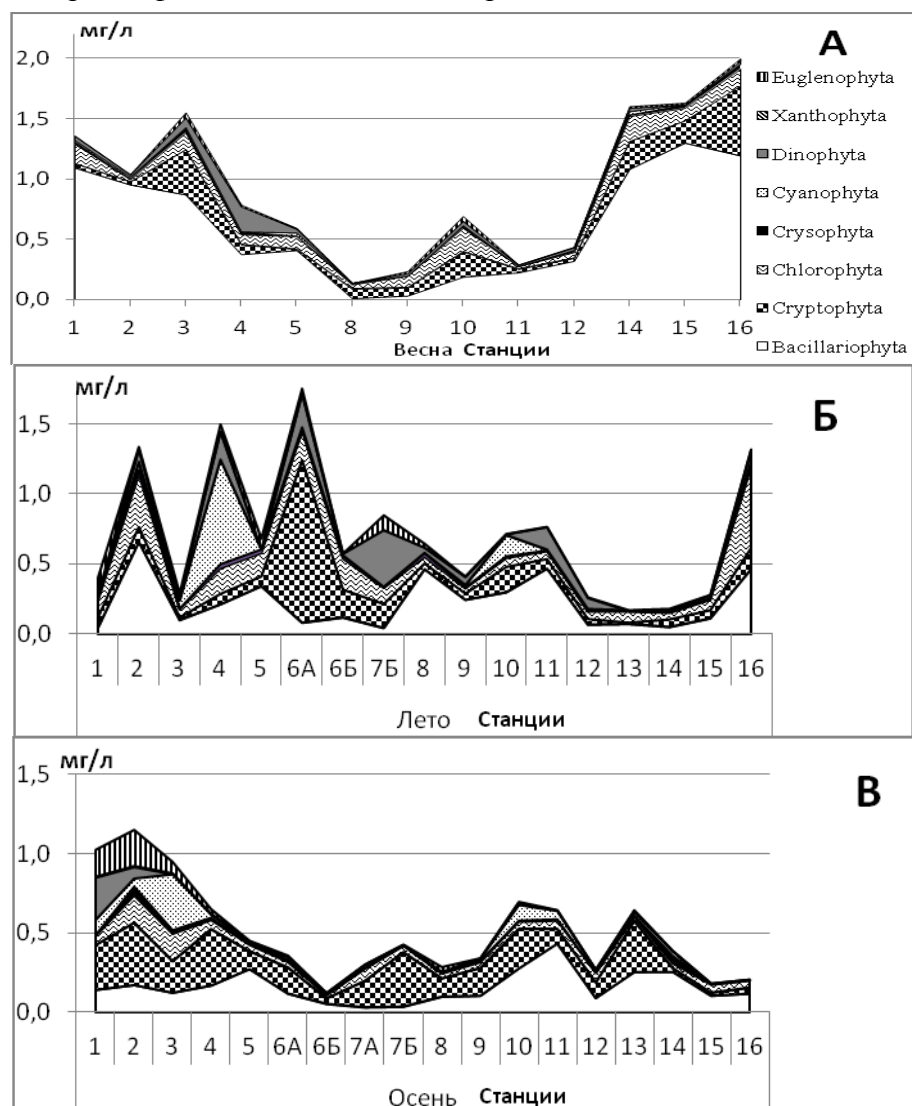


Рис. 4. Пространственное распределение биомассы фитопланктона р. Великой (2011 г.).

А- весна, Б-лето, В- осень

В летний сезон пространственное распределение биомассы фитопланктона р. Великой отличалось большей неоднородностью. В 2011 г. она изменялась от 0,17 до 1,75 мг/л (рис 4 Б), а в 2012 г. – от 0,27 (ст.15) до 2,42 (ст. 1) мг/л. Максимум биомассы летом, как и за весь период наблюдений, отмечен в 2012 г. на ст. 1 у истока р. Великой из оз. Большой Вяз. Здесь значительную роль играли *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Sim., *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim., *Trachelomonas volvocina* Ehr. Диатомовые занимали доминирующее положение, создавая 48% общей биомассы. Увеличение биомассы фитопланктона связано с пиком развития водорослей в озерах. На ст. 4 в 2011 г. преобладали синезеленые водоросли *Phormidium autumnale* Gom., *Planktothrix agardhii* (Gom.) Anagn. et Kom., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs ex Born. et Flash., а также *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh. из динофитовых водорослей, что может быть связано с «цветением»

озер и попаданием озерного фитопланктона в реку. Подобная закономерность наблюдалась в озеровидных расширениях р. Вуоксы в летний период, где свыше 50% общей биомассы составляли синезеленые водоросли (Состояние биоценозов..., 2004).

В среднем течении пики биомассы наблюдались на зарегулированных участках. Наибольшего значения в 2011 г. биомасса достигала на станции выше Максютинской ГЭС (ст. 6А) – 1,75 мг/л, в основном за счет развития криптофитовых *Chroomonas acuta* Utermöhl, *Cryptomonas erosa* Ehr., *Cryptomonas marssonii* Skuja, а также видов родов *Chlamydomonas*, *Gymnodinium* и *Peridinium* (рис. 4 Б). В 2012 г. биомасса на данной станции достигала 2 мг/л, субдоминантами были динофитовые – 28,6 %. Увеличение встречаемости видов *Dinophyta* характерно для старых небольших водохранилищ с развитой прибрежной растительностью (Майстрова, 2002; Горбулин, 2004). Ниже плотины биомасса, как правило, снижалась, варьируя на станциях среднего течения от 0,4 до 0,8 мг/л, причем, диатомовые вновь занимали доминирующее положение, составляя от 41 до 71 % биомассы. В нижнем течении наибольшая биомасса была зарегистрирована в устьевом участке (ст. 16) – 1,3 мг/л в 2011 г. и 1,0 мг/л в 2012 г. В 2011 г. доминирующей группой были зеленые водоросли (*Chlamydomonas* sp.), а в 2012 г. – криптофитовые, среди которых выделялся *Cryptomonas erosa* Ehr. (48,8 %), индикатор α -мезосапробной зоны.

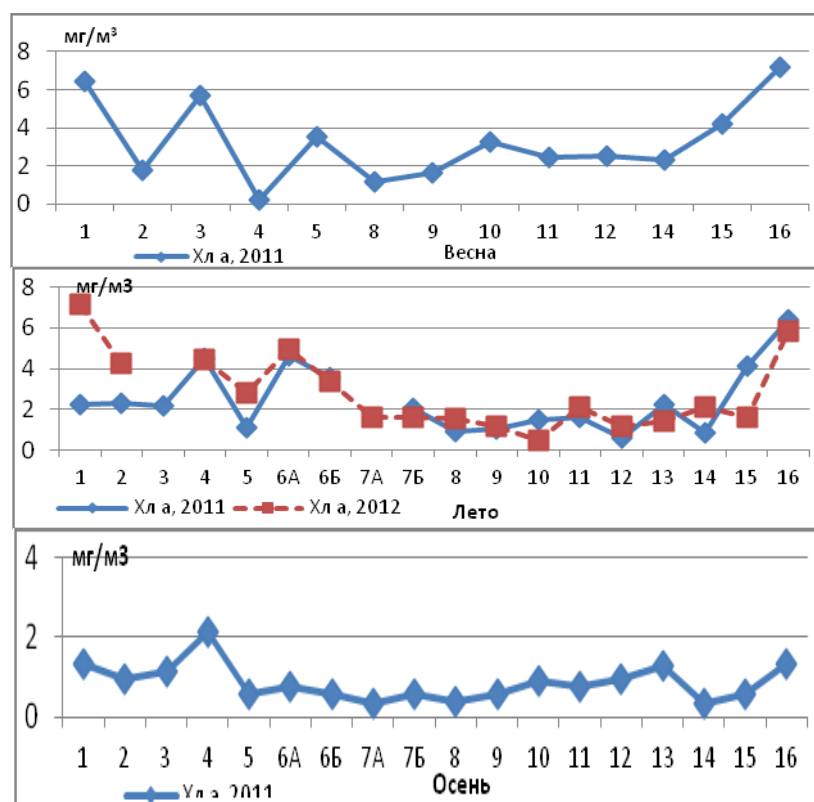


Рис. 5. Пространственное распределение хлорофилла «а» (Хл а) в планктоне р. Великой

Осень в 2011 г. отличалась повышенными температурами. В озерах в верхнем течении Великой продолжалось развитие водорослей, которые попадали в речной фитопланктон. Биомасса в верхнем течении (ст. 2) достигала 1,1 мг/л (рис.4 В). Доминировали криптофитовые, динофитовые, эвгленовые и синезеленые. В среднем течении биомасса фитопланктона

снижалась до 0,45 мг/л (ст. 5), преобладали диатомовые (61 %). В нижнем течении биомасса изменялась от 0,4 мг/л на ст. 14 выше г. Пскова до 0,18 мг/л в районе города (рис. 4 В).

Пространственное распределение биомассы по течению реки частично объясняется концепцией речного континуума, на что указывают постепенная смена доминантов на станциях, зависимость величины и структуры биомассы фитопланктона от гидрологических и гидрохимических факторов. Но к факторам, нарушающим речной континуум, можно отнести зарегулирование реки плотинами ГЭС и антропогенное влияние.

Распределение биомассы фитопланктона на исследованных участках подтверждается распределением содержания хлорофилла «а», которое изменялось от 0,22 (весна ст. 4) до 7,15 мг/м³ (весна ст. 15, лето ст. 1) (рис.5). Величина первичной продукции фитопланктона за период наблюдений варьировала от 0,03 до 1,86 мгО/л сутки, в отдельных случаях наблюдались отклонения величины продукции от биомассы фитопланктона.

При сравнении с данными исследований фитопланктона р. Великой осенью 1986 г. в районе гг. Опочка и Псков отмечено, что в 2011 г. увеличилось разнообразие отделов и число видов, сменились доминантные виды: в 1986 г. в основном преобладали диатомовые (*Fragilaria capucina* Desm.), в 2011 г. – среди доминантов появлялись криптофитовые (*Cryptomonas erosa*, *Chroomonas acuta*), являющиеся индикаторами α -, α - β -мезосапробных условий.

Сезонная динамика биомассы фитопланктона р. Великой была подробно изучена в нижнем течении. Биомасса фитопланктона в 2011 г. изменялась от 0,02 до 1,2 мг/л и достигала максимума в июне на участке ниже г. Пскова (рис. 6). После вскрытия реки первый пик биомассы наблюдался в середине мая. Наибольшего значения биомасса достигала в пределах г. Пскова – 0,9 мг/л. До 81 % биомассы составляли Bacillariophyta, а также значительную роль играли Chlorophyta и Cryptophyta. Выше города биомасса составляла 0,3 мг/л, а ниже – 0,6 мг/л.

Следующий максимум биомассы отмечен во второй половине июня и характеризовался сменой доминантных групп. В районе города биомасса достигала 0,5 – 0,6 мг/л, ниже Пскова – 1,0 – 1,2 мг/л. Большое значение приобретали Chlorophyta (40 %) благодаря развитию *Dictyosphaerium pulchellum* Wood, *Sphaerocystis planctonica* (Korsh.) Bourr., *Coelastrum microporum* Näg., виды рода *Chlamydomonas*, а также Cryptophyta (28 %) и Dinophyta (24 %). Как правило, Bacillariophyta были субдоминантами. Увеличивалась доля Chrysophyta (2,5 %) и Xanthophyta (3 %). Ниже Пскова в этот период зарегистрированы самые высокие показатели биомассы золотистых (0,1 мг/л) за счет развития *Chrysococcus rufescens* Klebs и *Mallomonas* sp.

Во второй половине июля зарегистрирован пик биомассы водорослей на станции выше и в районе города (1 мг/л), в то время как ниже Пскова биомасса уменьшалась до 0,3 мг/л (рис. 6). В фитопланктоне выше города преобладали Bacillariophyta (33 %) и Chlorophyta (32 %). Значительной являлась доля Cryptophyta – 22 %. Наибольший вклад в биомассу вносили виды рода *Fragilaria*, а также *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabenh. (10 %) и *Epithemia sorex* Kütz. – из диатомовых, виды рода *Chlamydomonas* – из зеленых, а также *Cryptomonas marssonii* Skuja, *Cryptomonas erosa* и *Chroomonas acuta* – из криптофитовых. У г. Пскова диатомовые составляли 84 % биомассы. Здесь в мае и июле отмечена самая высокая биомасса Bacillariophyta за год исследований. Но в отличие от весеннего сезона, доминирующими видами являлись пennisные

диатомеи: *Ulnaria acus* (Kütz.) Aboa, *Encyonema prostratum* (Berk.) Kütz., *Gomphonema constrictum* Ehr. и др. Отделы Cryptophyta и Chlorophyta составляли лишь 8 и 6 % соответственно.

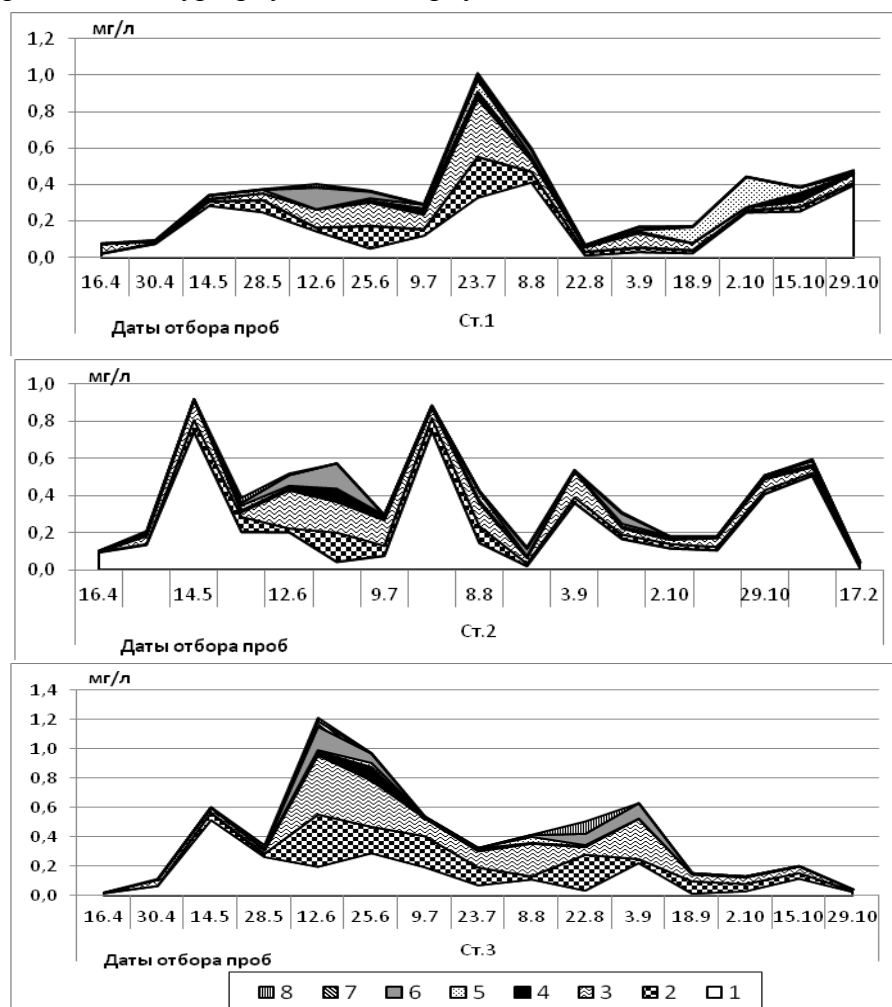


Рис. 6. Динамика биомассы фитопланктона р. Великой на участках нижнего течения в 2011 г.: 1 – Bacillariophyta; 2 – Cryptophyta; 3 – Chlorophyta; 4 – Chrysophyta; 5 – Cyanophyta; 6 – Dinophyta; 7 – Xanthophyta; 8 – Euglenophyta.

В начале осени увеличение биомассы отмечено в районе Пскова и ниже по течению (0,5 и 0,6 мг/л) благодаря преобладанию диатомовых и зеленых водорослей. В конце осени биомасса фитопланктона была представлена в основном диатомовыми и достигала 0,5 мг/л выше и в районе города. Такой же уровень биомассы (0,6 мг/л) сохранялся до декабря 2011 г., отличавшегося аномально высокими температурами. В 2012 г. биомасса фитопланктона была более высокой – от 0,15 до 1,5 мг/л. Пик развития водорослей отмечен в конце мая.

Глава 6. Основные факторы, определяющие разнообразие, структуру и биомассу фитопланктона р. Великой

Зависимость биомассы и таксономической структуры фитопланктона от факторов среды оценена методом регрессионного анализа. Критерием добавления в уравнение множественной линейной регрессии новой независимой переменной служило увеличение коэффициента

детерминации R^2 и соблюдение нормального распределения остатков регрессии. Для выявления основных факторов, влияющих на биомассу и видовое богатство всего фитопланктона и отдельных таксономических групп, проведен корреляционный анализ на основе пространственных съемок ($n=65$). Исходные значения переменных стандартизированы логарифмированием для достижения нормальности распределения (Оценка..., 2006; Rusanov et al., 2006; Trifonova et al., 2007).

Видовое богатство диатомовых и зеленых водорослей положительно связано с мутностью ($r = 0,74$, $p < 0,001$), цветностью ($r = 0,59$, $p < 0,001$) и содержанием аммонийного азота ($r = 0,51$, $p < 0,01$). Отрицательная зависимость отмечена с содержанием кислорода в воде ($r = -0,43$, $p < 0,001$) и нитратного азота. Видовое богатство всего сообщества фитопланктона положительно коррелирует с температурой воды ($r = 0,37$, $p < 0,01$), мутностью ($r = 0,65$, $p < 0,001$), цветностью ($r = 0,57$, $p < 0,001$) и аммонийным азотом ($r = 0,4$, $p < 0,05$).

Выведенные уравнения регрессии наиболее полно описывают связь общего числа видов (N) и видов зеленых водорослей с факторами среды ($R^2 = 0,71$ и $R^2 = 0,64$ соответственно):

$$N_{\text{общее}} = 2,06 - 1,02 \times O_2 + 0,29 \times \text{Мутность} - 0,82 \times NO_3 + 0,27 \times \text{Цветность},$$
$$(R^2 = 0,71, F = 16,6, p < 0,0001).$$

На зарегулированных участках реки наблюдается отклонение фактического числа видов диатомовых от модели в сторону занижения, что подтверждает негативное влияние изменения гидродинамического режима реки на видовое богатство фитопланктона (Охапкин, 1997; Состояние..., 2004).

Отмечена отрицательная связь общей биомассы фитопланктона и биомассы диатомовых водорослей с содержанием кислорода ($r = -0,43$, $p < 0,001$), нитратного азота ($r = -0,41$, $p < 0,05$) и общей минерализацией ($r = -0,38$, $p < 0,01$), и положительная с температурой воды ($r = 0,25$, $p < 0,05$). Снижение содержания кислорода при увеличении биомассы может происходить при затратах кислорода на дыхание водорослей и при повышении температуры. Прямую зависимость биомассы фитопланктона от температуры отмечали ряд исследователей (Николаев, 1971; Трифонова, 1990; Судницына, 2003; Корнева, 2009). Отрицательная связь с содержанием нитратного азота, по-видимому, связана с его поглощением при массовом развитии водорослей. Положительная зависимость наблюдается для биомассы диатомовых с мутностью и цветностью воды, что подтверждает представление о том, что большинство из них являются тенелюбивыми (Гусева, 1952). Получена положительная зависимость биомассы криптофитовых с содержанием нитритов ($r = 0,68$, $p < 0,001$) и фосфатов ($r = 0,39$, $p < 0,05$).

Зависимость биомассы фитопланктона (B) от факторов среды описывается уравнениями регрессии несколько хуже, чем распределение видового богатства:

$$B_{\text{общая}} = 1,67 - 1,13 \times O_2 - 0,86 \times NO_3, (R^2 = 0,41, F = 6,5, p < 0,01).$$

Вероятно, это объясняется значительным воздействием на биомассу неучтенных гидрологических и биотических (выедание зоопланктоном) факторов. Наибольшие положительные отклонения общей биомассы от рассчитанной модели отмечены в верхнем течении и в устьевом участке. В большинстве случаев коэффициенты корреляции достаточно низкие, что считается характерным для лотических экосистем (Охапкин, 1997).

Глава 7. Оценка экологического состояния и качества воды реки Великой по фитопланктону

Из 511 таксонов водорослей, найденных в р. Великой, 278 (54 %) являются индикаторами загрязнения воды органическими веществами по системе Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sládeček, 1973) и 107 видов (21 %) – по системе Ватанабе (Watanabe et al., 1986, 1988). На всех участках реки доминируют β -мезосапробы: от 23 до 68 видов на станции, что составляет 39 – 53 %. Индикаторы промежуточной зоны загрязнения (о- β -мезосапробы и β -о-мезосапробы) занимают в планктонном сообществе второе место по значению и особенно разнообразны в верхнем течении и на участке выше Шильской ГЭС. Число показателей чистых вод (х-, х-о-сапробов и о-сапробов) невысокое (1,5 – 13,8 %). В районе д. Юшково (ст. 2), у турбазы Алоль (ст. 4), у д. Селихново (ст. 10) и д. Крюки (ст. 11) отмечено наибольшее количество β - α -мезосапробов и α - β -мезосапробов (10,6 – 12,3 %). На всех станциях встречаются о- α -мезосапробы, число которых было большим у д. Крюки (7,7 %). Доля индикаторов высокого загрязнения вод (α - и α -р-сапробы) варьирует на разных станциях от 7,4 до 15,4 %, причем, α -р-сапробы встречаются только на 4-х участках реки: у д. Вяз (ст. 1), г. Опочка (ст. 8), д. Барабаны (ст. 9), д. Селихново (ст. 10). В г. Опочка и д. Селихново расположены несколько молокозаводов, стоки которых, а также сточные воды объектов ЖКХ города оказывают антропогенное воздействие на воды реки. Максимальное число α - и α -р-сапробов отмечено в районе д. Крюки (15,4 %) и д. Барабаны (14,3 %), расположенных ниже загрязняемых станций 8 и 10. Соотношение индикаторов загрязнения вод по Ватанабе (Watanabe et al., 1986, 1988) согласуется с данными сапробиологического анализа по Пантле и Букк.

Весной 2011 г. наибольшие значения индекса сапробности отмечены в устьевом участке (2,1), наименьшие – на станциях в верхнем и среднем течении реки (ст. 1 – 1,8; ст. 5 – 1,8) (рис. 7). В среднем течении в районе станций 8, 11 и 12 довольно высокие индексы указывают на антропогенное загрязнение. В районе ст. 8 находился молочный завод, стоки с которого поступали в реку, а также негативное воздействие оказывают канализационные сбросы г. Опочка (План управления..., 2006). Однако, уменьшение индекса сапробности на станции ниже г. Опочка (ст. 9), демонстрирует способность экосистемы реки к самоочищению. Согласно значениям индекса сапробности наибольшее антропогенное влияние испытывают три станции в нижнем течении реки у г. Пскова, что также может объясняться сбросом бытовых стоков и влиянием загрязняемых притоков (р. Череха, р. Пскова). За два летних периода 2011 и 2012 гг. индексы изменялись в одинаковых пределах от 1,8 до 2,2, но распределение по течению реки несколько отличалось. В 2011 г. в верхнем течении увеличение индексов на ст. 2 и ст. 4 соответствовало интенсивному развитию водорослей в озерах, через которые проходит река, и увеличению биомассы на этих станциях.

Наибольшее значение индекса в среднем течении отмечено на ст. 8 – 2,2, что объясняется антропогенным влиянием (сбросы молокозавода). Здесь также отмечены эвгленовые водоросли

(*Euglena viridis* Ehr., *Phacus curvicauda* Swir.), способные к миксотрофному питанию и указывающие на увеличение содержания органических веществ.

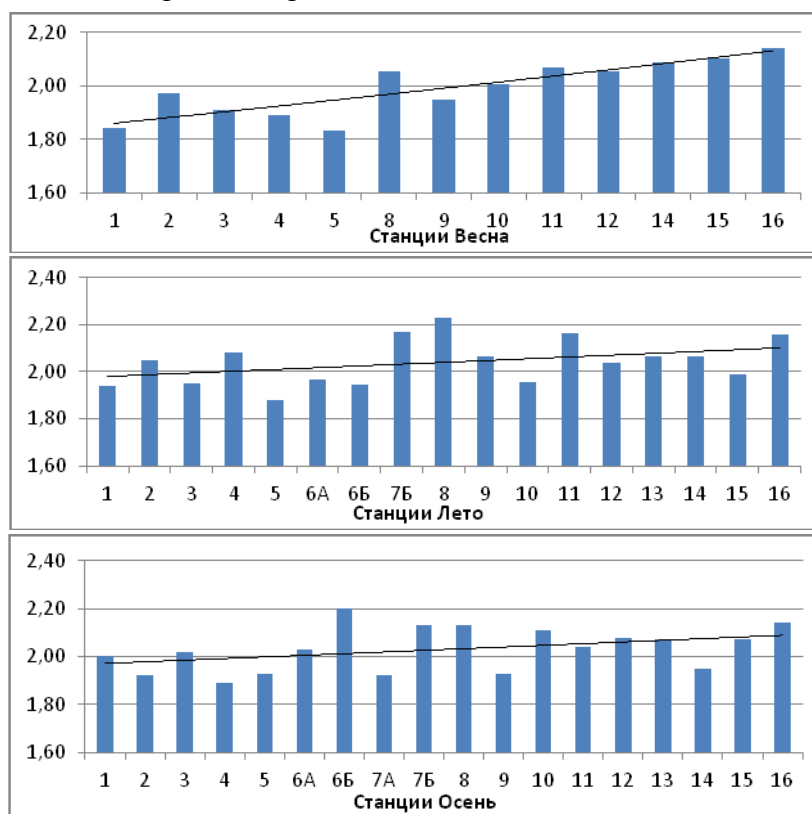


Рис. 7. Распределение индекса сапробности по течению реки в 2011 г.

На станции выше г. Пскова индекс составил 2,07, немного снизился в пределах города и увеличивался в устьевом участке до 2,16. Осенью в верхнем течении наибольшие значения индекса сапробности (2,0) отмечены на ст. 1 и 3, что связано с продолжением вегетации фитопланктона в озерах и увеличением биомассы. В среднем течении высокий индекс зарегистрирован на станциях ниже плотин Шильской и Максютинской ГЭС (2,2; 2,13). В нижнем течении индекс увеличивался от 1,95 (выше г. Пскова) до 2,14 (в устьевом участке), т.е. прослеживался тренд увеличения индекса вниз по течению реки, при этом, наибольшие значения достигаются летом.

Индекс разнообразия Шеннона-Уивера (Одум, 1975), рассчитанный по биомассе фитопланктона, изменялся в пределах от 2,2 до 5,1 бит/мг (рис. 8). Средние значения индекса в 2011 г. составляли $3,72 \pm 0,53$ бит/мг, а в 2012 – $4,06 \pm 0,54$ бит/мг. Наибольшие значения индекса отмечались летом на станциях верхнего течения (ст. 2, ст. 5), где преобладали диатомовые, зеленые и эвгленовые, и ниже зарегулированных участков (ст. 6Б, 7Б), где преобладали зеленые, криптофитовые и динофитовые водоросли. В осенний период высокий индекс наблюдался в среднем течении (ст. 10), где доминировали синезеленые, диатомовые, криптофитовые, и нижнем течении (ст. 14, 16), при развитии диатомовых и криптофитовых. В целом, летом прослеживался тренд снижения индекса от истока к устью, а осенью, напротив, его увеличения.

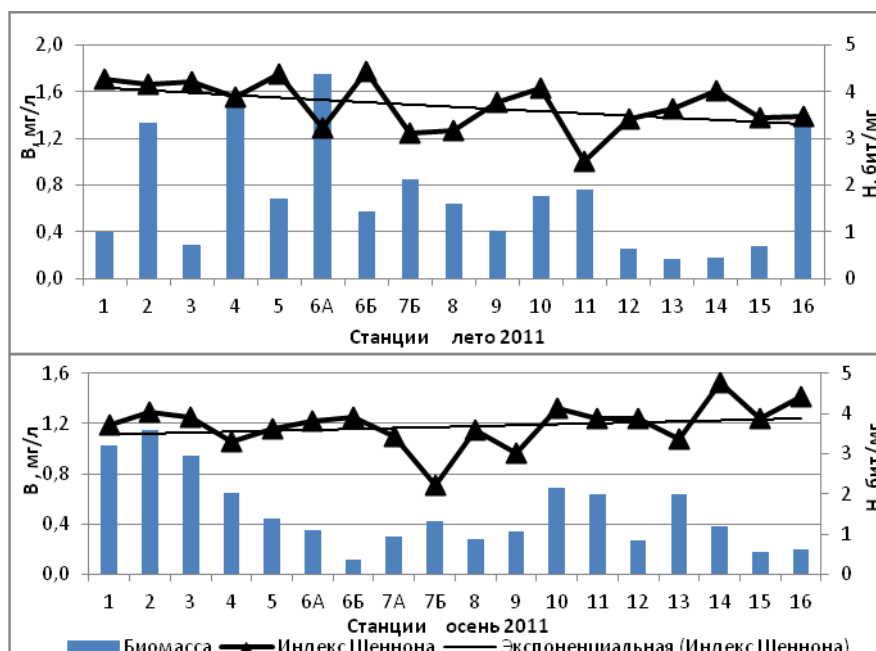


Рис. 8. Биомасса фитопланктона (B) и индекс разнообразия Шеннона-Уивера (H) на исследованных участках р. Великой в 2011 г.

По концентрации биогенных элементов на некоторых станциях р. Великая относится к категории загрязненных вод (Оксиюк и др., 1993). Так содержание аммонийного азота увеличивается весной и осенью и превышает $0,5 \text{ мгN/л}$. Также на станции ниже г. Пскова иногда наблюдается превышение по нитритному и нитратному азоту. По показателям общего азота, минерального и общего фосфора вода относится к классу удовлетворительной чистоты, и на некоторых станциях верхнего и среднего течения – к классу чистых вод. По содержанию биогенных элементов и хлорофилла «а» ($0,2$ до $7,2 \text{ мг/м}^3$) р. Великую можно отнести к мезотрофному типу вод, а по уровню биомассы фитопланктона – к олиго-мезотрофному.

Выводы

1. За период исследований во флоре р. Великой обнаружено 463 вида (511 таксонов) водорослей, принадлежащих к 8 отделам. По числу таксонов наиболее разнообразны Bacillariophyta – 212 таксонов (41,5 %), Chlorophyta – 161 (31,5 %) и Cyanophyta – 56 (11 %). Таксономический состав фитопланктона р. Великой можно охарактеризовать как диатомово-зеленый со значительным участием синезеленых водорослей. Весной наиболее разнообразны диатомовые водоросли, в летний период увеличивается разнообразие зеленых и синезеленых, диатомовые представлены в основном пennisными диатомеями. В осеннее и зимнее время разнообразие всех отделов снижается.

2. Число таксонов на разных станциях изменялось от 76 до 222. В отличие от многих европейских рек таксономическое разнообразие фитопланктона р. Великой максимально в истоке реки, значительно снижается в среднем течении и затем увеличивается по направлению к устью. Основными факторами формирования таксономического разнообразия являются влияние

озер и зарегулирование. На станциях ниже плотин ГЭС и после порогов происходит сокращение числа видов и изменение таксономической структуры фитопланктона.

3. Биомасса фитопланктона за период наблюдений изменялась от 0,02 до 2,42 мг/л. Наибольшие значения отмечены в верхнем течении реки, где большое влияние оказывает фитопланктон озер, в среднем течении биомасса снижается и затем увеличивается в нижнем течении. Зарегулирование стока приводит к увеличению биомассы фитопланктона выше плотин и к ее снижению после прохождения плотин и на порогах. Весной на всех станциях по биомассе преобладают диатомовые водоросли. Летом пространственное распределение биомассы отличается большей неоднородностью. На станциях верхнего и среднего течения доминируют синезеленые, криптофитовые, динофитовые и зеленые водоросли. Осенью биомасса на большинстве станций снижается, но высокие значения сохраняются в верхнем течении.

4. В сезонной динамике биомассы фитопланктона нижнего течения р. Великой выявлено 2–3 пика: в конце мая – начале июня, в июле и в августе, что характерно для мезотрофного типа вод. Наименьшая биомасса отмечена весной и поздней осенью 0,02–0,05 мг/л. Увеличение количества максимальных показателей биомассы на станции в черте г. Пскова может быть признаком эвтрофирования.

5. При сравнении данных 2011–2012 гг. с исследованиями 1986 г. (у городов Опочка и Псков) отмечено увеличение биомассы и таксономического разнообразия фитопланктона, а также смена доминантов (о-β-мезосапробов) на виды, предпочитающие α- и α-β-мезосапробные условия, что указывает на изменение экологического состояния реки.

6. Регрессионный анализ зависимости биомассы и таксономической структуры фитопланктона от факторов среды показал, что уравнения регрессии наиболее полно описывают распределение общего числа видов и видов зеленых водорослей. Зависимость биомассы фитопланктона от факторов среды описывается уравнениями регрессии несколько хуже. Наибольшие положительные отклонения общей биомассы от рассчитанной модели отмечены в верхнем течении и в устьевом участке. Коэффициенты корреляции параметров фитопланктона и факторов среды достаточно низкие как и для многих других рек.

7. По соотношению видов-индикаторов сапробности р. Великую можно отнести к категории умеренно загрязненных. Преобладание β-мезосапробов, наличие индикаторов загрязненных вод и видов с широкой экологической валентностью, способных существовать как в чистых, так и в загрязненных водах, указывает на загрязнение реки органическими веществами. Индикаторы чистых вод занимают третье место среди сапробионтов, что может свидетельствовать об интенсивных процессах самоочищения, происходящих в реке.

8. Средняя величина индекса сапробности за 2011 и 2012 гг. составляла $2,0 \pm 0,1$. Наибольшие значения отмечены летом. Распределение индексов по течению реки имеет тренд к увеличению от истока к устью. По величинам индекса сапробности воды реки можно охарактеризовать как воды удовлетворительной чистоты (3 класс качества), с изменением разряда качества от «достаточно чистой» до «слабо загрязненной».

9. По содержанию биогенных элементов и хлорофилла «а» (ср. $2,3 \text{ мг/м}^3$) р. Великую можно отнести к мезотрофному типу вод, а по уровню биомассы фитопланктона (ср. 0,7 мг/л) и

первичной продукции (ср. 0,5 мгО₂/л сутки) – к олиго-мезотрофному. Воды реки занимают промежуточное положение между 3 и 4 классом качества (от «слабозагрязненных» до «умеренно загрязненных»).

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Использование водорослей для определения экологического состояния реки Великой (Псковская область) // Вода: химия и экология. 2010. №6. С. 36–41.
2. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Таксономический состав и экологическая характеристика водорослей реки Великой (Псковская область) // Бот. журн. 2013. Т.98. №9. С. 1073–1084.
3. Генкал С.И., Афониная Е.А. Дополнения к флоре центрических диатомовых (Centrophyceae) реки Великая (Псковская область) // Бот. журн. 2014. Т. 99. №11. С. 1238–1242.

В других изданиях:

1. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.), Афанасьева А.Л. Роль диатомовых водорослей в фитопланктоне реки Великой // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований: Материалы XIII Международной научной конференции альгологов. 24–29 августа 2013г. – Кострома, 2013. С. 85–86.
7. Афониная Е.А. Сезонная динамика фитопланктона реки Великой у г. Пскова. // Альгология. 2014. 24(4). С. 489–505.
2. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Использование водорослей для определения экологического состояния реки Великой (Псковская область) // Материалы Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Экотоксикология-2009». Пушкино, 2009. С. 54–57.
3. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Таксономический и эколого-географический анализ альгофлоры р. Великой // Проблемы социально-экономической и эколого-хозяйственной политики стран бассейна Балтийского моря: Матер. междунар. научно-практ. конф. Псков, 2011. С. 108–111.
4. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Сапробиологическая оценка состояния р. Великой по составу альгофлоры // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. Тезисы докладов II Междунар. конф. СПб., 2011. С. 149.
5. Sileenkova E. (Afonina E.) Distribution of spring phytoplankton in the Velikaya River (North-West of Russia) // Abstracts. 8th International Symposium Use of Algae for Monitoring Rivers. Madrid, 2012. P. 51.
6. Силеенкова Е.А. (Афониная Е.А.) Распределение весеннего фитопланктона в р. Великой (Северо-Запад России) // Экологические проблемы уникальных природных и антропогенных ландшафтов: материалы Всероссийской научно-практической конф. с международным участием /отв. ред В.П. Семерной. Ярославль, 2012. С. 228–235.
7. Афониная Е.А., Трифонова И.С. Оценка экологического состояния и качества воды реки Великой по фитопланктону // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: Материалы научной конференции с международным участием. Ростов-на-Дону, 2015. Ч. 2. С. 65-69.