

A photograph of a winter landscape. In the foreground, a stream flows through a snow-covered bank. The snow is piled up on the left and right sides of the stream. In the background, there are dark evergreen trees under a grey, overcast sky. The overall scene is cold and wintry.

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ
И МОРСКИХ ВОДАХ**

Материалы V Всероссийского симпозиума
с международным участием

**Карельский научный центр
Российской академии наук
Институт водных проблем Севера**

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ И МОРСКИХ ВОДАХ

МАТЕРИАЛЫ V ВСЕРОССИЙСКОГО СИМПОЗИУМА

С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

10–14 СЕНТЯБРЯ 2012 Г.

Г. ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ, РОССИЯ

Петрозаводск

2012

УДК [551.464.+556.1151] (063)

ББК 28.082

О-64

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ И МОРСКИХ ВОДАХ. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. 10–14 сентября 2012 г., г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. 465 с.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Лозовик П.А. (отв. редактор), Китаев С.П., Вапиров В.В., Рыжаков А.В. (чл. ред. коллегии), Кулакова Н.Е., Беличева Л.А. (отв. секретари)

ISBN 978-5-9274-0526-8

© Коллектив авторов, 2012

© Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, 2012

© Петрозаводский государственный университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	11
ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ V ВСЕРОССИЙСКОГО СИМПОЗИУМА С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ И МОРСКИХ ВОДАХ»	12
Бикбулатов Э.С. Б.А. СКОПИНЦЕВ – ОСНОВОПОЛОЖНИК ОРГАНИЧЕСКОЙ ГИДРОХИМИИ	13
БОЛЬШИЕ ОЗЕРА	
Тарасова Е.Н., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А. ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ	19
Домышева В.М., Шимараев М. Н., Сакирко М.В., Онищук Н.А. ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД	23
Верхозина В.А., Верхозина Е.В. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КРУГОВОРОТА АЗОТА В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССАХ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ	27
Сутурин А.Н., Куликова Н.Н., Тимошкин О.А. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	30
Куликова Н.Н., Сутурин А.Н., Сайбаталова Е.В., Тимошкин О.А. МИГРАЦИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАПЛЕСКОВОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	32
Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В. СУТОЧНЫЕ РИТМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И ПОТОКОВ СО₂ В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА – ВОДА» НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ	36
Томберг И.В., Сороковикова Л.М., Башенхаева Н.В. ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА АКВАТОРИИ АВАНДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ	39
Астраханцева О.Ю., Чудненко К.В., Глазунов О.М. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МИГРАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ В ВОДАХ РЕЗЕРВУАРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ	43
Астраханцева О.Ю. ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ «ОЗЕРО БАЙКАЛ-ПОТОКИ»	44
Никаноров А.М., Матвеев А.А., Резников С.А., Аракелян В.С., Халиков И.С. ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ...	49
Мамонтов А.А., Тарасова Е.Н., Мамонтова Е.А. СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В БАЙКАЛЕ И БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ	52
Кузьмин М.И., Мамонтов А.А., Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н. СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА	55
Кулакова Н.В., Беликов С.И. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ УГЛЕРОДФИКСИРУЮЩИХ ОРГАНИЗМОВ В ГУБКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА <i>rbcL</i>-ГЕНА	57

Минина Л.И., Лобченко Е.Е., Емельянова В.П. СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА РЕКИ КАМЫ	125
Степанова И.Э., Пырина И.Л., Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М. АНАЛИЗ СВЯЗИ СТЕПЕНИ РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА С СОДЕРЖАНИЕМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЫБИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ	129
Румянцева Е.В., Косолапов Д.Б., Косолапова Н.Г. ВЛИЯНИЕ КОЛОНИАЛЬНЫХ ПТИЦ НА БАКТЕРИОПЛАНКТОН МЕЛКОВОДИЙ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	132
Григорьева И.Л. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ	137
Чекмарева Е.А. СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ МАЛЫХ ПРИТОКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	140
Соколов Д.И. ИЗМЕНЕНИЕ ГОДОВОГО И СЕЗОННОГО СТОКА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УЧИНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ	144
Гречушников М.Г., Кременецкая Е.Р. ВНУТРИСУТОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВАЛОВОЙ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	148
Ерина О.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА СТРАТИФИЦИРОВАННОГО ВОДОЕМА	152
Даченко Ю.С. ЦВЕТНОСТЬ И ОКИСЛЯЕМОСТЬ ВОД ВОЛЖСКОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ г. МОСКВЫ: ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ, ПРОГНОЗ И ВОЗМОЖНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ	156
Сафронова Н.С., Гришанцева Е.С., Коробейник Г.С. УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ГАЗЫ (C₁-C₅) И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОСАДКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА РЕКИ ВОЛГИ	160
Серенькая Е.П., Ефимова Л.Е., Базова М.М. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОЕДИНЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ВОДЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛЖСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ г. МОСКВЫ	164
Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я. ВЗАИМОСВЯЗЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И ОТДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООПЛАНКТОННОГО СООБЩЕСТВА В ЭКОСИСТЕМЕ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	168
Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М. ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОСФОРА В ВОДЕ БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	172
<i>МАЛЫЕ, СРЕДНИЕ ОЗЕРА И РЕКИ</i>	
Павлова О.А., Игнатьева Н.В. СООБЩЕСТВА ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ СУЗДАЛЬСКИХ ОЗЕР (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ) В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕЙСЯ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ	179
Чупаков А.В., Широкова Л.С., Покровский О.С. СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В КОНТРАСТНЫХ ОЗЕРАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	182

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ ВОДОХРАНИЛИЩ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

И.Л. Григорьева

Иваньковская НИС Института водных проблем РАН, г. Конаково

e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

Как известно, к биогенным веществам относятся минеральные вещества, наиболее активно участвующие в жизнедеятельности водных организмов. Это соединения азота, фосфора и кремния. Недостаточное содержание железа может быть одним из лимитирующих факторов развития фитопланктона, поэтому часто железо также включают в группу биогенных элементов состава вод [Никаноров, 2008].

Многолетние исследования гидрохимических режимов водохранилищ Верхней Волги, в частности, Верхневолжского, Иваньковского и Угличского показали, что для большинства показателей и ингредиентов химического состава воды, в том числе и для биогенных элементов, характерна внутригодовая и межгодовая динамика [Волга и ее жизнь, 1978; Иваньковское водохранилище..., 1978; Экологические проблемы..., 2001]. Исследование содержания биогенных элементов в воде Верхневолжского и Иваньковского водохранилищ проводилось автором в различные сезоны года (зима, весна, лето и осень) в 2008–2011 гг., а в воде Угличского водохранилища в 2010–2011 гг. 2008 и 2009 гг. отличались повышенной водностью, а в 2010 и в 2011 гг. сумма выпавших осадков была близка к норме (табл. 1). Пробы воды отбирались из поверхностного горизонта, на русле. В Верхневолжском водохранилище отбор проб производился в 3 створах; в Иваньковском – в 7; в Угличском – в 8 створах наблюдений.

Таблица 1

Годовые суммы осадков по метеостанции Тверь за 2008–2011 гг.

Год	2008	2009	2010	2011	Среднее за 1944–2011 гг.
Величина, мм	776	858	698	660	623

Основные морфометрические характеристики исследованных водоемов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Морфометрические характеристики исследуемых водохранилищ Верхней Волги

Характеристика, при НПУ	Водохранилище		
	Верхневолжское	Иваньковское	Угличское
Год создания	1845	1937	1939
Площадь водного зеркала, км ²	179,0	327	249
Объем полный, км ³	0,79	1,12	1,245
Средняя глубина, м	4,4	3,4	5,0
Длина, км	92	120	143
Наибольшая ширина, км	4,4	8,0	5,0

Химический анализ отобранных проб воды производился в гидрохимической лаборатории Иваньковской НИС ИВП РАН по аттестованным методикам. Массовая концентрация железа общего определялась фотометрическим методом с 1,10-фенантролином, массовая концентрация

фосфатов и полифосфатов фотометрическим методом, массовая концентрация ионов аммония фотометрическим методом с реактивом Несслера, массовая концентрация нитрит-ионов фотометрическим методом с реактивом Грисса, массовая концентрация нитрат-ионов фотометрическим методом с салициловой кислотой, массовая концентрация кремния фотометрическим методом в виде желтой формы молибдодокремниевой кислоты.

Неорганические соединения азота (аммоний, нитриты и нитраты) образуются в воде в результате биохимического разложения и окисления органических остатков как природного происхождения, так и попадающих в реки и водоемы со сточными водами [Зенин, Белоусова, 1988]. Высокие концентрации аммонийного иона характерны для болотных вод и могут свидетельствовать о свежем фекальном загрязнении водного объекта. Повышенное содержание нитритов в воде указывает на усиление процессов разложения органических остатков в условиях более медленного окисления NO_2^- до NO_3^- , что говорит о загрязнении водного объекта [Зенин, Белоусова, 1988]. Повышенные концентрации нитратов в воде свидетельствуют о загрязнении водоема. Для нитратов характерна внутригодовая и межгодовая динамика. Большое количество нитратов может поступать в водные объекты в местах сброса промышленно-бытовых сточных вод и поступления стоков с сельскохозяйственных полей.

Предыдущие исследования показали, что для водных масс Иваньковского и Угличского водохранилищ характерен относительно высокий уровень содержания азота и фосфора, что обусловлено влиянием антропогенных факторов [Экологические проблемы..., 2001]. Повышенные концентрации азота и фосфора в воде Верхневолжского водохранилища обусловлены прежде всего природными особенностями водосборного бассейна, для которого характерны торфяно-болотные почвы, которые, обладая повышенной кислотностью, уменьшают минерализацию поверхностных вод и обогащают ее органическими и биогенными веществами [Proceedings of Freshwater Research, 2006].

Наши исследования показали, что во входном створе оз. Волго (Верхневолжское водохранилище) концентрации аммонийного азота за период наблюдений варьировали в интервале от 0,27 мгN/л (осень 2008 г.) до 1,08 мгN/л (зима 2009 г.), в створе Ясенское (средний створ оз. Волго) – от 0,18 мгN/л (зима 2009 г.) до 0,64 мгN/л (зима 2008 г.); у Верхневолжского бейшлота – от 0,13 мгN/л (весна 2010 г.) до 0,63 мгN/л (осень 2008 г.). В воде Иваньковского водохранилища концентрации аммонийного азота варьировали в зимний период от 0,12 до 0,63 мгN/л, весной – от 0,06 до 0,46 мгN/л, летом – от 0,07 до 0,50 мгN/л, осенью – от 0,10 до 0,43 мгN/л. Диапазон изменения концентраций аммонийного азота в воде Угличского водохранилища составил 0,11–0,43 мгN/л.

Концентрации нитритного азота в воде водохранилищ Верхней Волги, как правило, ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов и в период наших исследований изменялись в Верхневолжском водохранилище, в основном, в интервале – от 0,003 до 0,018 мгN/л, в Иваньковском – от 0,002 до 0,032 мгN/л, в Угличском – от 0,002 до 0,064 мгN/л. Увеличение концентраций нитритного азота вниз по течению Волги обусловлено прежде всего влиянием промышленно-бытовых стоков.

Среди минеральных форм азота в воде водохранилищ Верхней Волги преобладают нитраты, для которых характерны значительные сезонные изменения концентраций. В Верхневолжском водохранилище, по нашим данным, диапазон изменения концентраций нитратного азота составил 0,09–1,57 мгN/л, в Иваньковском – 0,07–0,96 мгN/л, а в Угличском – 0,06–2,21 мгN/л. Более высокие концентрации нитратного азота в Угличском водохранилище по сравнению с другими водоемами, обусловлены влиянием сточных вод, содержащих значительное количество азота и фосфора. Максимальная концентрация минерального азота в Верхневолжском водохранилище зафиксирована также в районе поступления сточных вод (от п. Пено).

Во всех отобранных пробах воды определялись растворенный минеральный и растворенный общий фосфор. Обычно высокие концентрации фосфатов в водных объектах связаны с антропогенными факторами, в частности, с поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод и стоком с сельскохозяйственных территорий. В воде Верхневолжского и Иваньковского водохранилищ концентрация растворенного минерального фосфора не превышала 46–48 мкг/л, а растворенного общего фосфора – 75–90 мкг/л. В Угличском водохранилище, вследствие поступления загрязненных

стоков в водохранилище, максимальные концентрации растворенного минерального фосфора достигали 344 мкг/л, а концентрации растворенного общего фосфора – 423 мкг/л.

Повышенное содержание железа наблюдается в болотных водах, в которых оно находится в виде комплексов с солями гуминовых кислот – гуматами. Для региона Верхней Волги характерна высокая степень заболоченности водосборов, вследствие чего болотные воды играют значительную роль в питании водоемов и водотоков и определяют повышенные концентрации железа в воде водных объектов. В воде Верхневолжского водохранилища концентрации железа общего во все периоды наблюдений были выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0,1 мг/л) и изменялись от одного до 9 ПДК, при этом наибольшие концентрации были зафиксированы зимой и весной. В Ивановском и Угличском водохранилищах максимальные концентрации железа общего обычно не превышают, по нашим наблюдениям, 4 ПДК.

В пресных водах концентрации кремния обычно колеблются в интервале от 1 до 20 мг/л. Наши исследования показали, что концентрации кремния в воде верхневолжских водохранилищ не выше 5 мг/л.

О межсезонной и межгодовой динамике концентраций биогенных элементов в воде водохранилищ Верхней Волги можно судить по табл. 3.

Таблица 3

Содержание биогенных элементов в замыкающих створах верхневолжских водохранилищ в различные сезоны года

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Год	Верхневолжское, бейшлот				ВБ Ивановской ГЭС				ВБ Угличской ГЭС			
				Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
1	NH ₄ ⁺	мгN/л	2008	0,42	–	0,34	0,63	0,31	0,20	0,24	0,15	–	–	–	–
			2009	0,20	–	0,44	–	0,26	0,09	0,17	0,29	–	–	–	–
			2010	–	0,13	0,56	0,62	–	0,06	0,14	0,43	0,27	0,15	0,14	0,34
			2011	0,34	0,20	0,50	0,31	0,63	0,39	–	–	0,53	0,20	0,28	0,18
2	NO ₂ ⁻	мгN/л	2008	0,016	–	0,010	0,015	0,009	0,015	0,015	0,015	–	–	–	–
			2009	0,014	–	0,014	–	0,011	0,018	0,013	0,020	–	–	–	–
			2010	–	0,004	0,003	0,005	–	0,012	0,004	0,008	0,005	0,012	0,001	0,005
			2011	0,005	0,004	0,002	0,002	0,004	0,014	–	–	0,016	0,019	0,001	0,020
3	NO ₃ ⁻	мгN/л	2008	0,39	–	0,16	0,20	0,96	0,67	0,11	0,55	–	–	–	–
			2009	0,39	–	0,28	–	0,67	0,24	0,22	0,14	–	–	–	–
			2010	–	0,45	0,11	0,13	–	0,19	0,16	0,08	0,75	0,86	0,25	0,38
			2011	0,47	0,59	0,13	0,23	0,77	0,21	–	–	2,21	0,34	0,08	0,45
4	(P _{мин}) _{раств}	мкг/л	2008	9	–	8	12	36	27	4	41	–	–	–	–
			2009	17	–	4	–	34	14	25	15	–	–	–	–
			2010	–	8	2	1	–	5	3	7	14	30	2	66
			2011	11	3	6	18	45	38	–	–	21	8	14	40

Таким образом, исследование содержания биогенных элементов в воде Верхневолжского, Ивановского и Угличского водохранилищ в различные сезоны и в годы с различной водностью показало, что для всех определяемых ингредиентов характерна пространственно-временная изменчивость.

В Верхневолжском водохранилище повышенные концентрации аммонийного азота и железа общего обусловлены высокой степенью заболоченности водосбора и значительным распространением торфяно-болотных почв. Повышенные концентрации азота и фосфора в воде Ивановского и Угличского водохранилищ обусловлены в основном сельскохозяйственной освоенностью и значительной застройкой береговой зоны, а также значительным поступлением недостаточно очищенных сточных вод, особенно в Угличское водохранилище.

Для уменьшения биогенной нагрузки на Ивановское и Угличское водохранилища необходимо предусмотреть комплекс природоохранных мероприятий, направленных на соблюдение режима водоохраных зон и модернизацию очистных сооружений, с которых поступают загрязненные стоки в водоемы.

Литература

- Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 239 с.
Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с.
Никаноров А.М. Гидрохимия. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 462 с.
Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: ЯГТУ, 2001. 427 с.
Proceedings of Freshwater Research. Vol. 1. Upper Volga Expedition 2005 – Technical Report. Der Andere Verlag, 2006. 140 p.

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОДЕ МАЛЫХ ПРИТОКОВ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.А. Чекмарева

Институт водных проблем РАН, Москва
e-mail: S_Taya@list.ru

Химический состав речных вод переменчив во времени и в пространстве и отличается различным содержанием органических, биогенных веществ и их форм (растворенных и взвешенных, органических и минеральных) нахождения в водной среде. Данные наблюдения за количественным состоянием процессов, ведущих к накоплению или освобождению органических и биогенных веществ в водоемах и водотоках, помогут сделать заключение о содержании их в водных экосистемах, полноте и характере циркуляции, доли поступлений с водосборной территории и с подземным стоком и т. д.

Малые реки представляют собой водотоки длиной не более 100 км, с площадью водосбора не более 1–2 тыс. км², с условиями формирования гидрологического режима в одной природной зоне [Малые реки..., 1998]. Малая река – специфическая природная система, в состав которой входят более мелкие водотоки речной сети и водосборная площадь, где формируется речной сток (поверхностный и подземный сток воды, сток наносов и тепла). Состав речных вод малого водотока выявляет гидрохимические особенности местности. Впадая в крупный водоем или водоток, речной сток влияет на общую концентрацию органических и биогенных веществ в водоеме, особенно в приустьевых участках. Пространственное изменение содержания органических и биогенных компонентов состава поверхностных вод связано с влиянием природных условий на формирование речного стока, а также с антропогенным воздействием рассредоточенных и точечных источников загрязнения.

В период с 2009 по 2011 гг. автором проводились наблюдения за динамикой содержания органического вещества и биогенных элементов в воде малых притоков Иваньковского водохранилища в ряде створов от истока к устью. Пробы воды отбирались ежемесячно из поверхностного горизонта на русле. Объектами исследования были реки Дойбица, Донховка, Орша, Созь, Сучок (табл. 1), водосборные бассейны которых расположены на территории Конаковского, Кимрского, Калининского (Тверская область) и Клинского районов (Московская область).

Таблица 1

Морфологические характеристики малых притоков Иваньковского водохранилища

Наименование притоков	Длина, км	Площадь водосбора (в устье), км ²
Дойбица	24	192
Донховка	24	192
Орша	72	752
Созь	34	306
Сучок	16,5	58,3

Химический анализ отобранных проб воды производился в гидрохимической лаборатории отдела охраны водной среды ФГБУН ИВП РАН (свидетельство аттестации № РОСС RU.001.518693) согласно утвержденным методикам выполнения измерений. Фотометрические методы (прибор – КФК-2МП) использовали для определения цветности воды, общего железа (с ортофенантролином), кремния (в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты), соединений фосфора (с восстановлением аскорбиновой кислотой), концентрации соединений азота с применением реактива Несслера

(для аммония), реактива Грисса (для нитритов), с применением салициловой кислоты (для нитратов). Для определения перманганатной окисляемости использовали титриметрический метод.

Истоки рек Донховки, Дойбицы и Сучка расположены в болотистом березово-осиновом мелколесье, в районе бывших торфоразработок (Конаковский Мох). Указанные реки являются правыми притоками Иваньковского водохранилища и протекают в наиболее освоенном населением жилым районе. Реки Орша и Созь берут начало из озер Оршино и Великое и протекают по сильно заболоченной, малонаселенной местности [Григорьева и др., 2000]. Иваньковское водохранилище – мелководное водохранилище руслового типа площадью (при НПУ 124.0 м) 327 км², длиной 127 км и площадью водосбора 41000 км². В зоне влияния подпора, создаваемого водохранилищем, гидрологический и гидрохимический режимы рек аналогичны режимам водохранилища [Григорьева и др., 2000].

Сезонные колебания содержания органического вещества и биогенных элементов в воде рек связаны с характером питания рек. В период паводков основную роль в питании рек играет поверхностный сток. Во время летней и зимней межени преобладает подземное питание рек грунтовыми и подземными водами [Григорьева и др., 2000].

Косвенную характеристику содержания в воде органического вещества можно получить по значениям цветности (ЦВ), перманганатной окисляемости (ПО) и БПК₅ (табл. 2, 3).

Цветность воды исследуемых малых рек за период наблюдений изменялась в пределах от 17 до 565 град. Pt-Co шкалы и зависела от сезонных изменений в гидрохимическом режиме реки (табл. 2) и от водности года. Минимальные значения ЦВ наблюдались в летнюю межень [Григорьева и др., 2000] и осенью, максимальные значения ЦВ отмечены в период весеннего половодья, что связано с поступлением в водоток окрашенного органического вещества. Вода рек Дойбицы, Сучка и Донховки отличается наибольшими значениями ЦВ: 565; 399; 355 град. Pt-Co шкалы соответственно.

Таблица 2

Динамика средних за сезон значений ЦВ (град Pt-Co шкалы) малых притоков Иваньковского водохранилища в различные сезоны 2009–2011 гг.

Река	2009				2010				2011			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Дойбица	125	245	80	77	–	302	–	73	176	377	54	22
Донховка	70	125	51	56	46	170	167	61	126	178	70	44
Орша	175	233	93	–	–	332	–	275	253	179	84	160
Созь	175	192	202	–	–	289	172	191	266	166	112	108
Сучок	100	60	47	–	–	208	82	58	–	208	64	76

Примечание. Прочерк здесь и далее в табл. означает отсутствие данных.

Для значений ПО характерна внутрисезонная динамика, которая аналогична ходу изменений значений ЦВ. В притоках Иваньковского водохранилища величины ПО достигают высоких значений – до 68,7 мгО/л.

Таблица 3

Показатели содержания органического вещества в воде малых притоков Иваньковского водохранилища в различные сезоны 2009–2011 гг.

Река	2009			2010				2011			
	зима	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
БПК ₅ , мгО ₂ /л											
Дойбица	–	2,7	7,5	–	7,4	–	0,9	0,9	2,2	2,8	4,6
Донховка	–	1,8	2,9	3,7	1,4	2,2	1,4	1	2,1	2,4	1,6
Орша	–	1	–	–	1,7	–	1,5	1,1	1,2	3,1	1,6
Созь	–	2,4	–	–	1,9	3,5	2,4	0,2	1,4	3,5	1,6
Сучок	–	1	–	–	1,2	–	1,3	–	6,3	3,9	3,2
ПО, мгО/л											
Дойбица	18,8	13,3	14	–	36,7	–	6,1	19	44,6	15,4	5,7
Донховка	12,9	10,5	12,4	18,5	26,7	21	6,8	18	25,4	20,4	12,2
Орша	27,7	15,8	–	–	39,5	–	35	32	29	17,8	37,8
Созь	36,7	3,3	–	–	34,5	28	33	38	29	23,5	29,9
Сучок	18,2	11,2	–	–	32	14	10	–	60,7	25,8	27,2

Биохимическое потребление кислорода дает количественную оценку легкоокисляющихся органических веществ по количеству кислорода, потребляемого при биохимическом окислении этих веществ за определенный промежуток времени (обычно за 5 суток) [Никаноров, 2008]. Отмечены высокие содержания БПК₅ на участках, близких к истоку (Донховка, Созь), а также в районах плотной застройки водосборной территории (Дойбица, Донховка, Сучок).

Исследования показали, что концентрации минеральных форм азота сильно изменяются по сезонам года и зависят от развития фитопланктона, полноты и характера циркуляции воды в водоеме, а также от поступления азота из почв и грунтовых вод, притока его с водосборного бассейна и т. д. Средние за сезон концентрации аммонийного азота в притоках Иваньковского водохранилища изменяются от 0,11 до 1,25 мгN/л (табл. 4). Максимальные значения наблюдаются в различные сезоны и обусловлены состоянием водотока (объемом речного стока, температурным режимом, развитием растительности и т. д.). Содержание нитритного азота в водах малых притоков незначительно и составляет от 0 до 73 мкгN/л (см. табл. 4). Средние за сезон концентрации нитратного азота в воде малых притоков составляют от 0,09 до 2,35 мгN/л (см. табл. 4). Максимальные значения содержания нитратов в природных водах малых рек зафиксированы в периоды половодья, за исключением локальных скачков содержания нитратов (р. Созь) в пределах населенных пунктов.

Таблица 4

Динамика средних за сезон концентраций минерального азота в поверхностном горизонте воды малых притоков Иваньковского водохранилища (2009–2011 гг.)

Река	2009				2010				2011			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Аммонийный азот, мгN/л												
Дойбица	0,64	0,93	0,24	0,11	–	0,48	–	0,44	0,44	0,46	0,23	0,27
Донховка	0,13	0,4	0,08	0,19	0,49	0,23	0,25	0,52	0,32	0,32	0,37	0,28
Орша	0,5	0,78	0,38	–	–	0,39	–	0,2	0,51	0,48	0,24	0,52
Созь	0,54	0,61	0,6	–	–	0,55	1,08	0,43	0,55	0,47	0,29	0,52
Сучок	0,26	0,49	0,31	–	–	0,3	0,43	0,31	–	0,3	0,41	1,25
Нитратный азот, мгN/л												
Дойбица	0,5	0,68	0,2	0,09	–	0,68	–	0,84	1,11	0,96	0,21	1,07
Донховка	0,47	0,81	0,15	0,09	0,81	0,86	0,14	0,38	0,95	1,43	0,13	0,27
Орша	0,42	0,6	0,28	–	–	0,28	–	0,64	0,68	0,72	0,32	0,64
Созь	0,47	0,39	0,36	–	–	0,22	0,2	0,21	0,34	0,56	2,35	0,64
Сучок	0,23	1,04	0,11	–	–	0,38	0,14	0,61	–	0,58	0,15	0,21
Нитритный азот, мкгN/л												
Дойбица	3	36	15	7	0	16	0	25	3	11	4	12
Донховка	6	6	15	16	8	7	6	26	3	12	5	9
Орша	3	22	23	0	0	7	0	18	2	9	11	11
Созь	2	25	45	0	0	4	6	4	3	5	5	11
Сучок	6	0	18	0	0	6	5	10	0	72	3	11

Малые притоки Иваньковского водохранилища, водосборы которых имеют в основном сельскохозяйственное использование, привносят в водохранилище значительное количество минерального азота, что способствует евтрофированию водоема [Григорьева и др., 2000]. В настоящее время доля сельского хозяйства заметно сократилась, по визуальным наблюдениям и данным Тверского статуправления, например, посевная площадь в хозяйствах всех категорий Конаковского района уменьшилась в 11 раз за период с 2000 по 2009 гг. Несмотря на сокращение сельскохозяйственно освоенной площади, содержание соединений азота и фосфора в речных водах не уменьшилось.

Для оценки антропогенного воздействия на качество воды были определены концентрации хлоридов в воде исследуемых рек. Увеличение концентраций хлоридов по сравнению с фоновыми значениями свидетельствует о техногенном воздействии, обусловленном поступлением контролируемых и неконтролируемых бытовых и промышленных сточных вод непосредственно в водоток или на его водосборную площадь. В воде рек Дойбицы, Донховки и Сучка отмечены высокие concentra-

ции содержания хлоридов, превышающие фоновые значения, что связано с увеличением поступления промышленно-бытовых сточных вод с водосборной площади. Минимальное антропогенное воздействие выявлено для рек Орши и Созь.

Существенная часть переносимых реками соединений фосфора поступает с хозяйственно-бытовыми сточными водами. Обогащение весенних вод соединениями фосфора связано с сельскохозяйственной освоенностью водосбора рек. Содержание общего растворенного фосфора увеличивается в жаркие и маловодные годы, например, летом 2010 г. содержание растворенного фосфора достигло наибольших значений за весь период наблюдения и составило 419 мкг/л для общего фосфора и 300 мкг/л для минерального фосфора (табл. 5). Осенью содержание фосфора в речных водах уменьшается, а зимой фосфор поступает в реки в основном со сточными водами.

Таблица 5

Динамика средних за сезон концентраций растворенных форм минерального и общего фосфора в различные сезоны 2009–2011 гг., мкг/л

Река	2009				2010				2011			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
Растворенный минеральный фосфор												
Дойбица	70	109	8	3	0	66	0	26	75	58	25	28
Донховка	29	30	8	3	55	32	86	28	61	42	41	34
Орша	35	58	22	0	0	40	0	36	59	47	23	47
Созь	15	17	10	0	0	8	5	5	8	14	6	5
Сучок	27	32	9	0	0	36	18	8	0	23	17	13
Растворенный общий фосфор												
Дойбица	105	156	22	24	0	126	0	82	106	113	62	56
Донховка	60	63	20	16	90	90	161	62	87	84	88	60
Орша	70	105	34	0	0	96	0	74	91	83	26	76
Созь	49	39	13	0	0	50	19	19	31	43	35	20
Сучок	55	72	29	0	0	89	40	28	0	68	52	45

В целом природные условия формирования речного стока малых притоков Иваньковского водохранилища способствуют насыщению поверхностных вод окрашенными соединениями органического происхождения (повышение значений ЦВ, ПО, БПК₅, аммонийного азота). Влияние освоенных сельскохозяйственных территорий выражается в увеличении концентраций соединений минерального азота и растворенного фосфора в речных водах. Селитебные территории оказывают значительное влияние на качество воды малых водотоков, и в пределах населенных пунктов отмечены высокие концентрации минерального растворенного фосфора и нитратного азота. Сброс хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод влияет на тепловой режим реки, повышая ее температуру, что приводит к значительному евтрофированию водотока, зарастанию мелководий и заболачиванию прибрежных участков [Григорьева и др., 2000].

Литература

- Ветвицкая Т.В., Хромов В.М., Цыцарина О.Г. Многолетняя динамика минеральных форм азота и фосфора в воде верхнего участка Москвы-реки в процессе ее евтрофирования // Водные ресурсы. 1994. Т. 21, № 3. С. 344–349.
- Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000. 248 с.
- Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с.
- Калиниченко Н.П. Защита малых рек. М.: Экология, 1992. 354 с.
- Леонов А.В., Дубинин А.В. Взвешенные и растворенные формы биогенных элементов, их соотношение и взаимосвязь в основных притоках Каспийского моря // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 3. С. 261–279.
- Малые реки волжского бассейна. М.: МГУ, 1998. 234 с.
- Никаноров А.М. Гидрохимия. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 462 с.
- Фосфор в окружающей среде. М.: Мир, 1977. 760 с.

бине 3,44–3,58 м, где отмечен опесчаненый прослой, соответствуют значениям 8,1–14,3 % и примерно равны рассчитанным Россоломо для современного заиленного песка. Именно такой тип отложенный отмечен для поверхностного слоя в точке отбора длинной колонки.

Проанализировав все данные по содержанию органического вещества в донных отложениях оз. Глубокого, учитывая все приведенные данные, мы смогли схематично показать распределение органического вещества в поверхностном слое осадков озера (рис. 4). Схема составлена по данным Л.Л. Россоломо, М.В. Мартыновой и собственным данным.

В результате проведенного исследования получены данные по содержанию и распределению органического вещества в донных отложениях оз. Глубокого. Впервые проведенные исследования по изменению содержания органического вещества в озере за весь период голоцена позволили проанализировать динамику органического вещества. Комплексное палеолимнологическое исследование позволяет объяснить причины выявленных изменений.

Авторы выражают благодарность профессору, д.б.н. Николаю Николаевичу Смирнову, всем коллегам ИНОЗ РАН (Санкт-Петербург), ИПЭЭ РАН (Москва), Нижегородской лаборатории ФГНУ ГосНИОРХ и Института геологии Польской академии наук (Варшава), принимавшим участие в совместных экспедиционных и аналитических работах, а также сотрудникам Гидробиологической станции на оз. Глубоком.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-04-01568-а «Эволюция озерных экосистем средней полосы России в голоцене».

Литература

Жуховицкая А.А. Основные химические компоненты // Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер. Л.: Наука, 1986. С. 94–101.

Мартынова М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука, 2010. 243 с.

Россоломо Л.Л. Некоторые черты из прошлого Глубокого озера // Вопросы голоцена. Вильнюс, 1961. С. 285–307.

Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Харитончук А.Ю. Предварительные результаты палеолимнологического исследования озера Глубокого (Московская область) // Материалы XI Междунар. семинара «Геология, геоэкология, эволюционная география». СПб., 2011. С. 115–119.

Щербаков А.П. Озеро Глубокое. Гидробиологический очерк. М., 1967. 380 с.

СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОКАЗАТЕЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ РЕКИ ТВЕРЦЫ

А.Б. Комиссаров

Институт водных проблем РАН, Москва

e-mail: Aleco1@inbox.ru

Р. Тверца – приток первого порядка Ивановского водохранилища, впадает в него с левого берега в пределах г. Твери. Длина водотока – 188 км, площадь водосбора – 6 510 км², средний расход – 55 м³/с [Волга..., 1978]. Имеет один значительный приток по левому берегу (р. Осуга) и несколько меньших по правому (реки Логовежь, Малица и Кава), а также большое количество ручьев и рек по обоим берегам. Доля р. Тверцы в питании Ивановского водохранилища оценивается в 24 % [Григорьева и др., 2000].

По своему химическому составу вода р. Тверцы относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы [Алекин, 1970].

Современным истоком реки принято считать Вышневолоцкое водохранилище (через Новотверецкий канал), поскольку ее истоки на территории г. Вышнего Волочка были осушены и застроены городскими кварталами. Нижний участок реки испытывает на себе влияние подпора Ивановского водохранилища, который распространяется при НПУ на 9 км вверх от устья р. Тверцы [Волга..., 1978; Григорьева и др., 2000]. Течение реки условно делится на верхнее (створы Обradoво и Выдропужск), среднее (створы Паника и Медное) и нижнее (Тверь, устьевой участок) (рис.).

Пробы воды в р. Тверце отбирались в 2010–2011 гг. ежемесячно с марта по октябрь в следующих створах: 1 – д. Обрадово, 2 – п. Выдропужск, 3 – д. Паника, 4 – с. Медное, 5 – г. Тверь (см. рис.).



Схема р. Тверцы с обозначением створов

Минеральные соединения азота определялись по стандартным аттестованным методикам [ПНД Ф 14.1:2.1-95; ПНД Ф 14.1:2.4-95] с последующим пересчетом концентраций в мгN/л.

Содержание аммонийного азота ($N-NH_4^+$) в воде р. Тверцы в зимнюю межень 2010 г. не изменялось от истока к устью и составляло 0,21 мгN/л. В период половодья 2010 г. содержание $N-NH_4^+$ практически не отличалось от его концентрации в зимнюю межень и варьировало от 0,28 мгN/л в истоке (створ Обрадово) до 0,18 мгN/л в устье (створ Тверь) и составляло в среднем 0,20 мгN/л. После половодья произошло некоторое уменьшение концентрации $N-NH_4^+$ практически по всем створам – от 0,21 мгN/л в истоке до 0,17 мгN/л в устье, а в среднем концентрация составляла 0,18 мгN/л. В летнюю межень 2010 г. содержание $N-NH_4^+$ в истоке р. Тверцы увеличилось до 0,37 мгN/л, однако далее по створам происходило постепенное уменьшение содержания $N-NH_4^+$ до 0,10 мгN/л в устье. Максимальные концентрации $N-NH_4^+$ в воде р. Тверцы в 2010 г. наблюдались в сентябре в истоке – 0,61 мгN/л, далее по створам происходило постепенное уменьшение концентраций и в устье реки она составляла 0,40 мгN/л. В октябре 2010 г. произошло снижение концентраций $N-NH_4^+$, но эти значения в целом были выше, чем в летнюю межень и изменялись от 0,34 мгN/л в истоке до 0,27 мгN/л в устье.

В 2011 г. содержание аммонийного азота в воде р. Тверцы было в целом выше, чем в 2010 г., за исключением периода зимней межени, тогда в истоке его концентрация составляла 0,13 мгN/л, и далее к устью она увеличивалась до 0,19 мгN/л. В период половодья содержание $N-NH_4^+$ резко увеличилось и составляло 0,48 мгN/л в верхнем течении (створы Обрадово и Выдропужск), 0,34 мгN/л в среднем течении (Паника и Медное) и 0,14 мгN/л в устье (Тверь). После половодья содержание $N-NH_4^+$ оставалось на высоком уровне и мало изменялось от створа к створу – от 0,46 мгN/л в истоке до 0,35 мгN/л в среднем течении и 0,44 мгN/л в устье. В летнюю межень 2011 г. содержание $N-NH_4^+$ незначительно снизилось в верхнем и среднем течении – 0,31–0,34 мгN/л и 0,27–0,30 мгN/л соответственно, а в устье упало до 0,16 мгN/л. В сентябре содержание $N-NH_4^+$ мало отличалось от его концентраций в летнюю межень, изменяясь в целом в истоке от 0,30 мгN/л до 0,15 мгN/л в устье. В октябре наблюдалось некоторое снижение концентрации $N-NH_4^+$ в истоке (0,26 мгN/л) и увеличение в устье (0,30 мгN/л) по сравнению с сентябрем.

Содержание нитратного азота ($N-NO_3^-$) в воде р. Тверцы в зимнюю межень 2010 г. увеличивалось от истока к устью от 0,50 мгN/л до 0,78 мгN/л соответственно. В период половодья 2010 г. наблюдалось уменьшение содержания $N-NO_3^-$ по сравнению с периодом зимней межени и изменя-

лось от 0,38 мгN/л в истоке до 0,52 мгN/л в устье. После половодья произошло снижение концентраций $N-NO_3^-$ в воде р. Тверцы, но наблюдалось некоторое увеличение содержания $N-NO_3^-$ от истока, от 0,17 мгN/л к устью, до 0,30 мгN/л. В летнюю межень 2010 г. содержание $N-NO_3^-$ в верхнем течении р. Тверцы незначительно снизилось, до 0,16 мгN/л в верхнем течении и до 0,08 мгN/л в устье. В сентябре 2010 г. содержание $N-NO_3^-$ в верхнем и среднем течении р. Тверцы несколько возросло по сравнению с периодом летней межени, до 0,20–0,34 мгN/л и 0,43–0,47 мгN/л соответственно, однако упало в устье до 0,22 мгN/л. В октябре 2010 г. содержание $N-NO_3^-$ в верхнем течении р. Тверцы упало по сравнению с сентябрем до 0,16–0,29 мгN/л, однако резко возросло в среднем течении до 0,63–0,70 мгN/л и устье до 0,59 мгN/л.

Содержание нитратного азота в воде р. Тверцы в зимнюю межень 2011 г. было незначительно ниже, чем в аналогичный период 2010 г. – оно изменялось от 0,36 мгN/л в истоке до 0,56 мгN/л в устье. В период половодья 2011 г. содержание $N-NO_3^-$ увеличилось и было значительно выше концентраций в период половодья 2010 г., увеличиваясь в целом от истока от 0,75 мгN/л до устья до 1,18 мгN/л. После половодья содержание $N-NO_3^-$ в воде р. Тверцы, как и в 2010 г., резко упало, увеличиваясь также от истока от 0,18 мгN/л (незначительно выше, чем в 2010 г.) до устья до 0,25 мгN/л (незначительно ниже, чем в 2010 г.). В летнюю межень 2011 г. содержание $N-NO_3^-$ в верхнем течении р. Тверцы упало до 0,11–0,14 мгN/л (несколько ниже, чем в аналогичный период 2010 г.), но возросло в среднем течении до 0,25–0,27 мгN/л и устье до 0,19 мгN/л (несколько выше, чем в 2010 г.). В сентябре содержание $N-NO_3^-$ упало по сравнению с периодом летней межени до 0,07 в истоке, но осталось на прежнем уровне в среднем течении и устье – 0,25–0,27 мгN/л (значительно ниже, чем в 2010 г.). В октябре содержание $N-NO_3^-$ в верхнем течении р. Тверцы по сравнению с сентябрем возросло до 0,16 в верхнем течении мгN/л (практически, как и в 2010 г.) до 0,36 мгN/л в среднем течении и устье (несколько ниже, чем в 2010 г.).

Содержание минеральных форм фосфора определялось по стандартным методикам [ПНД Ф 14.1:2.112-97; РД 52.24.382-2006] с последующим пересчетом в формы минерального и общего содержания фосфора мгP/л.

Содержание минерального фосфора ($P_{мин}$) в воде р. Тверцы в зимнюю межень 2010 г. постепенно увеличивалось от истока от 23 мкг/л до устья до 29 мкг/л. В период половодья 2010 г. содержание $P_{мин}$ упало, изменяясь в целом от 12–11 мкг/л в верхнем течении до 14–8 мкг/л в среднем течении и, увеличиваясь, до 20 мкг/л в устье. После половодья содержание $P_{мин}$ в верхнем течении незначительно упало по сравнению с периодом половодья, до 5–10 мкг/л, однако далее по створам наблюдалось увеличение содержания $P_{мин}$ до 18–20 мкг/л в среднем течении и до 25 мкг/л в устье. В период летней межени 2010 г. произошло резкое снижение концентраций $P_{мин}$ по всей длине р. Тверцы в общем до 4–1 мкг/л. В сентябре 2010 г. содержание $P_{мин}$ резко увеличилось и изменялось в целом от 16–14 мкг/л в верхнем течении до 15–7 мкг/л в среднем течении и, падая, до 11 мкг/л в устье. В октябре 2010 г. в целом содержание $P_{мин}$ в воде р. Тверцы было незначительно выше, чем в сентябре – 16–15 мкг/л в среднем течении и устье, однако в истоке этот показатель был ниже – 7 мкг/л.

Содержание минерального фосфора в воде р. Тверцы в 2011 г. было в общем значительно выше, чем в 2010 г., за исключением зимней межени и периода после половодья. В зимнюю межень 2011 г. содержание $P_{мин}$ в верхнем течении р. Тверцы было незначительно ниже, чем в аналогичный период 2010 г. – 0,17–0,22 мкг/л, однако в устье этот показатель был выше – 0,34 мкг/л. В половодье 2011 г. произошло снижение концентрации $P_{мин}$ в истоке до 10 мкг/л (незначительно ниже, чем в 2010 г.) и резкое увеличение содержания $P_{мин}$ в среднем течении и устье – 22–30 мкг/л и 42 мкг/л соответственно (значительно выше, чем в 2010 г.). В период после половодья произошло резкое снижение содержания $P_{мин}$ до 1 мкг/л в истоке и до 6–11 мкг/л в среднем течении и устье. В летнюю межень 2011 г. содержание $P_{мин}$ незначительно увеличилось по сравнению с периодом после половодья, и также этот показатель был значительно выше, чем в летнюю межень 2010 г. – 10 мкг/л в верхнем течении и 10–12 мкг/л в среднем течении и устье. В сентябре в воде р. Тверцы произошло увеличение концентраций $P_{мин}$ практически во всех створах в целом до 20–23 мкг/л, за исключением истока – здесь содержание $P_{мин}$ не изменилось (10 мкг/л). В октябре 2011 г. наблюдались самые высокие концентрации

$P_{\text{мин}}$ в воде р. Тверцы во всех створах – в истоке было 141 мкг/л, далее в верхнем течении (створ Обradoво) – 247 мкг/л, затем резкое снижение до 41–38 мкг/л в среднем течении и до 32 мкг/л в устье.

Содержание общего фосфора ($P_{\text{общ}}$) в воде р. Тверцы в зимнюю межень 2010 г. в целом увеличивалось от истока от 48 мкг/л к устью до 55 мкг/л. В период половодья 2010 г. произошло некоторое увеличение содержания $P_{\text{общ}}$ до 59–48 мкг/л в среднем течении и 64 мкг/л в устье. После половодья также наблюдалось некоторое увеличение концентраций $P_{\text{общ}}$ по всем створам до 57–69 мкг/л в верхнем течении и 98 мкг/л в устье. В летнюю межень 2010 г. произошло снижение концентраций $P_{\text{общ}}$ по сравнению с периодом после половодья до 43–49 мкг/л в верхнем течении и 48 мкг/л в устье. В сентябре 2010 г. в верхнем течении р. Тверцы содержание $P_{\text{общ}}$ несколько увеличилось в истоке до 50 мкг/л, и далее по течению этот показатель уменьшался до 40–32 мкг/л в среднем течении и 28 мкг/л в устье. В октябре 2010 г. происходило дальнейшее снижение концентраций $P_{\text{общ}}$ во всех створах, в целом незначительно увеличиваясь от истока от 17 мкг/л к устью до 21 мкг/л.

В зимнюю межень 2011 г. содержание общего фосфора в воде р. Тверцы мало отличалось от такового в зимнюю межень 2010 г. В верхнем течении этот показатель был 48–52 мкг/л, в устье – 76 мкг/л (незначительно выше, чем в 2010 г.). В период половодья 2011 г. содержание $P_{\text{общ}}$ в воде р. Тверцы в общем несколько упало по сравнению с периодом зимней межени, однако это в целом выше, чем в 2010 г. – от истока к устью содержание $P_{\text{общ}}$ постепенно увеличивалось от 40 мкг/л до 72 мкг/л. После половодья произошло уменьшение содержания $P_{\text{общ}}$ до 32 мкг/л в истоке (значительно меньше, чем в 2010 г.) и 58 мкг/л в устье (также значительно меньше, чем в 2010 г.). В период летней межени 2011 г. произошло резкое снижение содержания $P_{\text{общ}}$ до 11–20 мкг/л в верхнем и среднем течении (значительно ниже, чем в 2010 г.) и резкое увеличение до 61 мкг/л в устье (несколько выше, чем в 2010 г.). В сентябре 2011 г. содержание $P_{\text{общ}}$ в воде р. Тверцы увеличилось по сравнению с периодом летней межени 2011 г. – 30–32 мкг/л в верхнем течении, затем увеличение до 42 мкг/л в среднем течении и снижение до 31 мкг/л в устье (в целом это несколько ниже концентраций в аналогичный период 2010 г.). В октябре 2011 г. в воде р. Тверцы наблюдались максимальные концентрации $P_{\text{общ}}$ – 230 мкг/л в истоке, 252 мкг/л в верхнем течении (створ Выдропужск), далее снижение до 65–62 мкг/л в среднем течении и 60 мкг/л в устье.

Цветность воды определялась по ГОСТу 3351074.

В целом вода р. Тверцы характеризуется высокими показателями цветности, поскольку значительная часть водосбора реки расположена в пределах болотных массивов, из которых многочисленные притоки приносят в Тверцу значительные количества органического материала различной природы.

Зимняя межень р. Тверцы в 2010 и 2011 гг. характеризовалась высокими значениями цветности. В период половодья и после половодья наблюдались максимальные значения цветности воды. К летней межени цветность падала, и осенью наблюдались минимальные значения цветности воды р. Тверцы (табл. 1).

Таблица 1

Значения цветности воды р. Тверцы по сезонам 2010–2011 гг., град.

	Обрадово	Выдропужск	Паника	Медное	Тверь
Зима	117/97	127/107	–	–	86/89
Половодье	172/119	188/125	143/100	148/104	153/132
После половодья	134/157	179/167	156/157	152/158	154/157
Лето	94/111	98/94	69/82	63/85	60/79
Осень	77/66	78/61	50/53	43/57	43/65

Перманганатная окисляемость определялась по стандартной методике [ПНД Ф 14.1:2:4.154-99].

2011 г. характеризовался более высокими значениями перманганатной окисляемости (ПО) по сравнению с 2010 г. (табл. 2). Однако в период зимней межени более высокие значения ПО регистрировались в 2010 г. В целом высокие ПО воды в р. Тверце были характерны для верхнего течения, постепенно к устью реки ПО воды падала (табл. 3).

Таблица 2

Среднегодовые значения ПО воды р. Тверцы по створам, мгО/л

	Обрадово	Выдропужск	Паника	Медное	Тверь
2010	16,8	16,7	14,6	12,9	13,9
2011	19,3	19,6	18,1	18,1	16,7

Таблица 3

Изменение значений ПО в створах р. Тверцы по сезонам 2010–2011 гг., мгО/л

	Обрадово	Выдропужск	Паника	Медное	Тверь
Зима	22,0/13,0	24,0/12,1	–	–	19,2/12,0
Половодье	20,4/19,1	20,3/22,0	17,0/16,8	19,0/17,2	17,3/17,9
После половодья	19,8/23,0	23,2/23,3	22,0/20,6	20,2/19,7	22,7/18,0
Лето	14,0/20,8	11,0/19,9	9,2/19,9	8,9/19,2	8,2/19,2
Осень	12,0/17,3	12,0/19,2	9,4/18,0	7,7/18,0	7,1/17,8

Биохимическое потребление кислорода за пять суток (БПК₅) определялось по стандартной методике [ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97].

Таблица 4

Среднегодовые значения БПК₅ по створам, мгО₂/л

	Обрадово	Выдропужск	Паника	Медное	Тверь
2010	2,1	1,8	1,9	2,3	1,7
2011	1,7	2,1	1,6	1,5	1,2

Таблица 5

Изменение значений БПК₅ в створах р. Тверцы по сезонам 2010–2011 гг., мгО₂/л

	Обрадово	Выдропужск	Паника	Медное	Тверь
Зима	1,1/1,2	1,7/1,2	–	–	1,1/0,8
Половодье	2,2/1,6	1,7/1,0	1,5/1,5	2,1/1,3	1,4/1,0
После половодья	2,2/2,2	1,7/4,7	1,6/1,4	1,2/1,9	1,2/1,5
Лето	4,8/2,1	3,8/2,4	4,3/1,7	6,5/1,1	4,7/1,8
Осень	1,2/1,6	1,1/1,5	1,0/1,7	0,8/1,5	1,0/1,1

2010 г. характеризовался более высокими значениями БПК₅ по сравнению с 2011 г. (табл. 4). Максимальные значения БПК₅ были зарегистрированы в воде р. Тверцы в летнюю межень 2010 г., в период аномальной жары, установившейся на территории Европейской части России, минимальные – осень 2010 г. (табл. 5).

Литература

- Алекин О.А. Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 413 с.
 Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 350 с.
 Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. Конаково: Изд. Дом «Булат», 2000. 248 с.
 ПНД Ф 14.1:2.1-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера. М., 1995 (изд. 2004 г.). 22 с.
 ПНД Ф 14.1:2.4-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массо-

вой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. М., 1995 (изд. 2011 г.). 16 с.

ПНД Ф 14.1:2.112-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации фосфат-ионов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом восстановлением аскорбиновой кислотой. М., 1997 (изд. 2011 г.). 15 с.

ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений биохимической потребности в кислороде после n -дней (БПК_{полн.}) в поверхностных пресных, подземных (грунтовых), питьевых, сточных и очищенных сточных водах. М., 1997 (изд. 2004 г.). 37 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.154-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом. М., 1999 (изд. 2011 г.). 14 с.

РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом. Ростов-на-Дону, 2006. 28 с.

ДИНАМИКА БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА В МАЛЫХ ВОДОЕМАХ г. ПЕТРОЗАВОДСКА

Ю.Л. Сластина¹, С.Ф. Комулайн²

¹ Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск
e-mail: jls@inbox.ru

² Институт биологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск
e-mail: komsf@mail.ru

Биомасса фитопланктонного сообщества определяет продуктивность водоема, является одной из основных составляющих автохтонного органического вещества, главным образом лабильного, особенно в тех водоемах, где продукция макрофитных и перифитонных сообществ снижена. В связи с этим необходимо установить закономерности динамики биомассы разнотипных водоемов.

В черте г. Петрозаводска находится ряд малоизученных озер, значительно различающихся по гидрологическим и гидрохимическим показателям. Городские водоемы испытывают влияние хозяйственно-бытовых стоков и рекреационную нагрузку. Характерной особенностью гидрохимического режима этих озер является широкий диапазон изменчивости величины рН (от 5,2 до 7,9) и цветности (от 50 до 406 град. Со-Рт шкалы), разный уровень трофности их вод (от олиго- до мезоевтрофных). Указанные различия позволяют предположить, что такое разнообразие гидролого-гидрохимических и экологических условий среды обитания определит структурные особенности фитопланктона.

Таблица 1

Морфометрические и гидрохимические показатели изученных озер в 2009–2011 гг.

	Карьер	Ламба	Четырехверстное
Длина озера (км)	0,58	0,24	0,6
Площадь зеркала озера (км ²)	0,14	0,01	0,12
Макс. ширина (км)	0,34	0,07	0,23
Макс. глубина (м)	13,0	5,2	4,6
Ср. глубина (м)	6,7	3,4	3,2
$P_{\text{общ}}$, мкг/л	10	68	46
NO_3^- , мгN/л	0,03	0,04	0,10
$N_{\text{общ}}$, мг/л	0,5	0,7	0,7
Электропроводность, MSm/cm	300	124	196
Цветность град., Со-Рт шкалы	50	100	80
рН	8,0	7,0	7,5

Район исследования расположен в подзоне средней тайги, что предполагает невысокую температуру воды. Безледный период длится в среднем 150–160 дней.

Оз. Ламба относится к типичному для Фенноскандии типу небольших лесных озер, часто без видимого стока, для которых характерны пониженные значения рН и высокое содержание гумуса, повышенная минерализация (табл. 1). Берега низкие, заболоченные, со сплавинами [По-тахин, 2011].

Оз. Четырехверстное является реликтовым водоемом, имеет глубоководные участки в центральной и северной частях. Из озера вытекает ручей, соединяющий его с Онежским оз.

Долговременное использование водоема для нужд валяльного комбината, а также наличие рекреационных стоков и особенностей почвообразующих пород обусловили