

*Российская академия наук*

# **ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**

Том 41 № 3 2014 Май–Июнь

Журнал основан в декабре 1972 г.

Выходит 6 раз в год

ISSN: 0321-0596

*Журнал издается под руководством  
Отделения наук о Земле РАН*

*Главный редактор*

В.И. Данилов-Данильян чл.-корр. РАН

Редакционная коллегия:

Н.И. Алексеевский докт. геогр. наук (*заместитель главного редактора*),  
М.В. Болгов докт. техн. наук, Н.Г. Булгаков докт. биол. наук,  
О.Ф. Васильев академик РАН,  
А.Н. Гельфан докт. физ.-мат. наук, В.К. Дебольский докт. техн. наук,  
Р.Г. Джамалов докт. геол.-мин. наук, Б.М. Долгоносков докт. техн. наук,  
П.О. Завьялов докт. геогр. наук, И.С. Зекцер докт. геол.-мин. наук,  
В.Н. Зырянов докт. физ.-мат. наук (*заместитель главного редактора*),  
В.П. Карликов докт. физ.-мат. наук, Н.И. Коронкевич докт. геогр. наук,  
Е.А. Криксунов чл.-корр. РАН, А.В. Леонов докт. хим. наук,  
Г.Г. Матишов академик РАН, В.Н. Михайлов докт. геогр. наук,  
М.В. Михайлова канд. геогр. наук (*ответственный секретарь*),  
Т.И. Моисенко чл.-корр. РАН (*заместитель главного редактора*),  
И.И. Мохов чл.-корр. РАН, А.М. Никаноров чл.-корр. РАН,  
Г.Н. Панин докт. геогр. наук, В.А. Румянцев академик РАН,  
Н.Н. Филатов чл.-корр. РАН, В.М. Швец докт. геол.-мин. наук

*Зав. редакцией* М.Г. Сушинцева

e-mail: waterres@aqua.lasert.ru

*Адрес редакции:* 119333 Москва, ул. Губкина, 3, редакция журнала “Водные ресурсы”  
тел. 8(499) 135-54-04

**Москва**

**Издательство “Наука”**

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**© 2014 г. **И. Л. Григорьева, А. Б. Комиссаров***Институт водных проблем РАН**119333 Москва, ул. Губкина, 3**E-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru*

Поступила в редакцию 27.12.2011 г.

Представлены результаты натурных исследований химического состава воды Верхней Волги, ряда ее притоков на участке от истока до г. Твери, озер Стерж, Вселуг, Пено и Волго, являющихся составными частями Верхневолжского водохранилища, а также Селижаровского плеса оз. Селигер. Прослежена межгодовая и межсезонная динамика показателей гидрохимического режима исследованных водных объектов и их изменение вниз по течению Волги под влиянием природных и антропогенных факторов.

*Ключевые слова:* исток Волги, верхневолжские озера, верхняя Волга, оз. Селигер, гидрохимический режим, ионный состав, биогенные элементы, органическое вещество.

DOI: 10.7868/S0321059614030080

Волга — крупнейшая река Европы — объект многих исследований. Тем не менее, гидрохимический режим верхнего участка реки от истока до г. Твери исследован недостаточно. В настоящее время здесь имеется лишь три пункта государственного мониторинга химического состава вод — д. Коковкино, города Ржев и Тверь. Летом 2003 и 2005 гг. были проведены комплексные экспедиции [9] по изучению гидрохимического и гидробиологического режимов этого участка, что позволило дать характеристику химического состава воды Верхней Волги и ее притоков по ряду показателей в меженный период. Результаты исследований авторов статьи с 2008 по 2012 г. позволили описать гидрохимический режим Верхней Волги в летний меженный период по большему числу показателей, чем в [9], и исследовать гидрохимический режим в остальные фазы гидрологического режима, а также выявить внутrigодовую и межгодовую динамику компонентов химического состава воды.

Исследовался химический состав воды верхнего участка Волги и ее притоков, Селижаровского плеса оз. Селигер и верхневолжских озер (Стерж, Вселуг, Пено, Волго), составляющих Верхневолжское водохранилище.

**ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ**

За исток Волги принимается ручей, вытекающий из небольшого, окруженного холмами болота, расположенного на Валдайской возвышенности на высоте 228 м над уровнем моря близ д. Волговерховье Тверской области [1].

На участке Волги от д. Коковкино до с. Селище расположено Верхневолжское водохранилище, представляющее собой цепочку из пяти озеровидных плесов, которые были образованы на месте естественных проточных озер Стерж, Вселуг, Пено и Волго (последнее часто подразделяют на Верхнее и Нижнее, или Малое и Большое). Верхневолжское водохранилище образовано в 1943 г. при строительстве плотины (Верхневолжского бейшлота) в ~2 км ниже места, где Волга вытекает из оз. Волго.

Оз. Селигер — часть Верхневолжской водной системы и расположено в центральной части Валдайской возвышенности на высоте 205 м над уровнем моря в окружении моренных гряд и холмов, между которыми находятся заболоченные территории.

Основные морфометрические характеристики верхневолжских озер, оз. Селигер и Верхневолжского водохранилища представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные морфометрические характеристики исследуемых озер Верхней Волги и Верхневолжского водохранилища (НПУ = 206.44 м) по [2]

Название водоемов	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Объем, км <sup>3</sup>	Длина, км	Наибольшая ширина, км	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м
Верхневолжское	179	0.794	92.5	4.4	16.1	4.4
Стерж	21	0.103	14	2.2	9.0	4.9
Вселуг	35	0.267	18.5	4.4	16.1	7.6
Пено	21	0.086	9	2.6	8.4	4.1
Волго	102	0.338	51	3.6	14.0	3.3
Селигер	212	1.3 (при НПУ 205.48 м)	66	35	24.0	5.8

**Таблица 2.** Основные гидролого-морфометрические характеристики исследуемых притоков Верхней Волги (лв – левый; пр – правый; здесь и в табл. 3, 5–7 прочерк – нет данных)

№ п/п	Название водотока	Расстояние от истока Волги, км	Длина, км	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Средний годовой расход, м <sup>3</sup> /с
1	Жукопа (пр)	62	96	1340	–
2	Селижаровка (лв)	119	36	2950	20
3	Большая Коша (лв)	141	88	763	5.9
4	Малая Коша (лв)	145	64	431	–
5	Итомля (лв)	185	57	321	–
6	Сишка (пр)	232	74	448	–
7	Вазуза (пр)	289	162	7120	34.6
8	Держа (пр)	306	89	730	5.0
9	Тьма (лв)	428	142	1850	4.8 (в створе Новинки)

Важнейшие притоки Верхневолжского водохранилища – реки Руна, Кудь и Жукопа.

Участок Волги между Верхневолжским бейшлотом и Тверью в настоящее время незарегулирован. Площадь водосборного участка Волги в створе г. Твери (включая бассейн р. Тверцы) составляет 31.3 тыс. км<sup>2</sup> [9]. Основные морфометрические и гидрологические характеристики исследуемых притоков верхней Волги представлены в табл. 2.

Длина исследуемых притоков верхнего участка Волги изменяется в интервале от 36 (р. Селижаровка) до 162 км (р. Вазуза). Наименьшая площадь водосборного бассейна – у р. Итомли (321 км), а наибольшая – у р. Вазузы (7120 км). Среднегодовые расходы воды колеблются в интервале от 5.0 (р. Держа) до 34.6 м<sup>3</sup>/с (р. Вазуза).

#### ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

В соответствии с физико-географическим районированием территория региона относится к ландшафтной стране Русской равнины, на разви-

тие ландшафтов которой большое влияние оказали четвертичные оледенения. После отступления ледника широкое распространение здесь получили лесные ландшафты [4].

Коренные породы представлены в основном отложениями каменноугольной, пермской и юрской систем. Наиболее близки к поверхности отложения верхнего карбона, имеющие значительный уклон, они перекрыты отложениями юрского периода и мощными толщами четвертичных пород. Верхнекаменноугольные породы представлены известняками и глинами. Четвертичные породы представлены образованиями различных ледниковых эпох.

Рельеф региона довольно однообразный. Развиты формы рельефа ледникового, водноледникового, озерного и аллювиального происхождения, представленные в основном слабосхолмленной, всхолмленной и холмистой равнинами.

Климат территории, в соответствии с географическим положением в центре Русской равнины, – умеренно-континентальный со сменой цикло-

нальной и антициклональной погоды в течение года и со сложными и разнообразными циркуляционными процессами различной направленности и интенсивности. Среднегодовая величина радиационного баланса для исследуемой территории равна  $33.1 \text{ ккал/см}^2$ , среднегодовая температура воздуха составляет  $3.8^\circ\text{C}$  [4]. Среднее количество осадков по региону колеблется от 560 до 720 мм, они обусловлены в основном циклонической деятельностью [3]. Продолжительность вегетационного периода — от 100 до 170 дней.

Основные почвообразующие породы на значительной части территории водосбора — моренные суглинки, реже — супеси, флювиогляциальные пески, аллювиальные отложения и торфяники. По механическому составу моренные отложения весьма разнообразны и представлены легкими, средними и тяжелыми суглинками. Почвообразующие породы на северо-западе региона — в основном ледниковые, а на востоке — флювиогляциальные отложения. На склонах речных долин во многих местах на поверхность выступают карбонатные породы [9].

Особенности рельефа, гидрологических и климатических условий, а также разнообразие почвообразующих пород и растительных ассоциаций привели к формированию на водосборе довольно пестрого почвенного покрова. В основном преобладают дерново-подзолистые (разной степени оподзоливания), подзолистые и по понижениям — дерново-глеевые и болотные типы почв. На поверхности речных террас и пойм развиты луговые и торфянистые почвы. Механический состав почв изменяется от глинистого и суглинистого до песчаного и супесчаного [4].

В регионе формируются гидрокарбонатные воды преимущественно малой и средней минерализации, поскольку толщина подзолистых и дерново-подзолистых почв повсеместно хорошо отмыта от легкорастворимых солей сульфатов и хлоридов. Торфяно-болотные почвы, обладая повышенной кислотностью, уменьшают минерализацию поверхностных вод и обогащают ее органическими (ОВ) и биогенными веществами [9].

Одни из важнейших физико-географических характеристик водосбора, оказывающие большое влияние на режим водного стока и химический состав речных вод, — озерность, заболоченность и лесистость территории. Озерность различных участков исследуемого района изменяется от 2 до 6%, заболоченность — от 2 до 7% (реки Жукопа и Тьмака), лесистость — от 38 до 66% (водосбор р. Большая Коша) [8].

Из основных притоков р. Волги на ее верхнем участке максимальный показатель озерности имеет р. Селижаровка (12% в створе д. Яровинка), вытекающая из одного из крупнейших водоемов европейской части России — оз. Селигер (табл. 2). Вода оз. Селигер, Верхневолжского водохранилища и многочисленных озер в истоке Волги мало минерализована и содержит значительное количество ОВ, так как водоемы аккумулируют, в основном, талые и паводковые воды [3].

Реки Тверской области имеют преимущественно снеговое питание. Это влияет на их водный режим: весеннее половодье бывает высоким, а летняя и зимняя межени — низкими. В межень реки питаются почти полностью за счет грунтовых вод. Так, доля грунтового стока в питании р. Волги в створе поста Старица в среднем составляет 32% (28–37%), р. Тверцы в створе поста Медное — 38% (31–44%) [4]. Ежегодно летом и осенью межень прерывается дождевыми паводками.

#### АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Водосбор верхнего участка Волги расположен в основном на территории Тверской области и частично в пределах Новгородской, Московской и Смоленской областей. Численность постоянного населения Тверской области на декабрь 2010 г. составила 1348.7 тыс. человек [3], в том числе: в городах Тверь — 403726, Ржев — 60141, Старица — 9137, Зубцов — 6979, Осташков — 18803, поселках Пено — 4378, Селижарово — 6929 чел.

Основные источники антропогенного воздействия на исследуемые водоемы и водотоки представлены в табл. 3. Загрязняющие вещества (ЗВ) поступают в водные объекты верхней Волги также с диффузным стоком с территорий населенных пунктов.

Основные ЗВ антропогенного происхождения (поступающие со сточными водами предприятий) в водотоках верхней Волги — взвешенные вещества, хлориды, сульфаты, аммонийный, нитратный и нитритный азот, фосфаты и нефтепродукты [9].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования химического состава воды Волги и ее притоков в намеченных створах (рис. 1) были отобраны пробы воды из поверхностного горизонта на русле. Отбор проб воды проводился в различные фазы гидрологического режима: зимнюю и летнюю межени, весеннее половодье, осенний паводок. Наиболее подробно химиче-

**Таблица 3.** Источники антропогенного воздействия на водосборах Верхней Волги и ее притоков (прочерки в таблице свидетельствуют об отсутствии предприятий, сбрасывающих сточные воды в водоемы)

Водный объект	Крупные поселения (количество) у уреза воды	Очистные сооружения	Объем сброса сточных вод, тыс. м <sup>3</sup>
оз. Пено	1 – пос. Пено	–	–
оз. Волго	3, в том числе пос. Пено	1	25
оз. Селигер	5, в том числе г. Осташков	4	2126
р. Волга от озера Волго до пос. Селижарово	пос. Селижарово	–	–
р. Волга от пос. Селижарово до г. Ржева	4, в том числе г. Ржев	8	5169
р. Волга от г. Ржева до г. Старицы	8, в том числе г. Старица и г. Зубцов	7	8692
р. Волга от г. Старицы до г. Твери	6, в том числе г. Тверь	3	1464
р. Селижаровка	пос. Селижарово	–	–
р. Большая Коша	8	–	–
р. Малая Коша	7	–	–
р. Итомля	5	1	13
р. Сишка	8	2	7
р. Вазуза	2, в том числе г. Зубцов	–	–
р. Держа	8	1	20

ский состав воды верхней Волги и ее притоков изучался в период летней межени.

Химический анализ проб воды осуществлялся по аттестованным методикам в гидрохимической лаборатории Ивановской научно-исследовательской станции Института водных проблем (ИВП) РАН. В пробах воды определялись параметры и ингредиенты:

– общие физико-химические свойства природных вод: рН, щелочность общая ( $\Sigma_{\text{общ}}$ ), удельная электропроводимость ( $\mathcal{E}_{25}$ ), жесткость общая ( $\mathcal{J}_{\text{общ}}$ ), цветность ( $\Sigma_{\text{в}}$ ), минерализация воды ( $\mathcal{M}$ ), взвешенные вещества, растворенный кислород;

– солевой состав воды: гидрокарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ ), магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ), кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ), сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлориды ( $\text{Cl}^-$ ), натрий ( $\text{Na}^+$ ), калий ( $\text{K}^+$ );

– содержание биогенных элементов: фосфаты ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), растворенный общий фосфор ( $\text{P}_{\text{общраств}}$ ), аммонийный ( $\text{NH}_4^+$ ), нитритный ( $\text{NO}_2^-$ ), нитратный ( $\text{NO}_3^-$ ) азот;

– косвенно – содержание ОВ: перманганатная окисляемость (ПО), БПК<sub>5</sub>;

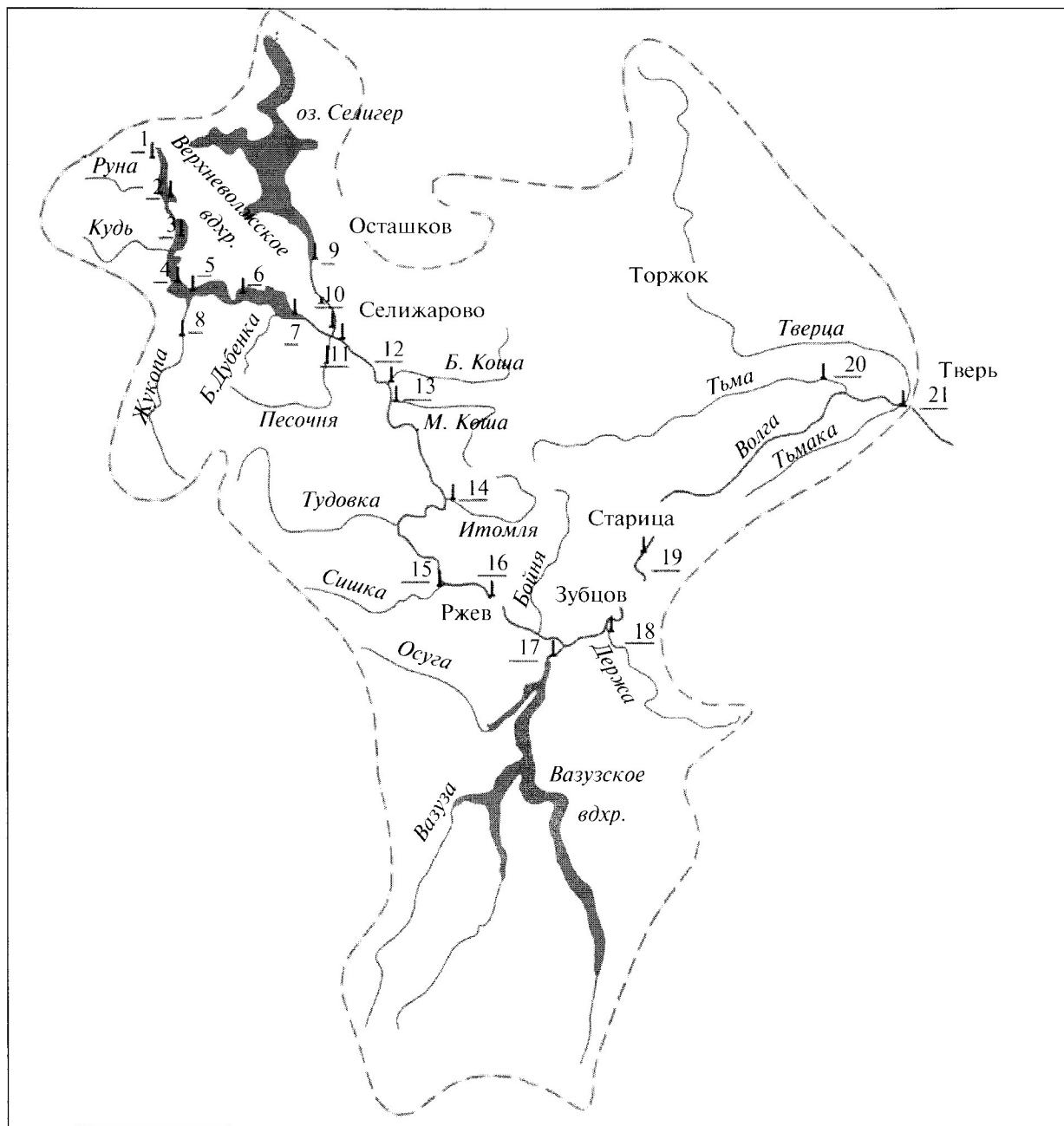
– микроэлементы: железо общее ( $\text{Fe}_{\text{общ}}$ ) и марганец ( $\text{Mn}^{2+}$ ).

В исследовании использовались также данные Дубнинской экоаналитической лаборатории за 2008 г. по содержанию ЗВ в воде ряда водных объектов: нефтепродукты и тяжелые металлы (медь, цинк, кадмий, свинец).

Поскольку авторы не располагали информацией о количестве ЗВ, поступающих со сточными водами и диффузным стоком с территории городов и промышленных предприятий, то заключение о влиянии антропогенных факторов на химический состав воды исследованных водотоков делала, исходя из разницы концентраций в них ЗВ по сравнению с незагрязненными участками.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав воды истока Волги в летний период по небольшому числу показателей представлен в [9], наиболее подробно он изучался авторами в июне 2009 г. и в июле 2012 г. Анализ результатов собственных наблюдений авторов и



**Рис. 1.** Карта-схема района исследования. Станции отбора проб воды: 1 – исток Волги; 2 – оз. Стерж–д. Коковкино; 3 – оз. Вселуг–д. Ширково; 4 – оз. Пено–пос. Пено; 5 – оз. Волго–д. Ясенское; 6 – оз. Волго–д. Верхние Котицы; 7 – оз. Волго–д. Селижарово; 8 – р. Жукопа–ст. Жукопа; 9 – оз. Селигер–д. Верхние Котицы; 10 – р. Селижаровка–пос. Селижарово; 11 – р. Волга–пос. Селижарово; 12 – р. Большая Коша–устье; 13 – р. Малая Коша–устье; 14 – р. Итомля–устье; 15 – р. Сишка–устье; 16 – р. Волга–г. Ржев; 17 – р. Вазуза–с. Зуево; 18 – р. Держа–устье; 19 – р. Волга–г. Старица; 20 – р. Тьма–устье; 21 – р. Волга–выше г. Тверь.

данных [9] показал, что в истоке Волги в летний период вода имеет слабокислую или нейтральную реакцию (рН от 5.4 до 7.4). Значения  $Ш_{общ}$  и  $Ж_{общ}$ , как правило, составляют 0.6–0.8 мг-экв/дм<sup>3</sup>, а минерализация воды не превышает 60 мг/дм<sup>3</sup>. Для воды Волги в истоке характерны высокие значения  $Св$  (360–640 град. Pt-Co шкалы), что

связано с поступлением гумусовых веществ из болота, откуда берет начало река.

В летние периоды 2009 и 2012 гг. концентрации главных компонентов ионного состава воды в истоке р. Волги мало различались. Так, концентрации в оба года составили, мг/дм<sup>3</sup>:  $НСО_3^-$  36.6,  $Са^{2+}$  – 10

**Таблица 4.** Средние за летний период значения показателей химического состава воды Верхневолжского водохранилища в разные годы

Показатель	1962–1966 гг. (по [2])	2009, 2012 гг. (данные авторов)
pH	7.19–8.55	7.47–8.01
M, мг/дм <sup>3</sup>	109.1	106.1
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	21.0	19.2
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	3.3	3.2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	72.6	73.2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	7.2	5.7
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.5	1.0
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.24	0.22
Ж <sub>общ</sub> , мг-экв/дм <sup>3</sup>	1.32	1.22

в оба года, Mg<sup>2+</sup> – 3.7 и 3.6, Cl<sup>-</sup> – 3.2 (2009 г.) и 0.8 (2012 г.), а SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 19 и 3.0 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

Для истока Волги характерны повышенные концентрации биогенных элементов. Так, концентрация P<sub>общ.раств</sub> может достигать 0.42 мг P/дм<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – соответственно 1.88 и 2.7 мг N/дм<sup>3</sup>.

ПО, как и Цв, достигает высоких значений и меняется в летний период от 60.3 до 100.1 мг O/дм<sup>3</sup>. Значения БПК<sub>5</sub>, как правило, не превышают 2.1 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Для химического состава воды Волги в истоке также характерны высокие концентрации Fe<sub>общ</sub> (до 7 ПДК<sub>рыб</sub>) и Mn<sup>2+</sup> (до 50 ПДК<sub>рыб</sub>).

Химический состав воды оз. Стерж изучался авторами в летние периоды 2009 и 2012 гг. Пробы воды отбирались у д. Коковкино (входной створ Верхневолжского водохранилища). Исследования показали, что химический состав воды оз. Стерж значительно отличается от состава воды истока Волги.

В воде оз. Стерж отмечались более высокие значения pH, Ш<sub>общ</sub>, Ж<sub>общ</sub> и M по сравнению с истоком. Значения pH составили 8.0 (2009 г.) и 7.82 (2012 г.). Значения Ш<sub>общ</sub>, Ж<sub>общ</sub> и M воды были в ~2 раза выше, чем в водах истока – 1.4, 1.35 и 122 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

Концентрации главных ионов, зафиксированных в этом створе в июле 2012 г. и в июне 2009 г., были близки. Так, концентрации в эти годы со-

ставили: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 85, Ca<sup>2+</sup> – 22, Mg<sup>2+</sup> – 2.4 и 3.7, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 5.6 и 4.2, а Cl<sup>-</sup> – 0.8 и 1.3 мг/дм<sup>3</sup> соответственно.

В воде оз. Стерж были зафиксированы низкие по сравнению с истоком Волги концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0.26 и 0.25 мг N/дм<sup>3</sup> летом 2009 и 2012 гг. соответственно. Концентрация NO<sub>2</sub><sup>-</sup> в воде оз. Стерж в июне 2009 г. (0.09 мг N/дм<sup>3</sup>) была на порядок выше, чем в июле 2012 г. (0.006 мг N/дм<sup>3</sup>). Концентрация P<sub>общ.раств</sub> летом 2009 г. составила 0.017, а летом 2012 г. – 0.045 мг P/дм<sup>3</sup>.

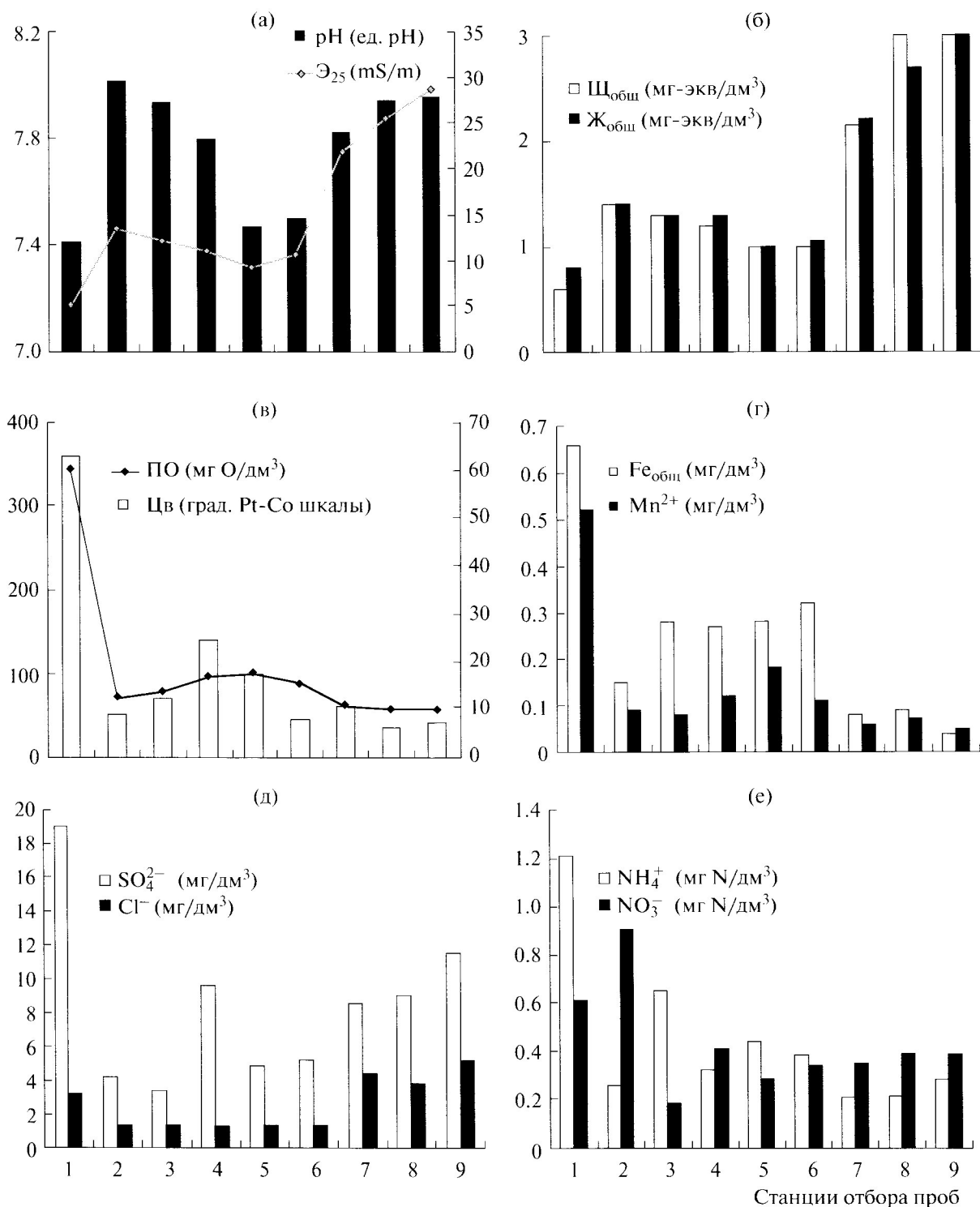
Значительное снижение Цв воды в оз. Стерж привело к уменьшению показателей ПО – до 12.5 (лето 2009 г.) и 13.1 мг O/дм<sup>3</sup> (лето 2012 г.). Значения БПК<sub>5</sub> изменялись от 2.4 (2009 г.) до 3.4 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (2012 г.).

Пробы воды из оз. Вселуг в июне 2009 г. отбирались у д. Ширково, а в июле 2012 г. – у д. Косицкое. Большинство определяемых показателей химического состава воды оз. Вселуг подобны таковым для воды оз. Стерж (рис. 2). Однако вода оз. Вселуг менее минерализована (91 мг/дм<sup>3</sup>), отличается более высокими значениями Цв (55–75 град. Pt-Co шкалы), концентраций NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0.30–0.60 мг N/дм<sup>3</sup>), Fe<sub>общ</sub> (до 28 мг/дм<sup>3</sup>) и низкими концентрациями NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (рис. 2). Так, в июне 2009 г. концентрация NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в воде оз. Стерж достигала 0.9 мг N/дм<sup>3</sup>, в то время как в воде оз. Вселуг она не превышала 0.18 мг N/дм<sup>3</sup>.

Химический состав воды оз. Пено в летний период сходен с таковым озер Стерж и Вселуг, отличаются его (рис. 2) пониженные значения pH (7.67–7.79), высокая Цв (80–140 град. Pt-Co шкалы) и ПО (16.8–17.6 мг O/дм<sup>3</sup>), а также высокие концентрации SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (5.7–9.6 мг/дм<sup>3</sup>) и Mn<sup>2+</sup> (до 0.12 мг/дм<sup>3</sup>).

В воде оз. Волго в летний период 2009 г. (рис. 2) были зафиксированы более низкие, чем в других озерах, значения pH (7.47), Ш<sub>общ</sub> (1.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и Ж<sub>общ</sub> (1.0 мг-экв/дм<sup>3</sup>) и более высокие концентрации Mn<sup>2+</sup> (0.18 мг/дм<sup>3</sup>). По остальным показателям и ингредиентам отличия были незначительны.

Кислородный режим во всех озерах в летний период был благоприятным для гидробионтов. Содержание растворенного в воде кислорода в поверхностном горизонте исследованных озер в



**Рис. 2.** Изменение гидрохимических показателей Верхней Волги от истока к г. Твери в летнюю межень 2009 г. Станции отбора проб воды: 1 – исток Волги, 2 – оз. Стерж–д. Коковкино, 3 – оз. Вселуг–д. Ширково, 4 – оз. Пено–пос. Пено, 5 – оз. Волго–д. Селище, 6 – р. Волга–пос. Селижарово, 7 – р. Волга–г. Ржев, 8 – р. Волга–г. Старица, 9 – р. Волга–выше г. Тверь.

2009 г. изменялось от 8.9 (оз. Волго) до 11.4 мг/дм<sup>3</sup> (оз. Стерж), а летом 2012 г. – от 8.8 (оз. Пено) до 9.4 мг/дм<sup>3</sup> (оз. Волго).

За многолетний период (табл. 4) значительных изменений в химическом составе воды Верхне-волжского водохранилища не произошло.



Формирование качества воды р. Волги ниже плотины Верхневолжского водохранилища происходит под влиянием вод, поступающих из оз. Волго. В черте пос. Селижарово в Волгу впадает первый крупный приток – р. Селижаровка, вытекающая из оз. Селигер, которая существенно разбавляет волжскую воду и в значительной степени определяет ее химический состав.

Исследование гидрохимического режима оз. Селигер проводилось авторами в летние периоды 2008, 2009 и 2012 гг. на Селижаровском плесе у д. Верхние Котицы, что позволило оценить влияние озера на гидрохимический режим р. Селижаровки.

Химический анализ проб воды показал, что рН воды оз. Селигер меняется от 7.26 до 7.94, вода маломинерализована (110–113 мг/дм<sup>3</sup>), с низким содержанием сульфатов (до 9), хлоридов (до 9), ионов натрия (2.5) и калия (0.5 мг/дм<sup>3</sup>), что соответствует предыдущим оценкам и характеристике воды озера [7]. Концентрация Ca<sup>2+</sup> стабильна – 20 мг/дм<sup>3</sup>, Mg<sup>2+</sup> – 2.4–6.1 мг/дм<sup>3</sup>. Вода озера летом отличается невысокими значениями Цв (30–50 град. Pt-Co шкалы), ПО (10.4–11.5 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и БПК<sub>5</sub> (2.1–2.6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Содержание биогенов также невысокое. Концентрации Р<sub>общ раств</sub> изменяются в интервале 0.017–0.063 мг Р/дм<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0.17–0.37, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – 0.001–0.014, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 0.12–0.24 мг N/дм<sup>3</sup>. Превышение ПДК<sub>рыб</sub> наблюдается только по Mn<sup>2+</sup> (2–4 ПДК). Концентрации Fe<sub>общ</sub> обычно не превышают 0.1 мг/дм<sup>3</sup>, нефтепродуктов – 0.02 мг/дм<sup>3</sup>, цинка и меди – 1.5–1.2 мкг/дм<sup>3</sup>, кадмия и свинца – 0.06 и 0.04 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Кислородный режим озера в летний период благоприятный для гидробионтов. Концентрации растворенного кислорода в поверхностном слое воды озера составляют 9–9.5 мг/дм<sup>3</sup>, или 102–113% насыщения.

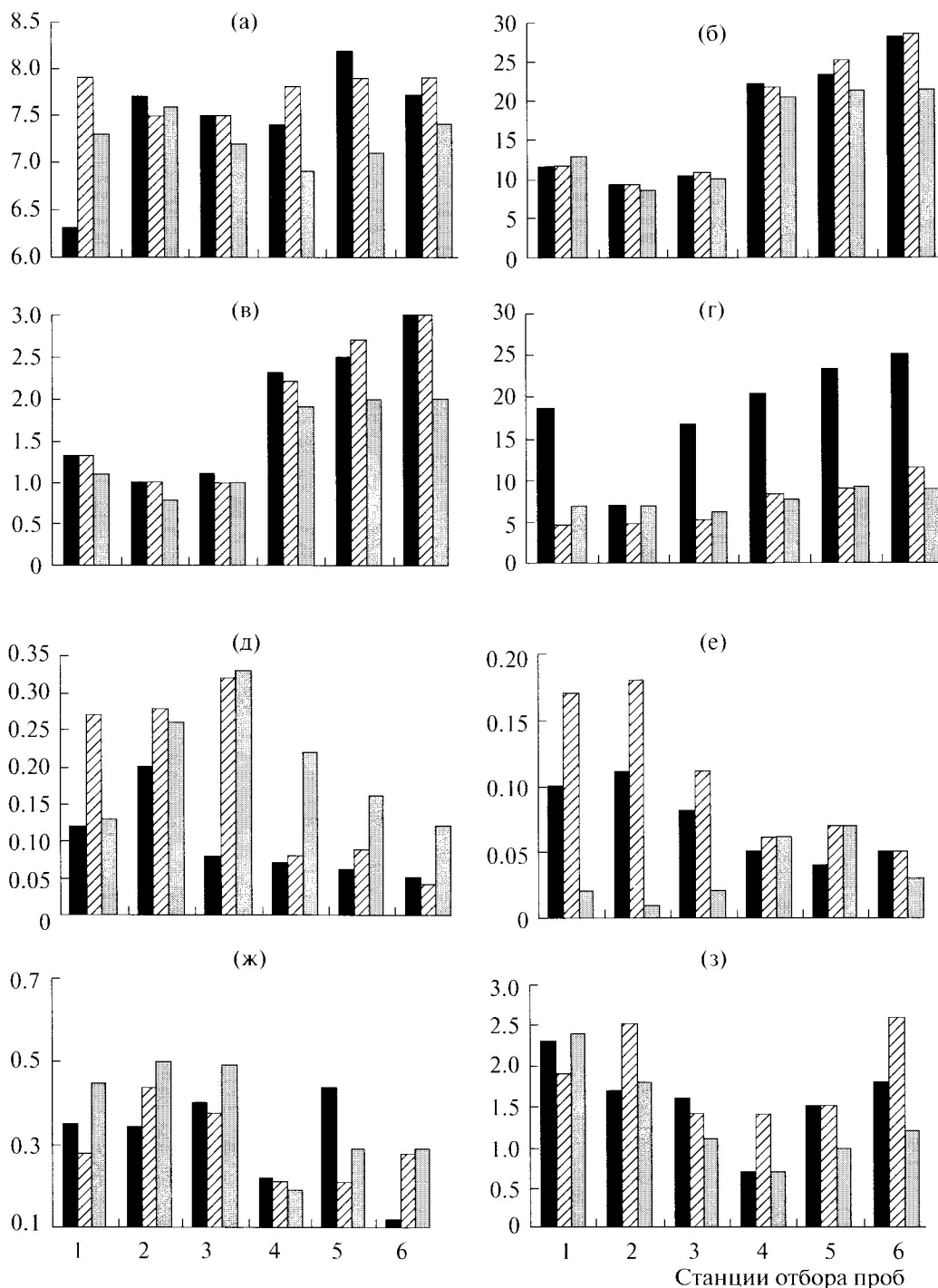
На участке от г. Ржева до г. Твери вода Волги в летний период становится более минерализованной и жесткой по сравнению со створом в пос. Селижарово. От Селижарово до Твери М и концентрации HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> возрастают примерно в два раза, а концентрации Fe<sub>общ</sub> и Mn<sup>2+</sup>, наоборот, снижаются (рис. 2). Увеличение М и Ж воды происходит за счет ослабления роли маломинерализованных вод р. Селижаровки и увеличения влияния более минерализованных вод остальных притоков.

Анализ изменения показателей химического состава воды на участке от пос. Пено (оз. Волго) до г. Твери (р. Волга) в летние периоды различных

лет показал их межгодовую изменчивость (рис. 3). Так, рН воды у пос. Пено менялся в интервале 6.3–7.9, а у г. Старица – 7.1–8.4. Наибольшие диапазоны изменения удельной Э<sub>25</sub> (21.3–28.1 мS/m) и Ж<sub>общ</sub> (2–3 мг-экв/дм<sup>3</sup>) наблюдались у г. Твери.

Концентрации SO<sub>4</sub><sup>-</sup> в створе пос. Пено–оз. Волго могут изменяться в интервале 4.6–18.6 мг/дм<sup>3</sup>, в створе Волги выше г. Тверь – 9.1–25.3 мг/дм<sup>3</sup>. Наиболее высокие концентрации Fe<sub>общ</sub> и наибольший диапазон их изменения наблюдались у пос. Селижарово (0.08–0.33 мг/дм<sup>3</sup>). Повышенные концентрации Fe<sub>общ</sub> отмечаются, как правило, в периоды максимального выпадения осадков, когда поверхностный приток в водотоки максимальный. Концентрации Mn<sup>2+</sup> наиболее значительно варьируют в воде оз. Волго и у пос. Селижарово. Так, у д. Селище (оз. Волго) летом 2011 г. были зафиксированы его концентрации в 0.01 (1 ПДК<sub>рыб</sub>), а летом 2009 г. – 0.18 мг/дм<sup>3</sup> (18 ПДК<sub>рыб</sub>). На участке от Ржева до Твери во все годы наблюдений диапазон изменения концентраций Mn<sup>2+</sup> составил 3–7 ПДК. Наиболее высокие концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup> отмечались в воде оз. Волго (до 0.5 мг N/дм<sup>3</sup>) и у пос. Селижарово (до 0.49 мг N/дм<sup>3</sup>). Вниз по течению Волги от пос. Селижарово до г. Твери происходит уменьшение концентраций NH<sub>4</sub><sup>+</sup> за счет уменьшения роли болотных вод в питании реки. Значения БПК<sub>5</sub> во все летние периоды во всех створах наблюдений были невысокими и варьировали от 1 (г. Старица, 2011 г.) до 2.6 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (выше г. Твери, 2009 г.). Содержание растворенного кислорода в поверхностном горизонте менялось летом 2009 г. от 9.2 до 11.7 мг/дм<sup>3</sup>, а насыщение воды кислородом – в диапазоне 101.8–125.5%.

В зимний период исследование химического состава воды Верхней Волги проводилось авторами на участке от замыкающего створа оз. Волго и Верхневолжского водохранилища (д. Селище) до г. Твери (рис. 4). В точках наблюдений вниз по течению Волги отмечалось увеличение: значений рН – от 7.42 (д. Селище) до 8.38 (г. Ржев), Э<sub>25</sub> – от 14.7 (д. Селище) до 44.5 мS/m (г. Тверь), Ш<sub>общ</sub> – от 1.5 (пос. Селижарово) до 3.2 мг-экв/дм<sup>3</sup> (г. Тверь), Ж<sub>общ</sub> – от 1.8 (д. Селище) до 3.4 мг-экв/дм<sup>3</sup> (г. Тверь), СГ – от 1.3 (пос. Селижарово) до 9.7 мг/дм<sup>3</sup> (г. Тверь); а также уменьшение: Цв – от 110 (д. Селище, пос. Селижарово) до 40 град. Pt-Co шкалы (г. Тверь), ПО – от 20.4 (д. Селище) до 9.2 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (г. Тверь). Наиболее вы-



**Рис. 3.** Изменение гидрохимических показателей: а – рН (ед. рН), б –  $\Sigma_{25}$  (mS/m), в –  $J_{\text{общ}}$  (мг-экв/дм<sup>3</sup>), г – сульфаты (мг/дм<sup>3</sup>), д – железо общее (мг/дм<sup>3</sup>), е – марганец (мг/дм<sup>3</sup>), ж – аммонийный азот (мг N/дм<sup>3</sup>), з – БПК<sub>5</sub> (мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) по течению р. Волги от оз. Волго до г. Твери в летние межи 2008, 2009 и 2011 гг.; станции отбора проб: 1 – оз. Волго-пос. Пено, 2 – оз. Волго-д. Селище, 3 – р. Волга-пос. Селижарово, 3 – р. Волга-г. Ржев, 4 – р. Волга-г. Старица, 5 – р. Волга-выше г. Твери; черный цвет – 2008 г., полоска – 2009 г., серый цвет – 2011 г.

сокие концентрации  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$  в зимний период наблюдались в воде оз. Волго у пос. Пено и составили соответственно 1.08 и 1.57 мг N/дм<sup>3</sup>, у пос. Сели-

жарово концентрации обоих показателей уменьшились соответственно до 0.05 и 0.38 мг N/дм<sup>3</sup>, а к г. Твери они возросли – 0.08 и 0.57 мг N/дм<sup>3</sup> соот-

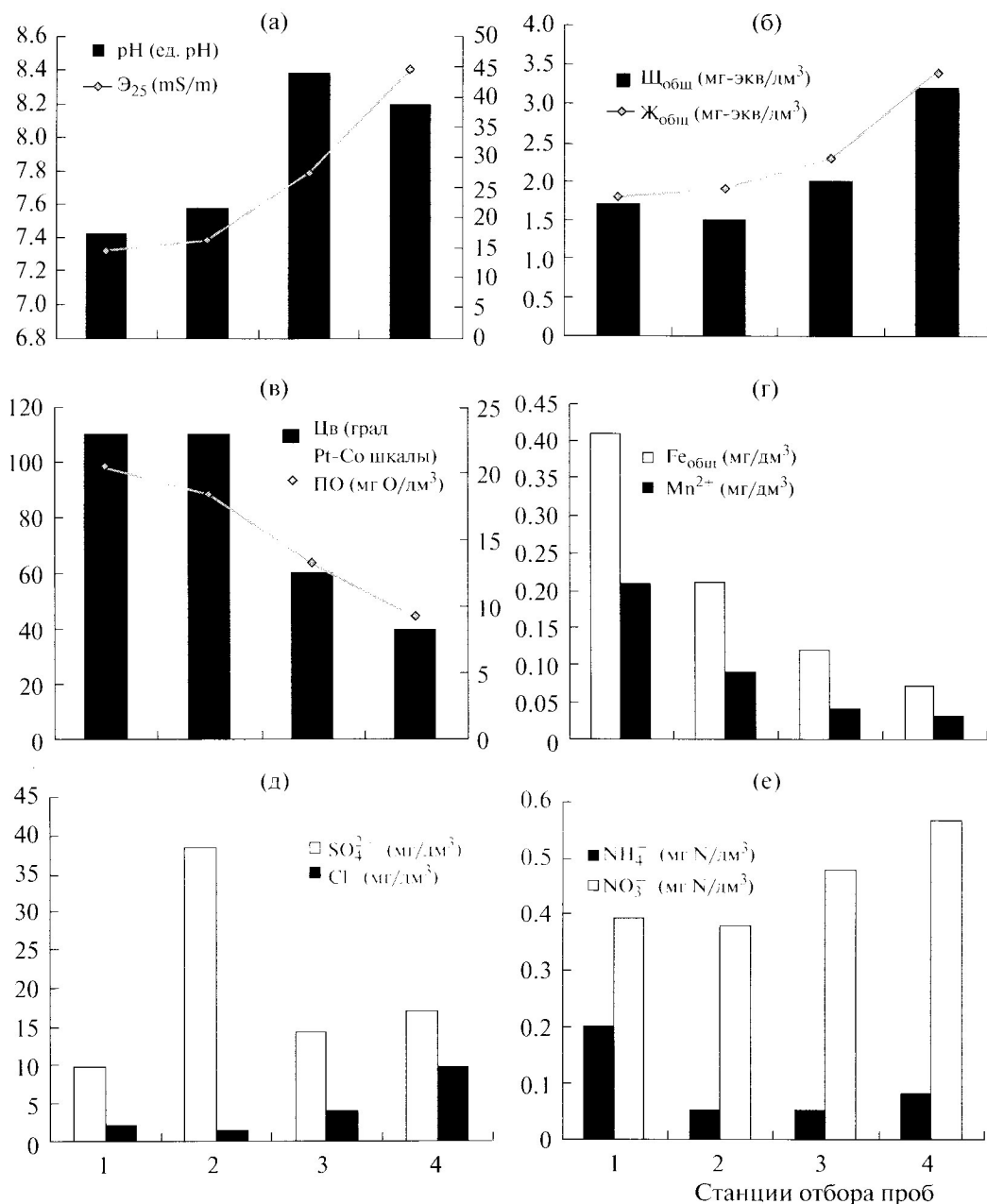


Рис. 4. Изменение гидрохимических показателей Верхней Волги от оз. Волго до г. Твери в зимнюю межень 2009 г. 1 – оз. Волго–д. Селище, 2 – р. Волга–пос. Селижарово, 3 – р. Волга–г. Тверь, 4 – р. Волга – выше г. Твери.

ветственно – очевидно, за счет влияния сточных вод и стока притоков, для которых характерны более высокие концентрации биогенных веществ (табл. 7). По сравнению с летним периодом зимой возрастает доля подземного стока в питании Волги и ее притоков [4] и на всех створах наблюдений отмечается существенное увеличение  $E_{25}$ ,  $M$  воды, концентраций  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $P_{общ\,раств}$  и  $NO_3^-$ . Так, в створе Твери в 2009 г. значения  $E_{25}$  составили в летний период 28.6, в зимний – 44.5 mS/m, кон-

центрации  $Mg^{2+}$  – 10.9 и 13.4,  $SO_4^{2-}$  – 11.5 и 17.0 мг/дм<sup>3</sup>,  $P_{общ\,раств}$  – 0.017 и 0.049 мг P/дм<sup>3</sup>,  $NO_3^-$  – 0.39 и 0.57 мг N/дм<sup>3</sup> соответственно.

В весенний период в Верхневолжском водохранилище и во всех створах наблюдений незарегулированного участка Верхней Волги существенно возрастала по сравнению с другими сезонами года  $Цв$  воды и концентрация  $NO_3^-$ , что обусловлено, прежде всего, увеличением стока с

Таблица 5. Химический состав воды оз. Волго и незарегулированного участка Волги в разные сезоны 2011 г.

Показатель	Сезон	Станции отбора проб воды					
		Волго— Пено	Волго— Селище	Волга— Селижарово	Волга— Ржев	Волга— Старица	Волга— выше Твери
pH	Весна	7.14	7.14	7.09	7.05	7.1	—
	Лето	7.33	7.65	7.24	6.93	7.12	7.44
	Осень	7.5	7.6	7.4	7.5	7.6	7.5
$\Sigma_{25}$ , мS/m	Весна	12.5	16.3	17.0	16.2	21.3	—
	Лето	12.9	8.6	10	20.3	21.4	21.3
	Осень	14.4	13.4	12.3	18.8	22.3	25.8
$\Sigma_{\text{общ}}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Весна	0.7	0.8	0.9	1.1	0.9	—
	Лето	1.1	0.7	1	1.8	1.8	1.8
	Осень	1.3	1.3	1.2	1.7	2.1	2.4
$\Sigma_{\text{общ}}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Весна	0.8	1	1.1	1.3	1.1	—
	Лето	1.1	0.8	1	1.9	2	2
	Осень	1.3	1.4	1.3	1.9	2.1	2.6
$\text{HCO}_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	42.7	45.8	51.9	67.1	51.9	—
	Лето	67	42.7	61	109.8	109.8	109.8
	Осень	79.3	79.3	73.2	103.7	128	146.4
$\text{Ca}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	12	14	16	18	14	—
	Лето	18	14	16	30	28	30
	Осень	20	18	16	26	30.1	34
$\text{Mg}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	2.4	3.6	3.6	4.9	4.9	—
	Лето	2.4	1.2	2.4	4.9	7.3	6.1
	Осень	3.7	6.1	6.1	7.3	7.2	10.9
$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	6.6	6.9	7.3	6.3	7.1	—
	Лето	7.1	7.1	6.2	7.8	9.4	9.1
	Осень	5	6.6	5.8	6.6	7.7	7.3
$\text{Cl}^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	—
	Лето	1.4	1.4	1.4	3.5	2.8	2
	Осень	0.7	0.7	0.7	2.2	2.9	3.6
$\text{Fe}_{\text{общ}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	0.32	0.27	0.29	0.21	0.2	—
	Лето	0.13	0.26	0.33	0.22	0.16	0.12
	Осень	0.31	0.41	0.39	0.29	0.21	0.18
$\text{Mn}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	0.12	0.2	0.17	0.04	0.05	—
	Лето	0.02	0.01	0.02	0.06	0.07	0.03
	Осень	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
$\text{PO}_4^{3-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Весна	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	—
	Лето	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.03
	Осень	0.02	0.01	0.07	0.03	0.03	0.05
$\text{NH}_4^+$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Весна	0.37	0.19	0.19	0.27	0.18	—
	Лето	0.45	0.50	0.49	0.19	0.29	0.29
	Осень	0.32	0.31	0.31	0.22	0.18	0.18
$\text{NO}_2^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Весна	0.009	0.003	0.003	0.006	0.003	—
	Лето	0.003	0.003	0.006	0.003	0.003	0.02
	Осень	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.01
$\text{NO}_3^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Весна	0.45	0.59	0.74	0.47	0.97	—
	Лето	0.11	0.14	0.20	0.32	0.47	0.45
	Осень	0.18	0.23	0.23	0.29	0.36	0.38
Цв, град. Pt-Co шкалы	Весна	157	109	107	125	125	—
	Лето	71	103	111	74	70	69
	Осень	70	70	65	50	50	45
ПО, мг O/дм <sup>3</sup>	Весна	19.7	16.5	14	17.3	13.2	—
	Лето	21.1	22.7	25	18	19.6	21.9
	Осень	19.1	19.8	19.8	13.1	13.8	12.7
БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Весна	1.8	1.6	1	1.1	1.4	—
	Лето	2.4	1.8	1.1	0.7	1	1.2
	Осень	1.2	2.5	1.6	1.2	1.3	0.9

Таблица 6. Гидрохимические показатели притоков Верхней Волги в летние периоды 2003 г. (по [9]) и 2008–2011 гг. (данные авторов)

Река, из которой отбирались пробы	Год	Цв, град. Pt-Co шкалы	pH	$\Theta_{25}$ , мS/m	$\text{NH}_4^+$ , мг N / дм <sup>3</sup>	$\text{NO}_2^-$ , мг N / дм <sup>3</sup>	$\text{NO}_3^-$ , мг N / дм <sup>3</sup>	$\text{P}_{\text{общ}}$ , мг P / дм <sup>3</sup>	ПО, мг O / дм <sup>3</sup>	$\text{Ж}_{\text{общ}}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$\text{Ca}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{Mg}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{Cl}^-$ , мг/дм <sup>3</sup>
Жукопа	2003	298	6.8	—	1.58	0.01	0.01	—	—	1.0	16.4	2.2	50.4	3.5
	2009	300	7.2	12.2	0.54	0.04	2.5	0.057	44.0	1.5	24	3.7	3.6	1.4
Селижаровка	2008	30	8.1	16.4	0.23	0.014	0.25	0.028	13.9	1.6	25	4.3	17.3	5.3
	2009	50	8.0	15.4	0.23	0.014	0.28	0.022	12.9	1.7	24	6.3	6.2	5.3
	2010	45	7.2	17.2	0.30	0.014	0.25	0.020	8.3	1.4	22	3.6	2.9	4.7
Большая Коша	2011	44	6.9	19.3	0.42	0.008	0.23	0.027	7.3	1.4	24	2.4	6.8	5.0
	2008	40	7.7	25.8	0.36	0.017	0.25	0.021	15.5	2.8	44	7.3	16.7	3.3
	2009	45	8.0	22.2	0.39	0.016	0.24	0.016	16.5	2.6	41	6.7	19.2	1.3
Малая Коша	2011	120	7.5	18.7	0.67	0.002	0.17	0.048	31.2	1.9	32	3.6	7.8	1.4
	2008	40	7.8	31.4	0.20	0.014	0.21	0.028	9.9	3.6	54	10.9	20.1	4.0
	2009	50	8.0	32.6	0.12	0.018	0.43	0.027	8.6	3.6	56	9.7	12.2	3.2
Итомля	2011	133	7.5	23.4	0.46	0.004	0.32	0.038	28.9	2.3	38	4.9	8.6	1.4
	2008	60	7.6	25.5	0.42	0.016	0.30	0.033	14.5	2.7	42	7.3	19.6	4.0
	2009	35	7.9	32.8	0.38	0.04	1.2	0.018	9.2	3.8	52	14.6	9.6	4.4
Сишка	2011	72	7.6	30.5	0.32	0.03	1.5	0.045	19.6	3.0	46	8.5	9.6	2.0
	2008	50	7.4	50	0.17	0.06	1.9	0.099	11.2	4.1	60	13.4	25.7	8.6
	2008	50	7.6	29.9	0.10	0.05	0.71	0.027	13.2	3.2	44	12.2	23.8	4.0
Вазуза	2008	40	7.7	40.5	0.15	0.06	0.84	0.048	11.6	4.4	60	17.0	21.5	6.7
	2008	45	7.45	43.2	0.09	0.003	0.09	0.066	11.9	4.3	64	13.4	23.0	5.6

Таблица 7. Химический состав воды некоторых притоков Верхней Волги в различные сезоны 2011 г.

Показатель или ингредиент	Сезон	Река			
		Селижаровка	Большая Коша	Малая Коша	Итомя
рН	Зима	7.54	7.52	7.9	7.96
	Лето	8.04	7.98	8	7.94
	Осень	8.01	7.97	7.7	8.2
$E_{25}$ , мS/м	Зима	19	28.5	36.1	35.6
	Лето	15.4	22.2	32.6	32.8
	Осень	18	27.9	32.3	35.1
$\Sigma_{\text{общ}}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Зима	1.45	2.55	3.25	3.2
	Лето	1.45	2.4	3.6	3.7
	Осень	1.4	2.8	3	3.6
$J_{\text{общ}}$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	Зима	1.7	2.9	3.6	3.35
	Лето	1.7	2.6	3.6	3.8
	Осень	1.4	2.9	3.4	3.7
$\text{HCO}_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	88.4	155.5	198.2	195.2
	Лето	88.4	146.4	219.6	225.7
	Осень	85.4	170.8	183	219.6
$\text{Ca}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	27	42	52	52
	Лето	24	41	56	52
	Осень	24	44	50	52
$\text{Mg}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	4.2	9.7	12.6	9.1
	Лето	6.3	6.7	9.7	14.6
	Осень	2.4	8.5	10.9	13.4
$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	24	33.6	33.6	14.4
	Лето	6.2	19.2	12.2	9.6
	Осень	4	9	38.4	9.6
СГ-, мг/дм <sup>3</sup>	Зима	7.1	1.9	3.9	4.5
	Лето	5.3	1.3	3.2	4.4
	Осень	5.1	1.3	1.9	3.8
$\text{Fe}_{\text{общ}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	0.02	0.35	0.07	0.07
	Лето	0.02	0.1	0.03	0.08
	Осень	0.1	0.12	0.23	0.17
$\text{Mn}^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	0.01	0.05	0.01	0.01
	Лето	0.01	0.05	0.03	0.05
	Осень	0.01	0.04	0.03	0.04
$\text{PO}_4^{3-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Зима	0.02	0.06	0.06	0.07
	Лето	0.01	0.02	0.03	0.01
	Осень	0.02	0.01	0.04	0.01
$\text{NH}_4^+$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Зима	0.11	0.13	0.08	0.08
	Лето	0.22	0.39	0.12	0.38
	Осень	0.46	0.51	0.32	0.23
$\text{NO}_2^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Зима	0.012	0.012	0.012	0.015
	Лето	0.012	0.015	0.018	0.012
	Осень	0.021	0.015	0.015	0.021
$\text{NO}_3^-$ , мг N/дм <sup>3</sup>	Зима	0.38	0.43	0.73	0.93
	Лето	0.27	0.23	0.43	0.27
	Осень	0.20	0.07	0.34	0.20
Цв, град. Pt-Co шкалы	Зима	40	65	40	30
	Лето	50	45	50	35
	Осень	50	60	74	54
ПО, мг O/дм <sup>3</sup>	Зима	9.3	10.9	6.8	6.9
	Лето	12.9	16.5	8.6	9.2
	Осень	11.9	13.5	11.9	12.9
БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Зима	—	—	—	—
	Лето	2.2	0.9	0.9	1.6
	Осень	1.2	0.4	0.9	0.9

водосборного бассейна (табл. 5). На станциях наблюдений в оз. Волго и у пос. Селижарово весной отмечались высокие концентрации  $Mn^{2+}$ .

В осенний период значения большинства показателей и концентрации большинства ингредиентов мало отличались от соответствующих значений в летний период (табл. 5). Существенные отличия в некоторых точках наблюдений отмечались по  $\Theta_{25}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Fe_{общ}$  и Цв.

Исследование гидрохимического режима ряда притоков Верхней Волги детально проводилось авторами в летние сезоны 2008, 2009 и 2012 гг., а химический состав воды рек Селижаровка, Большая Коша, Малая Коша и Итомля изучался также и в другие сезоны (табл. 6–7). При оценке химического состава воды притоков верхнего участка Волги учитывались результаты исследования других авторов [9].

Для р. Жукопы характерна высокая Цв воды (300 град. Pt-Co шкалы), высокие значения ПО (44–47 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>) и более высокое, чем для других притоков, значение БПК<sub>5</sub> (табл. 6). Вода реки маломинерализована, ее  $\Theta_{25}$  составляет 12.1–12.2 мS/м и, по данным авторов настоящей статьи, имеет пониженное содержание  $SO_4^{2-}$  (3.6–5.6 мг/дм<sup>3</sup>) и  $Cl^-$  (0.8–1.4 мг/дм<sup>3</sup>). Для реки в летнюю межень характерно пониженное насыщение воды кислородом (81.6%).

Гидрохимический режим Селижаровки (табл. 6–7) в значительной степени определяется притоком воды из оз. Селигер, химический состав которой весьма однороден в течение года; в связи с этим у большинства гидрохимических показателей нет значительных сезонных и межгодовых изменений. В летний период вода Селижаровки, как и вода оз. Селигер, маломинерализована, ее  $\Theta_{25}$  колеблется в интервале 14.4–19.3 мS/м, имеет нейтральную или слабощелочную реакцию, малоцветна, с низким содержанием  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и биогенов. Следует отметить лишь увеличение Цв воды в период половодья, более высокие концентрации  $NO_3^-$  в зимний период и более низкие, чем в другие сезоны, концентрации  $NH_4^+$  в зимнюю межень (табл. 7).

Вода остальных притоков Верхней Волги (табл. 6–7) более минерализована, чем р. Жукопы. В летнюю межень  $\Theta_{25}$  воды этих рек колеблется от 18.7 (Большая Коша) до 50 мS/м (Сишка). М каждого притока в летний период в большой степени зависит от водности года и периода отбо-

ра проб воды. Концентрации растворенного кислорода и его насыщение летом 2009 г. в водах составили, мг/дм<sup>3</sup>(%): р. Малая Коша – 12.6 (131.8); р. Большая Коша – 11.8 (129.2); р. Итомля – 12.7 (136.7). Межгодовые и сезонные вариации характерны также (помимо М и рН) для  $Ш_{общ}$ ,  $Ж_{общ}$ , Цв, ПО. Временная изменчивость свойственна также для  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  и биогенных веществ. Как правило, наибольшие значения М,  $Ш_{общ}$ ,  $Ж_{общ}$ , концентраций  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$  наблюдаются в зимний период, когда реки переходят на подземное питание. Наибольшие значения Цв, ПО, концентраций  $PO_4^{3-}$  и  $NH_4^+$  наблюдаются в весенний период, когда увеличивается роль болотных вод в питании водотоков. Максимальные концентрации  $NO_3^-$  зафиксированы во всех притоках в зимний период, когда происходит разложение ОВ и переход N из органических форм в минеральные [6].

Во всех отобранных летом 2008 г. пробах воды определялось содержание цинка, кадмия, свинца и меди. Концентрации всех веществ были в основном или ниже предела обнаружения, или значительно ниже ПДК<sub>рыб</sub>. Повышенное содержание цинка отмечалось в воде оз. Волго у пос. Пено (24.9 мкг/дм<sup>3</sup>) и в воде р. Итомли (5.8 мкг/дм<sup>3</sup>). Концентрации меди, превышающие ПДК<sub>рыб</sub>, были зафиксированы в воде р. Вазузы (1.3) и р. Держи (2.9 мкг/дм<sup>3</sup>).

## ВЫВОДЫ

Исследование гидрохимического режима Верхней Волги и ее притоков в 2008–2012 гг. и анализ литературных источников [1–5, 7–9] показали, что основную роль в формировании химического состава воды изучаемых водотоков играют природные условия водосборного бассейна, поскольку антропогенная нагрузка на водотоки и водоемы невысока. Вода исследованных рек мало- или среднеминерализована и, согласно классификации О.А. Алекина, относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, типу II [6].

Для вод Верхней Волги и ее притоков характерна повышенная Цв воды (до 360–640 град. Pt-Co шкалы в истоке), высокие концентрации  $Fe_{общ}$  (до 0.7 мг/дм<sup>3</sup>) и  $Mn^{2+}$  (до 0.5 мг/дм<sup>3</sup>), что обусловлено высокой долей болотных вод в питании водотоков. Невысокие значения БПК<sub>5</sub> (в основном 1.5–2.5 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>) – свидетельство слабой органической нагрузки на водотоки.

Минерализация  $M$  притоков Волги в летнюю межень в основном выше, чем в самой реке, что объясняется значительной ролью подземного стока в питании рек в этот период.

На участке Верхней Волги от пос. Селижарово до г. Твери происходит увеличение  $M$  воды, концентраций  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  примерно в два раза за счет ослабления ближе к Твери роли мало-минерализованных вод р. Селижаровки и увеличения влияния более минерализованных вод остальных притоков.

Наращение антропогенного пресса на р. Волгу вниз по течению от пос. Селижарово до г. Твери приводит к увеличению концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ .

Исследования показали, что верхневолжские озера имеют схожий химический состав воды, основные различия наблюдаются по таким показателям, как Цв, концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$ .

За многолетний период не произошло существенных изменений в химическом составе воды Верхневолжского водохранилища по таким показателям и ингредиентам, как  $\text{pH}$ ,  $M$ ,  $J_{\text{общ}}$ , концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ .

Практически для всех исследованных водных объектов характерна межгодовая и межсезонная

динамика большинства гидрохимических показателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. 348 с.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 291 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды на территории Тверской области в 2010 г. Тверь, 2011. 188 с.
4. Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000. 248 с.
5. Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Изменение химического состава воды в Волге от истока к устью в летнюю межень 2009 г. // Охрана окружающей среды и природопользование. 2011. № 3. С. 68–73.
6. Зеин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 274 с.
7. Леонов А.В., Шапоренко С.И., Шилькрот Г.С., Ясинский С.В. Геоэкологическая характеристика озера Селигер // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29. № 2. С. 152–167.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Сер. “Основные гидрологические характеристики”. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. Т. 10. 456 с.
9. Upper Volga Expedition 2005 – Technical Report // Proceedings of Freshwater Research. Innsbruck: DAV, 2006. V. 1. 140 p.