

КД, кабинет 2/3

**БАССЕЙН ВОЛГИ В XXI-М ВЕКЕ:
СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ
ЭКОСИСТЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ**

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
Россия, Борок, 22–26 октября 2012 г.**

УДК 574.5(282.247.11)+556.5"21"(063)

Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ // Сборник материалов докладов участников Всероссийской конференции. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 22–26 октября 2012 г. – Ижевск: Издатель Пермяков С.А., 2012. – 380 с.

ISBN 978-5-9631-0147-6

В сборнике материалов Международной школы-конференции представлено содержание докладов участников по результатам изучения гидрологического, гидрохимического и биологического режима водохранилищ бассейна р. Волги в условиях изменяющихся факторов среды.

Сборник рассчитан на гидробиологов, ихтиологов и экологов широкого профиля.

Редакционная коллегия:

академик РАН, доктор биологических наук *Ю.Ю. Дгебуадзе*
доктор биологических наук *А.И. Копылов*
доктор географических наук *С.А. Поддубный*
доктор биологических наук *А.В. Крылов* (отв. редактор)

Проведение конференции осуществлено при поддержке РАН и гранта РФФИ 12-04-06094-г.

Сборник издан при поддержке гранта РФФИ 12-04-06094-г.

ISBN 978-5-9631-0147-6

© 2012 г. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина, макет, оформление, верстка
© 2012 г. Коллектив авторов, текст

Подписано в печать 07.10.12.

Формат 60*84/8. Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл.-печ.л. 44,18. Уч.-изд.л. 16,88. Заказ № 1377.1. Тираж 250 экз.

Издательство и типография ИП Пермяков С.А.

426008, г. Ижевск, Кирова, 172.

цифровая-типография-ижевск.рф

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ШОШИНСКОГО ПЛЕСА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.Е. Лапина, С.В. Ерошенко

Институт водных проблем РАН, 119333, Москва, Россия, ул. Губкина, д. 3; shritter_elena@rambler.ru

Шошинский плес заметно отличается от других плесов Иваньковского водохранилища. В рамках заявленной темы важно указать, что в гидрологическом отношении — мелководностью и слабой проточностью, в геологическом — приуроченностью к слиянию древних переуглубленных долин рек Шоши и Ламы. Плес простирается от с. Тургиново до устья Шоши на 36 км, его средняя глубина при НПУ 1.7 м (Иваньковское ..., 1978).

Геоморфология плеса. На обоих берегах плеса развита первая надпойменная аккумулятивная терраса, ширина ее достигает двух км, поверхность плоская, сложена песками и суглинками, местами осложнена прирусловыми валами. Высота террасы 4–5 м; ближе к устью Шоши тянется вторая терраса, высотой 10–12 м. Левый берег долины пологий, первая терраса постепенно переходит в обширную озерно-аллювиальную равнину, местами заболоченную, абсолютные отметки рельефа 130–135 м БС. Мощность аллювиальных отложений колеблется в пределах 10–12 м, озерно-аллювиальных — 9–10 м, коэффициенты фильтрации 3–4 м/сут. Левый борт долины слагают песчаные породы (Ахматьева, 1991). Террасы правого берега более высокие и узкие, абсолютные отметки рельефа 130–150 м БС.

Геология и гидрогеология. В геологическом строении прибрежной части плеса принимают участие девонские, каменноугольные, юрские и четвертичные отложения. Девонские отложения не оказывают влияния на формирование химического состава вод плеса в силу глубокого залегания; каменноугольные отложения представлены тремя отделами. На изученной территории первым от поверхности водоносным горизонтом карбона является касимовский (геологический индекс C_3ksm). Горизонт приурочен к отложениям хамовнического и дорогомиловского горизонтов касимовского яруса верхнего карбона, выполнен переслаиванием доломитов, известняков с мергелями и глинами. Мощность отложений колеблется в пределах 5–80 м, величина напора над кровлей 4–75 м.

С правого и левого борта плеса известняки касимовского водоносного горизонта C_3ksm перекрыты мало мощной (2–10, редко 30 м), не везде достаточно выдержанной толщей оксфордских и келловейских отложений верхнеюрского возраста, представленных песками и глинами. Четвертичная толща сложена ледниковыми отложениями: флювиогляциальными, озерно-аллювиальными, аллювиальными, суглинками московской, днепровской и фрагментарно — окской морен (общая мощность суглинков с прослоями около 40 м), ледниковые водоносные окско-днепровские отложения мощностью 12–16 м. Аллювиальные отложения сложены перемытыми песками с галькой; в междуречье Волги и Шоши встречены современные болотные отложения мощностью от 1 до 6 м (Красинцева, 1977).

Пьезометрические уровни вод известняков верхнего карбона C_3ksm на правом берегу плеса составляют 128.1–129.0 м, на левом 125.0 м; амплитуды уровней грунтовых вод прибрежной зоны по отношению к уровню воды в плесе составляют 0.5 м летом и до 0.8 м зимой, тогда как уровень воды водохранилища летом держат на отметке 124 м, зимой спускают на 3.0–3.5 м; низшая отметка текущего года составила 119.9 м.

Древние переуглубленные долины, размывшие юрские глины, создают условия для тесной взаимосвязи водноледниковых отложений с известняками (Ковалевский, 2001). Долины служат дренами, куда фильтруются грунтовые и напорные воды. При соответствующих гидрогеологических условиях (например, при изменении соотношения уровней в период зимней сработки) накопившаяся там вода будет перетекать через ложе и борта Шошинского плеса в его чашу.

Химический состав вод Шошинского плеса и источников его питания. В питании Шошинского плеса участвуют атмосферные осадки, подземные воды и реки-притоки. Анализ имеющихся данных по сезонной динамике химического состава плесов Иваньковского водохранилища показал, что именно в Шошинском к зимнему периоду приурочены максимальные величины $НСО_3^-$, солей Са и Mg, минимальные — цветности и перманганатной окисляемости (табл. 1, на примере содержания гидрокарбонатов).

Таблица 1. Содержание ионов $НСО_3^-$ (мг/дм³) в Шошинском и Волжском плесах, зима

Дата отбора	02.1994	03.1995	02.1997	02.1999	03.2012
Волжский	207	216	183	177	189
Шошинский	336	360	348	305	329

Концентрации $НСО_3^-$ в Шошинском плесе зимой выше, чем в основном русле Волги, в 1.5–2 раза, причем они возрастают постепенно по мере уменьшения объема плеса (табл. 2).

Таблица 2. Рост содержания иона $НСО_3^-$ в связи со сработкой уровня в Шошинском плесе

Дата	19.12.11	26.01.12	22.02.12	27.03.12	17.05.12
Уровень, абсолютные отметки, м	123.8	123.1	122.5	119.9	124.1
$НСО_3^-$, мг/дм ³	232	238	289	329	122

Сравним химический состав источников питания плеса и его вод (табл. 3). В данном случае не существенны ни водность года, ни сопоставимость места отбора, поскольку сравнение нужно нам для определения источника поступления минерализованных вод.

Таблица 3. Химический состав вод плеса и источников его питания (мг/дм³)

Адрес	Шошинский плес, створ Безбородово*, Створ о. Низовка – устье Шоши**				Осадки дождь	Напорные скважины
	2012		1993	1994	Конаково	Козлово
Параметр	февраль*	июнь**	июнь**	февраль*	VI	VI
pH	7.6	8.36	7.9	8.4	7.3	7.3-8.64
Cl ⁻	9	6.4	8.1	17	5	4.7-9.0
SO ₄ ²⁺	16	9.2	20.3	28	5.1	4-61
HCO ₃ ⁻	268	152.5	113	336	24	281-414
K ⁺	3	2.5	-	-	3	6-25
Na ⁺	9	9	-	-	4	10-27
Mg ²⁺	24.4	10.7	32	22	2.4	34.8-43.2
NH ₄ ⁺	0.55	0.39	0.44	1.03	0.26	0.87-1.43
Ca ²⁺	64	41.4	4	82	6	38-68
цветность	70	65	50	40	3	20-30
ПО***	2	24.1	10.5	6.94	-	2.9-12.1
Сумма солей	393	234	180	487	51	380-608

Примечание. ***ПО — перманганатная окисляемость, мгО/л; цветность определена в градусах по Pt-Co шкале; прочерк — нет данных. Отбор проб в водохранилище произведен с глубины 3 м, скважины вскрыли касимовский горизонт.

Грунтовые воды колодцев пресные, обычно гидрокарбонатные кальциево-магниевые, с минерализацией до 0.4 г/дм³, в колодцах у дороги прибрежной зоны встречены высокоминерализованные воды (до 1.6 г/дм³), приуроченные к локальным очагам загрязнения хлоридами порядка 2ПДК.

Замеры величины Eh показали, что в напорных водах она составляет от (-110) до (-160), в колодцах в среднем (+260), в водохранилище от +65 до +135 mv, т.е. знак и величина редокс-потенциала могут быть использованы в комплексе с содержанием гидрокарбонатов как маркер притока глубоких вод. Теперь рассмотрим качество воды рек-притоков Шошинского плеса. Для одномоментности среза возьмем данные площадной съемки водосбора Ивановского водохранилища, проведенные в летнюю межень (сентябрь) 2001 г. (табл. 4).

Таблица 4. Гидрохимическая характеристика (мг/дм³) рек-притоков плесов, 2001

Река	Створ	Плес	pH	HCO ₃	Ca	Цветность/минерализация
Созь	Харитоново	Волжский	7.35	15	10	110/48
Иноха	Азарниково		7.65	250	76	20/415
Литожица	Нелеино		7.97	281	-	15/280
Шоша	Тургиново	Шошинский	8.18	293	62	25/414
Лама	Курьяново		8.52	256	64	67/367
Дойбица	автомост		7.42	317	88	27/481

Примечание. Прочерк — нет данных.

Созь, питающая волжскую ветвь водохранилища, показана как пример реки, вытекающей из болотного массива — ее воды характеризуются как маломинерализованные, высокоцветные, насыщенные органическим веществом. Химический состав притоков Шошинского плеса в межень ближе к составу подземных вод, хоть они и протекают по заболоченной местности. Из таблиц хорошо видно, что высокая минерализация напорных вод, низкая цветность и окисляемость свидетельствуют о них как о наиболее вероятном источнике подпитывания плеса зимой. Попробуем рассчитать долю подземного притока по сезонам года.

Расчет притока подземных вод в Шошинский плес. Поскольку мы располагаем в основном гидрохимическими характеристиками плеса, для расчета притока используем приближенный метод определения подземной составляющей речного стока А.Т. Иванова (Михайлов, 1985) $Q_1 = Q_{вдхр} * (C_{вдхр} - C_{пол}) / (C_{подз} - C_{пол})$ (1), где Q_1 — приток подземных вод, м³/сут; $Q_{вдхр}$ — расход водохранилища в выходном створе, м³/с; $C_{вдхр}$ — концентрация иона HCO₃⁻ в межень, мг/дм³; $C_{пол}$ — концентрация в половодье; $C_{подз}$ — концентрация иона в подземных водах. Расход Шошинского плеса в выходном створе согласно (Григорьева, 2000) составит зимой 19.95, летом — 21.16 м³/сут. Подставляя свои данные по содержанию гидрокарбонатов в воде плеса зимой, летом и в половодье, получаем, что зимой питание плеса за счет притока подземных вод составит 78–82% от расхода в выходном створе, а летом — 6–7%; подстановка средних данных из (Ивановское ..., 1978) дает цифры 70 и 3.3% соответственно.

Проведем перекрестный подсчет, используя опубликованные данные по измеренным скоростям течения (Ивановское ..., 1978), собственные замеры глубин и средние определения содержания иона HCO₃⁻ на зимний период (5.3 мг/дм³), половодье (2.0 мг/дм³) и летнюю межень (2.7 мг/дм³) на режимном створе у д. Безбородово (автодорожный мост) в 2012 г. Примем, что ширина водосливной части дамбы — 110 м; полученные величины подставим в формулу (1). Поскольку количественно установить в аккумулятивных древних долинах водах отдельно грунтовую и отдельно артезианскую часть в данном случае невозможно, условимся, что концентрация гидрокарбонатов в фильтрующихся подземных водах в течение года неизменна и равна 6.1 мг/дм³ (табл. 5).

В период
 max сбросов 0,1 4,5 360 36,0 28,8 80,1

Таблица 5. Приток подземных вод в Шошинский плес в разные сезоны года

Время года	Скорость, м/с	Глубина, м	Площадь сечения, м ²	Расход плеса, м ³ /с	Расход притока, м ³ /с	Доля притока, %
Лето	0.06	8.5	680	40.8	6.9	17.1
Зима	0.1-0.08	4.5-5.5	360-440	36.0-35.2	28.9-22.3	80.4-63.4
Весна	0.16	8.5	680	108.8	-	-

Несмотря на подтверждение расчетов перекрестным методом, полученные величины доли притока подземных вод весьма велики и вызывают сомнения в том, что приток такой величины может дать только древняя долина широтного направления. Изучение геологических карт показало, что на территории государственного заповедника «Завидово» протекала в субмеридиональном направлении палеорека, что создает предпосылки для интенсивной разгрузки глубоких водоносных горизонтов через зону тектонической трещиноватости. В 2012 г. для уточнения гидрохимического режима плеса авторы провели рекогносцировочные полевые работы.

Методика полевых работ. Зимой с периодом 30 суток на створе Безбородово бурили лунки и со льда отбирали пробы по линии поверхность — 3 м — дно по всему поперечнику потока. В пробах воды определены цветность (колориметрически), перманганатная окисляемость (по Кубелю), солевой состав, биогенные элементы (кроме кремния), растворенный кислород и БПК₅. Анализы выполнены в гидрохимической лаборатории Ивановской НИС по стандартным методикам (Методы ..., 1990). Определение ионов Na⁺ и K⁺ выполнено авторами на пламенном фотометре, кислотнo-щелочные (рН) и окислительно-восстановительные (редокс-потенциал Eh) характеристики измерены in situ портативными приборами для полевых исследований фирмы Hanna.

Результаты натурных исследований плеса. Изученная нами часть плеса составляет 2 участка. Первый (I) — от о. Чиграва до железнодорожного моста, протяженностью по прямой 8 км, покрыт площадной съемкой с шагом между створами-поперечниками 1 км в июне 2012 г. Акватория участка I территориально относится к заповеднику «Завидово». Второй (II) — от железнодорожного моста до автомаста, 6 км, изучался в августе 1993 г. и в первой половине 2012 г. Сравним наши данные с результатами ИББВ РАН в 70-х гг. (табл. 6).

Таблица 6. Солевой состав (максимум/среднее) участков I и II

Показатель	I (34 пробы)	II (42 и 21 проба)		II (Иваньковское ..., 1978)	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето
Мг/дм ³					
HCO ₃ ⁻	170.8/162.2	329/294	170.8/167.8	372/300	152/129
K ⁺	3.9/3.5	7.5/6	4.9/4.4	4.3/3.5	2.5/2.2
Na ⁺	8.7/8.1	16/14.3	9/8.9	12.6/10.3	5.8/4.8
Ca ²⁺	43/41.8	76.1/69	41/41	67.2/58.8	35/31.1
Mg ²⁺	12.7/10.9	41.5/28.8	11.2/10.6	22.6/21.2	10.4/8.2
Cl ⁻	1/1	10.5/9.6	2.4/2.4	8.4/6.7	4.2/3.4
SO ₄ ²⁺	12/11	18.7/13	13/11	45/33.6	14.8
Сумма солей	241	425	246	434	193

Сравнение показывает, что соотношение главных ионов и порядок их содержания практически не изменились, то есть экосистему плеса можно назвать устойчивой.

При площадной съемке акватории заповедника выявлены точечные выходы напорных вод, имеющие редокс-потенциал от (-32) до (-69), лежащих на одной линии и приуроченных к глубинам 7.0 и 8.2 м соответственно. Зимняя съемка показала отрицательные величины Eh придонных слоев. Косвенным показателем усиления притока именно глубоких подземных вод также служит резкий скачок аммонийного азота с концентрации 0.44 в январе до 1.87 мг/дм³ перед наполнением водоема в конце зимы (Безбородово), приуроченный к придонному слою, и отсутствие такого скачка в других плесах (см. табл. 3). Скачок зафиксирован здесь также в феврале 1994 до 1.27 мг/дм³.

Выводы. Установлено, что на формирование зимнего гидрохимического режима Шошинского плеса Ивановского водохранилища значительное влияние оказывает приток глубоких подземных вод из зоны тектонической трещиноватости. Весьма приблизительные подсчеты доли подземного притока в реки по формуле А.Т. Иванова дают величины 70–80% зимой и 3.3–17% летом от общего расхода в устьевой части Шоши. Согласно (Ковалевский, 2000) фильтрационные свойства трещиноватых, закарстованных карбонатных отложений в долинах палеорек могут на порядок превышать таковые на водоразделах; наибольшей водопроницаемостью обычно обладает первый от поверхности напорный водоносный горизонт, тесно гидравлически связанный с грунтовыми водами и рекой. Однако, рассчитанные нами величины притока все же вызывают сомнения и требуют дополнительной проверки, для проведения которой мы не располагаем соответствующими данными; но сам факт притока глубоких артезианских вод в ложе плеса очевиден.

Воды придонной части плеса зимой на выявленных участках притока характеризуются отрицательным редокс-потенциалом, более низкими величинами цветности и перманганатной окисляемости по сравнению с водами волжской ветви водохранилища. Напорные воды распространенного здесь касимовского водоносного горизонта верхнего карбона практически не содержат соединений фосфора и нитратного азота, способствующих евтрофированию водоемов, в них мало растворенных органических веществ, более полный в сравнении с поверхностными водами спектр микроэлементов, необходимых для нормального функционирования биоты Шо-

шинского плеса. Скорее всего, именно благодаря притоку подземных вод из переуглубленных древних долин экосистема плеса до сих пор сохраняет устойчивость к антропогенному воздействию.

Список литературы

- Ахметьева Н.П., Лола М.В., Горецкая А.Г. Загрязнение грунтовых вод удобрениями. М.: Наука, 1991. 100 с.
 Григорьева И.Л. Раздел 1.1–1.3. Глава 1. Гидрологические процессы в Ивановском водохранилище // Ивановское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.
 Ивановское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. 304 с. (Тр. ИББВ РАН АН СССР; вып. 34(37)).
 Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.
 Красинцева В.В., Кузьмина Н.П., Сенявин М.М. Формирование минерального состава речных вод. М.: Наука, 1977. 176 с.
 Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ПРОДУКТИВНОСТИ ФИТОПЛАНКТОНА РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

А.С. Литвинов, И.Л. Пырина, А.В. Законнова, Л.А. Кучай, Е.Н. Соколова

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

Ярославская обл., Некоузский р-он, пос. Борок, litvinov@ibiw.yaroslavl.ru

В последние годы в гидроэкологических исследованиях все большее внимание уделяется проблеме изменения состояния водных экосистем в связи с потеплением климата. Рыбинское водохранилище — один из немногих крупных водоемов мира и единственный в системе волжского каскада, на примере которого изучение этой проблемы представляется особенно перспективным. Для него имеются более чем пятидесятилетние ряды данных наблюдений над характеристиками термического режима и продуктивности фитопланктона, ответственного за функционирование первичного звена и экосистемы в целом. Это — ежедневные данные по температуре воздуха и поверхностного слоя воды на береговых постах и в водохранилище (Рыбинская ГМО) и содержанию хлорофилла «а» — основного показателя продуктивности фитопланктона (наши данные). Настоящая работа построена на результатах анализа этих данных.

Поскольку потепление в районе водохранилища стало отмечаться с середины 1970-х гг. (Литвинов, Рощупко, 2010), исследованные характеристики анализировали по периодам до потепления (1947–1975 гг.) и после (1976–2010 гг.), а также отдельно за последнее десятилетие (2001–2010 гг.), сравнивая их со средними за тридцатилетний период 1961–1990 гг., принятый в настоящее время Всемирной метеорологической организацией за норму. Для сравнительного анализа исследованных характеристик в вегетационный период рассчитывали их средние величины за май–октябрь, которые применительно к хлорофиллу «а» достаточно полно отражают среднегодовой уровень его содержания. Анализ проводили на примере Главного плеса (4 станции постоянных наблюдений), охватывающего основную часть акватории, где формируется водная масса собственно водохранилища. Материалы собирали в течение всего вегетационного периода, как правило, с 2–3 недельными интервалами. Пробы для определения хлорофилла отбирали тотально в пределах 0–2-метрового слоя воды, наиболее освещенного и прогреваемого, анализировали стандартным спектрофотометрическим методом (Lorenzen, Jeffrey, 1980; ГОСТ, 1990).

В бассейне Рыбинского водохранилища период потепления (1976–2010 гг.) характеризуется повышением среднегодовой температуры воздуха с 3.6 до 4.2 °С, которое наиболее интенсивно происходит в холодный период года (ноябрь–март), и особенно в последнем его месяце (табл. 1).

Таблица 1. Средняя температура воздуха, °С, за разные периоды

Период	1961-1990 гг. (норма)	1947-1975 гг.	1976-2010 гг.	2001-2010 гг.
Год	3.7	3.6	4.2	4.8
Ноябрь-март	-6.9	-7.2	-6.0	-5.2
Март	-3.9	-5.3	-3.0	-2.9
Апрель-октябрь	11.3	11.3	11.6	12.2

Повышение температуры воздуха в зимние месяцы способствовало более раннему очищению ото льда акватории водохранилища. Изменение термического режима проявлялось и в увеличении средней продолжительности свободного ото льда периода (табл. 2).

Таблица 2. Ледовые явления на Рыбинском водохранилище

Период, гг.	Средняя дата		Продолжительность периода свободного ото льда, (дни)
	очищения ото льда весной	появления ледяных образований осенью	
1961-1990 (норма)	3 V	11 XI	193
1947-1975	4 V	13 XI	194
1976-2010	30 IV	13 XI	198
2001-2010	26 IV	24 XI	213