

УДК 556.555.6: 551.461

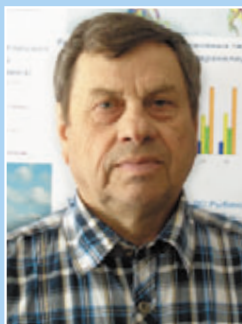
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ

СООБЩЕНИЕ 2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И
ПОСЛЕДСТВИЯ ПОНИЖЕНИЯ УРОВНЯ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2015 г. В.В. Законнов, А.С. Литвинов, А.В. Законнова

ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», пос. Борок, Ярославская обл.

Ключевые слова: мониторинг, донные отложения, трансформация, нормальный подпорный уровень, балансы взвешенных веществ, прогноз.



В.В. Законнов



А.С. Литвинов



А.В. Законнова

Приведены результаты мониторинга грунтового комплекса Рыбинского водохранилища за периоды 1941–1955, 1955–1965, 1965–1978, 1978–1992 и 1992–2009 гг. Спрогнозированы изменения донного яруса экосистемы и эколого-социальные последствия, связанные с понижением уровня воды на 4 м. Оценена роль седиментационных процессов в аккумуляции на дне полихлорированных бифенилов.

По инициативе Ярославской региональной общественной организации «Общественный совет Мологский край» возникла идея понижения уровня Рыбинского водохранилища на 4 м ради восстановления православных святынь и затопленного г. Мологи, которая вызвала широкий резонанс не только в научных кругах, хорошо знающих проблемы водоема, но и в самих рядах общественного движения [1]. Мнения разделились на решении нескольких задач:

- оставить все, как есть;
- понизить уровень водохранилища;

- спустить водохранилище полностью;
- провести реконструкцию мелководий.

Цель данного исследования – анализ результатов мониторинга грунтового комплекса, некоторых эколого-социальных последствий перестройки ложа и экосистемы Рыбинского водохранилища в связи с понижением отметки уровня воды на 4 м, а также выявление особенностей локализации полихлорированных бифенилов (ПХБ) в донных отложениях Шекснинского плеса.

Исследования по понижению нормального подпорного уровня (НПУ) на 0,5; 1,0; 2,5 м проводились, начиная с 1953 г., в конце 1980-х и в период с 1995 по 2001 гг. [2]. Результатом работы стало решение о необходимости сохранения отметки НПУ на проектном уровне. Снижение НПУ приведет к нарушению сложившегося за 70-летний период взаимодействия между абиотическими и биотическими звеньями экосистемы:

- ухудшит возможности трансформации стока весеннего половодья и экологическую ситуацию в многоводные годы;
- повысит трофность водоема;
- выведет водную растительность из состояния динамического равновесия;
- увеличит численность планктонной микрофлоры;
- окажет негативное влияние на формирование урожайности рыб;
- спровоцирует замор и гибель рыб в зимнее время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За время существования Рыбинского водохранилища проведено пять систематических, по всему водоему, и несколько специальных, полигонных, гидрологических съемок (табл. 1). Все съемки, анализы и расчеты выполнены по единым методикам [3–10], описанным в сообщении 1 «Донные отложения и их изменения в связи с повышением уровня Чебоксарского водохранилища» [11].

Таблица 1. Материалы грунтовых съемок

Показатель	Номер съемки				
	I	II	III	IV	V
Год съемки	1955	1965	1978	1992–1994	2000–2009
Число станций	1082	1371	950	1454	777
Основные авторы	[3]	[4]	[5]	[6,7]	[8–10]

Результаты исследования полихлорированных бифенилов (ПХБ) являются хорошей доказательной основой чрезвычайной опасности их воздействия в процессе вторичного загрязнения воды на гидробионты и человека не только для Рыбинского, но и для всех нижележащих водохранилищ каскада.

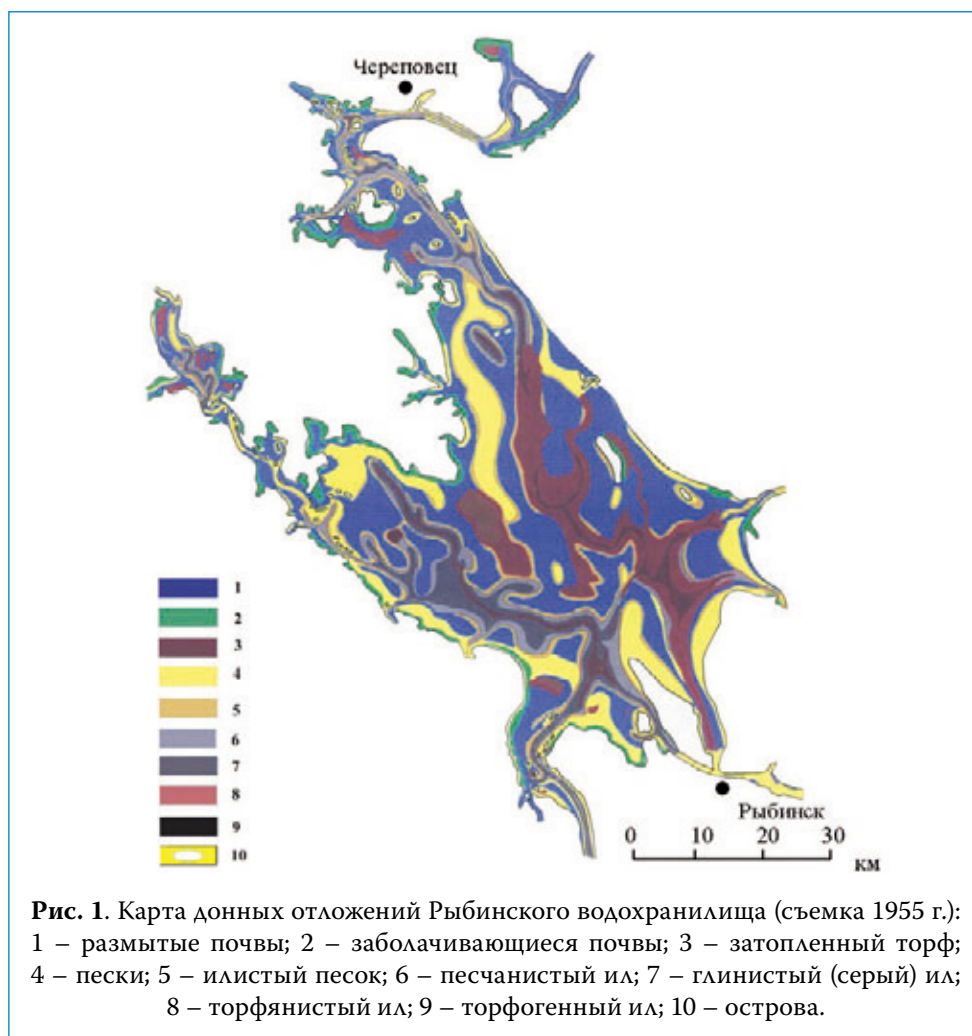
Концентрация ПХБ определялась методом газожидкостной хроматографии с электронно-захватным детектированием. Качественную идентификацию ПХБ и количественные измерения осуществляли по времени удержания и по соотношению высот пиков отдельных изомеров в анализируемой пробе и в стандартных образцах на базе Гидрохимического института (г. Ростов-на-Дону) и специализированной лаборатории ИБЭЭ им. А.Н. Северцова РАН (г. Москва) [8, 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рыбинское водохранилище – третий водоем Волжского каскада – благодаря большому объему обеспечивает все виды регулирования водного стока Верхней и Средней Волги: многолетнее (годовое), недельное и суточное. НПУ – 101,81 м Балтийской системы (БС). В результате образования водохранилища была залита обширная Молого-Шекснинская низина, где находилось более 25 тыс. хозяйств с населением около 100 тыс. человек [12]. Среди затопленных водохранилищем земель пашни занимали 14,4 %, огороды и усадьбы – 1,5, сенокосы – 17,3, выгоны – 7,1, леса и кустарники – 56,2 (в состав которых входило около 18 % торфяных болот), прочие угодья – 3,5 %.

Морфометрические и гидрологические различия Волжского, Моложского, Шекснинского (речных) и Главного (озерного) плесов обуславливают особенности распределения грунтового комплекса. Интенсивное волнение, стоковые и ветровые течения в сочетании с колебаниями уровня воды, достигающими более 3 м, являются главными дестабилизирующими факторами процессов распределения и накопления донных осадков во времени и пространстве.

Во время первого картирования ложа в 1955 г. значительные площади дна были представлены трансформированными грунтами (рис. 1., табл. 2), [3, 4]. Площади песков были небольшими. Илистые отложения встречались на глубинах более 6 м. Торфянистые илы были распространены повсеместно, особенно в районах затопленных болот, изначальная площадь которых составляла почти 800 км² и всплывших торфяников – сплавин образовавшихся в результате метаногенеза. Сплавины интенсивно разрушались ветровыми волнами, создавали препятствия для судоходства, забивали турбины Рыбинской ГЭС. Впоследствии торфяная крошка сыграла положительную роль в сорбции серноокислых отходов Череповецкого промышленного комплекса во время аварии в 1987 г. и аккумуляции их на дне.



Съёмка 1965 г. выявила существенные изменения в распределении грунтов [13]. Отмечено продвижение песчаных наносов вглубь водоема. Вторичные пески, имевшие нижнюю границу в Главном и речных плесах на отметках дна 5–6 и 3–4 м, продвинулись до 7–8 м, а на некоторых участках до 8–10 м, перекрыв слоем в несколько сантиметров трансформированные грунты (размытые, разбухшие почвы и торфяные залежи). Одновременно с увеличением площадей песков увеличились площади торфянистого и глинистого илов. Причины указанных смен формаций связывались с усилением гидродинамической активности водных масс и изменением роли отдельных источников осадкообразующего материала.

Таблица 2. Изменения площадей грунтового комплекса, %
(по годам гидрологических съемок)

Тип грунта, донных отложений	1941	1955	1965	1978	1992–1994	Прогноз	
						2010	2020
Трансформированные грунты (почвы)	(99)	55	15	15	17	14	15
Песчаные наносы	0,8	20	37	42	56	55	55
Илистые отложения	0,2	23	46	40	24	28	27
Торф и отложения из макрофитов	–	2	2	3	3	3	3

Грунтовая съемка 1978 г. наглядно продемонстрировала замедление темпов перестройки донного яруса экосистемы [5]. Установленное ранее увеличение площадей песчаных наносов имеет место и в настоящее время. Их граница обозначилась изобатой 6 м, а на некоторых участках песок проникает до 10 м глубины. Между изобатами 6–10 м сосредоточены отложения различного механического состава – это переходная зона.

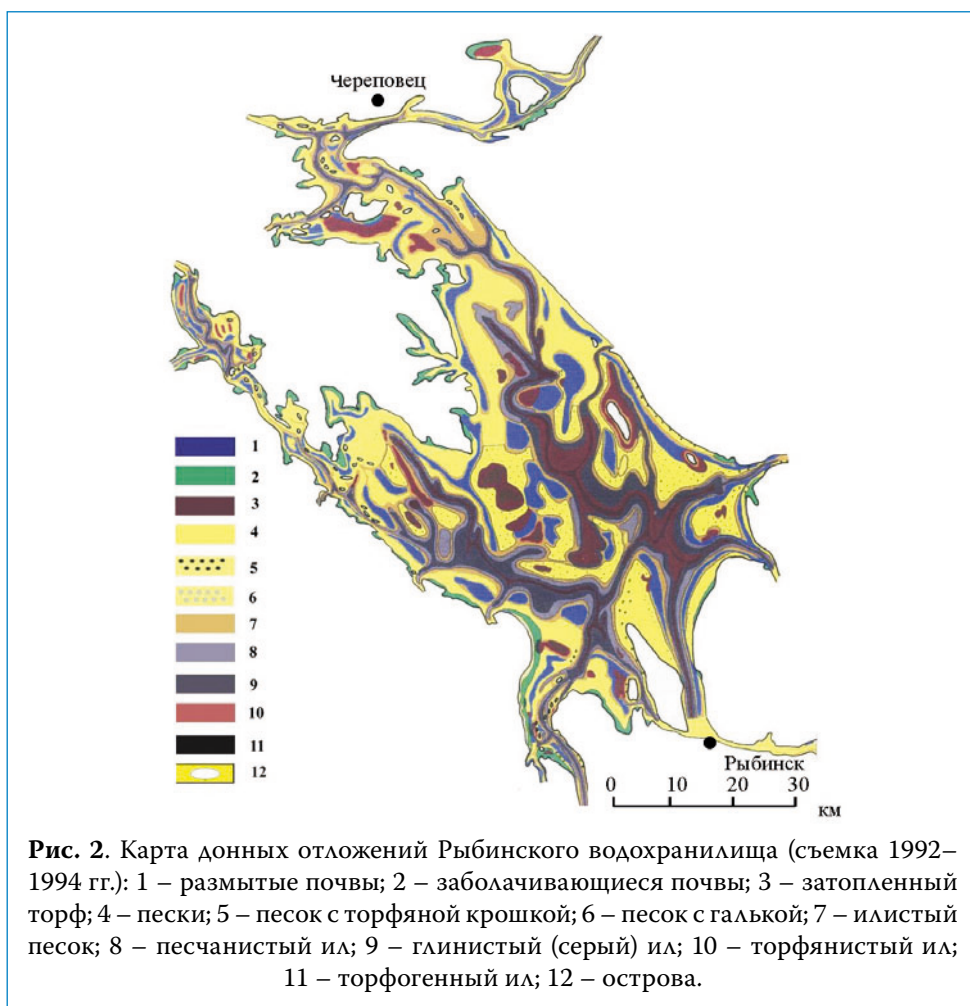
Результаты съемки 1992–1994 гг. закрепили тенденцию сокращения ареалов илистых отложений и увеличение площадей песчаных наносов (рис. 2) [7].

Запасы торфогенного ила сконцентрировались на глубинах более 14 м и стали типичны для бывшего русла р. Шексны и ее стариц от пос. Мяксы до плотины Рыбинской ГЭС. Торфогенный ил распространен также в местах слияния Волги и Мологи и на отдельных участках Молого-Шекснинской котловины. Несмотря на то, что занятые торфом площади еще довольно велики, ареалы торфянистых и торфогенных илов стали уменьшаться. За полосой волнового прибоя образовался песчаный вал высотой 1,5–3,0 м, где начались процессы отчуждения суши части акватории и гидроморфного почвообразования со специфичной растительностью в виде ивовых зарослей, двукисточника и осоки, характерных для болотных почв, площади которых составляют около 70 км². Наблюдения в 2006–2009 гг. подтвердили эту тенденцию [13].

Прогнозы на 2010 и 2020 гг. практически не отличаются, однако по конкретным грунтам могут быть различия, зависящие от характера и направленности гидродинамических процессов, связанных с гидрометеорологическими особенностями природного и антропогенного характера.

Наличие в кернах грунта маркирующего слоя в виде дерновины, размытой почвы и руслового песка позволило определить толщину донных осадков и рассчитать скорости седиментации по глубине и в целом по водохранилищу.

Исследования последних лет подтвердили, что средняя мощность донных отложений с глубиной увеличивается (табл. 3). Практически вся масса крупнозернистого осадочного материала накапливается в прибрежье



(0–6 м), занимающем свыше 50 % площади водохранилища. На глубинах от 6 до 10 м встречаются переходные типы донных отложений – илистый песок и песчанистый ил, а также обнаженные почвы. Глубже 10 м изобаты аккумулируются тонкодисперсные отложения, в которых фракции диаметром $<0,1$ мм (алеврита и пелита) составляют более 50 % (глинистые и торфогенные илы). Выделение зоны илонакопления важно, т. к. илесто-глинистые частицы в большей степени сорбируют весь комплекс загрязняющих веществ, поступающих с водосборного бассейна, и содержат максимальные концентрации органического вещества и биогенных элементов [8, 9]. Знание площадей их распределения и точного местонахождения дает возможность оценить риск вторичного загрязнения воды (табл. 4).

Таблица 3. Интенсивность седиментации по интервалам глубин

Интервалы глубин, м	Площадь		Средняя толщина, см	Объем, км ³	Вес, млн т	Скорость седиментации, мм/год
	км ²	%				
0–4	1861,0	41,0	4,7	0,09	117,2	0,9
4–6	686,4	15,1	8,0	0,06	44,7	1,5
6–8	806,3	17,8	11,1	0,09	62,1	2,1
8–10	614,8	13,5	12,6	0,08	38,8	2,4
10–14	515,7	11,3	33,8	0,17	54,2	6,4
> 14	60,2	1,3	71,2	0,04	9,4	13,4

Таблица 4. Показатели илонакопления в 1992/2010 гг.

Площадь		Средняя толщина, см	Объем, км ³	Вес, млн т	Скорость илонакопления, мм/год
км ²	%				
1092/1274	24/28	34/41	0,37/0,52	113/153	6,7/5,9

Мониторинг донных отложений водохранилища показал нестабильность процесса осадконакопления как во времени, так и в пространстве. Тем не менее, полученные результаты достоверно подтверждают阶段性 накопления осадков – от лавинной седиментации до относительной стабилизации, затем вновь к активизации осадкообразующего процесса в отдельные периоды. Средняя многолетняя скорость седиментации уменьшилась с 9,2 в 1955 г. до 2,9 мм/год к 1992 г. (табл. 5). За период 2010–2020 гг. при 102 м БС она возрастет до 0,7 мм/год за счет активизации эрозии ложа во время сработки уровня на 3 м за период 2013–2015 гг. Среднемноголетняя скорость осадконакопления практически не изменится и составит 2,0 мм/год за счет запасов донных осадков прошлых лет.

Таблица 5. Динамика интенсивности осадконакопления в Рыбинском водохранилище по годам гидрологических съемок

Характеристики		1955	1965	1978	1992	Прогноз	
						2010	2020
Средняя толщина слоя осадков, см		12,9	13,5	14,0	14,8	15,3	16,0
Скорость седиментации, мм/год ⁻¹	по периодам	9,2	0,6	0,4	0,6	0,3	0,7
	средняя многолетняя	9,2	5,6	3,8	2,9	2,2	2,0

Межгодовые и сезонные колебания уровня воды имеют значительную амплитуду, что, безусловно, сказывается на функционировании экосистемы водохранилища [14]. Так, отметки НПУ (101,81 м БС) максимальный уровень наполнения Рыбинского водохранилища за период 1947–2004 гг. достигал 22 раза (38 % случаев), 11 из которых превышал отметку 102 м БС. Девять раз это были годы повышенной водности и два раза – маловодной фазы. Средний уровень сработки водохранилища в многоводные фазы водности составлял 98,0 м, а в маловодные – на 16 см выше, чтобы набрать за счет половодья около 14 км³ воды для регулирования режима эксплуатации нижележащих водохранилищ.

Анализ материалов по изучению ложа Рыбинского водохранилища показал, что сложная система функционирования водоема находится в стабильном равновесии и реагирует на изменения абиотических характеристик. В частности, по периодам между грунтовыми съемками режим уровня оказал определенное влияние на интенсивность и направленность седиментационных потоков. В отдаленной перспективе при существующем режиме эксплуатации скорости седиментации по периодам в многолетнем аспекте будут выравниваться.

Наглядным примером является водный баланс, который отражает совокупное воздействие факторов, обусловленных естественной (природной) и техногенной (антропогенной) деятельностью как на водосборе, так и в системе каскада водохранилищ Волги. За период 1947–2003 гг. основную роль в приходной части баланса играет поверхностный приток – около 33 км³, пределы колебаний – от 16,2 км³ (1972 г.) до 53,4 км³ (1990 г.). В годы разной водности роль атмосферных осадков различна: в маловодные годы 8–9 %, в многоводные 6–7 % от суммы прихода. В расходной части преобладает сток через плотину и ГЭС – 32,7 км³. Испарение с акватории водохранилища в зависимости от его площади и метеорологических условий составляет 3–7 % от суммы расходной части баланса.

В совокупности с мощными абразионными процессами (переработка берегов, размыв мелководий и торфяных сплавин), составляющими 80–87 % приходной части седиментационного баланса, рассчитанного на основе водного, в водохранилище проявляется и наибольший аккумулирующий эффект (85–96 % расходной части) (табл. 6). Уменьшение полного объема водохранилища составляет 0,04 % в год, что не угрожает его занесению в течение нескольких тысячелетий. Другие статьи баланса определялись по апробированным методикам [4, 7].

Таблица 6. Трансформация балансовых характеристик взвешенных наносов Рыбинского водохранилища, %

Период, годы	Приход			Расход	
	абразионная деятельность	сток речных наносов	продукция гидробионтов	осадконакопление	сброс через гидросооружения
1947–1965 [4]	80	18	2	95	5
1941–1994 [7]	87	10	3	96	4
1941–2010	86	10	4	90	10
2010–2020*	85	10	5	85	15
2010–2020**	70	27	3	75	25

Примечание: * – прогноз при 101,81 м БС; ** – прогноз при 98,0 м БС.

Прогнозные балансовые расчеты на 2020 г. при НПУ 102 м БС изменятся незначительно. Однако понижение уровня воды до 98 м приведет к резкому уменьшению доли абразионных процессов, увеличению эрозии ложа и, соответственно, к росту приходных и расходных статей поступления аллохтонных и автохтонных наносов и уменьшению интенсивности осадконакопления.

Предварительные расчеты по Рыбинскому водохранилищу показали, что в речных плесах наблюдается четкая зависимость скорости стоковых течений от уровня наполнения водохранилища (табл. 7) [16].

Таблица 7. Зависимость скорости течения от уровня в Волжском плесе Рыбинского водохранилища

Уровень, м БС	Расход воды через ГЭС, м ³ /с	Средние из максимальных скоростей течения, м/с
99,5	950–1000	0,16
99,3	1100	0,18
98,8	1050–1200	0,20
98,2	1050–1200	0,24
97,3	1050–1200	0,33

Основное скоростное поле стоковых течений в водохранилище формируется по затопленным руслам рек, где сосредоточены практически все запасы илистых отложений, насыщенных поступающими с площади водосбора и со стоками промышленных комплексов загрязняющими веществами.

В Главном плесе преобладают ветро-волновые процессы, которые согласуются с формой Молого-Шекснинской котловины и определяют цир-

куляцию вод в виде двух-трех замкнутых вихрей. Размывающее действие волн проникает до глубины 8 м, местами до 10 м. Понижение уровня на 4 м спровоцирует воздействие волн на большие глубины, где находятся ареалы торфогенного ила с высокими сорбирующими свойствами. Процесс вторичного загрязнения водных масс усилится.

Аналогичные условия были обнаружены при изучении режима взвесей в Можайском водохранилище, когда в результате ремонта гидроузлов уровень воды был понижен на 6,0 м в 2008 г., 4,5 м в 2009 г. [17]. При этом произошла активизация гидродинамических процессов, что привело к увеличению мутности, переотложению наносов и ухудшению качества воды – повышенным значениям перманганатной окисляемости и цветности.

Для Рыбинского водохранилища эта проблема более актуальна. Прежде всего, реабилитация осушенных земель, представленных в основном песками (54 % площади водохранилища), а также загрязнение донных отложений токсикантами, в частности, полихлорированными бифенилами (ПХБ). В водохранилище загрязнением ПХБ в наибольшей степени подвержен Шекснинский плес, куда сбрасываются полуочищенные воды г. Череповца [8, 9]. Интенсивное и продолжительное поступление ПХБ (около 60 кг/год), привело к их накоплению в донных осадках (95 %), бентосе и рыбе (5 %) и, по-видимому, стало одной из причин снижения рыбных запасов в этой части водоема, а также нарушения баланса ихтиологического сообщества [8]. Результаты исследования показали, что в связи со спадом промышленного производства произошло уменьшение концентраций загрязняющих веществ в поверхностном горизонте донных осадков. Однако поступление ПХБ из Череповецкой промышленной зоны не ослабевает, поэтому уменьшение интенсивности седиментации и, в частности, илонакопления приводит к увеличению содержания ПХБ в донном ярусе экосистемы [9].

В результате понижения уровня воды на 4 м произойдут существенные изменения гидроморфометрических характеристик водохранилища (табл. 8, рис. 3).

Таблица 8. Основные гидроморфометрические и прогнозные характеристики Рыбинского водохранилища

Отметка уровня, м БС	Площадь, км ²	Площадь мелководий (0–4 м)		Объем, км ³	Средняя глубина, м	Коэффициент водообмена, год ⁻¹	Скорость седиментации, мм/год	
		км ²	%				2010 г.	2020 г.
102	4550	1861	41	25,4	5,6	1,4 (1,3–3,0)	2,2	2,0
98	2753	1461	54	11,0	4,1	3,2 (1,5–4,9)	3,3	1,5

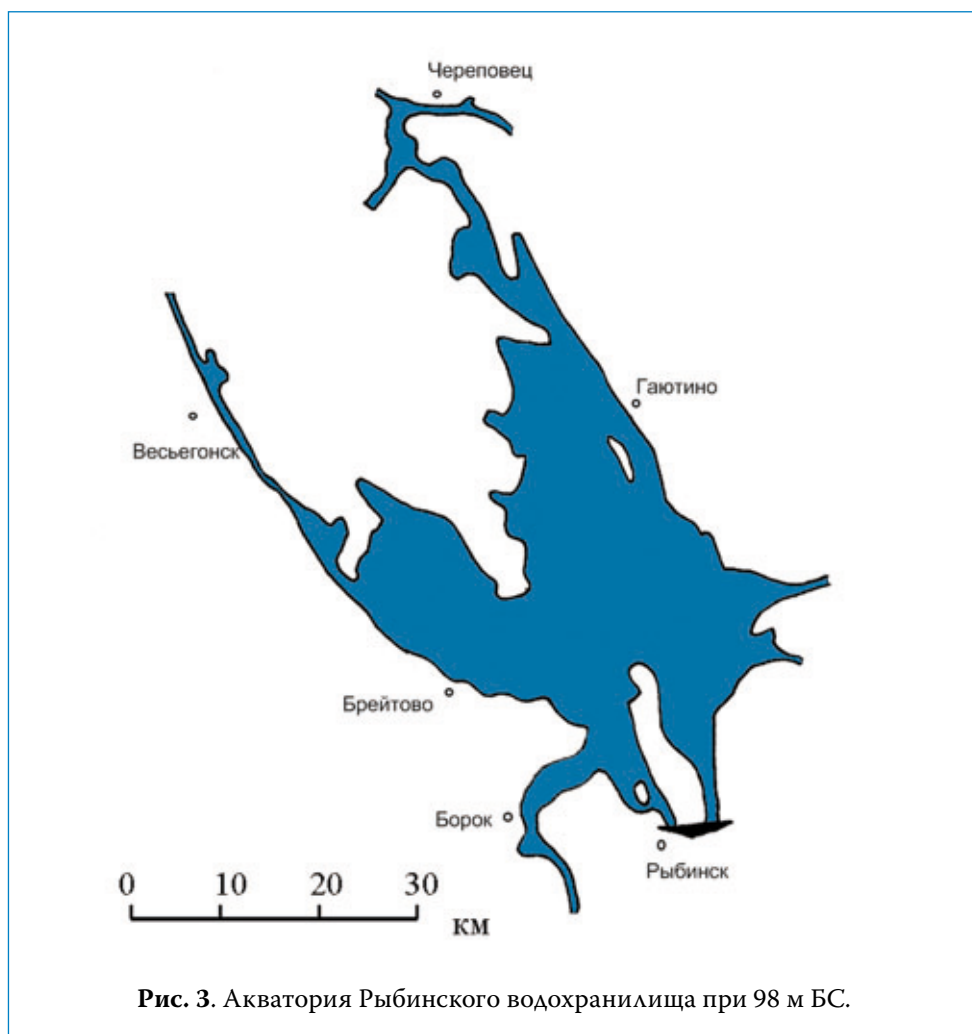


Рис. 3. Акватория Рыбинского водохранилища при 98 м БС.

В первую очередь изменится конфигурация, что приведет к уменьшению площади водохранилища на 41 %, из них Волжского – 53 %, Моложского и Шекснинского – 65 % и Главного плесов – на 32 % [18]. За этим последуют уменьшение объема водохранилища, средней глубины, длины береговой линии и скорости седиментации. Зато увеличится площадь мелководий и коэффициент водообмена. Водообмен – одна из интегральных характеристик гидродинамических процессов, происходящих в водоеме, играет важную роль в его самоочищении от персистентных токсикантов (при отсутствии дальнейшего поступления). Это было наглядно показано в 1996 г., когда в результате закрытия на ОАО «Северсталь» стока № 2 (основ-

ного источника поступления ПХБ) в донных отложениях принимавшей его р. Серовки уже через год содержание ПХБ уменьшилось в 10 раз [9]. Однако это не свидетельство их разложения, т. к. в расположенных ниже по течению реках Ягорба и Шексна концентрации ПХБ остались прежними, а на некоторых участках оказались повышенными. В случае резкого понижения уровня водохранилища и, следовательно, увеличения проточности эта масса токсикантов будет распространена вниз по каскаду.

Для того, чтобы подчеркнуть опасность такого рода действий, следует отметить, что для отравления всей ихтиофауны, обитающей в Рыбинском водохранилище, достаточно нескольких килограммов этих веществ. Единственным оптимистическим фактом является то, что загрязненные ПХБ донные отложения непрерывно изолируются из общего круговорота веществ в результате интенсивного илонакопления – 5,9 (3,3–18,7) мм/год. При таких темпах седиментации улучшения экологической ситуации в Шекснинском плесе можно ожидать в течение 3–17 лет, что гораздо меньше, если бы расчеты велись по скорости полураспада, которая сильно различается для отдельных изомеров ПХБ [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидрометеорологическая ситуация в бассейне Верхней Волги в 2014 г. показала, что после предвесеннего снижения уровня воды до 98,8 м БС, водохранилище не наполнилось в течение года и это привело к чрезвычайной ситуации, связанной с недостатком воды на Нижней Волге. Особенно пострадало рыболовство, судоходство и, отчасти, энергетика. Были осушены нерестилища, рыба отметала икру в неподходящих для этого местах, условия для мальков оказались неблагоприятными, обнажились мелководья, водная растительность обсохла, исчезли заросли – приют для водоплавающей птицы (рис. 4, 5).

Освободившаяся от воды территория представляла грунтовый комплекс, состоящий из слоя песка толщиной от нескольких сантиметров до 3 м, заболоченной почвы и макрофитных сплавин, сросшихся с дном. Ветроволновые воздействия усилили эрозионные процессы. Зоны размыва дна и переотложения тонкодисперсных отложений сместились до глубины более 10 м. Торфогенные илы затопленных рек Волга, Молога и Шексна оказались перекрыты минеральным наилом толщиной до 1 см.

Таким образом, к выводам, приведенным во введении статьи, необходимо добавить следующее:

– в результате снижения уровня Рыбинского водохранилища на 4 м произойдет значительная потеря площади водной акватории и полезного объема в 1,7 и 2,3 раза, соответственно;



Рис. 4. Обсохшие мелководья Рыбинского водохранилища, август 2014 г.



Рис. 5. Песчаные отмели при низком уровне Рыбинского водохранилища, сентябрь 2014 г.

- нарушится многолетняя регулирующая роль в накоплении резервных запасов воды, которые служат гарантом нормального функционирования водных экосистем Волжского каскада;
- изменится базис эрозии;
- увеличится скорость стоковых течений, что приведет к усилению размыва и переотложению наносов, уменьшению темпов седиментации и вторичному загрязнению воды;
- будут потеряны большие объемы пресной воды;
- снизится эффективность работы Рыбинской ГЭС;
- возникнут проблемы организации судоходства;

- изменятся конфигурация и границы водохранилища, что приведет к удалению от уреза воды сооружений и объектов инфраструктуры на 1–10 км;
- уменьшится длина береговой линии;
- снизится эффективность туристического сектора и малого бизнеса по организации отдыха, охоты и рыбалки, изменится характер водоснабжения населенных пунктов;
- осушатся песчаные мелководья неплодородной земли, реабилитация которой, ее застройка и освоение потребуют значительных финансовых затрат.

Очевидно, что сегодня проблемы Рыбинского и других крупных водохранилищ необходимо решать через развитие технологий по реконструкции и восстановлению существующей инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мологский край и Рыбинское водохранилище. Проблемы Рыбинского водохранилища и прибрежных территорий // Мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. МГУ, 2011. 209 с.
2. Литвинов А.С. Экологические условия в Рыбинском водохранилище и пути их улучшения // Пленарные доклады VI Всерос. с межд. участием научн.-практ. конф. Ярославль, 2013. С. 10–12.
3. Курдин В.П. Классификация и распределение грунтов Рыбинского водохранилища // Тр. Ин-та биол. водохр.. Л.: АН СССР, 1959. Вып. I (4). С. 25–37.
4. Буторин Н.В., Зимина Н.А., Курдин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
5. Законнов В.В. Распределение донных отложений в Рыбинском водохранилище // Биол. внутр. вод. Информ. бюл. Л. 1981. № 51. С. 68–72.
6. Законнов В.В. Пространственно-временная неоднородность распределения и накопления донных отложений верхневолжских водохранилищ // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 3. С. 362–371.
7. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада. // Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2007. 39 с.
8. Герман А.В., Законнов В.В. Аккумуляция полихлорированных бифенилов в Шекснинском плесе Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 5. С. 571–575.
9. Герман А.В., Законнов В.В., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Бродский Е.С. Процессы седиментации и аккумуляции полихлорированных бифенилов в русле р. Шексна в пределах г. Череповец // Вода: химия и экология. 2012. № 4. С. 16–20.
10. Сигарева Л.Е., Законнов В.В., Тимофеева Н.А., Касьянова В.В. Осадочный хлорофилл и скорость илонакопления как показатели трофического состояния Рыбинского водохранилища // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 1. С. 62–69.
11. Законнов В.В., Комов В.Т., Законнова А.В. Донные отложения и их изменения в связи с повышением уровня Чебоксарского водохранилища // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 4–19.

12. *Лифанов И.А.* Организация чаши водохранилища (затопления и подтопления в гидротехническом строительстве). М.–Л.: Госэнергоиздат, 1946. 224 с.
13. *Курдин В.П., Зиминова Н.А.* Об изменениях в грунтовом комплексе Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод. Информ. бюл. Л. 1968. № 2. С. 38–40.
14. *Законнов В.В., Ляшенко Г.Ф.* Трансформация грунтов и сукцессия высшей водной растительности в литоральной зоне Рыбинского водохранилища // Эколог. проблемы литорали равнинных водохранилищ. Мат-лы межд. конфер., Казань, 2004. С. 30–32.
15. *Литвинов А.С., Роцушко В.Ф.* Многолетние и сезонные колебания уровня Рыбинского водохранилища и их роль в функционировании его экосистемы // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 1–8.
16. *Литвинов А.С.* Энерго- и массообмен в водохранилищах Волжского каскада. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. 83 с.
17. *Кременецкая Е.Р., Законнов В.В., Ломова Д.В., Соколов Д.И.* Структура внутриводоемных потоков взвешенных и органических веществ в Можайском водохранилище // Географ. вестник. 2013. № 3(26). С. 37–48.
18. *Бакулин К.А.* Морфометрические характеристики Рыбинского водохранилища // Биологические и гидрологические факторы местных перемещений рыб в водохранилищах. Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 16 (19). Л.: Наука, 1968. С. 72–86.

Сведения об авторах:

Законнов Виктор Васильевич, д-р геогр. наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», 152742 Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru

Литвинов Александр Сергеевич, д-р геогр. наук, главный научный сотрудник, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», 152742 Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: litvinov@ibiw.yaroslavl.ru

Законнова Арина Васильевна, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», 152742 Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru