

УДК 556.555.6:551.4

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ

### СООБЩЕНИЕ 1. ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В СВЯЗИ С ПОВЫШЕНИЕМ УРОВНЯ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2015 г. В.В. Законнов, В.Т. Комов, А.В. Законнова

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

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



В.В. Законнов



В.Т. Комов



А.В. Законнова

Рассмотрены пространственно-временные закономерности формирования, распределения и накопления донных отложений в Чебоксарском водохранилище при современном уровне воды за период с 1981 по 2010 гг. Выполнен прогноз их состояния в связи с повышением уровней отметок до 65 и 68 м Балтийской системы. Оценено влияние седиментационных процессов на депонирование в осадках ртути. Обсуждены гидробиологические и социальные аспекты данной проблемы.

#### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы широко обсуждается вопрос пересмотра нормального подпорного уровня (НПУ) крупных равнинных водохранилищ. В основном это инициируется отдельными ведомствами и общественными организациями без учета интересов других водопользователей. Между тем, за многолетний период эксплуатации грунтовый комплекс водохранилищ

Волги достиг относительной стабильности, что очень важно для нормального функционирования пресноводных экосистем. При осуществлении подобного рода мероприятий донный ярус водохранилищ будет испытывать существенные изменения. Это приведет к негативным последствиям, связанным не только с аккумуляцией на дне токсичных отходов агропромышленного и селитебного комплексов, но и с вторичным загрязнением воды.

Ряд сообщений посвящен обсуждению результатов мониторинга за состоянием грунтового комплекса водохранилищ Волги и путях его трансформации как при существующих графиках эксплуатации, так и при воздействии различных природных и антропогенных факторов, а также в результате изменения морфометрических показателей водоемов вследствие занесения ложа, длительной их эксплуатации и различными режимами управления водным хозяйством Волжского каскада.

Цель данной работы – выявление пространственно-временной изменчивости донных отложений (ДО) Чебоксарского водохранилища при современном (1981–2010 гг.) уровне воды близком к 63,5 м и прогноз их состояния при подъеме уровня до 65 и 68 м Балтийской системы (БС).

Донный ярус экосистем водохранилищ включает широкое разнообразие грунтового комплекса: «первичные» – реликтовые или остаточные породы, аллювиальных наносов Палеоволги доводохранилищного происхождения (скалы, валуны, галечники, пески, глины, торф); трансформированные почвы – разбухшие и размывые, в т. ч. заболачивающиеся и болотно-луговые; и, наконец, «вторичных» – собственно донных осадков – гетеродисперсных минерально-органических крупнозернистых наносов и тонкодисперсных отложений.

Важность изучения ДО заключается в том, что они являются синтезаторами информации о влиянии гидрофизических и биогеохимических процессов на стадийность формирования ложа и берегов и гарантом стабильности искусственного водоема.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

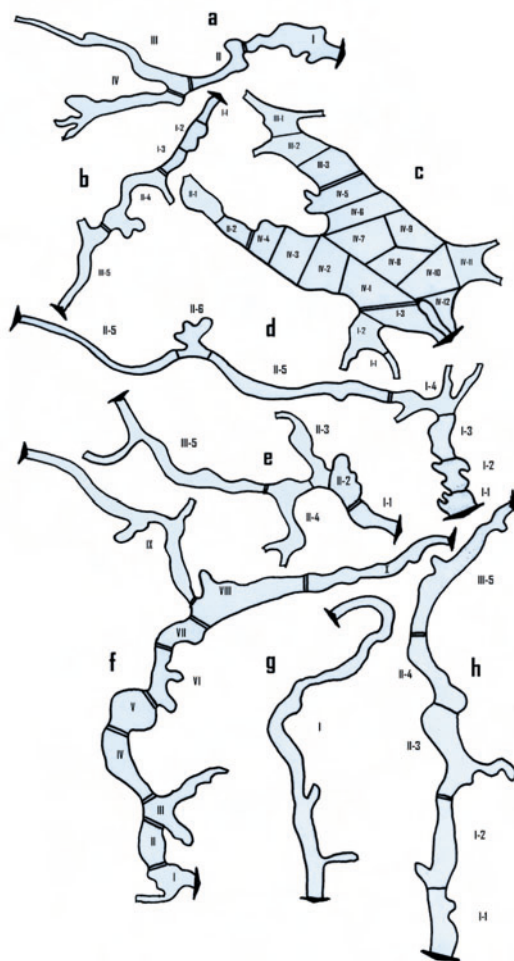
Обобщены и систематизированы результаты изучения ДО водохранилищ Волжского каскада с 1955 по 2006 гг., а также неопубликованные материалы с 2006 по 2014 гг. (табл. 1) [1, 2]. Мониторинг ложа включает от 4 до 6 плановых и специальных гидрологических съемок с интервалами 5–10–15–25 лет, выполненных по единым методикам и стандартной сетке станций. Это позволяет оценить структуру и пространственно-временную трансформацию грунтового комплекса, включающую распределение и накопление ДО в целом по водохранилищам и по отдельным участкам, интервалам глубин и сделать соответствующие прогнозы при различных режимах эксплуатации и измененных морфометрических показателях.

**Таблица 1.** Материалы грунтовых съеомок (I–V) водохранилищ Волги

Водохранилище	Год заполнения	Год грунтовых съеомок				
		I	II	III	IV	V
Иваньковское	1937	1957	1968	1976	1991	2012
Угличское	1940	1958	1968	1977	1991	2012
Рыбинское	1941	1955	1965	1978	1992–1994	2000–2009
Горьковское	1955	1962	1980	1992	1999	2010
Чебоксарское	1981	1981	1991	2001	2010	
Куйбышевское	1955	1963	1983	1993	2002	
Саратовское	1967	1968	1985	1990	2006	
Волгоградское	1958	1960	1985	1990	2013–2014	

Акваториальное районирование водохранилищ по условиям седиментации проводилось по плесам, районам – нижнему, среднему и верхнему – и по участкам (от 1 на Саратовском до 20 на Рыбинском водохранилищах) в пределах которых однороден гидрологический режим (рис. 1).

Наличие в осадках маркирующего слоя, состоящего из полуразложившейся дерновины, размытой почвы и руслового песка, позволило измерить толщину (in situ) отложившихся наносов с помощью грунтовых трубок Государственного океанографического института – ГОИН-1 и ГОИН-1,5, а также дночерпателей различной конструкции. Объем ДО рассчитан как произведение средней толщины зерна отдельных типов отложений с ненарушенной структурой на занимаемую ими площадь. Площади определяли по проектной документации и навигационным картам, выполненным в проекции Гаусса в масштабах от 1:10 000 до 1:400 000. Карты распределения грунтового комплекса составлены с учетом изобатной структуры ложа и привязкой координат станций в программе MapInfo. Вес наносов вычисляли по объемной массе различных типов ДО в пересчете на воздушно-сухой остаток. Скорость седиментации в мм/год рассчитывалась как частное от деления средней толщины слоя ДО при естественной влажности, а в весовых единицах –  $\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{год}$  по объемной массе сухих образцов на площадь их распространения по периодам, начиная с момента заполнения водохранилища до конкретной грунтовой съеомки, а также между съеомками. Стандартная ошибка определения скорости седиментации по этой методике зависит от количества станций и составляет 10–20 % [1].



**Рис. 1.** Районирование водохранилищ Волги по условиям седиментации: *a* – Ивановское, *b* – Угличское, *c* – Рыбинское, *d* – Горьковское, *e* – Чебоксарское, *f* – Куйбышевское, *g* – Саратовское, *h* – Волгоградское (римские цифры – плесы, районы; арабские – участки).

Гранулометрический анализ выполнен на электромагнитной просеивающей установке Analusette-3 (Fritsch) с сырыми пробами с помощью мокрого рассева в столбе воды через сита с выделением фракций песка >0,1; алеврита 0,1–0,01 и пелита <0,01 мм.

Основные статьи балансов взвешенных веществ рассчитаны для каждого водохранилища на основании фондовых материалов, собственных данных и литературных источников, при этом применялись единые методики,

как в ранних исследованиях, так и в современных, что позволяет сравнивать результаты за разные периоды [3]. Основой формирования седиментационных балансов являются среднемноголетние водные балансы. Балансы взвешенных веществ следует рассматривать как ориентировочные, т. к. отдельные приходные и расходные статьи определены с некоторыми ошибками в связи с отсутствием систематических наблюдений и ограниченным количеством постов и створов. Особенно это касается абразионных процессов, стока речных наносов, в т. ч. и в каскаде водохранилищ, и продукции гидробионтов. Стандартная ошибка среднемноголетнего стока наносов определялась при коэффициенте вариации ( $C_v$ ), подсчитанным с учетом его положительной ошибки 99 % обеспеченности [1]. Она равна для Ивановского водохранилища – 12, Угличского – 15, Рыбинского – 23, Горьковского – 28, Чебоксарского – 30, Куйбышевского – 28, Саратовского – 10 и Волгоградского – 20 %. В Горьковском, Угличском и Куйбышевском водохранилищах седиментационные балансы «замкнутые» (невязка – 3, 7 и 11 % соответственно). В других водохранилищах абразия берегов рассчитана как разность между известными расходными и приходными статьями. Доля продукции гидробионтов мала и не превышает 5 %.

Несмотря на ряд условностей, оценены возможные ошибки балансовых составляющих. Так, средняя ошибка расчета стока взвесей из водохранилища – около 20 %, определение веса ДО – от 10 до 20 %, рассчитанные как ошибки суммы балансового уравнения величины размыва ложа и берегов – 20 %. Степени погрешности основных статей балансов позволяют считать, что балансовые составляющие достаточно верно отражают ход абиотических и биотических процессов в рассматриваемых водоемах.

Единый подход в изучении ДО, преемственность методов, различный период эксплуатации техногенных водоемов и систематический мониторинг ложа представляют объективную картину трансформации грунтового комплекса водохранилищ в пространстве и во времени. По сути – это натурное моделирование процессов в естественных условиях, что облегчает прогнозирование состояния и структуры донного яруса методом аналогов при различных эксплуатационных вариантах с учетом изменчивости морфометрических показателей.

В пробах донных отложений определяли объемную массу (влажного и сухого образца), естественную влажность, гранулометрический состав, органическое вещество, биогенные элементы. Анализы проводили по методикам, апробированным на водохранилищах Верхней Волги [1].

Из большого списка гетерофазно-неконсервативных поллютантов была использована ртуть, т. к. она является одним из объектов данного исследования. Ртуть хорошо коррелирует с основными показателями седиментационного процесса, в частности, с гранулометрическим и минералогическим

составом, гидродинамическими и морфометрическими показателями водохранилища [4, 5]. В Чебоксарском водохранилище банк данных по пространственному распределению этого поллютанта включает 300 станций и около 250 проб (съёмка 2010 г.), а также контрольные колонки грунта.

Общее содержание ртути в сухих образцах определяли атомно-абсорбционным методом с зеемановской корреляцией неселективного поглощения на анализаторе РА-915+ с приставками РП-91 и ПИРО-915+ («ЛЮМЕКС», г. Санкт-Петербург). Результаты обрабатывали статистически в пакете программ STATISTICA с использованием метода дисперсионного анализа ANOVA и процедуры LSD – теста при уровне значимости  $P \leq 0,05$  [4, 5].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Завершение первой фазы строительства Новочебоксарского гидроузла в 1981 г. привело к созданию каскада водохранилищ, зарегулировавших Волгу от истока до устья. Промежуточная отметка НПУ для Чебоксарского водохранилища составила 63 м БС. Однако анализ среднемесячных и среднегодовых уровней воды за 1991–2002 гг. показал для нижнего и среднего районов величину близкую к 63,5 м [6, 7]. Данная величина поддерживалась и в третьем десятилетии существования водоема. Поэтому она была использована в качестве исходной для построения батиметрической карты масштаба 1:25 000 с сечением горизонталей 2,5 м, по которой определялись площади и объемы воды.

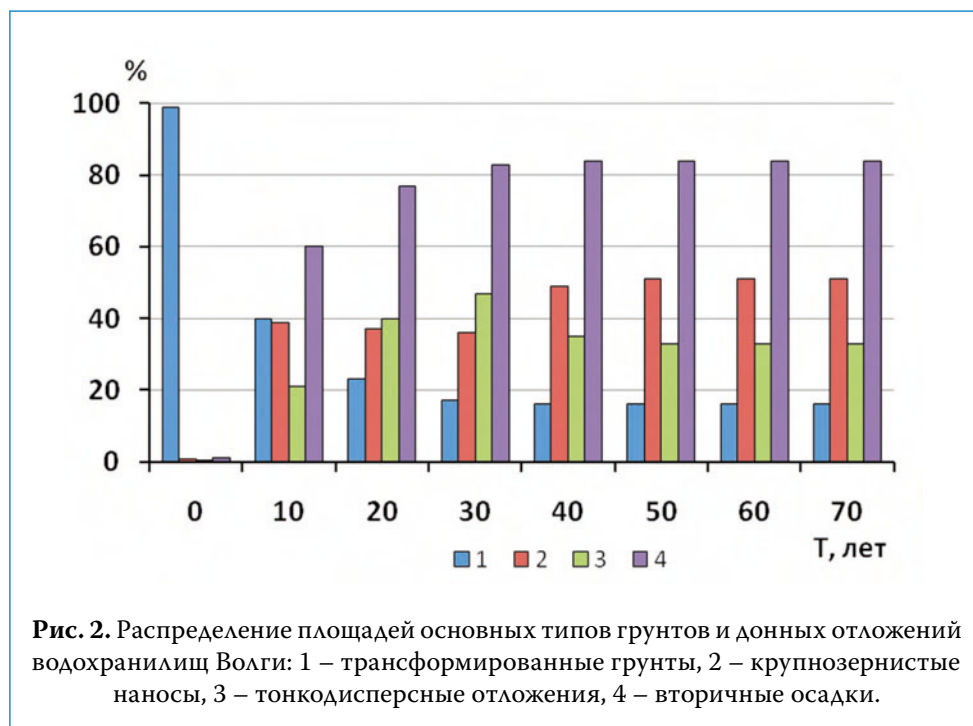
Верхний район (от Горьковского гидроузла до водомерного поста Просек) – русловой с навигационными глубинами 3,7–7,6 м сохраняет в значительной степени черты речного режима (скорость течения  $>1$  м/с) при максимальном размахе колебаний уровня воды от 63 до 65 м БС. Причем 65-метровая отметка может сохраняться в половодье в течение 3–4 недель. Это происходит благодаря возникновению буферных зон в устьях рек Оки, Суры и Ветлуги, где пики половодья могут совпадать или существенным образом отличаться от основного притока по Волге в результате различных метеорологических условий в бассейнах этих рек, расположенных в разных географических провинциях. После создания водохранилища амплитуды недельных и сезонных колебаний уровней в нижнем и особенно в среднем районах снизились. В нижнем и верхнем бьефах ГЭС (Городецком и Новочебоксарском) они зависят от режима работы гидроузлов. Зимняя сработка, характерная для многих равнинных водохранилищ, не выражена.

По морфологической классификации водохранилище относится к сложным долинным водоемам руслового типа [8]. Специфика рельефа характеризуется резко выраженной асимметрией речной долины. Правый берег, на значительном протяжении крутой и высокий, сложен глинисто-



мергелистыми породами и брекчией, левый – низкий и пологий – аллювиальными песками и супесями.

Регулярные гидрологические съемки по единым методикам позволили подтвердить общие для каскада водохранилищ Волги закономерности: сокращение площадей, занятых разбухшими и размытыми почвами, переход их в категорию трансформированных грунтов и вновь образовавшихся гидроморфных почв – заболачивающихся и болотно-луговых; увеличение площадей крупнозернистых наносов (песков); увеличение площадей тонкодисперсных отложений (илов), а затем их сокращение и стабилизацию (рис. 2, табл. 2) [2].



Две рекогносцировочные экспедиции в 1981 г. (май, июль) позволили зафиксировать начальный период формирования ложа и берегов, выявить специфический характер процесса осадкообразования, связанный с неравномерным развитием абразии и эрозии в результате изменившихся гидродинамических условий [6]. Так, на отметках дна от 0 до 2 м произошел частичный или полный размыв почв до материнской породы с образованием слоя песка и полосы галечника в прибойной зоне. На глубинах 2–6 м наблюдалось разбухание почвогрунтов в результате пептизации.

**Таблица 2.** Изменение площадей грунтового комплекса Чебоксарского водохранилища в разные годы, %

Тип грунта донных отложений	1981, май	1981, июль	1991	2001	2010	Прогноз*	
						2010	2020
Трансформированные грунты	98**	80	17	18	15	10	8
Крупнозернистые наносы	2	18	54	52	55	60	62
Тонкодисперсные отложения	0	2	29	30	30	30	30

Примечание: \* – данные [7], \*\* – почвы.

Глубины более 6 м были представлены глинистым наилом до 1 см на разбухшей дерновине или лесной подстилке. В устьях малых и средних рек, по затопленному руслу Волги и в понижениях рельефа дна были обнаружены отложения различного гранулометрического состава толщиной 3–5 см. Песчанистые наносы отличались плохой сортировкой ( $S_0 > 3$ ). Вынос глинистых частиц в акваторию незначительный. Процессы осадкообразования происходили, главным образом, в озерной части (нижний и средний районы), в верхнем, речном, каких-либо изменений кроме размыва не наблюдалось.

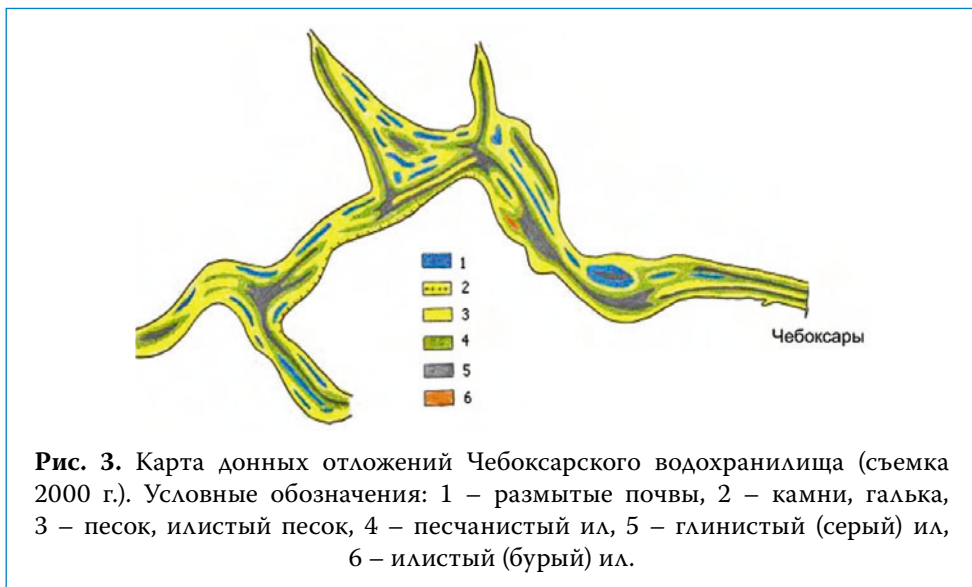
В 1991 г. (II) картина осадкообразования резко изменилась. К этому времени стало характерным площадное распространение донных осадков на всех участках и батиметрических интервалах [6]. Гранулометрический состав наносов пришел в соответствие с гидродинамическими условиями. Коэффициент сортировки стал лучше ( $S_0 \leq 2$ ), т. е. стал преобладать одновершинный характер распределения фракций скелета грунта. К концу первого десятилетия определились зоны размыва от 0 до 4 м, переотложения – трансседиментации (от 4 до 6 м) и зоны аккумуляции взвесей на прирусловом склоне (6–10 м) со специфическими подводными оползневыми процессами и, наконец, русловая ложбина (>10 м). Для нее характерны хорошо выраженные стоковые течения со скоростью 0,5–0,8 м/с на прямолинейных участках и выходами подземных грунтовых вод, что способствует сохранению крупнозернистых наносов и гравия, существовавших до заполнения водохранилища. Местами языки подводных оползней формировали толщи илистых отложений. Это происходило в основном в устьевых участках крупных притоков, в излучинах Волги и затопленных воложках (протоках).

К 2001 г. (III), вопреки прогнозным расчетам и предполагаемому уменьшению абразионно-эрозионных процессов, началась активная переработка



левого низкого и мористых берегов островов и затопленных гряд прибрежных террас [7]. Это явление оказалось характерным не только для крупных равнинных водохранилищ, но и для средних, например, водохранилища Влоцлавек на Висле ( $F - 70,4 \text{ км}^2$ ,  $V - 0,4 \text{ км}^3$ ) [9]. Стадийность развития береговых процессов, стохастичность и непредсказуемость оползневых явлений в относительно молодых искусственных водоемах может продолжаться неограниченно долго, т. к. главным источником поступления осадочного материала остается абразия берегов и эрозия ложа. Сложившееся в первое десятилетие распределение различных типов грунтов и донных осадков сохранилось практически неизменным к 2001 и 2010 гг. в силу того, что ареалы их распределения закладываются в первые годы существования водохранилищ (рис. 3). Прогнозные данные на 2010 и 2020 гг. обоснованы в работе [7]. Фактические данные 2010 г. имеют различия с прогнозными, потому что процесс разрушения левого пологого берега продолжается. Растяннутость во времени абразионных процессов вносит существенные коррективы в прогнозные расчеты [6].

По аналогии с водохранилищами Верхней Волги, срок эксплуатации которых превысил 70 лет и где распределение ДО четко обозначилось в соответствии с гидродинамическими процессами, можно предположить, что к 2020 г. в Чебоксарском водохранилище при существующем уровне и режиме эксплуатации площади под трансформированными грунтами сократятся вдвое, покров песчаных наносов увеличится, а глинистых илов сохранится прежним.



Усиление абразионной деятельности способствует росту темпов седиментации не только для основных типов ДО, но и по видам осадкообразования: занесению – аккумуляции всех типов наносов в расчете на площадь водохранилища при НПУ; осадконакоплению – в расчете на площадь их распределения, без зон размыва и новопочвообразования; илонакоплению – аккумуляции тонкодисперсных алевритовых и пелитовых фракций на площадь их распространения (табл. 3, 4).

**Таблица 3.** Трансформация распределения и накопления грунтов по годам гидрологических съемок (II–IV)

Тип грунта донных отложений	F – площадь, км <sup>2</sup>			h – средняя толщина, см			V – объем, км <sup>3</sup> ·10 <sup>-4</sup>			M – масса, млн т		
	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV	II	III	IV
Размытая почва	213	219	180	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Галька на песке	42	35	28	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Песок	317	330	350	1,1	2,8	3,2	34	92	112	7	19	24
Илистый песок	285	256	280	0,6	3,1	3,3	17	79	92	2	11	13
Песчанистый ил	131	156	160	0,7	4,9	5,5	9	77	88	1	6	7
Глинистый ил	212	204	202	2,8	8,8	11,4	59	180	230	3	10	13
	Тип осадкообразования											
Занесение	1200	1200	1200	1,0	3,6	4,4	119	428	522	13	46	57
Осадконакопление	945	946	992	1,3	4,5	5,3	119	428	522	13	46	57
Илонакопление	343	360	362	2,0	7,1	8,8	68	257	318	4	16	20

В третьем десятилетии (2010 г. – IV) абразионные процессы и темпы осадконакопления замедлились. Их величины при современном режиме эксплуатации водохранилища оказались хорошо сбалансированными. Так, размыв берегов к 1991 г. составил 1,3; 2001 г. – 2,5; а к 2010 г. – 1,8 млн т/год, аккумуляция наносов – 1,3; 2,6; 2,0 млн т/год соответственно [10].

Усиление абразионной деятельности во втором десятилетии по левому пологому берегу способствовало росту темпов седиментации почти в два раза. За последний период отмечено уменьшение абразии берегов, что увеличит долю речных наносов при небольших показателях продукции гидробионтов (табл. 5). В расходной части седиментационного баланса аккумуляция наносов и сброс взвесей через плотину практически не изменятся [7].

**Таблица 4.** Динамика интенсивности осадконакопления по периодам (II–IV)

Тип донных отложений	Среднегодовое накопление								
	$S_{II}$	$S_{III}$	$S_{IV}$	$M_{II}$	$M_{III}$	$M_{IV}$	$m_{II}$	$m_{III}$	$m_{IV}$
Песок	1,1	1,4	1,1	0,7	1,0	0,8	2,2	2,9	2,4
Илистый песок	0,6	1,6	1,1	0,2	0,5	0,4	0,7	2,1	1,6
Песчанистый ил	0,7	2,5	1,8	0,1	0,3	0,2	0,8	1,9	1,5
Глинистый ил	2,8	4,4	3,8	0,3	0,5	0,4	1,4	2,5	2,2
Всего по водохранилищу	1,3	2,3	1,8	1,3	2,6	2,0	1,4	2,4	2,0

*Примечание:*  $S$  – скорость седиментации, мм/год;  $M$  – масса, млн т/год,  $m$  – масса, млн т на площадь, кг·м<sup>-2</sup>/год.

**Таблица 5.** Трансформация балансовых характеристик взвешенных наносов Чебоксарского водохранилища, %

Период, годы	Приход			Расход	
	Абразионная деятельность	Сток речных наносов	Продукция гидробионтов	Осадконакопление	Сброс через гидросооружения
1981–1991 [6]	45	51	4	46	54
1991–2001 [7]	61	36	3	63	37
2001–2010	46	50	4	48	52
2010–2020*	44	53	3	45	55
2010–2020**	47	48	5	50	50
2010–2020***	65	32	3	66	34

*Примечание:* \* – прогноз при 63,5 м; \*\* – 65 м; \*\*\* – 68 м БС.

Подъем уровня воды на 1,5 м сопоставим с созданием еще одного крупного водохранилища на Волге объемом свыше 1 км<sup>3</sup>, это не приведет к существенным изменениям в распределении площадей основных типов ДО и скоростей седиментации. Однако в результате повышения уровня до проектной отметки 68 м произойдет уменьшение коэффициента водообмена, реактивизация береговых процессов при новом эрозионно-абразионном базисе и увеличение темпов седиментации до 3,5 мм/год [10]. Гидроморфометрические показатели для различных отметок уровней воды приведены в табл. 6.

**Таблица 6.** Основные гидроморфометрические и прогнозные показатели Чебоксарского водохранилища

БС	$F$	$V$	$A$	$H$	$K_B$	$S$
63,5	1200	5,2	10	4,3	19,8	2,3
65,0	1488	7,3	12	4,9	16,4	2,6
68,0	2182	14	16	6,4	8,5	3,5

*Примечание:* БС – отметка уровней по Балтийской системе, м;  $F$  – площадь зеркала, км<sup>2</sup>;  $V$  – объем, км<sup>3</sup>;  $A$  – максимальная ширина, км;  $H$  – средняя глубина, м;  $K_B$  – коэффициент водообмена, год<sup>-1</sup>;  $S$  – скорость седиментации мм/год.

Ртуть – особо опасный поллютант глобального масштаба. Повышенные концентрации Hg в водных экосистемах могут регистрироваться в течение длительного времени, а при включении в пищевую цепь способны нарушать воспроизводство организмов, находящихся на вершине трофической пирамиды [4]. Неорганические соединения металла, поступающие в воду, быстро попадают в донные отложения в силу высокого сходства с мелкодисперсными взвешенными частицами. Однако донные отложения не только «депо» длительного хранения ртути, из них металл способен вновь поступать в водные массы, переходя в металлоорганическую форму в результате бактериального метелирования.

Распределение ртути в воде и донных отложениях, а также переход минеральных соединений в органические и обратно зависит от морфометрических, гидродинамических, физико-химических, биологических характеристик водоема и состава донных отложений. Ртуть может использоваться в качестве индикатора и служить доказательством в принятии решения о повышении отметок НПУ.

Результаты регрессивного анализа ( $n = 250$ ) показали, что в донных отложениях Чебоксарского водохранилища установлены достоверные положительные корреляции концентрации ртути (при  $P \leq 0,05$ ) по длине водоема ( $r = 0,35$ ), с темпами седиментации ( $r = 0,55$ ), естественной влажностью ( $r = 0,65$ ), фракцией  $< 0,05$  мм ( $r = 0,55$ ) и содержанием органического вещества ( $r = 0,66$ ), а также отрицательная зависимость со скоростью течения ( $r = -0,41$ ), средним диаметром частиц ( $r = -0,52$ ) и объемной массой ( $r = -0,59$ ) [4]. Концентрация Hg в донных отложениях возрастает от вышерасположенной плотины к нижележащей при увеличении доли мелкодисперсной фракции и повышении уровня органического вещества в образцах грунта. Так, от г. Городец до в/п Просек средняя концентрация Hg составила 0,027 (0,0–0,109), а от устья р. Суры до плотины Чебоксарской ГЭС – 0,041 (0,0–0,179) мг/кг. В речном участке Горьковского водохранили-

ща (г. Рыбинск – г. Кострома) содержание Hg – 0,034 (0,0–0,122), а в озерах (от г. Кострома до плотины Горьковской ГЭС) – 0,073 (0,0–0,234) мг/кг. В Куйбышевском водохранилище концентрации Hg возросли: до 0,14 (0,020–0,40) от г. Новочебоксарск до пос. Камское Устье и 0,18 (0,12–0,31) от пос. Камское Устье до г. Тольятти. Существенные различия концентраций Hg объясняются разными значениями коэффициентов водообмена (в Горьковском водохранилище  $K_B = 6,1$ , в Чебоксарском – около 20, в Куйбышевском –  $5,2 \text{ год}^{-1}$ ). Поэтому в системе река–море Чебоксарское водохранилище выступает как транзитный водоем, а ловушкой взвесей и ртути является Куйбышевское водохранилище (скорость седиментации  $4,4 \text{ мм/год}$ ) [7].

Прогностическая модель расчета состава воды при повышении уровня до 68 м отметки ( $K_B = 8,5 \text{ год}^{-1}$ ) показала, что это приведет к увеличению длительности пребывания весенних водных масс (наиболее загрязненных) до конца первой декады октября, в то время как при существующем режиме они задерживаются до начала августа [11]. Следовательно, Чебоксарское водохранилище, поменявшись ролями с Куйбышевским, постепенно превратится в несанкционированную свалку загрязняющих веществ широкого спектра, поступающих с водой рек Волги, Оки, Москвы и Клязьмы [12, 13].

В целом содержание ртути в донных отложениях водохранилищ Волги близко к уровням, зарегистрированным в 27 озерах и реках США (0,0–0,15 мг/кг), не испытывающим сильного антропогенного влияния [14].

Анализ стратиграфических колонок показал, что содержание металла по толщине керна увеличивается в связи с более высоким количеством поступления ртути в экосистему водохранилища в последнее десятилетие.

Согласно ГОСТ 17.4.1.02–83, из всего комплекса техногенных загрязнений ртутное считается одним из опасных и относится к 1 классу. Концентрации ртути в донных осадках Чебоксарского водохранилища не превышают фоновые или близки к ним – 0,08 мг/кг, однако имеются участки, где максимальные значения составляют 0,109–0,179 мг/кг. Оценка уровня загрязнения донных отложений по игео-классам 0 – «незагрязненные» [15], а техногенная нагрузка на водные экосистемы I – «слабая» (малоопасная) [16]. Однако выявление таких участков, их тщательный контроль должны быть обязательным условием мониторинга донных отложений.

Повышение уровня до отметки 65 м БС способно поменять ситуацию в водоеме в лучшую сторону [17]:

- оптимизируются условия в литорали, она уменьшается с 33 до 20–23 %;
- резко сократится площадь заболачиваемых земель;
- появится новая зона открытой воды – сублитораль с глубинами 2–6 м;
- в озерных и устьевых участках начнут формироваться поля циркуляционных течений, захватывающих мелководья, что приведет к увеличению эффекта самоочищения воды;

– снизится вероятность возникновения дефицита кислорода и метанообразования.

В результате этого в сублиторали и батиалях ускорится образование зон сосредоточения биомассы – основных нагульных местообитаний рыб. Это будет способствовать увеличению численности пелагических беспозвоночных и рыб, молодь которых служит основным кормом хищных рыб. Все это позволит обеспечить годовой вылов ихтиофауны в пределах 1,5–1,7 тыс. т.

Повышение уровня до 68 м БС не окажет положительного влияния на степень рыбопродуктивности. Увеличение глубины сублиторали и батиаля принципиально не повлияет на продуктивность рыбы, но приведет к повышению интенсивности цветения воды за счет снижения водообмена.

Отрицательным следствием повышения уровня в обоих случаях является затопление примерно 300 км<sup>2</sup> суши и, соответственно, еще около 700 км<sup>2</sup>. С другой стороны, исследования показывают, что при современном состоянии водохранилища еще не полностью использованы возможности для повышения его рыбопродуктивности. Основной причиной, которая сдерживает рост запасов рыб, является неблагоприятный уровенный режим в период весеннего нереста. Интересы рыбного хозяйства предполагают достижение весеннего уровня воды до отметки 65 м, поддержание достигнутого уровня в течение 40 суток, а затем медленное понижение (со скоростью от 0,5 до 1,5 см/сут) до отметки существующего НПУ. Достаточно соблюдать данное требование раз в два года. Это позволило бы обеспечить устойчивый и оптимальный с биологической точки зрения вылов в пределах 0,5–0,7 тыс. т/год.

Пониженный уровенный режим в 2014 г. волжских водохранилищ не соответствовал условиям регулирования стока в каскаде, что привело к негативным последствиям в судоходстве, рыбном хозяйстве и водообеспечении Нижней Волги. Однако это не коснулось Чебоксарского водохранилища, где уровни были близки к среднегодовым отметкам и составляли зимой 62,8–63,1 м, летом 63,2 м БС, что позволяло судам типа река–море свободно проходить фарватером до плотины Горьковского гидроузла.

Заход в шлюзы из нижнего бьефа возможен только на волне пуща, т. к. король шлюзов, по вине проектировщиков, заложен выше и только это является главным препятствием для судоходства [18]. Поэтому в первую очередь необходимо провести реконструкцию шлюзов или спроектировать еще одну серию, тогда отпадет необходимость повышения уровня воды и строительства низконапорной плотины на участке Городец – Сормово.

Опасения общественных организаций [19] по поводу затопления и подтопления памятников культуры и особо охраняемых природных территорий не вполне обоснованы, т. к. их защита уже предусматривала 68 м отметку (где этого не сделано – средства использованы не по назначению).



### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение уровня Чебоксарского водохранилища нарушит сложившуюся за 30-летний период устойчивость экосистемы, приспособленной к существующему режиму эксплуатации.

В первую очередь обострятся абразионные процессы как по правому – крутому, так и по левому – пологому берегу, которые вызовут многоступенчатый характер стадийности берегоразрушения и осадконакопления. Нестабильность функционирования экосистемы будет растянута на неопределенное время.

Уменьшение водообмена и стоковых течений приведет к усилению седиментационных процессов и, следовательно, к увеличению накопления в донных отложениях загрязняющих веществ, поступающих из Центрального промышленного региона и городов Верхней и Средней Волги. Водоохранилище постепенно превратится в ловушку токсических отходов.

При повышении уровня водохранилища изменятся условия осадкообразования. Обнаруженная в ходе исследования прямая зависимость между величинами абразионных и седиментационных потоков приведет к увеличению темпов осадконакопления и, в частности, илонакопления – важнейшего показателя экологического состояния водоема.

Любой шаг по пути реконструкции и восстановления Чебоксарского и других крупных равнинных водохранилищ требует комплексного подхода и учета мнений многих специалистов и ведомств, объединения научного, административного и общественного потенциала и поиска разумного компромисса между всеми заинтересованными сторонами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Буторин Н.В., Зимина Н.А., Курдин В.П.* Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
2. *Законнов В.В.* Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Москва, 2007. 39 с.
3. *Законнов В.В., Законнова А.В.* Баланс взвешенных веществ водохранилищ Волги и их трансформация // Инженерная геология, гидрогеология и геодинамика прибрежных территорий и ложа водохранилищ. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф. 9–11 сентября 2008 г. Перм. гос. ун-т. Пермь. 2008. С. 93–99.
4. *Законнов В.В., Комов В.Т., Гремячих В.А., Касьянова В.В., Костров А.В.* Роль седиментации в накоплении ртути в донных отложениях Горьковского и Чебоксарского водохранилищ // Бассейн Волги в XXI-м веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ. Сб. мат-лов докл. участников Всерос. конф. Ин-т биологии внутр. вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, 20–26 октября 2012 г. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. С. 90–92.
5. *Законнов В.В., Комов В.Т.* Содержание ртути в донных отложениях Чебоксарского водохранилища // Проблемы Чебоксарского водохранилища. Тез. докл. научн. конф., 4–5 апреля 2013 г. Н. Новгород, 2013. С. 9–10.

6. Законнов В.В., Иконников Л.Б., Законнова А.В. Формирование берегов и донных осадков Чебоксарского водохранилища // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 4. С. 418–426.
7. Законнов В.В., Иванов Д.В., Законнова А.В., Кочеткова М.Ю., Маланин В.П., Хайдаров А.А. Пространственно-временная трансформация донных отложений водохранилищ Средней Волги // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3. С. 583–581.
8. Edelstein K.K. Hydrology peculiarities of valley reservoirs // Int. Revue gis. Hydrobiol. 1995. 80.1. P. 27–48.
9. Vanach M. Dynamika brzegow dolnej Wisly. Wroclaw, 1998. 76 p.
10. Законнов В.В. Донный ярус экосистемы Чебоксарского водохранилища и его трансформация // Проблемы Чебоксарского водохранилища. Тез. докл. научн. конф., 4–5 апреля 2013 г. Н. Новгород, 2013. С. 13–14.
11. Ершова М.Г., Законнова А.В., Литвинов А.С., Соколова Е.Н. Моделирование гидрологической структуры и прогноз минерализации воды в Чебоксарском водохранилище // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 4. С. 426–438.
12. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
13. Янин Е.П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ, 2004. 95 с.
14. Konfad Jg. Mercury Contents of Botton Sediments from Wisconsin Rivers and Lakes // Environmental Mercury Contamination. 1972. Ann Arbor Science Publishers, Inc. P. 52–58.
15. Muellen G. Schwemetalle in den Sedimenten des Rheins-Verachdenungen seit 1971 // Umschau 79, 1979. H. 24. P. 778–783.
16. Коломийцев Н.В., Ильина Т.А., Зимина-Шалдыбина Л.Б. Загрязнение донных отложений как характеристика техногенной нагрузки на водные экосистемы // Современные проблемы мелиорации и пути их решения. М.: ВНИИГиМ, 1999. Т. 2. С. 103–119.
17. Герасимов Ю.В., Поддубный С.А. Влияние уровня режима на рыбное население Чебоксарского водохранилища // Проблемы Чебоксарского водохранилища. Тез. докл. научн. конф., 4–5 апреля 2013 г. Н. Новгород, 2013. С. 13–14.
18. Авакян А.Б., Шаранов В.А. Водоохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1977. 400 с.
19. Святые на Волге // Берегиня. Ежемесячная газета зеленых. 2014. № 257. С. 1.

#### 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

Комов Виктор Трофимович, д-р биол. наук, профессор, заместитель директора, ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок; e-mail: vkomov@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