

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ
ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА
ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ**
СООБЩЕНИЕ 4. РОЛЬ БЕРЕГОЗАЩИТЫ В ФОРМИРОВАНИИ
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2017 г. В.В. Законнов¹, А.В. Костров², А.В. Законнова¹

¹ ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук», пос. Борок, Ярославская обл., Россия

² ФГБУ «Управление эксплуатации Горьковского водохранилища», г. Кострома, Россия

Ключевые слова: Горьковское водохранилище, абразия, эрозия, донные отложения, мониторинг, баланс взвешенных веществ, трансформация, инвестиции в берегозащиту, р. Волга.



В.В. Законнов



А.В. Костров



А.В. Законнова

На базе мониторинговых данных оценена интенсивность формирования берегов и донных отложений, а также трансформация основных статей баланса взвешенных веществ Горьковского водохранилища.

Подтверждена характерная для водохранилищ Волги стадийность формирования берегов и донных отложений – активная фаза в первые 30–40 лет, затем стабилизация геоморфологических процессов или их незначительная флуктуация. Площади трансформированных грунтов и илистых отложений уменьшились и стабилизировались, крупнозернистых наносов увеличились и составили половину от площади водохранилища. Темпы седиментации уменьшились более чем в два раза. Абразия берегов и эрозия ложа снизились в 1,5 и 6 раз, соответственно, что связано с активным берегоукреплением. За весь период эксплуатации водохранилища площадь акватории уменьшилась на 82 км².

Показана роль берегозащиты в замедлении абразионно-эрозионной и седиментационной деятельности, а также влияние стоковых течений и ветроволнового режима на размыв берегов и ложа, распределение и накопление донных отложений. Реконструирован и спрогнозирован ход осадко-илонакопления в XX–XXI вв. в целом по водоему и по его орографическим районам.

Создание техногенных объектов (водохранилищ) влечет за собой преобразование природно-ландшафтной среды. По мере активизации геоморфологических и гидрогеологических процессов, связанных с переработкой и размывом берегов и ложа, затоплением и подтоплением территорий, промышленных предприятий, культурно-исторических памятников и объектов социальной инфраструктуры все актуальнее становится решение задач инвестирования и проведения мероприятий по берегозащите, реконструкции и реабилитации искусственных водных экосистем. Однако эффективность природоохранных мероприятий зачастую оценивается весьма поверхностно. Цель данного исследования – показать целесообразность проведения берегозащитных мероприятий и их влияние на динамику абразионно-эрозионной деятельности – главного источника поступления осадочного материала на дно водохранилища, как интегрального механизма стабилизации берегов, ложа и в целом пресноводной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Горьковское водохранилище является идеальным объектом, на котором проводятся регулярные мониторинговые гидролого-геоморфологические и седиментологические исследования (1962, 1980, 1999 и 2010 гг.) [1–6]. Между тем, системных обобщений влияния геоморфологических и гидродинамических процессов на размыв берегов и дна, условия транспорта наносов и их накопления не проводилось. В рамках данного исследования основной материал по переформированию берегов получен в результате периодических наблюдений за профилями деформированных побережий по створам [2, 7, 8]. Минералогический состав береговых склонов, сложенных глинисто-мергелистыми породами, определен методом рентгеноскопии при помощи рентгеновского дифрактометра STOE в геометрии «на просвет». Диагностика минерального состава проводилась путем сопоставления экспериментального и эталонных спектров из базы данных PDF-2 и COD в программных пакетах Qua IX и Crystal Impact Match. Для определения толщины и механического состава донных отложений отбирали керны на мелководьях и в открытой части водоема. Измеряли скорости и направление течений в водохранилище и воздушного переноса над акваторией. Методические указания по проведению грунтовых съемок, расчетам распределения площадей различных типов донных отложений, накоплению наносов, выявлению ошибок, а также определению физико-химических свойств и основных статей седиментационного баланса приводятся в сообщении 1 [9]. Банк данных по грунтовым съемкам водохранилища составил 1150 станций и 570 проб коллекционного материала.

По гидрографической классификации Горьковское водохранилище состоит из нескольких районов: речного – от Рыбинской ГЭС до г. Решма

(длина 310 км, глубина 8–10 м); озерного – от г. Юрьевца до Городецкого гидроузла (длина 80 км, глубина 15–18 м) мелководного (1,2 м) Костромского и глубоководного (10–15 м) Юрьевецкого расширений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование ложа и берегов, в первую очередь, определяется гидродинамическим режимом. В Горьковском водохранилище преобладающее влияние на циркуляцию вод оказывает объем притока в водоем [10]. В период половодья увеличивается роль стоковых течений. В летне-осеннюю межень в формировании поля течений возрастает роль ветра. В безледный период гидродинамический режим мелководной зоны водохранилища определяется воздействием волнения и течений, связанных с ветром. Повышенные скорости течения наблюдаются в районе гидростанции и уменьшаются по мере удаления от нее (табл.1).

Таблица 1. Сведения о течениях на Горьковском водохранилище [11]

Расход воды через Рыбинский гидроузел, м ³ /с	Средняя скорость течения на участках водохранилища, м/с				
	Рыбинск – Ярославль	Ярославль – Кострома	Кострома – Кинешма	Кинешма – Юрьевец	Юрьевец – Чкаловск
500	0,75	0,61	0,42	0,32	0,07
1500	1,08	0,89	0,67	0,50	0,15
2500	1,31	1,08	0,76	0,58	0,24
3500	1,42	1,21	0,85	0,64	0,28

Основное скоростное поле стокового течения формируется по затопленному руслу Волги [11]. Максимальные скорости наблюдаются на горизонте 0,4–0,6 м, а ко дну уменьшаются, соответственно снижаются скорости течения у левого и правого берегов. Сбросы воды в нижнем бьефе приводят к изменению скоростного и уровневого режима потоков в большом диапазоне величин, что способствует размыву дна и берегов, выносу взвеси в основную акваторию, где она выпадает в осадок, формируя отложения различного гранулометрического состава. Существующий гидродинамический режим привел к тому, что до 1962 г. донные наносы были представлены крупно- и среднезернистыми песками, совершенно не заиленными до г. Костромы (рис. 1, табл. 2). Ниже встречались илистые пески, а в прибрежье, где течения замедленные или вовсе отсутствуют, накапливались песчанистые и глинистые илы в виде вдольбереговых прерывистых полос («гряд») шириной 30–40 м, длиной до 200 м.

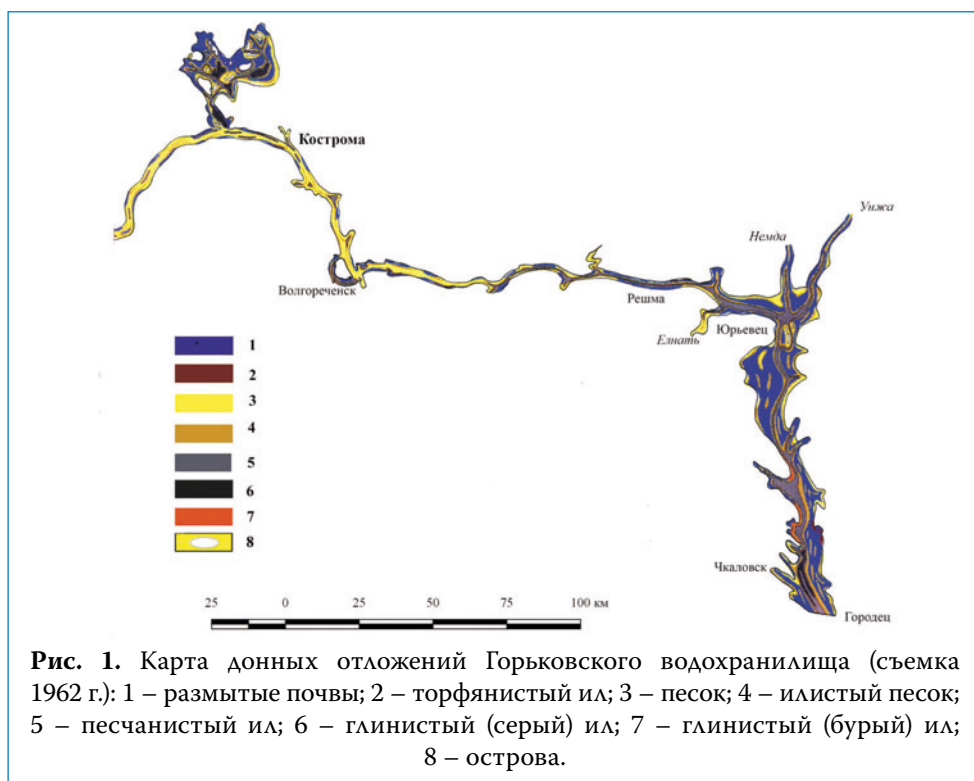


Рис. 1. Карта донных отложений Горьковского водохранилища (съемка 1962 г.): 1 – размытые почвы; 2 – торфянистый ил; 3 – песок; 4 – илистый песок; 5 – песчаный ил; 6 – глинистый (серый) ил; 7 – глинистый (бурый) ил; 8 – острова.

Таблица 2. Изменения площадей грунтового комплекса по годам, %

Тип грунта, донные отложения	Год					
	1955*	1962	1980	1999	2010	2035
Трансформированные грунты	99**	48	20	20	18	17
Крупнозернистые наносы	0,9	35	40	46	50	50
Тонкодисперсные отложения	0,1	17	40	34	32	33

Примечание: 1955* – год заполнения водохранилища, ** – почвы.

Результаты гидрологических съемок 1980, 1999 гг. показали, что в речной части, по-прежнему, идет увеличение площадей песчаных наносов, а илистые отложения из пунктирных гряд превратились в сплошные, толщиной 15–25 см [12]. Трансформированные грунты (размытые и разбухшие почвы) интенсивно замывались песком и илом. После 1980 г. начинается процесс стабилизации. Последняя съемка 2010 г. подтвердила эту тенденцию, за исключением илистых отложений, площади которых начали незна-

чительно сокращаться и носить сезонный характер. Во время половодья и максимальных сбросов воды из Рыбинского водохранилища площади под илами уменьшаются, а в межень увеличиваются. При этом происходит четкая дифференциация крупнозернистых наносов по гидравлической крупности. На левом пологом берегу накапливается мелкий и средний песок, а на правом, к которому тяготеет затопленное русло Волги, и в русловой ложбине откладываются крупный песок и галька.

Вдольбереговые течения являются следствием ветрового волнения при подходе волн к урезу под углом $> 15^\circ$ [13]. Скорости течений составляют 0,1–0,2 м/с, а при высоте волн более 1 м достигают 0,5–0,8 м/с. При подходе волн по нормали к урезу образуются разрывные течения, которые играют важную роль в формировании отмели, разрушении языков оползней и насыщении водной массы продуктами их размыва, а также способствуют процессам отчуждения части акватории суши (к 2010 г. около 55 км²). Происходит намыв наносов со стороны водоема с образованием валов и пересяпей, где начинают формироваться песчаные почвы.

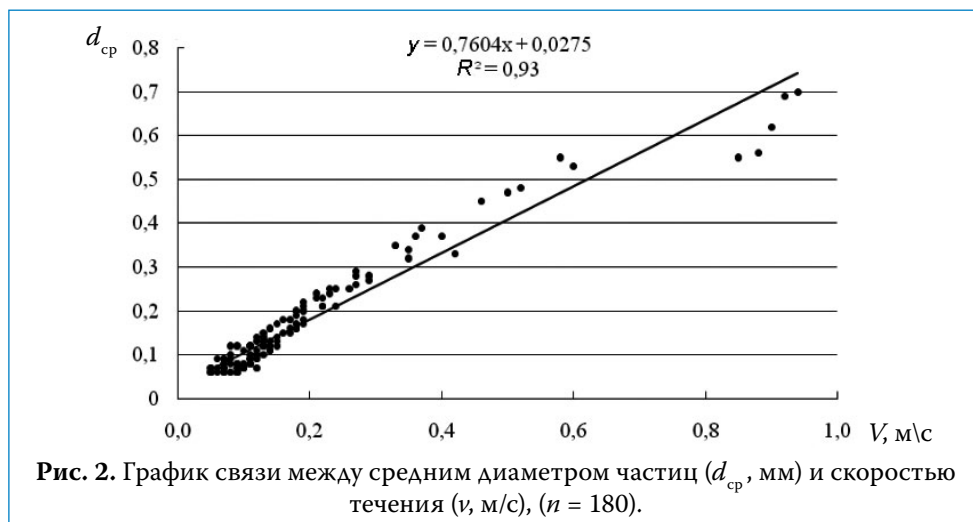


Рис. 2. График связи между средним диаметром частиц ($d_{ср}$, мм) и скоростью течения (v , м/с), ($n = 180$).

Заемствованные из монографии Н.В. Буторина [10] значения скоростей на основных створах Горьковского водохранилища четко указывают на связь между средним диаметром частиц наносов и стоковыми течениями (рис. 2). Таким образом, интенсивность и направленность стоково-ветровых течений в зависимости от режима уровня формируют гранулометрический состав донных осадков: при максимальных значениях они размывают дно и сортируют наносы по крупности, а при слабых градиентах течений создают условия для накопления тонкодисперсных фракций. В работе представлены результаты гидрологической съемки 2010 г. (рис. 3, табл. 3).

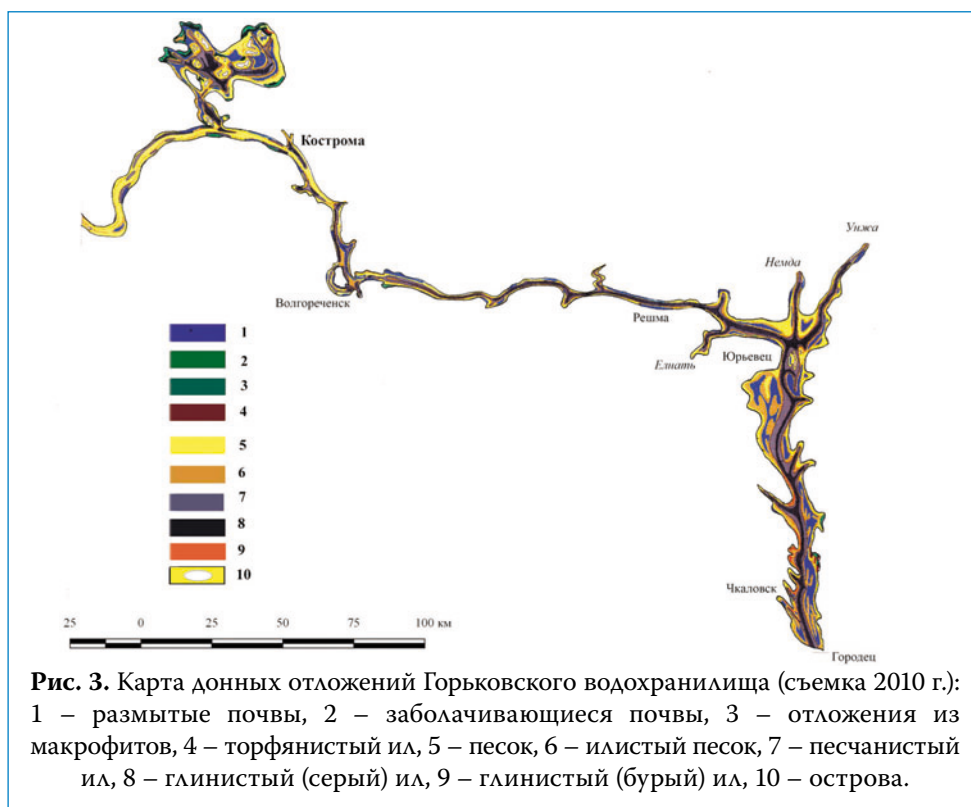


Рис. 3. Карта донных отложений Горьковского водохранилища (съемка 2010 г.): 1 – размытые почвы, 2 – заболачивающиеся почвы, 3 – отложения из макрофитов, 4 – торфянистый ил, 5 – песок, 6 – илистый песок, 7 – песчаный ил, 8 – глинистый (серый) ил, 9 – глинистый (бурый) ил, 10 – острова.

Таблица 3. Итоги формирования грунтового комплекса Горьковского водохранилища к 2010 г.

Типы грунта донных осадков, вид седиментации	F	$H_{\text{ср}}$	V	M	Среднегодовое накопление		
					мм	млн т	кг/м ²
Трансформированные грунты:							
– почвы песчаные	55	–	–	–	–	–	–
– почвы заболоченные	27	–	–	–	–	–	–
– грунты размытые	202	–	–	–	–	–	–
Крупнозернистые наносы	790	8,5	67	76	1,5	1382	1,7
Тонкодисперсные отложения	506	25,1	127	68	4,6	1236	2,4
Осадконакопление	1296	15,0	194	144	2,7	2618	2,0
Всего по водохранилищу (занесение)	1580	12,3	194	144	2,2	2618	1,7

Примечание: F – площадь, км²; $H_{\text{ср}}$ – средняя толщина, см; V – объем, млн м³; M – масса, млн т; – отсутствие данных.

В Костромском расширении и заливах озерной части водохранилища в 1999 г. обнаружено около 21 км² заболоченных почв, в 2010 г. при целенаправленном поиске их площадь составила 27 км². Таким образом, отчуждение суши части акватории за счет сросшихся с дном макрофитных сплавин и песчаных почв за полосой прибоя, превратившихся в пляж и бечевник, уменьшило площадь зеркала на 82 км², что согласуется с данными И.В. Землянова и др. – 5,2 % [14] и И.С. Соболя – 5,9% [15], полученными с помощью цифровой модели рельефа дна (ЦМР). В количественной гидроэкологии представляют практический интерес данные табл. 4 и 5.

Таблица 4. Интенсивность осадконакопления по орографическим районам

Район	F	$H_{\text{ср}}$	V	M	Среднегодовое осадконакопление		
					мм	тыс. т	кг/м ²
Речной	285	9,8	28	22,8	1,8	414	1,5
Костромской	286	9,8	28	17,1	1,8	311	1,1
Юрьевецкий	369	11,1	41	30,5	2,0	555	1,5
Озерный	640	15,2	97	73,3	2,8	1338	2,1

Таблица 5. Интенсивность илонакопления по орографическим районам

Район	F	$H_{\text{ср}}$	V	M	Среднегодовое илонакопление		
					мм	тыс. т	кг/м ²
Речной	77	16,9	13,0	7,0	3,1	127	1,7
Костромской	100	21,5	21,5	11,0	3,9	200	2,0
Юрьевецкий	137	22,3	30,5	16,5	4,1	300	2,2
Озерный	192	32,3	62,0	33,5	5,9	609	3,2

Прямые (*in situ*) определения толщины кернов с ненарушенной структурой, полученных с помощью гравитационных трубок, позволили оценить интенсивность седиментационных процессов и выявить тенденцию к снижению во времени с учетом изменчивости морфометрических характеристик (табл. 6).

Второй комплекс условий, существенно влияющих на характер и темпы деформации берегов и процессы седиментации, – форма, величина и геолого-литологическое строение береговых склонов [2]. Левобережье водохранилища представляет собой уступ поймы или первой надпойменной террасы, сложенной преимущественно песчаными, рыхлыми породами. Частично такие же берега и на правобережье. Но чаще всего здесь к урезу подходят коренные склоны волжской долины, сложенные довольно прочны-

ми глинисто-мергелистыми породами и песчаниками. Минералогический состав береговых откосов состоит из кварца – 53 %, палыгорскита – 16 %, альбита – 18 %, нонтронита – 9 % и монтмориллонита – 4 %. Присутствие глинистых минералов, растительных и торфяных остатков, поступающих из Костромского расширения и вышележащего Рыбинского водохранилища, создают благоприятные условия для сорбции загрязняющих веществ, поступающих от предприятий Рыбинска, Тутаева, Ярославля и Костромы в донные осадки озерной части Горьковского водохранилища. Высокие и крутые склоны предрасположены к оползанию и большей частью имеют оползневый облик. Наиболее прочные при размыве песчаники, менее – алевролиты и аргиллиты (глины) и аллювиальные пески. Особенно сильный размыв происходит в водопроницаемых и морозоустойчивых породах.

Проявление этих процессов на водохранилище неодинаково, следовательно, они приводят к различным количественным показателям, которые могут быть в той или иной степени учтены как прямыми определениями, так и балансовыми расчетами (табл. 7).

Таблица 6. Интенсивность и прогноз осадконакопления по годам гидрологических съемок

Год	F	H _{cp}	V	M	Среднегодовое осадконакопление		
					мм	тыс. т	кг/м ²
1962	1580	3,4	54,2	53,2	4,9	7,6	4,8
1980	1580	6,6	104,1	74,8	2,6	3,0	1,9
1999	1580	9,8	154,2	115,4	2,2	2,6	1,7
2010*	1498	12,9	194,0	144,0	2,3	2,6	1,7
2035*	1498	18,7	280,0	185,0	2,3	2,3	1,5

Примечание: * – с учетом данных ЦМР [14].

Таблица 7. Поступление наносов от размыва берегов и ложа Горьковского водохранилища

Период	Абразия, млн т/год	Эрозия, млн т/год
1957–1963*	3,2	4,4
1964–1968*	2,3	2,6
1969–1973*	1,8	1,5
1972–1990**	1,7	1,3
1955–1999**	2,0	0,6
2001–2010**	1,9	0,7
2011–2035**	1,6	0,7

Примечание: * – по данным [8, 16], ** – расчет балансовым методом [17].

В Горьковском водохранилище наиболее подробно изучался процесс переформирования берегов и ложа с 1957 по 1973 гг. [2, 8]. Согласно прогнозным данным, интенсивность переработки берегов с 1970 по 1990 гг. должна сократиться в 1,5 раза и составлять 1,7 млн т/год [16]. За период с 1957 по 1990 гг. среднее поступление наносов из этого источника должно было быть около 2,1 млн т/год. Балансовые расчеты, учитывающие накопление осадочного материала с 1955 по 1999 гг., дали близкую величину – 2,0 млн т/год [17]. С учетом прогнозных данных по интенсивности осадко-накопления, эта величина к 2035 г. составит 1,6 млн т /год. Однако интенсивность седиментационных потоков превышает темпы разрушения, рассчитанные инструментально по отступанию бровки абразионного берега. Поэтому логично предположить, что неучтенная часть наносов поступает в водоем за счет размыва ложа и берегов в результате их эрозии стоково-ветровыми течениями и атмосферными осадками. Ранее проведенные исследования на Рыбинском водохранилище показали, что доля эрозии ложа составляет практически половину от общей абразии [18].

Трансформация балансовых характеристик по периодам между съемками, при относительно неизменных статьях поступления взвешенного вещества с речным стоком по основной р. Волге и боковым притокам, продукции гидробионтов и сброса взвесей вниз по каскаду, подтверждает общую тенденцию постепенного уменьшения доли абразионно-эрозионной деятельности и темпов седиментации (табл. 8).

Таблица 8. Трансформация балансовых характеристик взвешенных веществ, %

Год	Приход			Расход	
	абразия, эрозия	сток речных наносов	продукция гидробионтов	осадко-накопление	сброс через гидросооружения
1962	82	15	3	95	5
1980	78	20	2	93	7
1999	71	27	2	84	16
2010	70	28	2	84	16
2035	68	30	2	82	18

Имеющиеся литературные и неопубликованные сведения свидетельствуют о том, что интенсивность переработки берегов на ряде длительно существующих водохранилищ не уменьшается, а последствия этого геоморфологического процесса нередко приобретают геологические масштабы [19]. Анализ состояния абразионных берегов волжских, днепровских и

камских водохранилищ подтверждает вывод авторов о том, что берега будут размываться длительное время и с такой же скоростью [20, 21].

Исследованию современной стадии развития берегов придается особое значение, особенно при разработке новых прогнозных моделей, т. к. проектные расчеты прошлых лет не оправдались ни на одном из водохранилищ. Помимо ранее проведенных исследований с 1955 по 1973 гг. [2, 8], с 1981 г. контролем за состоянием берегов и темпами их переработки, а также берегоукреплением в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла стали заниматься специалисты ФГУ «Управление эксплуатации Рыбинского и Шекснинского водохранилища» (г. Рыбинск), а остальной акваторией – «Управление эксплуатации Горьковского водохранилища» (г. Кострома). При большой разнородности в методах проводимых изысканий удалось получить общее представление о тенденциях переработки берегов, характеристики которых приведены в табл. 9.

Таблица 9. Среднегодовые скорости отступления берегов Горьковского водохранилища

Отступление берегов, м/год				
1956–1963 гг. [2]	1995 г. ¹	2009 г. ²	2009–2010 гг. [15]	2020 г. [15]
12–17	0,5–3,7	0,35–2,0	0,2–1,0	0,22–0,88

Примечание: ¹ – данные ИНПЦ «Союзводпроект»; ² – данные ФГУ «Управление эксплуатации Горьковского водохранилища».

Современная длина берегов изменилась благодаря фрактальному расчету береговой линии (2228,3 км) по сравнению с проектной (2170 км) [22]. Несмотря на это, строительство берегозащитных сооружений не прерывалось.

В 1997 г. на научно-практической конференции «Защита берегов рек России от разрушения» вопросам финансирования строительства берегозащитных сооружений было уделено особое внимание. Так, в решении конференции сложившаяся в г. Рыбинске ситуация с состоянием береговой полосы Волги и ее притоков была названа близкой к критической, грозящей реальной возможностью обрушения объектов жилья, промышленных корпусов, коммунальных сетей, архитектурно-исторических и археологических памятников. Просьба о финансировании мероприятий по защите береговой полосы была направлена в Государственный Комитет РФ по охране окружающей среды и Федеральный экологический фонд. В результате уже к 2000 г. городом было освоено 183,5 млн руб. на берегоукрепление и благоустройство в микрорайоне Волжский (3,2 км). Не остались без внимания и другие участки – историко-художественный музей (700 м), ул. Стоялая (330 м), в реконструкцию и ремонт которых каждый год вкладывалось от 2 до 37,6 млн руб.

С первых лет существования Горьковского водохранилища наиболее интенсивно шло строительство берегозащитных сооружений и на основной акватории: построены железобетонные откосы, набережные, порты и пассажирские причалы в крупных городах (Рыбинск, Ярославль, Кострома); проведена каменная наброска и наброска бетонных конструкций в малых городах (Тутаев, Плес, Кинешма, Решма, Юрьево, Сокольское, Пучеж, Чкаловск). В последнее время широко применяется габионная защита, биологическое крепление и ошиновка отработанными автомобильными покрышками – всего к 2010 г. 8,3 км берега (рис. 4).

Все эти меры в совокупности привели к тому, что инвестиции в берегозащитные работы начали влиять на уменьшение темпов седиментации и переработки берегов и дна (табл. 10).



Рис. 4. Защита берега в спальном районе г. Рыбинска.

Таблица 10. Динамика инвестиций в берегозащиту по данным ФГБУ «Управление эксплуатации Горьковского водохранилища»

Период, год	1955–1963	1964–1968	1969–1973	1974–1990	1991–2000	2001–2010	2011–2015
Инвестиции, млн руб.	9,7	11,2	13,6	3,5	15,0	647,2	355,6

Очевидно, что увеличение финансовых поступлений из различных источников (федерального, регионального, муниципального уровней, частные инвестиции) позволит повысить эффективность работы берегозащитных сооружений и, следовательно, экосистема Горьковского водохранилища станет более стабильной и устойчивой как в гидробиологическом (экологическом) отношении, так и при чрезвычайных ситуациях, связанных с оползновыми процессами, наводнениями и техногенными катастрофами. Строительство берегозащитных сооружений – это работа на перспективу, потому что экосистема водохранилища моментально или спустя некоторое время реагирует на изменение среды, особенно – в прибрежной зоне.

Гидроэкологический эффект инвестиций в берегозащиту наиболее четко отразился на интенсивности седиментационных процессов, которые уменьшились с 4,9 в 1962 г. до 2,3 мм/год в 2010 г. Однако эта закономерность проявляется и на других равнинных водохранилищах и их орографических районах, где берегоукреплению не уделяется такого внимания, как на Горьковском. Именно сочетание техногенных мероприятий и естественных процессов приносят необходимый экологический эффект, который приводит к стабилизации функционирования экосистемы Горьковского водохранилища. Это отразилось и на морфологических характеристиках водохранилища, которые, по сравнению с проектными, существенно не изменились и находятся в пределах точности измерения параметров и естественных процессов накопления осадочного материала (табл. 11).

Таблица 11. Сравнительная морфометрическая характеристика Горьковского водохранилища (при НПУ 84,0 м БС)

Морфометрические характеристики	Проектные, 1955 г.	Фактические, 2010 г. [14]
Длина по судовому ходу, км	430	427
Площадь зеркала, км ²	1580	1498
Площадь мелководий до 2 м, км ²	368	344
Длина береговой линии, км	2170	2963 2228 [22]
Средняя глубина, м	5,5	5,7
Общий объем, млн м ³	8700	8589

Исходя из материалов данного исследования и расчетов, представленных в работе [14], накопление донных отложений составило 194 млн м³, а потеря общего объема воды 111 млн м³. При средней естественной влажности наносов 50 % расхождения в величинах, полученных разными методами, близки и составляют 1,1–1,3 %, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Горьковском водохранилище основным источником поступления осадочного материала является абразионно-эрозионная деятельность, обусловленная как гидродинамическими особенностями, так и геолого-литологическим строением берегов. Его доля уменьшилась на 12 % по сравнению с 1962 г., а в последние 20 лет осталась практически неизменной (~70 %). По прогнозным данным к 2035 г. эта величина составит около 68 %. Осадконакопление уменьшится, соответственно, на 12–13 %. При неизменном значении продукции гидробионтов (около 2 %) сток речных наносов увеличится в два раза, а сброс взвесей через замыкающий гидроузел в г. Городец – втрое.

Ход абразионно-седиментационных процессов в Горьковском водохранилище, как и в других техногенных водоемах равнинного типа, определен стадийностью их проявления – от максимальных величин в первые два-три десятилетия к стабильным показателям в последующие годы.

За весь период эксплуатации водохранилища проявляется четкая тенденция уменьшения темпов осадко-илонакопления и флуктуирующий характер переработки берегов. Морфометрические характеристики водохранилища практически не изменились. Потеря объема воды за счет накопления донных отложений находится в пределах ошибки методов их определения и составляет 0,04 %, что не угрожает занесению водохранилища в течение ближайших двух тысячелетий.

На примере Горьковского водохранилища показано, что там, где налажена работа по берегозащите, идет уменьшение интенсивности абразионно-эрозионных процессов в 1,5–6 раз и седиментационных явлений более чем в 2 раза. Ликвидация негативных естественных процессов с помощью технических мероприятий, связанных с берегозащитой, благоприятно сказывается на экологии водохранилища и способствует его привлекательности и безопасности для населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградова Н.И., Эдельштейн К.К.* К характеристике взвесей и грунтов Горьковского водохранилища // Комплексные исследования водохранилищ. М.: Изд-во МГУ, 1971. Вып. 1, С. 112–121.
2. *Иконников Л.Б.* Формирование берегов водохранилищ. М.: Наука, 1972. 95 с.
3. *Иконников Л.Б.* Динамика берегов в нижних бьефах гидроузлов. М.: Наука, 1981. 75 с.
4. *Законнов В.В., Зимина Н.А.* Осадконакопление в Горьковском водохранилище // Биология внутренних вод. 1984. № 63. Л.: Наука. С. 68–70.
5. Экологические проблемы Верхней Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
6. *Касьянова В.В., Законнов В.В., Костров А.В.* Транспорт наносов в Горьковском водохранилище // Материалы XXXIX конф. «Математическое моделирование

- в проблемах рационального природопользования». Экология. Экономика. Информатика / Ростов-на-Дону, 5–10 сентября 2011 г. С. 180–185.
7. *Иконников Л.Б.* Взаимосвязь размыва берегов и формирование прибрежной отмели на примере Горьковского водохранилища: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М. 1966. 18 с.
 8. *Ярославцев Н.А.* Исследования переформирования берегов Горьковского водохранилища // Сб. работ Горьковской, Волжской и Рыбинской ГМО. Вопросы гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1975. Вып. 12. С. 106–128.
 9. *Законнов В.В., Комов В.Т., Законнова А.В.* Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 1. Донные отложения и их изменения в связи с повышением уровня Чебоксарского водохранилища // Водное хозяйство России. 2015. № 3. С. 4–19.
 10. *Буторин Н.В.* Гидрологические процессы и динамика водных масс в водохранилищах волжского каскада. Л.: Наука, 1969. 320 с.
 11. Атлас Единой глубоководной системы Европейской части РСФСР. М.: ГУГК, 1988. Т. 5. 137 с.
 12. *Законнов В.В., Поддубный С.А., Законнова А.В., Касьянова В.В.* Осадкообразование в зонах переменного подпора водохранилищ Волжского каскада // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 425–433.
 13. *Ярославцев Н.А.* Течения и перемещения наносов в прибрежной зоне Горьковского водохранилища // Тр. 7-го Байкальского науч. коорд. совещания по изучению берегов водохранилищ. М.: Наука, 1961. Т.1. С. 22–30.
 14. *Землянов И.В., Шикунова Е.Ю., Горелиц О.В., Павловский А.Е.* Использование цифровых моделей рельефа для уточнения современных морфометрических характеристик водохранилищ // Тр. межд. науч.-практ. конф. Современные проблемы водохранилищ и их водосборов / Пермь, 17–20 мая 2011 г. С. 189–193.
 15. *Соболь И.С.* Основы инженерной оценки переформирования берегов, ложа и изменения морфометрических показателей равнинных водохранилищ в период эксплуатации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Самара. 2015. 47 с.
 16. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 299 с.
 17. *Законнов В.В., Законнова А.В.* Балансы взвешенных веществ водохранилищ Волги и их трансформация // Инженерная геология, гидрология и геодинамика прибрежных территорий и ложа водохранилищ // Межд. науч.-практ. конф. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. С. 93–99.
 18. *Зиминова Н.А., Курдин В.П.* Баланс взвешенных веществ в Рыбинском водохранилище // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. 1972. Вып. 23 (26). С. 199–210.
 19. *Колбутов А.Д.* Основные показатели оценки последствий переработки берегов Рыбинского водохранилища // Тр. Гидропроекта. М. 1974, № 37. С. 87–99.
 20. *Печеркин И.А.* Роль гидродинамических процессов в формировании берегов водохранилищ // Комплексные исследования водохранилищ. М.: МГУ, 1971. Вып. I. С. 122–128.

21. *Акимов И.К.* К вопросу о палеопереработке береговых склонов озерных котловин и долгосрочных прогнозов геодинамических процессов. М. 1974. Вып. 49. С. 149–160.
22. *Соболь И.С., Соболь С.В., Крупинов А.С.* Об измерении длины береговой линии водохранилищ // Водное хозяйство России. 2014. № 6. С. 30–43.

Сведения об авторах:

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

Костров Александр Владимирович, директор, ФГБУ «Управление эксплуатации Горьковского водохранилища», Россия, 156961 г. Кострома, ул. Восточная, 32; e-mail: kostrov@uegv.ru

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