

УДК 556.555.6

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГРУНТОВОГО КОМПЛЕКСА ВОДОХРАНИЛИЩ ВОЛГИ

СООБЩЕНИЕ 3. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В РЕЗУЛЬТАТЕ НАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В УГЛИЧСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ*

© 2016 г. В.В. Законнов¹, П. Гершевский², А.В. Законнова¹,
М. Кашубский²

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

² Институт географии и пространственной организации им. С. Лесчинского
Польской академии наук, г. Варшава, Польша

Ключевые слова: Угличское водохранилище, мониторинг донных отложений, морфометрические характеристики водохранилища, цифровая модель рельефа дна.



В.В. Законнов



П. Гершевский



А.В. Законнова



М. Кашубский

Проведено сравнение методов оценки изменений гидроморфометрических характеристик водохранилищ за счет накопления донных отложений и абразионно-эрозионных процессов. По результатам мониторинга донных отложений Угличского водохранилища установлено, что за 70-летний период эксплуатации морфометрические характеристики практически не изменились, за исключением Калязинского озерно-речного района. Площади, занятые трансформированными грунтами, остались прежними, песчаными наносами – увеличились, а глинистыми отложениями – уменьшились, образовались заболочи-

* Работа выполнена в рамках международного сотрудничества Польской академии наук и Российской академии наук по проекту «Седиментационные процессы в Угличском и Влоцлавском водохранилищах» при поддержке гранта РФФИ №12-05-00572 и ФГУ «Управление эксплуатации Угличского водохранилища»

ваемые почвы. В открытых мелководьях и дельтах рек сформировались косы, бары, пересыпи и валы, которые отчуждают часть акватории.

Дана оценка изменениям гидроморфометрических характеристик водохранилища по результатам мониторинговых грунтовых съемок методом *in situ* – прямых определений толщины донных отложений и цифровой модели рельефа дна, выполненных независимо в Институте биологии внутренних вод и Государственном океанографическом институте. За весь период эксплуатации водохранилища накопилось 28,6 млн м³ донных отложений, потеря объема воды – 22 млн м³. Невязка составила около 0,6 %. Оба метода дали хорошие результаты и имеют право на дальнейшее использование в исследовательской деятельности. Построены карты распределения наносов. Рассчитаны объемы и темпы седиментации, составлен баланс взвешенных веществ, выполнены ситуационные прогнозы путей формирования основных типов грунтов и донных отложений к 100-летию эксплуатации водохранилища.

Данное сообщение является продолжением статей по трансформации грунтового комплекса водохранилищ Волги за период эксплуатации [1, 2]. В процессе эволюции водные экосистемы (естественные и техногенные) испытывают изменения морфометрических характеристик [3]. Особенно существенны они в водохранилищах, время эксплуатации которых не превышает 100 лет. Необходимость оценки гидроморфометрических характеристик обусловлена практическими задачами уточнения и прогнозирования направленности путей формирования подводных и околоводных ландшафтов (площадно-линейно-объемных изменений) с целью улучшения санитарно-технического состояния водохранилищ и управления водными ресурсами. В первую очередь, изменения морфометрических показателей связаны с переработкой берегов и ложа, процессами осадкообразования, которые, с одной стороны, нивелируют рельеф дна мелководных участков, разрушают и спрямляют берега, с другой – приводят к накоплению наносов в глубоководной части.

В рамках проведенного исследования была поставлена задача определения динамики пространственно-временной изменчивости формирования донных отложений, оценки преимущества использования методов мониторинговых исследований состояния ложа и цифровой модели рельефа дна на примере Угличского водохранилища.

Объект изучения – Угличское водохранилище, на котором в 2008 г. сотрудниками Государственного океанографического института (ГОИН), а в 2012 г. – Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (ИБВВ РАН) проведены соответствующие независимые исследования [3–6].

При сравнении методов цифровой модели рельефа дна и береговой зоны (ЦМР) и прямых (in situ) определений интенсивности занесения водохранилищ главным является уточнение погрешностей при расчетах морфометрических показателей. Так, для водохранилищ с равнинным рельефом дна, без ярко выраженных русловых форм, среднеквадратическое отклонение (σ) составило 0,032–2,307 [4]. К сожалению, этого нельзя сказать об ошибках определения интенсивности осадконакопления, оцениваемой в 10–20 % на основании балансов взвешенных веществ, рассчитанных по среднемноголетним водным балансам водохранилищ Волги (от 3 до 10 %), где ошибки стока взвесей через плотины составляют 15 % в Угличском и 28 % в Горьковском водохранилищах, веса отложений – от 10 до 20 %, а величины размыва ложа и берегов – около 20 % [7, 8]. Ошибка определения площадей распределения основных типов грунтов и донных отложений достигает 5 % и зависит от количества станций. Это позволяет в первом приближении использовать полученные данные для оценки результатов изменения морфометрических характеристик водохранилищ, тем более, что и проектные расчеты также недостаточно точны. Единая сетка станций для каждого водохранилища и общие методики отбора проб и расчетов в системе водохранилищ Волги позволяют компенсировать эти недостатки и получить достоверные сравнимые результаты [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Угличское – одно из наименьших водохранилищ Волжского каскада – относится к категории крупных с объемом более 1 км³ при НПУ 113,0 м БС (Балтийской системы). Это типично русловой водоем, обеспечивающий суточное, недельное и ограниченное сезонное регулирование стока [9]. По условиям осадкообразования водохранилище разделено на три района: Угличский (Угличская ГЭС – д. Панкратово) – нижний, озерный, площадь 91 км², длина 45 км; Калязинский (д. Панкратово – д. Новое Селище) – средний, озерно-речной, площадь 128 км², длина 55 км; Кимрский (д. Новое Селище – Ивановская ГЭС) – верхний, речной, 30 км², длина 45 км. Выделенные районы имеют не только морфометрические, но и гидродинамические особенности, которые оказывают влияние на седиментационные процессы и обуславливают экологическое состояние нижнего и верхнего ярусов пресноводной экосистемы.

По результатам первой грунтовой съемки отмечено, что в нижнем районе как русло, так и затопленная пойма Волги заняты глинистым (серым) илом, который сформировался за счет размыва почвогрунтов ложа и аллювиальных наносов, поступающих с основной рекой и боковыми притоками (рис. 1) [10]. В среднем районе преобладали трансформированные – размытые и слабозаиленные почвы с небольшими ареалами песчанистого

ила. Верхний район был полностью занят крупнозернистыми песчаными наносами. Последующие грунтовые съемки показали, что площади, занятые трансформированными грунтами, не изменились – около 20 %, песчаных наносов – возросли с 20 до 51 %, а глинистых отложений уменьшились с 60 до 25 % (рис. 2).

Особенно четко различия видны в распределении площадей грунтов и донных осадков в первые 40 лет эксплуатации водохранилища, когда происходили наиболее значительные гидролого-геоморфологические процессы стадийного формирования водоема замедленного водообмена. В последующем некоторые флуктуации связаны с гидрометеорологическими условиями периодов между съемками, активизацией береговых процессов или их затуханием в результате берегозащиты, а также отчуждением суши части акватории. Однако они оказались несущественными и не отразились на общей картине, а лишь подтвердили, что, начиная с 50-летнего периода, система Угличского водохранилища с его орографическими районами вступила в стадию стабилизации. Так, в нижнем районе в прибрежной зоне образовались очаги трансформированных грунтов (в основном размытых почв), песка и илистого песка, что более соответствует гидродинамике приплотинного (верхнего бьефа), связанной с усилением стоковых течений (0,2–0,4 м/с) в результате работы Угличского гидроузла, чем наличие почти сплошных массивов глинистого ила по всему поперечному сечению водохранилища, выявленное в 1958 г. (рис. 1).

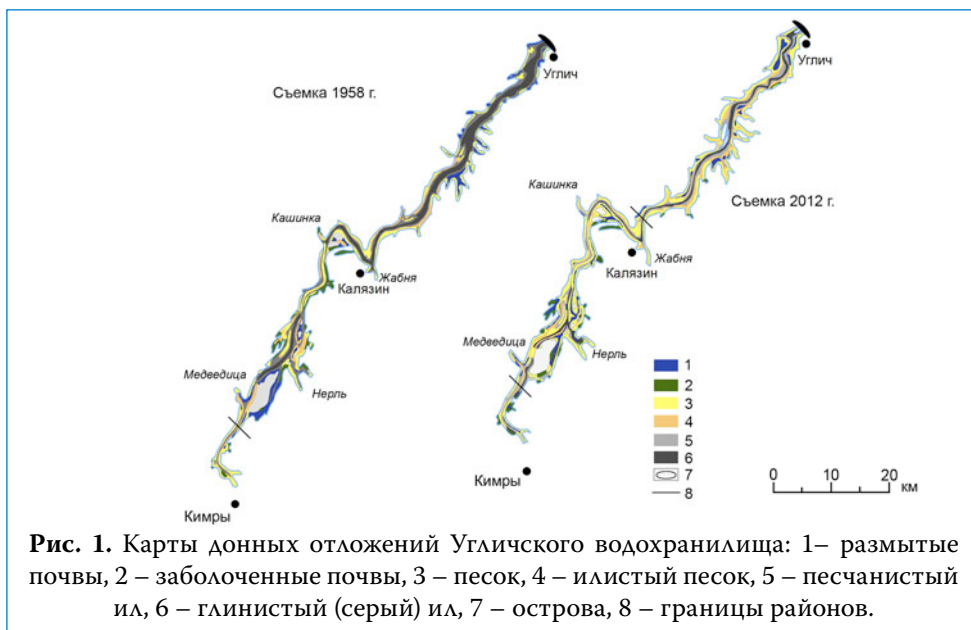


Рис. 1. Карты донных отложений Угличского водохранилища: 1 – размытые почвы, 2 – заболоченные почвы, 3 – песок, 4 – илистый песок, 5 – песчанистый ил, 6 – глинистый (серый) ил, 7 – острова, 8 – границы районов.



Значительно изменилась карта в среднем районе, где увеличилась площадь тонкодисперсных отложений. Характерной особенностью данного района является формирование в устьях крупных рек Медведица, Нерль, Кашинка, Жабня баровых отмелей, затрудняющих свободный водообмен (проточность <math><0,1\text{ м/с}</math>). По данным съемки 2012 г. количество взвешенного вещества в воде здесь минимальное – 3,7 мг/л, при среднем значении по водоему 7,9 мг/л, максимальном 22,8 мг/л в нижнем бьефе Угличского гидроузла [11]. Это привело к увеличению интенсивности илонакопления. Подтверждением служат результаты кластерного анализа – самые высокие концентрации тяжелых металлов в донных отложениях отмечены на участке от устья р. Медведицы до устья р. Кашинки [12]. В верхнем районе кроме песка встречаются промежуточные типы донных отложений – илистый песок и песчаный ил в виде прерывистых и сплошных подводных гряд и банок в литоральной зоне. В нижнем бьефе Ивановского гидроузла скорости течений 0,3–0,6 м/с препятствуют образованию тонкодисперсных отложений в русловой части.

Несмотря на рост площадей, занятых высшей водной растительностью, соответствующий тип осадков – отложения из отмерших макрофитов – не получил активного развития как в Ивановском и Рыбинском водохранилищах, где имеются лучшие условия их образования. В заостровных пространствах и в верховьях заливов начались первичные процессы гидроморфного новопочвообразования на макрофитных сплавинах, сросшихся или опустившихся на дно, которые привели к отчуждению суши части

мелководий. Появились заболочиваемые почвы (вместе с подтопляемой территорией) – около 14 км², с характерной для них болотно-луговой растительностью (ива, двукисточник, осока). В открытых мелководьях и дельтах рек в результате вдольберегового переноса и речного стока наносов образовались косы, бары, пересыпи, валы, за которыми формируются также отчуждающие часть акватории песчаные и супесчаные почвы. Эти процессы происходили практически одновременно, что привело в совокупности к потере акватории в 23 км² к 2008 г. [5]. Ситуационные прогнозы на основании результатов последних грунтовых съемок позволяют рассчитать площади распределения основных типов грунтов и донных отложений не только через 10 лет, но и к 100-летию существования водохранилища (рис. 2).

Таблица 1. Итоги формирования грунтового комплекса Угличского водохранилища к 2012 г.

Тип грунта, вид седиментации	Площадь, км ²	Средняя толщина, см	Объем, млн м ³	Масса, млн т	Скорость седиментации, год ⁻¹		
					мм	тыс. т	кг/м ²
Почвы заболоченные	13,5	–	–	–	–	–	–
Почвы песчаные	9,5	–	–	–	–	–	–
Грунты размытые (аквальные)	22,7	–	–	–	–	–	–
Галька прибрежная	1,8	–	–	–	–	–	–
Песок	85,9	6,8	5,8	10,0	0,9	139	1,6
Илистый песок	53,0	11,7	6,2	7,2	1,6	100	1,9
Песчанистый ил	33,6	19,2	6,5	2,9	2,7	41	1,2
Глинистый ил	29,0	39,1	11,4	2,9	5,4	40	1,4
Осадконакопление	201,5	14,8	29,9	23,0	2,1	320	1,6
Илонакопление	62,6	28,6	17,9	5,8	4,0	81	1,3
Всего по водохранилищу	226	13,3	29,9	23,0	1,8	320	1,4

Результаты зондирования (in situ) толщи осадков с помощью трубок ГОИН-1 использовали для оценки темпов седиментации. Расчеты проводили как по категориям грунтов и типам донных отложений, так и по видам седиментации:

1) занесение – аккумуляция всех типов наносов в расчете на площадь водохранилища при НПУ.

2) осадконакопление – аккумуляция всех типов наносов, вторичных донных отложений (крупнозернистых песков и тонкодисперсных илов) на

площади их распространения, без площадей размыва и гидроморфного новопочвообразования;

3) илонакопление – аккумуляция алевритовых и пелитовых частиц на площади их распределения (табл. 1–4).

Такое разделение в первом случае позволяет выявить наносодерживающую способность, необходимую для расчета времени эксплуатации водоемов, в других – гидроэкологические аспекты, связанные с особенностями накопления осадков, биопродуктивностью дна, депонированием загрязняющих веществ, оценкой риска вторичного загрязнения воды, эвтрофированием, эксплуатацией, реконструкцией, реабилитацией водохранилища.

В табл. 1–4 представлены данные, показывающие как в целом по водохранилищу, так и по орографическим районам распределение донных отложений, толщина слоя, объем отложений и, соответственно, скорости осадко-илонакопления увеличиваются по длине и глубине водоема от съёмки к съёмке. Это характерно для всей системы Волжского каскада [7].

Таблица 2. Интенсивность осадконакопления по глубинам

Интервал глубин, м	Площадь, км ²	Средняя толщина, см	Объем, млн м ³	Масса, млн т	Скорость осадконакопления, год ⁻¹		
					мм	тыс. т	кг/м ²
0–3	84,7	7,4	6,3	8,6	1,0	120	1,4
3–6	59,6	11,4	6,8	5,7	1,6	79	1,3
6–9	40,8	16,7	6,8	3,9	2,3	54	1,3
>9	40,9	24,4	10,0	4,8	3,4	67	1,6

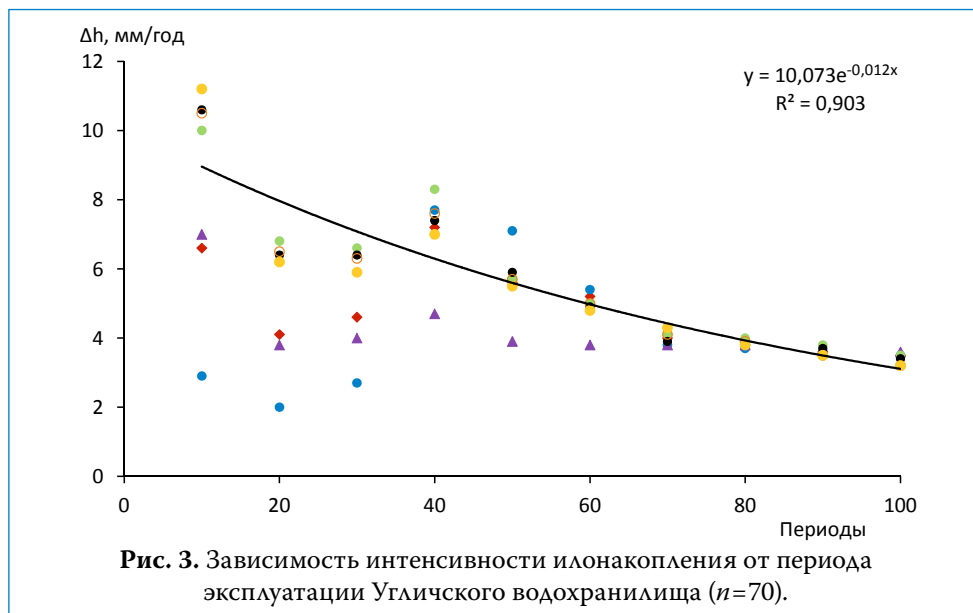
Таблица 3. Интенсивность осадконакопления по орографическим районам

Район	Площадь, км ²	Средняя толщина, см	Объем, млн м ³	Масса, млн т	Скорость осадконакопления, год ⁻¹		
					мм	тыс. т	кг/м ²
Угличский	76,0	18,2	13,8	5,7	2,5	80	1,1
Калязинский	99,5	13,7	13,6	5,5	1,9	76	0,8
Кимрский	26,0	9,6	2,5	11,8	1,3	164	6,3

Таблица 4. Интенсивность илонакопления по орографическим районам

Район	Площадь, км ²	Средняя толщина, см	Объем, млн м ³	Масса, млн т	Скорость илонакопления, год ⁻¹		
					мм	тыс. т	кг/м ²
Угличский	27,0	25,6	6,9	2,0	2,7	28	1,0
Калязинский	32,0	31,3	9,9	3,4	3,8	47	1,5
Кимрский	4,0	25,0	1,1	0,4	3,5	6	1,4

По результатам грунтовых съемок 1991 и 2012 гг. отмечено, что наибольшее разнообразие типов грунтов и донных отложений приходится на глубины 0–3 м [6]. Толщина осадков увеличилась незначительно, т. к. активное воздействие ветроволнового волнения на берега и вдольбереговой перенос наносов не способствуют их интенсивному накоплению (0,9–1,6 мм/год). Для интервала глубин 0–6 м характерны процессы размыва и трансседиментации, связанные с вымыванием тонкодисперсных фракций грунта из берегов и ложа, и переотложение их на большие глубины. Поступление кластического материала из этого источника через абразионно-эрозионную деятельность по-прежнему не превышает 60 %, а значительный вес осадков определяется большой объемной массой преобладающих здесь песков различной крупности. Основное накопление тонкодисперсных отложений происходит на глубинах >6 м за счет активной аккумуляции песчано-глинистых илов (2,3–5,4 мм/год). Среднегодовая скорость седиментации к 2012 г. по водохранилищу практически не изменилась и составляет 1,8 (0,9–5,4) мм/год. Однако интенсивность осадкообразования со временем уменьшается, что заметно по величинам илонакопления (рис. 3).



За 72-летний период эксплуатации водохранилища общий объем отложений составил около 30 млн м³. Ежегодное уменьшение полного объема водохранилища за счет накопления донных отложений не превышает 0,03 %. Всего на дне аккумуляровалось 23 млн т осадков, из которых примерно 75 % представлены крупнозернистыми наносами.

Таблица 5. Трансформация балансовых характеристик взвешенных веществ Угличского водохранилища, тыс. т/год (%)

Период, годы	Приход			Расход	
	абразионно- эрозионная деятельность	сток речных наносов	продукция гидробионтов	осадко- накопление	сброс через гидро- сооружение
1940–1991*	354 (57)	250 (40)	16 (3)	359 (62)	219 (38)
1940–2012**	355 (57)	250 (40)	16 (3)	320 (56)	255 (44)
1940–2040	311 (54)	250 (43)	16 (3)	340 (60)	237 (40)

Примечание: * – невязка 42 тыс. т (6,8 %); ** – невязка 46 тыс. т (7,4 %).

Трансформация замкнутых балансовых характеристик по периодам гидрологических съемок и их невязки в среднем около 7 % оказались незначительными (табл. 5). Балансовый прогноз к 100-летию Угличского водохранилища незамкнутый, т. к. элементы его расходной части представляют осредненные многолетние значения по результатам последних грунтовых съемок. В приходной части сток речных наносов и продукция гидробионтов будут практически одинаковы и зависят от водности периода за 2012–2040 гг. Статья «абразия» рассчитана как разница между суммой расходной части баланса и известными приходными источниками поступления осадочного материала. Абразионно-эрозионная деятельность оказалась меньше и это вполне логично, т. к. идет постепенное затухание процессов с небольшими флуктуациями в связи с реализацией программы по берегоукреплению. Этому способствуют и природные процессы: создание буферных зон, отчуждающих часть акватории и препятствующих разрушению берегов ветроволновым воздействием (биогенные и аккумулятивные берега).

Значения балансовых характеристик в совокупности с флуктуирующим характером седиментационных потоков во времени и пространстве, типичным многолетним уровенным режимом (предвесенняя сработка до 3 м и уровень, близкий к НПУ в период открытой воды) свидетельствуют о стабильности функционирования экосистемы водохранилища, несмотря на некоторые изменения морфометрических показателей (табл. 6).

Данные табл. 6 наглядно демонстрируют, что за 70-летний период эксплуатации Угличского водохранилища морфометрические характеристики речного участка Кимрского района не изменились. Небольшие флуктуации произошли в Угличском приплотинном районе, где сокращение площади акватории на 5,5 км² привело к увеличению по сравнению с проектными данными средней глубины почти на 50 см, объема на 7 млн м³. Существенные изменения по всем морфометрическим параметрам зафиксированы

Таблица 6. Сравнительная морфометрическая характеристика орографических районов Угличского водохранилища (при НПУ=113,0 м БС)

Морфометрические характеристики	Районы водохранилища			По водохранилищу
	Угличский	Калязинский	Кимрский	
Длина по судовому ходу, км	45	55	45	145
Площадь зеркала, км ²	91/85,5	128/110	30/30	249/226
Площадь мелководий, км ²	20/15	59/41	9/9	88/65
Длина береговой линии, км	220/238	433/470	230/231	883/939
Средняя глубина, м	6,45/6,9	3,9/4,26	5,3/5,24	5,0/5,4
Общий объем, млн м ³	587/594	499/469	159/160	1245/1223

Примечание: числитель – проектные данные 1940 г., знаменатель – данные ЦМР 2008 г. [3].

в Калязинском озерно-речном районе. Здесь четко прослеживается связь изменения линейно-площадных характеристик с особенностями осадко-накопления, что привело к потере объема воды, оцениваемой в 30 млн м³. Этому способствовали высокая доля мелководий (40 % от площади участка), низкая проточность (<0,1 м/с) и, как следствие – ухудшение экологического состояния [12]. Поэтому в данном районе особое внимание необходимо обратить на обмеление, заболачивание заливов и устьевые области впадающих в водоем рек [5].

В целом по всему Угличскому водохранилищу к 2008 г. потери объема воды составили около 22 млн м³. По данным 2012 г. объем донных осадков оценивался в 29,9 млн м³. При ежегодном накоплении 0,42 млн м³ объем донных осадков к 2008 г. составил 28,6 млн м³. С учетом естественной влажности, которая в разных типах осадков различна (песок – 25 %, илистый песок – 33 %, песчаный ил – 46 %, глинистый ил – 62 %), объем высушенного грунта толщиной 6,2 см оценен ~14 млн м³. Потеря объема воды за счет накопления донных отложений – 14,6 млн м³.

Таким образом, невязка составила ~ 7,4 млн м³ или в процентном соотношении к проектному объему воды – 1245, фактическому – 1223 млн м³ (0,59 и 0,61 % соответственно). Полученная величина свидетельствует о том, что, несмотря на различный подход к изучению экосистемы водохранилища, ошибки при расчетах, использованные методы верно отражают динамику природных и антропогенных изменений морфометрических параметров водоемов равнинного типа и замедленного водообмена. Аналогичная ситуация происходит на водохранилищах Москворецкой водной системы, относящихся к категории малых и средних, с площадями водного зеркала 3 км² – Рублевское, 34 км² – Истринское, описанных с использованием проектных данных и ЦМР [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты независимых исследований на Угличском водохранилище показали, что интенсивность осадкообразования как в целом по водоему, так и по орографическим районам, отличающимся морфометрическими и гидродинамическими показателями и другими гидролого-геоморфологическими процессами, сопоставима с потерей объема воды и составляет около 0,6 %. Выявлен район водохранилища – Калязинский, где эти процессы наиболее выражены, что требует их детального изучения для выработки мероприятий по рекультивации и восстановлению нарушенной экосистемы. Рассчитанные темпы осадконакопления при незначительно изменяющихся морфометрических параметрах в процессе функционирования экосистемы водохранилища не ухудшат его эксплуатационные характеристики на протяжении нескольких столетий.

Исследования показали, что оба метода – прямых определений толщины донных отложений и цифровой модели рельефа дна, дали хорошие, реально сравнимые результаты и имеют право на дальнейшее применение. Полученные результаты позволяют правильно интерпретировать ход естественных процессов, несмотря на некоторые методические ошибки: в определениях длины береговой линии с учетом фрактальных свойств, зависящих от масштаба топографических карт, площадей различных типов донных отложений, интенсивности седиментационных процессов, ориентировочных расчетов балансовых статей.

Авторы выражают благодарность за помощь и участие в полевых работах С.В. Ясинскому, С.И. Шапоренко (ФГБУН «Институт географии РАН», Москва), И.А. Лупановой, С.А. Шарову (ФГУ «Управление эксплуатации Угличского водохранилища», г. Углич).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Законнов В.В., Литвинов А.С., Законнова А.В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги. Сообщение 2. Результаты мониторинга донных отложений и последствия понижения уровня Рыбинского водохранилища // Водное хозяйство России. 2015, № 4. С. 21–35.
3. Законнов В.В., Костров А.В., Лупанова И.А. Предварительные результаты изменения морфометрических характеристик водохранилищ // Мат-лы XXXIX конф. «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования». Экология. Экономика. Информатика. Р.-на-Д. 2011. С. 160–164.
4. 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. 2011. С. 189–193.
5. *Землянов И.В., Горелиц О.В., Павловский А.Е., Шикунова Е.Ю.* Использование геоинформационных технологий для оценки современных морфометрических характеристик водных объектов // Тр. ГОИН. 2012. Вып. 214. С. 260–271.
 6. *Законнов В.В., Гершевский П., Лупанова И.А.* Трансформация грунтового комплекса Угличского водохранилища (мониторинг донных отложений) // Тр. межд. науч.-практ. конф. «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Т. 1. Управление водными ресурсами. Гидро-и геодинамические процессы. Пермь. 2013. С. 178–182.
 7. *Законнов В.В.* Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2007. 39 с.
 8. *Законнов В.В., Законнова А.В.* Балансы взвешенных веществ водохранилищ Волги и их трансформация // Мат-лы межд. науч.-практ. конф. «Инженерная геология, гидрология и геодинамика прибрежных территорий и ложа водохранилищ». Пермь. 2008. С. 93–99.
 9. *Эдельштейн К.К.* Водоохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 227 с.
 10. *Курдин В.П.* Условия формирования грунтового комплекса Угличского водохранилища // Тр. ин-та биол. водохр. АН СССР. 1963. Вып. 5 (8). С. 322–328.
 11. *Piotr J. Gierszewski, Michal Kaszubski, Wiktor W. Zakonnov.* Transformacja składowych transport fluwialnego w gornym odcinku Kaskady Wolgi // X Zjazd Geomorfologow Polskich. Torun, 16–19 wrzesnia 2014. P. 44–45.
 12. *Ганеева М.В., Законнов В.В., Ганеев А.А.* Локализация и распределение тяжелых металлов в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 2. С. 174–180.
 13. *Шапоренко С.И., Ясинский С.В., Вишневская И.Д.* Изменение морфометрических параметров водохранилищ Москворецкой водной системы за период их эксплуатации // Водное хозяйство России. 2014. № 1. С. 4–22.

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

Петр Гершевский, канд. геогр. наук, Институт географии и пространственной организации им. С. Лесчинского Польской академии наук, Польша, 00-818, г. Варшава, ул. Twarda, 51/55; e-mail: piotrg@geopan.torun.pl

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

Михал Кашубский, аспирант, Институт географии и пространственной организации им. С. Лесчинского Польской академии наук, Польша, 00-818, г. Варшава, ул. Тварда, 51/55; e-mail: mkaszubski@geopan.torun.pl