

## ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУПНЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

**А.В. Белобородов**

E-mail: beloborodov.lpmg@mail.ru

*ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия*

**АННОТАЦИЯ:** Представлены результаты сравнения проектных и уточненных по итогам исследований 2007–2008 гг. морфометрических показателей (площадь и объем) Камского водохранилища. На основании сравнения проектных и уточненных кривых площадей и объемов водохранилища, а также диаграммы изменения полного объема выделенных в процессе гидролого-морфологического районирования таксонов (участков) сделан вывод о несоответствии обновленных данных теоретическим представлениям об общей направленности эволюции морфопараметров водохранилищ. На основании данных седиментационного баланса Камского водохранилища показано, что представления о масштабных изменениях объема водоема в результате аккумуляции наносов являются несостоятельными.

Для объяснения значительной по величине разницы проектных и уточненных данных выдвинута гипотеза о некорректном определении площади и объема Камского водохранилища в проектных проработках, обусловленном низкой точностью методов картометрических и вычислительных работ при исследовании крайне сложной по форме объемной фигуры ложа водохранилища. Эти выводы подтверждаются аналогичными исследованиями Новосибирского водохранилища.

**Ключевые слова:** водохранилище, морфометрия водохранилищ, морфометрические параметры, изменение объемов водохранилища, гидрология водохранилищ, аккумуляция наносов, занесение водохранилищ, Камское водохранилище.

Оценка изменений объемов крупных водохранилищ, в т. ч. в результате осадконакопления, является важной научно-практической задачей мирового уровня: этим вопросам посвящены исследования и обобщения как по отдельным странам [1–7], так и в мировом масштабе [8].

Изучению динамики морфометрических параметров крупных равнинных водохранилищ Волжско-Камского каскада посвящено множество исследований и публикаций, их результаты отражены, например, в работах

© Белобородов А.В., 2019

[9–15], но не получили, на наш взгляд, должной оценки и не нашли применения в обновленных правилах использования водных ресурсов (ПИВР) водохранилищ. Между тем, характеристика объемов и площадей водохранилища при различных уровнях – важнейший эксплуатационный показатель водоема, имеющий практическое значение и влияющий на выбор режима его работы.

Установление причин и масштабов изменений объемов и площадей крупных водохранилищ – важная научная и практическая задача, которая, судя по опубликованным работам, нуждается в дальнейшей проработке, а ряд вопросов, связанных с объяснением изменения объемов и площадей водохранилищ, остается недостаточно раскрытым. Так, зачастую в разных источниках различаются даже проектные данные по объемам водохранилищ.

В представленной работе приведены данные по Камскому водохранилищу, первому в каскаде камских водохранилищ, наполнение которого началось в 1954 г. (65 лет эксплуатации). Положение в каскаде определяет роль этого водохранилища как своеобразного «отстойника» наносов, поэтому изменение его площади и объема должно наиболее ярко отражать основные тенденции в эволюции морфометрии искусственных водоемов.

Изучение Камского водохранилища началось практически сразу после его наполнения, а в работах 1970 г. [13] и 2008 г. [14, 16] представлено гидролого-морфологическое районирование водоема, и, что особенно важно, определены площади и объемы не просто водохранилища в целом, а по выделенным районам и участкам, что делает возможным сравнительный анализ этих исследований разных лет.

#### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Масштабные исследования равнинных водохранилищ последнего десятилетия, направленные на уточнение их морфометрических параметров, позволили оценить количественно изменение их объемов (полных и полезных) и площадей по сравнению с проектными данными. Эти исследования велись с широким применением ГИС-технологий, оценка современных параметров выполнялась с применением цифровых моделей рельефа дна водохранилищ [9, 14, 16–20].

При этом необходимо различать локальные изменения морфометрических параметров, связанные с сосредоточенными техногенными воздействиями, обусловленными, в первую очередь, крупномасштабной добычей нерудных строительных материалов (НСМ), и «глобальные» изменения на значительной части акватории водохранилищ, которые связаны с общеводоемными процессами. Технологии оценки масштабов последствий добычи НСМ на водохранилищах в настоящее время достаточно хорошо отра-

ботаны [21, 22], а вот анализ общеводоемных процессов, обуславливающих изменение морфометрии водохранилищ, значительно менее изучен.

Обновленные данные по морфометрии водохранилищ стали основой для ряда работ, в которых доказывалась значительная роль аккумуляции твердых наносов в чаше водоемов как основной причины уменьшения объемов водохранилищ [10, 11, 14, 15, 23]. Из обзора этих публикаций можно сделать следующие выводы:

- общая тенденция изменения морфопараметров заключается в уменьшении полных и полезных объемов водохранилищ (за редким исключением) по сравнению с проектными значениями;
- площадь водохранилищ при НПУ по сравнению с проектными значениями может как уменьшаться, так и увеличиваться;
- основная причина уменьшения объемов – аккумуляция наносов, изменения площади связаны с переработкой берегов либо с аккумуляцией в прибрежной зоне.

Однако другие исследования [24] отрицают значительное изменение объемов водохранилищ (в объемах доли и первые единицы кубических километров), ссылаясь на то, что согласно проведенным расчетам период полного занесения водохранилища исчисляется сотнями и тысячами лет, а для значительного по величине снижения полезного объема необходим период порядка ста и более лет. Эти утверждения основываются на эмпирических вычислениях и проектных проработках. Так, по расчетам Ленгидропроекта, расчетная величина занесения для Камского водохранилища на  $T=50$  лет – не более 3 % проектного полного объема, что составляет величину  $0,00732 \text{ км}^3\text{год}^{-1}$  [24].

В результате сложилась парадоксальная ситуация, при которой часть обновленных данных по морфометрии учитывалась (например, для Волгоградского и Саратовского водохранилищ) при разработке обновленных правил использования водных ресурсов (ПИВР), а для водохранилищ Камского каскада (Камское, Воткинское, Нижнекамское) использованы проектные данные. Как следствие, часть Волжско-Камского каскада работает «по старым объемам», нижние звенья (уже Волжского) каскада – «по новым объемам», а объем самого крупного – Куйбышевского водохранилища, вообще не уточнялся.

При этом по оценке [15], если принимать во внимание изменение полных и полезных объемов 10 водохранилищ Волжско-Камского каскада (Иваньковское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское, Волгоградское, Камское, Воткинское), то в работе каскада фактически образуется дефицит по полному объему  $5,285 \text{ км}^3$  (3,15 % суммарного полного объема указанных водохранилищ). При этом

потери полезного объема шести из них (суммарный полезный объем 34,435 км<sup>3</sup>) составили 1,695 км<sup>3</sup> (4,92 % суммарного проектного полезного объема). Авторы статьи, экстраполируя полученное значение 5 % на все водохранилища каскада (суммарный полезный объем 66,435 км<sup>3</sup>), определили потери каскада в полезном объеме в целом не менее 3,0 км<sup>3</sup>, что равносильно исключению из работы каскада такого, к примеру, водохранилища, как Горьковское (полезный объем 2,780 км<sup>3</sup>). С этой точки зрения, учитывая неиспользуемые (на проектной отметке) полезные объемы Чебоксарского (5,40 км<sup>3</sup>) и Нижнекамского (4,40 км<sup>3</sup>) водохранилищ, Волжско-Камский каскад сегодня недосчитывается 12,80 км<sup>3</sup> проектного полезного объема. По другим оценкам [9], с привлечением обновленных данных по Саратовскому и Нижнекамскому водохранилищам, потери полного объема каскада достигают 8,892 км<sup>3</sup>.

Проблема усугубляется еще и тем, что для большинства водохранилищ в проектных данных параметры приводятся для всего водохранилища в целом, без районирования с сопутствующим подсчетом параметров отдельно для каждого таксона. Используя эти данные, можно было бы выполнить сравнение проектных параметров с обновленными данными и предметно сделать заключения о динамике параметров той или иной части водоема.

Необходимо также отметить, что на многих водохранилищах практически не ведутся регулярные наблюдения за поступлением твердого стока, перераспределением наносов по батиметрическим зонам и т. п., поэтому количественно оценить объемы твердого материала, поступающего в водохранилище и сбрасываемого в нижний его бьеф, возможно лишь эмпирически, что зачастую приводит к некорректным результатам [15].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследователями многократно отмечалось, что Камское водохранилище, как верхнее звено Камского каскада, является «отстойником» наносов по отношению к расположенным ниже по каскаду водохранилищам [16], поэтому изменение его морфопараметров должно наиболее ярко отражать процессы эволюции площади и объема. Камское водохранилище эксплуатируется с 1954 г. (65 лет), и в целом можно считать, что процессы реформирования ложа и берегов прошли стадию становления и в настоящее время характеризуются стадией стабилизации. За этот период должна была произойти перестройка рельефа ложа водохранилища, сформироваться комплекс донных отложений, толщина которого варьируется в зависимости от гипсометрического уровня, структуры течений, поступления наносов и т. д. При этом общая тенденция изменения морфопараметров следующая [12, 25]:

– поток наносов, движущийся сверху от зоны выклинивания подпора вниз к приплотинному району, заполняет в первую очередь понижения рельефа дна на уровнях, близких к мертвому объему водохранилища, как наиболее низко расположенной гипсометрической поверхности ложа (руслонная ложбина);

– большая часть наносов осаждаются в зоне выклинивания подпора (песчаные фракции) и в наиболее глубоководной (руслонной) части водохранилища (пылеватые фракции), в результате этого уменьшается объем в зоне выклинивания подпора и мертвый объем водохранилища ниже отметки уровня мертвого объема (УМО);

– наносы осаждаются в различных батиметрических зонах водоема, на мелководьях формируются разнообразные по объему и месторасположению аккумулятивные формы (косы, бары и т. п.). Наибольшая аккумуляция наносов должна фиксироваться либо в приплотинном районе (наиболее низкая по уклону русла часть долины), либо в районах пониженной гидродинамической активности (озеровидные расширения, глухие части заливов, закрытые мелководья и т. п.);

– наносы, аккумулирующиеся в прибрежной мелководной зоне в процессе переработки берегов и вдольберегового перемещения, в результате ежегодного наполнения и сработки водохранилища все равно оказываются перемещены на более низкие уровни водоема (своеобразный «грунтовый насос»), а в конечном итоге – на близкие или равные УМО и ниже отметки;

– в результате переработки береговой полосы водохранилища общая тенденция изменения площади водоема – увеличение площади при нормальном подпорном уровне (НПУ) и уменьшение на отметке УМО в результате накопления наносов. При этом на отдельных участках (заливы) локально может происходить и уменьшение площади за счет аккумуляции наносов в береговой зоне с последующим закреплением берегов.

Наиболее простым и наглядным способом сравнения параметров является построение парных кривых зависимостей площадей и объемов (проектных и уточненных). При анализе кривых возможна оценка изменений сразу для всего диапазона уровней – от УМО до НПУ и ФПУ (форсированного подпорного уровня).

Проектные кривые объемов и площадей были построены по координатам, приведенным в ПИВР Камского водохранилища [24]. Для построения уточненных кривых использованы данные исследований 2007–2008 гг. [16]. Для оценки изменения морфометрических параметров Камского водохранилища на основе большого объема данных промеров построена цифровая модель рельефа дна, с помощью которой вычислены площади и объемы как

водохранилища в целом, так и его отдельных районов и участков, выделенных в процессе гидролого-морфологического районирования [14, 16]. Площадь на отметке НПУ рассчитывали с использованием крупномасштабных топографических карт и детальных спутниковых снимков.

В табл. 1 и на рис. 1, 2 представлены результаты сравнения проектных и уточненных значений площадей и объемов Камского водохранилища.

**Таблица 1.** Сравнение проектных и уточненных параметров Камского водохранилища

**Table 1.** Comparison of the designed and the updated parameters of the Kama Reservoir

Параметр	Значение		Разность	
	проект	уточнение	в ед. изм.	%
Полный объем, км <sup>3</sup>	12,205	10,77	-1,435	-11,76
Полезный объем, км <sup>3</sup>	9,2	8,5	-0,7	-7,6
Мертвый объем, км <sup>3</sup>	2,3	2,3	0	0
Площадь при НПУ, км <sup>2</sup>	1915	1754,1	-160,9	-8,4
Площадь при УС, км <sup>2</sup>	650	603	-47	-7,2

Как отражено в табл. 1, существенно уменьшились полный и полезный объемы водохранилища, а величина мертвого объема не претерпела изменений. Значительно разнятся проектная и уточненная площади на отметке НПУ, тогда как площадь на отметке УМО уменьшилась незначительно. Необходимо отметить, что аналогичные результаты изменений морфопараметров Камского водохранилища получены независимым исследованием [17].

Приведенной выше общей тенденции изменения морфопараметров соответствуют результаты сравнения кривых площадей. Однако то обстоятельство, что уточненная кривая полностью расположена левее проектной, требует пояснения. Так, сравнивая кривые (рис. 1), можно сделать вывод, что площадь водохранилища уменьшилась на всем диапазоне уровней, в то время как она должна была бы уменьшиться на отметке УМО вследствие сокращения площади при аккумуляции наносов и увеличиться на отметке НПУ вследствие активно протекающих и по настоящее время процессов переработки берегов.

На отметках ниже УМО и до отметки 105,0 м разница в значении площадей невелика и составляет от 31 до 80 км<sup>2</sup> (среднее 54,5 км<sup>2</sup>). На отметке 106,0 и до НПУ 108,5 м разница выше и составляет 112–180 км<sup>2</sup>, достигая максимума на отметке 108,0 м (224,71 км<sup>2</sup>). Таким образом, максимальное расхождение проектной и уточненной кривых площадей отмечаются в мел-

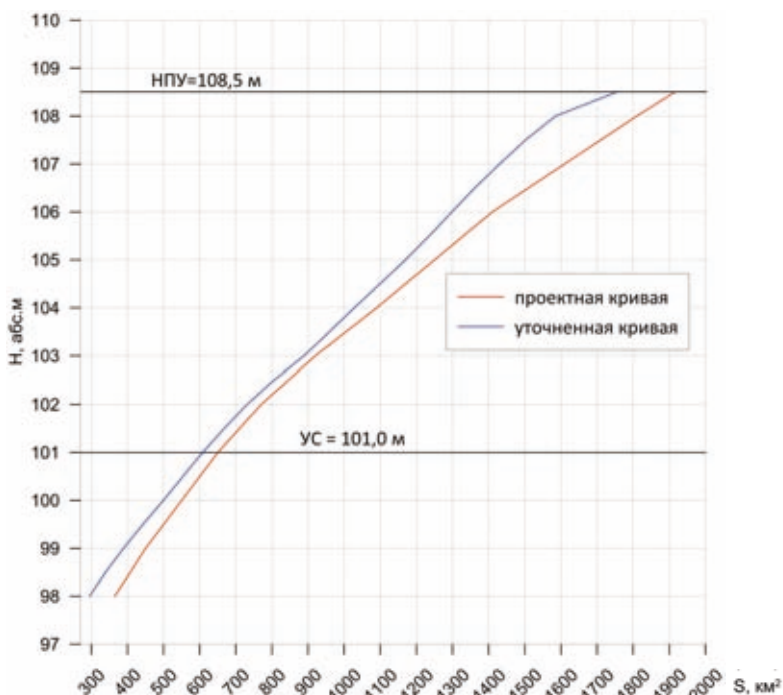


Рис. 1. Сравнение проектных и уточненных кривых площадей Камского водохранилища.

Fig. 1. Comparison of the designed area curves and the updated area curves for the Kama Reservoir.

ководной зоне, особенно на глубине ниже 0,5 м отметки НПУ. Следуя логике процесса, именно на отметке НПУ, в зоне максимальной ветро-волновой деятельности, должно фиксироваться увеличение, а не уменьшение площади зеркала водохранилища. Формально, с учетом масштабов ежегодной переработки берегов, уточненная кривая должна располагаться правее проектной, как и должно быть в случае увеличения площади акватории при отступлении береговых бровок во взаимно удаляющемся направлении.

Парадоксально выглядят при сравнении проектные и уточненные кривые объемов (рис. 2). Уточненная кривая объема лежит левее проектной, что можно было бы объяснить уменьшением объема водохранилища вследствие процессов осаждения наносов. Но, исходя из этой предпосылки, сложно объяснить то, что кривые объемов практически параллельны по всему диапазону уровней. Разница между проектным и уточненным объемами от отметки 98,0 м БС до 106,0 м БС медленно увеличивается от 489 млн м<sup>3</sup> до 980 млн м<sup>3</sup>, на отметках выше 106,0 м до 108,0 м резко увеличивается до 1041–1329 млн м<sup>3</sup>, достигая максимума на отметке НПУ 108,5 м (1435 млн м<sup>3</sup>).

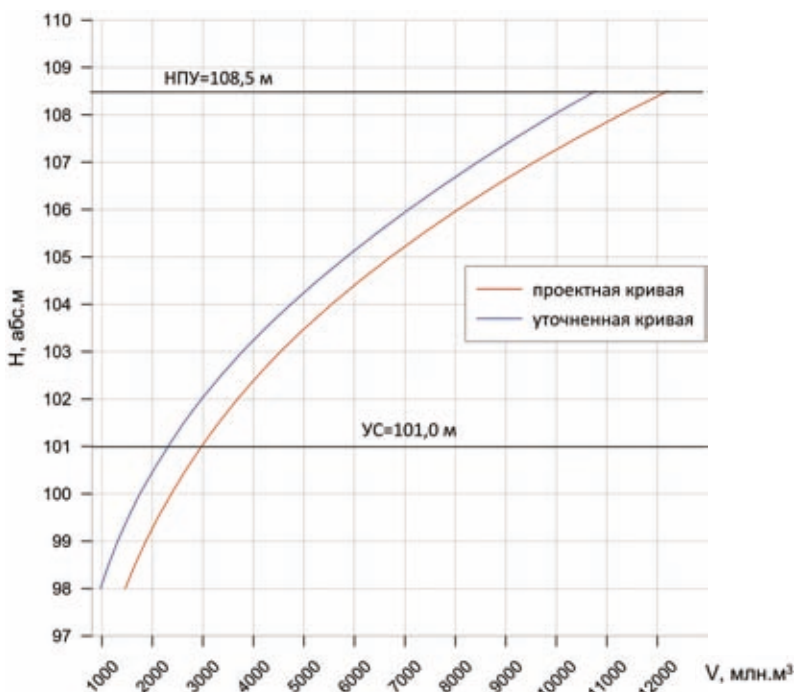


Рис. 2. Сравнение проектных и уточненных кривых объемов Камского водохранилища.

Fig. 2. Comparison of the designed volume curves and the updated volume curves for the Kama Reservoir.

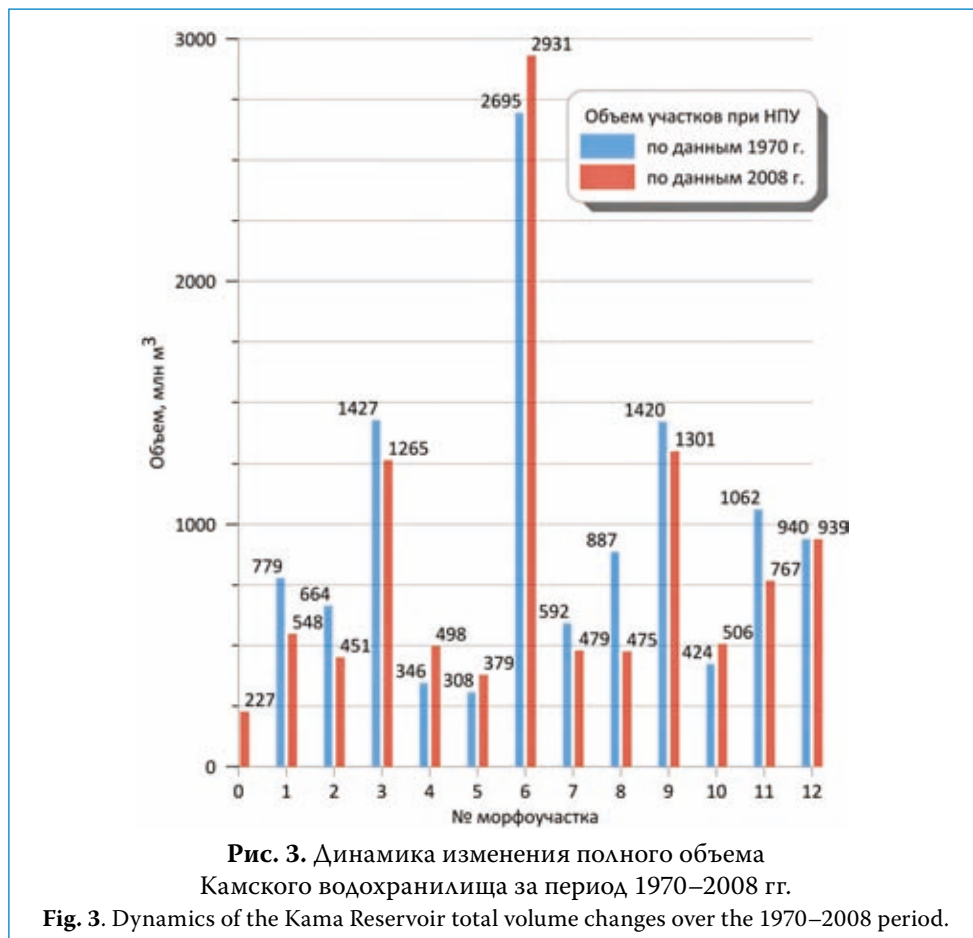
Ключевым моментом в понимании направленности изменения морфопараметров могло бы стать выполненное на стадии проектирования гидролого-морфологическое районирование водохранилища. Однако для Камского водохранилища оно было реализовано значительно позже, в 1970 г. [13]. Авторами работы выделено 12 участков в составе четырех районов в пределах двух главных плесов (Камского и Чусовского). Благодаря тому, что в исследованиях 2007–2008 гг. использовано практически аналогичное деление акватории [16] (лишь выделен дополнительно участок «0» в пределах верховьев водохранилища), в данной работе стало возможным выполнить более детальный анализ изменения объемов водохранилища по участкам (рис. 3).

Полный объем водохранилища на отметке НПУ уменьшился в границах верхних участков 1–3, соответствующих зоне распространения подпора и максимальной аккумуляции наносов песчаных фракций. Правильность такого вывода подтверждается постоянным ростом островов, осередков и побочней на участке Тюлькино–Соликамск и несколько ниже.



На участках 4 и 5 (заливы рек Иньвы и Косьвы) полный объем по сравнению с данными 1970 г. увеличился вследствие более полных использованных данных. Авторы [13] отмечали, что не имели данных промеров на верховьях заливов.

Увеличение полного объема самого большого по объему и площади шестиозерного участка на 236 млн м<sup>3</sup> слабо объяснимо с позиций максимальной на этом участке аккумуляции наносов. Такие данные получены в результате грунтовых съемок [12], а также средствами ГИС [18].



Уменьшение полного объема по участкам 7–9 является закономерным, в их пределах происходит аккумуляция наносов: в заливе р. Обва (участок 7) и в русловой ложбине на участке Усть-Гаревая–Добрянка–Полазна–плотина КамГЭС.

Проведенные исследования по небольшому количеству створов [25] свидетельствуют, что толщина наносов в русловой ложбине превышает 1 м и уменьшается к берегам. При этом основное накопление на этом участке происходит на глубинах порядка 10–11 м, хотя, на наш взгляд, в определенной мере это можно отнести только к участкам обнажения коренных пород в склонах и при явном дефиците наносов. Это также противоречит основным выводам об аккумуляции 45–60 % осадков в литорали [10]. В понижениях донного рельефа мощности илов увеличиваются, а на уплощенных поверхностях террас иловые отложения имеют пониженную толщину и зачастую полностью размыты.

На участке, расположенном в зоне слияния крупнейших притоков водохранилища – рек Чусовой и Сылвы, увеличение полного объема может быть объяснено повышением точности промерных работ. Участок 11 расположен в пределах залива р. Чусовой, его уменьшение на 300 млн м<sup>3</sup> можно объяснить аккумуляцией наносов. Незначительное (1 млн м<sup>3</sup>) уменьшение полного объема участка 12, расположенного в пределах залива р. Сылвы, труднообъяснимо, т. к. согласно наблюдениям и расчетам [12], именно по р. Сылве проходит максимальный сток наносов.

Таким образом, для части участков можно логически объяснить уменьшение или увеличение полных объемов, но для крупнейшего 6 участка и участка 12 не представляется возможным объяснить изменение их полного объема с позиции аккумуляции наносов.

Как показали исследования, основные изменения фиксируются именно для полного объема участков. Изменений мертвого и полезного объемов в процентном отношении практически не произошло (расхождение составляет 1–2 %). Таким образом, использование кривых площадей и объемов, а также сравнение параметров отдельных участков в разные периоды позволяют получить общую картину произошедших изменений, но не позволяют найти ответ на вопрос, в результате каких процессов эти изменения произошли. Разнонаправленные изменения полных, полезных и мертвых объемов в целом не укладываются в теоретическое представление о закономерностях осадконакопления в водохранилище.

Кроме сравнения кривых объемов и площадей необходимую информацию о процессах аккумуляции наносов можно получить из седиментационного баланса водохранилища. В настоящее время, по сути, единственной работой по этой теме для Камского водохранилища является исследование Кузнецовой Л.А. [12]. Автором на основании 14 грунтовых съемок 1976–1999 гг. (3717 станций) количественно и качественно охарактеризованы источники поступления взвешенных наносов, площади и скорости осадконакопления в чаше водохранилища, составлен седиментационный баланс

Камского водохранилища за характерные годы. Сток наносов с водосбора исследовался по замыкающим створам основных притоков (р. Кама–Тюлькино, р. Обва–Карагай, р. Косьва–Останино, р. Сылва–Подкаменное, р. Чусовая–Лямино), по р. Иньве данных нет по причине отсутствия наблюдений. По результатам исследований [12] установлено, что наибольший расход наносов проходит в период половодья (67–95 % годового). Значения среднегодовых расходов взвешенных наносов по выбранным пунктам наблюдений позволили рассчитать объемы твердого материала, поступающего с крупными боковыми притоками в водохранилище. Наибольшие объемы твердого стока приходятся на р. Сылву–Подкаменное (в отдельные годы 0,82–1,14 млн т). По остальным створам значения следующие: р. Кама–Тюлькино – не более 0,98 млн т; р. Чусовая – 0,50 млн т; р. Косьва – 0,54 млн т; р. Обва – 0,16 млн т. При этом количество твердого вещества, поступающего со стоком с водосборной площади, можно считать величиной относительно постоянной (коэффициент вариации 0,23–0,51).

По результатам этих исследований, основными источниками заиления Камского водохранилища являются: сток взвешенных наносов с водосбора; продукты переработки берегов и дна; продукция фитопланктона и высшей водной растительности; взвешенное вещество промышленных и бытовых сточных вод (табл. 2). Последние два источника в расчетах можно не учитывать ввиду незначительного их вклада в седиментационный баланс водохранилища (менее 1 %).

**Таблица 2.** Седиментационный баланс Камского водохранилища за характерные по водности годы [12]

**Table 2.** Sedimentation balance of the Kama Reservoir over the years typical in terms of water content

Год	Приход						Расход			
	Твердый сток с водосбора		Переработка берегов		Сточные воды		Сброс в нижний бьеф		Аккумуляция в чаше	
	млн т	%	млн т	%	млн т	%	млн т	%	млн т	%
1965	2,53	55,2	2,05	44,8	0,002	0,01	0,61	13,3	3,97	86,7
1966	2,27	46,7	2,59	53,3	0,002	0,01	0,51	10,9	4,35	89,5
1967	1,68	39,8	2,54	60,2	0,002	0,01	0,36	8,5	3,86	91,4
Среднее	2,10	46,2	2,39	53,7	0,002	0,001	0,49	10,8	4,03	89,1

Как следует из табл. 2, ежегодно в чаше Камского водохранилища аккумулируется в среднем 4,03 млн т наносов. До 80 % речных наносов накапливаются в верховьях водохранилища. Используя эти данные и принимая во

внимание период эксплуатации водохранилища, можно предположить, что за 65 лет в Камском водохранилище аккумулировалось 262 млн т наносов.

Принимая плотность донных отложений равной  $0,52 \text{ т/м}^3$ , аналогично принятой в расчетах [12], получим суммарный объем накопленных донных отложений в Камском водохранилище по седиментационному балансу равный  $0,503 \text{ км}^3$ . Это значение в три раза ниже полученного в результате уточнения объема водохранилища ( $1,435 \text{ км}^3$ ) [9, 14]. Если использовать приведенное в [12] значение ежегодного объема осадконакопления для Камского водохранилища, полученное по уравнению баланса взвесей, равное  $0,0067 \text{ км}^3$ , получим величину уменьшения объема за  $T=65$  лет в  $0,4355 \text{ км}^3$ , что также значительно меньше полученной разницы объемов. Автор [12] указывал, что в целом объем накопившихся отложений в Камском водохранилище на 42 год его существования составил  $0,21095 \text{ км}^3$ , причем  $0,13246 \text{ км}^3$  (62,8 %) приходится на второй гидрографический район, занятый озеровидным расширением.

Таким образом, расчеты на основе седиментационного баланса также не позволяют получить ясного ответа на вопрос о причинах и количественных параметрах произошедших изменений морфопараметров водохранилища, т. к. полученные при уточнении значения уменьшения объемов водохранилища не соответствуют по величине объемам аккумулировавшихся наносов, вычисленных с использованием данных по расходам наносов и седиментационного баланса.

На наш взгляд, единственным ответом на вышеперечисленные вопросы является признание того факта, что в проекте создания Камского водохранилища изначально были заложены завышенные значения его объема и площади. Речь идет об ошибках в проектных расчетах при применении картометрического метода. Этот вывод подтверждается следующим.

Рассмотрим картографическую основу, использованную в проектных материалах для вычисления площади и объема водохранилища. Известно, что это были картографические материалы разного масштаба и времени съемки: крупномасштабную съемку зоны затопления в 1931 г. выполнял ВСНХ «Гидроэлектрострой СССР», в 1932 г. облегченную съемку в масштабе 1:25 000 – институт «Гидропроект» [16]. В любом случае, облегченная съемка зоны затопления Камского водохранилища проведена в период 1930–1950 гг. до отметки НПУ 108,5 м БС и, вероятно, несколько выше в масштабе не крупнее 1:25 000–1:50 000. Проектные данные именно по водохранилищу в архиве института «Гидропроект» не сохранились. Топогеодезические и последующие картометрические работы потребовали огромных трудозатрат, учитывая площадь проектируемого водохранилища (более  $1500 \text{ км}^2$ ) и его объем (более  $10 \text{ км}^3$ ).

При определении гидрографических характеристик водных объектов картометрическим способом всегда встает вопрос о точности выполняемых работ. Нормативная документация в этом направлении в целом наследует наработки прошлых лет. В настоящее время действует СТО ГГИ 52.08.40-2017 «Определение морфометрических характеристик водных объектов суши...» [26] на определение гидрографических характеристик картометрическим способом, ранее для этих же целей действовало «Руководство...» [27]. В этих документах, аналогично всем ранее действовавшим, установлен алгоритм подсчета площади водохранилища с помощью планиметров [27] по топокартам и объема водохранилища как послойного суммирования объемных тел, заключенных между смежными изобатами. При этом регламентируется, что средние погрешности определения местоположения объекта для карт масштаба 1:25 000 составляют 12 м, для карт масштаба 1:50 000 – 25 м. Ошибка определения по высоте составляет  $0,4h$  (где  $h$  – сечение по высоте рельефа), что для карт масштаба 1:10 000–1:25 000 будет составлять 1 м, для карт масштаба 1:50 000 соответственно 4 м. При вычислении площадей с помощью планиметров точность измерений напрямую зависит от длины периметра, размера измеряемого участка и его формы, а также его площади. Погрешность измерений составляет 0,19–5,20 % от площади.

На наш взгляд, эти значения являются большой величиной ошибки, ведь при вычислении полного объема водохранилища (перемножении полученных с данной погрешностью высот (глубин) местности на площадь водоема) при таком подходе получаются погрешности в сотни тысяч кубических метров. Кроме того, для определения характеристик средних по площади водоемов руководство [26] рекомендует использовать карты еще более мелких масштабов (1:100 000), ошибки в этом случае становятся еще выше.

Таким образом, можно сделать вывод, что существенное расхождение значений площади Камского водохранилища на отметках 108,0–108,5 м БС обусловлено проблемой детализации измерений при закругленном подсчете проектной площади в наиболее сложной для вычисления зоне мелководий, с максимальной изрезанностью береговой линии. При использовании указанных выше картометрических методов вычислений практически невозможно с достаточной точностью определить площадь крайне сложной по форме фигуры зеркала водохранилища с многочисленными мелководными зонами и заливами. Таким образом, при использовании картографического материала и технологий производства работ 1930–1950 гг. и вычислении площадей сложных по конфигурации объектов могли быть допущены существенные ошибки в определении площади водохранилища по всему диапазону уровней.

При использовании метода определения объема водохранилища как послойного суммирования плоских тел, заключенных между смежными изобатами, также невозможно избежать значительных ошибок в значениях определяемого параметра, т. к. даже если учитывать, что «плоскости» верхней и нижней изобаты параллельны и гладки, боковая грань такой фигуры, соответствующая бортам чаши водохранилища, имеет крайне сложную конфигурацию, которую ошибочно аппроксимировать как гладкую боковую поверхность. При определении объема водоема рекомендуется [26, 27] при очень сложных очертаниях изобат выполнить их генерализацию. Полный объем допускается вычислять перемножением площади водоема на его среднюю глубину.

Необходимо заметить, что использование лотийных сведений в качестве картографического материала, несмотря на их общедоступность, имеет свои ограничения при уточнении морфометрии водохранилищ, т. к. лотийные сведения существенным образом генерализованы и дают лишь представления о средних и минимальных (лимитирующих) глубинах на участке, т. е. те сведения, которые необходимы в первую очередь для судоходства. Примечательно, что, например, в томе 9 лотии Единой глубоководной системы за 1984 г. глубины на Камском водохранилище приведены в привязке к уровню НПУ 108,5 м БС, в то время как глубины в последующих изданиях даны от проектного уровня 107,0 м БС. При сравнении листов можно отметить, что, несмотря на различную высотную привязку в разных по времени изданиях, глубины в некоторых характерных точках остаются без изменений. Кроме того, использование генерализованных данных лотий при построении цифровых моделей донного рельефа в среде ГИС приводит к соответствующему закруглению таких моделей, т. к. они чувствительны к плотности исходных точек.

Таким образом, при расчете объема такого огромного по площади (более 1000 км<sup>2</sup>) и по объему тела, как Камское водохранилище, в проектных данных также могла быть допущена ошибка, как совокупный результат несовершенства применяемой технологии вычислений и использованного картографического материала. Если принять, что проектные данные содержат неточные значения морфопараметров Камского водохранилища, тогда становится возможным объяснить несоответствие проектных и уточненных кривых площадей и объемов, нелогичное увеличение или уменьшение объемов гидролого-морфологических участков.

Явным следствием несоответствия проектных параметров (в большей степени объема) действительности могут быть различные нарушения в режиме работы водохранилища и гидроузла. При условии средних характеристик притока воды в водохранилище это несоответствие может сгла-

живаться и не фиксироваться. Однако при экстремальных расходах воды (как максимальных, так и минимальных) ошибки при расчете объемов по конкретному горизонту могут проявляться наиболее полно.

Несостоятельны выводы, изложенные в работах [23, 28], в которых на основе балансовых таблиц и получения положительного тренда сброса воды через гидроузел Камской ГЭС за период 1956–2015 гг. делается заключение, что это происходит вследствие ежегодного сокращения объема водохранилища при НПУ. Иными словами, для поддержания проектных уровней у гидроузла и выработки электроэнергии якобы через гидроузел приходится сбрасывать все больший объем воды, причем большинство сбросов являются холостыми. Сброс через гидроузел может увеличиваться и по причине возросших значений зимних расходов вследствие климатических изменений. Иной причиной может быть, как раз, неверное представление об объеме водохранилища. Кроме того, определенную роль в необходимости увеличения сбросных расходов играют и посадки уровней в нижнем бьефе гидроузла вследствие интенсивной добычи нерудных строительных материалов из русловых карьеров [21, 22].

Отметим, что к схожим выводам о недостоверности проектных данных пришли другие исследователи при детальных расчетах морфопараметров Новосибирского водохранилища [20], для которого также в ходе изучения фиксировалось уменьшение полного объема на величину 1,017 км<sup>3</sup>. В данной работе показано, что проектом объем Новосибирского водохранилища завышен на 743 млн м<sup>3</sup>. В этой же работе указывается, что исследователи не располагают достоверной информацией, каким методом и с помощью каких исходных материалов в проекте были произведены расчеты, какова точность выполненных работ. Поэтому на настоящем этапе представляется некорректным сравнивать проектные данные и данные уточнения морфопараметров (работы 2007–2008 гг.), как неравноценные по точности использованным данным, применяемым методам вычисления и инструментарию. Более разумным подходом будет сравнение данных 2007–2008 гг. с результатами последующих исследований, направленных на уточнение морфометрических параметров Камского водохранилища. К сожалению, продолжение этих работ возможно ожидать не ранее 2030-х годов в соответствии с установленным сроком действия ПИВР.

Задачей этих исследований будет получение обновленных морфометрических показателей, использование которых откроет реальный путь к сравнению равноценных данных и более глубокому пониманию внутриводоемных процессов Камского водохранилища.

## ВЫВОДЫ

В результате работ по уточнению морфопараметров 2007–2008 гг. установлено, что объем и площадь Камского водохранилища существенно уменьшились по сравнению с проектными данными.

Сравнительный анализ проектных и уточненных кривых объемов и площадей Камского водохранилища показал существенное их несоответствие. Вычисленные значения суммарной аккумуляции наносов в Камском водохранилище по данным седиментационного баланса в несколько раз меньше величины расхождения проектных и уточненных данных. Возможной причиной таких расхождений, по-видимому, может быть признание факта завышенности исходных проектных данных, связанных с наличием ошибки в вычислении площади и объема водохранилища. Такой вывод подтверждается данными сторонних исследований [17, 20].

В настоящее время работы по изучению грунтового комплекса камских водохранилищ практически не ведутся. Водоохранилища, являясь крупнейшими аккумуляторами пресной воды Европейской части России, не только неравнозначно изучены, но и на большинстве из них вообще свернуты систематические специальные научные исследования. Поэтому, к сожалению, приходится констатировать отсутствие достоверных данных о масштабах, объемах и скорости аккумуляции и перемещения наносов по многим крупным водохранилищам.

Таким образом, оказывается некорректным сравнение неравноценных по способам и точности методов получения проектных и уточненных данных морфопараметров Камского водохранилища. Дальнейший путь исследований в этом направлении должен быть связан с вторым циклом уточнения морфопараметров водохранилища при пересмотре утвержденных ПИВР.

В представленной работе приведены сведения только по Камскому водохранилищу, однако накопленный материал исследований позволяет проследить схожие зависимости и для трех аналогичных крупных равнинных водохранилищ – Воткинского, Нижнекамского и Саратовского.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chanson H. and James D.P.* (2005): Siltation of Australian Reservoir: Some Observation and Dam Safety Implications. Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane QLD 4072, Australia, [www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/.../086.htm](http://www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/.../086.htm).
2. *De Araujo, J. C., A. Güntner, and A. Bronstert* (2006), Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil, *Hydrol. Sci. J.*, 51(1), 157–170, DOI:10.1623/hysj.51.1.157.
3. *Dendy F.E., Champin W.A. and Wilson R.B.* (1973). Reservoir Sedimentation Surveys in the United States. In William C. Ackermann et al. (eds). op.cit., p.353.



4. Graf W.L., Wohl E., Sinha T. and Sabo J. L. (2010). Sedimentation and sustainability of western American reservoirs, *Water Resour. Res.*, 46, W12535, DOI: 10.1029/2009WR008836.
5. Louis M.G. (1973) Summary: Sedimentation of Reservoir. In William C. Ackermann et al. (eds), *Man Made Lakes, their Problems and Environmental Effects*. American Geophysical Union, Washington DC. 343 p.
6. Wang G. (2005), Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China, *Water Resour. Res.*, 41, W09417, DOI: 10.1029/2004WR003919.
7. Wang Z., and C. Hu (2009), Strategies for managing reservoir sedimentation, *Int. J. Sediment Res.*, 24(4), 369–384, DOI: 10.1016/S1001-6279 (10)60011-X.
8. Wisser D., S. Frohling, S. Hagen, and M. F. P. Bierkens (2013), Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoir, *Water Resour. Res.*, 49, 5732–5739, DOI: 10.1002/wrcr.20452.
9. Белобородов А.В. Обобщение новых морфометрических характеристик ряда водохранилищ по результатам исследований 2007–2012 гг. // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды Межд. научн.-практ. конф. (29–31 мая, 2015, Пермь). Т. 1. Гидро- и геодинамические процессы. Управление водными ресурсами / научн. ред. А.Б. Китаев, О.В. Ларченко. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 7–12.
10. Законнов В.В. Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: автореф. дисс. ...д-ра геогр. наук. М., 2007. 52 с.
11. Красильников В.М., Соболев И.С. Уточнение морфометрических параметров водохранилищ на базе цифровых моделей рельефа // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 272–279.
12. Кузнецова Л.А. Заиление камских водохранилищ // Комплексные исследования гидрологии и водной экологии камских водохранилищ и рек их водосборов. Межвуз. сб. научн. трудов. Пермь: Изд-во ПГУ, 1987. С. 38–49.
13. Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ / Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь, 1970. Вып. I. С. 27– 44.
14. Михалев В.В., Мацкевич И.К. Современная морфометрия Камского водохранилища // Водное хозяйство России. 2010. № 3. С. 4–18.
15. Румянцев И.С., Соболев И.С., Соболев С.В. Изменение объема равнинных водохранилищ на эксплуатационной фазе жизненного цикла // Гидротехническое строительство. 2014. № 3. С. 2–9.
16. Уточнение морфометрических характеристик Камского водохранилища // Отчет НИР, ГК №350/10/07 от 19.10.2007. Отв. исполнитель Михалев В.В. ООО «НПО «Омега», Пермь, 2008. 124 с.
17. Калинин В.Г. Ледовый режим рек и водохранилищ бассейна Верхней и Средней Камы. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. С. 17–19.
18. Калинин В.Г., Ковязина И.А. К оценке осадконакопления на Камском водохранилище // Гидрологические, гидрофизические, экологические и биогеохимические процессы в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование. С. 95–100.

19. Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности заиления Краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съемок // Географический вестник=Geographical bulletin. 2018. № 4 (47). С. 54–66. DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66.
20. Федорова Е.А. Особенности осадконакопления в котловинах водохранилищ равнинного и предгорного типа на примере Новосибирского и Красноярского водохранилищ: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Геленджик, 2016. 178 с.
21. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А., Перепелица Д.И. К проблеме оценки последствий крупномасштабной добычи нерудных строительных материалов на поверхностные водные объекты // Водное хозяйство России. 2014. № 3. С. 108–119.
22. Перепелица Д.И., Лепихин А.П., Лепешкин С.А., Тиунов А.А. Оценка деформаций русла реки Камы и разработка рекомендаций по регламентации добычи нерудных строительных материалов в пределах нижнего бьефа Камской ГЭС // Водное хозяйство России. 2018. № 6. С. 39–50.
23. Китаев А.Б. Увеличение сброса вод через Камский и Воткинский гидроузлы в связи с уменьшением объема водохранилищ // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества: мат-лы V заоч. Всеросс. науч.-практ. конф. Челябинск: Край Ра, 2017. С. 119–121.
24. Пояснительная записка к правилам использования водных ресурсов водохранилищ на р. Каме (Камского и Воткинского). Центр регистра и кадастра, 2016.
25. Назаров Н.Н. Особенности накопления и свойства иловых отложений на участках распространения гипсовых берегов Камского водохранилища // Географический вестник. 2008. № 1(7). С. 77–86.
26. СТО ГГИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. 148 с.
27. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 47 с.
28. Китаев А.Б. Изменение составляющих водного баланса Камского и Воткинского водохранилищ в связи с их заилением //Актуальные вопросы гидрологии и геоэкологии: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф., посвящ. 100-летию Перм. гос. нац. исслед. ун-та / под ред. А.Б. Китаева; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2016. С. 32–35.

*Для цитирования:* Белобородов А.В. Изменение морфометрических параметров крупных равнинных водохранилищ: причины и последствия (на примере Камского водохранилища) // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 72-92.

**Сведения об авторе:**

**Белобородов Александр Валерьевич**, ведущий инженер-исследователь, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), Россия, 614000, г. Пермь, ул. Островского, 113; e-mail: beloborodov.lpmg@mail.ru

CHANGES IN THE MORPHOMETRIC PARAMETERS OF LARGE PLAIN  
RESERVOIRS: CAUSES, ASSESSMENTS AND CONSEQUENCES  
(ON THE EXAMPLE OF THE KAMA RESERVOIR)

**Aleksandr V. Beloborodov**

E-mail: beloborodov.lpmg@mail.ru

*Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Kama Branch, Perm, Russia*

**Abstract:** The paper presents the results of a comparison of the project and refined according to the results of research for 2007–2008 morphometric indicators (area and volume) of the Kama reservoir. Based on a comparison of the design curves and refined curves of the areas and volumes of the reservoir, as well as diagrams of changes in the total volume of taxons (plots) allocated in the hydrological and morphological zoning, we concluded that the updated data does not correspond to the theoretical ideas about the general orientation of the evolution of the reservoir morphologic parameters. Based on the sedimentation balance data of the Kama reservoir, we have shown that the concept of large-scale changes in the reservoir volume due to the sediment accumulation is untenable. To explain the significant difference between the design and updated data a hypothesis was advanced about incorrect determination of the area and volume of the Kama reservoir in the design studies, due to the low accuracy of cartometric and computational methods in the study of the extremely complex shape of the reservoir bed. Similar studies on the Novosibirsk reservoir support these conclusions.

**Key words:** reservoir, reservoir morphometry, morphometric parameters, volume and area curves, change in reservoir volumes, reservoir hydrology, sediment accumulation, siltation reservoir.

**About the author:** Aleksandr V. Beloborodov, Leasing Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection Kama Branch, ul. Ostrovskogo, 113, Perm, 614000 Russia; e-mail: beloborodov.lpmg@mail.ru

**For citation:** *Beloborodov A.V. Changes in the Morphometric Parameters of Large Plain Reservoirs: Causes, Assessments and Consequences (on the Example of the Kama Reservoir) // Water Sector of Russia, 2019, No. 4. P. 72-92.*

#### REFERENCES

1. *Chanson H. and James D.P.* (2005): Siltation of Australian Reservoir: Some Observation and Dam Safety Implications. Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane QLD 4072, Australia, [www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/.../086.htm](http://www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/.../086.htm).
2. *De Araujo, J. C., A. Güntner, and A. Bronstert* (2006), Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil, *Hydrol. Sci. J.*, 51(1), 157–170, DOI:10.1623/hysj.51.1.157.
3. *Dendy F.E., Champin W.A. and Wilson R.B.* (1973), Reservoir Sedimentation Surveys in the United States. In William C. Ackermann et al. (eds). op.cit. 353 p.
4. *Graf W.L., Wohl E., Sinha T. and Sabo J. L.* (2010), Sedimentation and sustainability of western American reservoirs, *Water Resour. Res.*, 46, W12535, DOI: 10.1029/2009WR008836.
5. *Louis M.G.* (1973) Summary: Sedimentation of Reservoir. In William C. Ackermann et al. (eds), *Man Made Lakes, their Problems and Environmental Effects*. American Geophysical Union, Washington DC. 343 p.

6. Wang G. (2005), Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China, *Water Resour. Res.*, 41, W09417, DOI: 10.1029/2004WR003919.
7. Wang Z., and C. Hu (2009), Strategies for managing reservoir sedimentation, *Int. J. Sediment Res.*, 24(4), 369–384, DOI: 10.1016/S1001-6279 (10)60011-X.
8. Wisser D., S. Frohling, S. Hagen, and M. F. P. Bierkens (2013), Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoir, *Water Resour. Res.*, 49, 5732–5739, DOI: 10.1002/wrcr.20452.
9. Beloborodov A.V. Obobshcheniye novykh morfometricheskikh kharakteristik ryada vodokhranilishch po rezul'tatam issledovaniy 2007-2012 gg. [Generalization of new morphometric characteristics of a number of water reservoirs by the results of investigations of 2007–2012. // *Sovremenniyemye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov: Trudy Mezhd. nauchn.- prakt. konf. (29 – 31 maya, 2015, Perm)*. Vol.1. Gidro- i geo/dinamicheskiye protsessy. Upravleniye vodnimi resursami / nauchn. red. A.B. Kitayev, O.V. Larchenko. Perm. gos. nats. issled. un-t. Perm, 2015. Pp. 7–12.
10. Zakonov V.V. Osadkoobrazovaniye v vodokhranilishchakh Volzhskogo kaskada [Sediments formation in the Volga cascade reservoirs]: avtoref. diss. ...d-ra geogr. nauk. M., 2007. 52 p.
11. Krasilnikov V.M., Sobol I.S. Utochneniye morfometriheskikh parametrov vodokhranilishch na base tsifrovyykh modeley relyefa [Updating of the reservoirs' morphometric parameters on the basis of the relief digital models] // *Vestnik MGSU*. 2012. No 10. Pp. 272–279.
12. Kuznetsova L.A. Zaileniye kamskikh vodokhranilishch [The Kama reservoirs' silting] // *Kompleksniye issledovaniya gidrologiyi i vodnoy ekologiyi kamskikh vodokhranilishch i rek ikh vodosborov* [Comprehensive researches of the Kama reservoirs' and heir catchment rivers' hydrology and aquatic ecology]. *Mezhvuz. sb. nauchn. trudov*. Perm: Izd-vo PGU, 1987. Pp. 38–49.
13. Matarzin Y.M., Matskevich I.K. Voprosy morfometriyi i rayonirovaniya vodokhranilishch [Issues of the reservoirs; morphometry and zoning]. / *Voprosy formirovaniya vodokhranilishch i ikh vliyaniya na prirodu i khozyaystvo*. Perm, 1970. Vyp. I. Pp. 27– 44.
14. Mikhalev V.V., Matskevich I.K. Sovremennaya morfometriya Kamskogo vodokhranilishcha [Contemporary morphometry of the Kama reservoir] // *Water Sector of Russia*. 2010. No. 3. Pp. 4–18.
15. Rumyantsev I.S., Sobol I.S., Sobol S.V. Izmeneniye obyema raninnykh vodokhranilishch na ekspluatatsionnoy faze zhiznennogo tsikla [The plain reservoirs' volume changes at the operative stage of their life cycle] // *Gidrotekhnicheskoye stroitelstvo*. 2014. No. 3. Pp. 2–9.
16. Utochneniye morfometricheskikh kharakteristik Kamskogo vodokhranilishcha [More accurate definition of the Kama Reservoir morphometric characteristics] // *Otchet NIR, GK №350/10/07 ot 19.10.2007*. Otv. ispolnitel Mikhalev V.V. OOO «NPO «Omega», Perm, 2008. 124 p.
17. Kalinin V.G. Ledoviy rezhim rek i vodokhranilishch basseyna Verkhney i Sredney Kamy [Glacial regime of the Upper and Middle Kama basin rivers and reservoirs]. Perm. gos. un-t. Perm, 2008. Pp. 17–19.
18. Kalinin V.G., Kovyazina I.A. K otsenke osadkonakopleniya na Kamskom vodokhranilishche [On the issue of assessment of the sediments accumulation in the Kama reservoir] // *Gidrologicheskkiye, gidrofizicheskkiye, ekologicheskkiye i bio/geo/khimicheskkiye protsessy v vodnykh ob'yektakh inavodosborakh Sibiri i ikh matematicheskoye modelirovaniye*. Pp. 95–100.

19. *Laguta A.A., Pogorelov A.V.* Osobennosti zaileniya Krasnodarskogo vodokhranilishcha. Opyt otsenki po dannym batimetricheskikh syemok [Special features of the Krasnodar Reservoir silting. Experience of assessment according the bathymetric survey]. // *Geograficheskiy vestnik = Geographical bulletin*. 2018. No. 4 (47). Pp. 54–66. DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66.
20. *Fedorova E.A.* Osobennosti osadkonakopleniya v kotlovinakh vodokhranilishch ravninogo i predgornogo tipa na primere Novosibirskogo i krasnoyarskogo vodokhranilishch [Specific features of the sediments accumulation in depressions of the plain and submontane type reservoirs with Novosibirsk and Krasnoyarsk reservoirs as study cases]: avtoref. diss. ... kand. geogr. naul. Gelendzhik, 2016. 178 p.
21. *Lepikhin A.P., Lyubimova T.P., Parshakova Y.N., Tiunov A.A., Perepelitsa D.I.* K probleme otsenki posledstviy krupnomashtabnoy diblychi nerudnykh stritelnykh materialov na poverkhnostniye vodniye obyekty [About the problem of assessment of the non-metallic building materials wide-scale mining consequences for surface water bodies // *Water Sector of Russia*. 2014. No. 3. Pp. 108–119.
22. *Perepelitsa D.I., Lepikhin A.P., Lepeshkin S.A., Tiunov A.A.* Otsenka deformatsiy rusla reki Kamy i razrabotka rekomendatsiy po reglamentatsiyi dobychi nerudnykh stroitelnykh materialov v predelakh nizhnego byefa Kamskoy GES [Assessment of the Kama river bed deformations and development of recommendations for regulating of non-metallic building materials' mining within the limits of the Kama hydro power plant downstream] // *Water Sector of Russia*. 2018. No. 6. Pp. 39–50.
23. *Kitayev A.B.* Uvelicheniye sbrosa vod cherez Kamskiy i Votkinskiy gidrouzly v svyazi s umensheniyem obyema vodokhranilishch [Increase of water discharge through the Kama and the Votkinsk hydro power plants in connection with the reservoirs' volume decrease] // *Geograficheskoye prostranstvo: sbalansirovannoye razvitiye prirody i obshchestva: mat-ly V zaoch. Vseros. nauchn.-pract. konf. Chelyabinsk: Kray Ra, 2017. Pp. 119–121.*
24. *Poyasnitelnaya zapiska k pravilam ispolzovaniya vodnykh resursov vodokhranilishch na r. Kame (Kamskogo i Votkinskogo)* [Explanatory note to the rules of the Kama River reservoirs' (Kama and Votkinsk reservoirs) water resources use]. Tsentra registra i kadastra, 2016.
25. *Nazarov N.N.* Osobennosti nakopleniya i svoystva ilovykh otlozhniy na uchastkakh rasprostraneniya gipsovykh beregov Kamskogo vodokhranilishcha [Peculiarities of the silt deposits accumulation and features at the sites of the Kama reservoir gypsum banks' spreading] // *Geograficheskiy vestnik*. 2008. No. 1(7). Pp. 77–86.
26. *STO GGI 52.08.40-2017. Opredeleniye morfometricheskikh kharakteristik vodnykh obyektov sushi i ikh vodosborov s ispolzovaniyem tekhnologiyi geograficheskikh informatsionnykh sistem po tsifrovym kartam Rossiyskoy Federatsiyi i sputnikovym snimkam* [Definition of the inland water bodies' and their catchments morphometric characteristics with the use of GIS techniques and digital maps of the Russian federation and satellite images]. M.: OOO «RPTs Ofort», 2017. 148 p.
27. *Rukovodstvo po opredeleniyu gidrograficheskikh kharakteristik kartometricheskim sposobom* [Guidelines of the hydrographic characteristics determination with a cartometric method]. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 47 p.
28. *Kitayev A.B.* Izmeneniye sostavlyayushchikh vodnogo balansa Kamskogo i Votkinskogo vodokhranilishch v svyazi s ikh zaileniyem [Changing of the Kama and the Votkinsk reservoirs' water balance components due to their silting] // *Aktualniye voprosy gidrologiyi i geoekoloyii: mat-ly Vseros. nauchn.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu Perm. gos. nats. issled. un-ta / pod red. A.B. Kitayeva; Perm. gos. nats. issled. un-t. Perm, 2016. Pp. 32–35.*