

ГИДРОЛОГИЯ

УДК: 556.555.6

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66

**ОСОБЕННОСТИ ЗАИЛЕНИЯ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.
ОПЫТ ОЦЕНКИ ПО ДАННЫМ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ СЪЕМОК****Андрей Александрович Лагута**

e-mail: alaguta@icloud.com

*Территориальный центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, Краснодар***Анатолий Валерьевич Погорелов**

Spin-код: 6274-3126, Author ID: 71246

e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Кубанский государственный университет, Краснодар

За период эксплуатации с 1973 г. Краснодарское водохранилище испытало заметные преобразования и продолжает непрерывно трансформироваться. Исследуется трансформация чаши водохранилища на основе его морфометрических характеристик. В ходе заиления водохранилище разделилось на два водоема: бывшее Тщикское водохранилище оказалась изолированным от западной части Краснодарского водохранилища надводной перемычкой. По данным батиметрических съемок 2004–2005 гг. и 2016 г. описаны особенности заполнения чаши водохранилища наносами. Происходит непрерывное уменьшение ёмкости и площади водохранилища при одновременном зарастании мелководья кустарником и древесной растительностью. Полезная ёмкость водохранилища при установленных НПУ сократилась в течение 1973–2016 гг. с 2160 до 1298 млн м³, а площадь зеркала – с 400 до 229 км². За 2005–2016 гг. объем заиления в акватории нынешнего водохранилища на площади 229 км² составил 83,2 млн м³. Тело заиления формируется под влиянием водного режима водохранилища с образованием генетически однородных морфологических зон: устьевые взморья (с максимальной толщиной наносов), зоны постоянного и переменного подпора. По нашим расчетам аккумулятивный конус выноса р. Кубани в чаше водохранилища при сохранении существующей скорости продвижения в сторону плотины достигнет УМО к 2030–2032 гг.

Ключевые слова: Краснодарское водохранилище, батиметрическая съемка, цифровая модель рельефа, заиление, морфометрические характеристики.

**PECULIARITIES OF KRASNODAR WATER RESERVOIR SILTING.
EVALUATION BASED ON THE DATA OF BATHYMETRIC SURVEYS****Andrey A. Laguta**

e-mail: alaguta@icloud.com

*Territorial Center for Monitoring and Forecasting of emergencies of natural and technogenic character, Krasnodar***Anatoly V. Pogorelov**

Spin-code: 6274-3126, Author ID: 71246

e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Kuban State University, Krasnodar

Over the period of its operation since 1973, the Krasnodar Reservoir has experienced notable transformations and continues to be transformed. The transformation of the reservoir basin is studied on the basis of its morphometric characteristics. In course of silting, the reservoir was divided into two ones; the former Tshchik Reservoir was isolated from the western part of the Krasnodar Reservoir by the above-water isthmus. The features of the reservoir bowl filling with sediments are described according to bathymetric surveys of 2004–2005 and 2016. There was a continuous decrease in the capacity and area of the reservoir

with simultaneous overgrowing of shoal with shrub and tree vegetation. The useful capacity of the reservoir at the established normal headwater levels decreased during 1973-2016 from 2,160 to 1,298 million m³, and the area of the mirror – from 400 to 229 km². For 2005-2016, the volume of silting in the water area of the present reservoir on an area of 229 km² was 83.2 million m³. The body of siltation is formed under the influence of the reservoir water regime with the formation of genetically homogeneous morphological zones: subaqueous parts of the deltas (avandeltas) (with maximum of sediment thickness), and areas of constant and variable backwater. According to our calculations, the accumulative cone of the Kuban River in the bowl of the reservoir, given the current speed of advance towards the dam is maintained, will have reached the dead zone level by 2030-2032.

Key words: Krasnodar Reservoir, bathymetric survey, siltation, digital elevation model, morphometric characteristics.

Введение

Краснодарское водохранилище, расположенное в среднем течении р. Кубани между станицей Воронежской и Краснодаром, введено в эксплуатацию в 1973 г. В это русловое водохранилище, кроме Кубани, впадают левые ее притоки – Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс (рис. 1). При заполнении чаши были затоплены нижние течения упомянутых притоков Кубани (за исключением р. Белой), что вызвало образование заливов типа эстуариев [13]. При вводе в эксплуатацию этот крупнейший на Северном Кавказе искусственный водоем, включивший в своей северо-восточной части построенное в 1940–1941 гг. Тщикское водохранилище, имел площадь зеркала около 400 км², длину 46 км, ширину до 8–11 км, среднюю глубину 5,9 м, максимальную глубину до 24,7 м, полезный объем воды 2,2 км³ [7] при полной емкости около 3 км³. Наполнение водой водохранилища до проектного нормального подпорного уровня (НПУ) произошло в 1977 г.



Рис. 1. Краснодарское водохранилище 29 апреля 2018 г. Уровень воды 32,77 м. Снимок Landsat-8

Основное предназначение Краснодарского водохранилища – перераспределение естественного весьма неравномерного стока Кубани и ее притоков в соответствии с режимом водопотребления и водопользования, т.е. регулирование стока. Основные функции Краснодарского водохранилища [15]:

- защита от наводнения 600 тыс. га земель с населением более 300 тыс. жителей при пропуске паводка с расходами до 1500 м³/с;
- орошение 215 тыс. га рисовых систем;

Гидрология

– хозяйственно-бытовое и питьевое водоснабжение курорта Анапы, Темрюкского района и Краснодара с обеспечением минимального сброса воды в р. Кубань в период критически низких расходов;

– обеспечение нужд рыбного хозяйства и рассоление до 156 тыс. га Приазовских лиманов – естественных рыбохозяйственных водоемов;

– улучшение навигационных условий на Нижней Кубани на участке протяженностью около 400 км.

Гидрографические характеристики водохранилища при вводе в эксплуатацию показаны в табл. 1.

Таблица 1

Гидрометрические характеристики Краснодарского водохранилища по проектному положению [15]

<i>Показатель</i>	<i>Проектное положение (1973 г.)</i>
Емкость, млн м ³	
– при форсированном уровне (ФУ)	3048
– при нормальном подпорном уровне (НПУ) 33,65 м	2396
– при уровне мёртвого объёма (УМО)	236
– полезная емкость (при НПУ=33,65 м)	2160
– противопоаводковой призмы (при НПУ=33,65 м)	652
– мертвого объёма	236
Площади зеркала, км ²	
– при форсированном уровне	419,5
– при нормальном подпорном уровне 33,65 м	400,0
– при уровне мёртвого объёма	128,0

На практике водохранилище подтвердило свое функциональное предназначение. Бассейн р. Кубани – один из наиболее опасных, с позиции наводнения, речных бассейнов России [1]. Периодические затопления прибрежных населенных пунктов здесь, как правило, вызваны быстро развивающимися паводками при обильных осадках в горной и предгорной зонах бассейна. В период эксплуатации водохранилища риски наводнений в нижнем бьефе (ниже плотины водохранилища) в результате срезки пиков паводков значительно уменьшились. Именно благодаря Краснодарскому водохранилищу в ситуации с обильными осадками на большой площади водосбора удалось избежать наводнения в нижнем течении Кубани летом 2002 г. [14].

Оценкам состояния и анализу тенденций трансформации Краснодарского водохранилища посвящено ограниченное количество научных публикаций [6; 13]. Вместе с тем происходящие изменения водохранилища при всей его хозяйственной значимости заслуживают детального количественного анализа. За период своей эксплуатации водохранилище испытало заметные преобразования и продолжает трансформироваться. Динамическое равновесие речной системы было нарушено в момент возведения плотины, и в настоящий момент система находится далеко от этого равновесия в представлениях вещественного баланса. Подпор с искусственным регулированием подпорного уровня обусловил изменения в гидравлическом режиме водотока: уменьшил уклоны свободной поверхности воды, скорости течения, увеличил глубины потока. Вследствие этого изменились расходы твердого вещества – взвешенные и влекомые наносы аккумулируются в чаше водоема.

Отметим, что в 1973–1992 гг. НПУ был установлен на отметке 33,65 м; с 1993 г. водохранилище фактически эксплуатируется со сниженным на 0,9 м НПУ (32,75 м), что повлияло на водный режим и другие вещественные преобразования в водоеме.

Среди рек России, на которых построены водохранилища, р. Кубань характеризуется одним из наиболее высоких показателей мутности. По данным [2] в 1940–1960 гг. мутность Кубани в среднем составляла 0,68 кг/м³, а сток взвешенных наносов в среднем был равен 8,4 млн т; наносы р. Белой, левого приток Кубани, оцениваются в 2 млн т. В водохранилище осаждаются до 95% наносов,

приносимых Кубанью. По оценкам [15] в водохранилище осаждается 97–98% объема поступающего твердого стока; при этом средний годовой сток наносов пяти основных рек (Кубань, Лаба, Белая, Псекупс, Пшиш) равен 6 млн м³. На заиление дополнительно влияет процесс переработки берегов.

За время эксплуатации водохранилища в ходе заиления чаша бывшего Тщикского водохранилища оказалась изолированной от западной части Краснодарского водохранилища надводной перемычкой (рис. 1) и в настоящее время при урезах воды ниже 32,2 м представляет собой замкнутый водоем объемом до 64 млн м³. В устье р. Белой образовался водораздел, отгораживающий реку от водохранилища. При таком урезе воды средние глубины воды в Тщикском водоеме не превышают 1,5 м; в теплое время года здесь наблюдаются интенсивное цветение воды, заморы рыбы и другие неблагоприятные гидробиологические процессы. Заиление чаши бывшего Тщикского водохранилища происходило значительно активнее остальной площади. В период с 1985 по 2005 г. мощность иловых отложений выросла здесь от 1,5 м до 2,0 м [15]. В настоящее время Тщикское водохранилище имеет собственный гидрологический режим, почти не зависящий от основной части Краснодарского водохранилища.

Объем тела заиления в виде отложений, сформировавшихся в процессе заиления Краснодарского водохранилища, непрерывно увеличивается. Заиление, как наиболее существенный дефект водохранилища, влечет за собой утрату их регулирующего значения [5]. Существуют методы, позволяющие выполнить мониторинг и оценку объемов заиления, а также актуализацию значений основных морфометрических характеристик водоема.

Ставились задачи: по данным батиметрических съемок определить объем тела заиления за период между съемками (2005–2016 гг.), установить тенденции и особенности процесса заиления. В процессе выполнения задач были:

- построены цифровые модели рельефа (ЦМР) по данным двух батиметрических съемок Краснодарского водохранилища;
- рассчитаны современные показатели ключевых морфометрических характеристик водоема, а именно – площади зеркала и объемы для характерных уровней, отражающие процесс заиления;
- выполнен сравнительный анализ проектных данных и обработанных материалов более поздних батиметрических съемок;
- рассчитаны объемы и установлены основные закономерности распределения наносов в чаше водохранилища.

На основе простой временной экстраполяции получены предварительные оценки изменения объема воды водохранилища для разных уровней в ближайшие десятилетия.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами для создания цифровых моделей рельефа явились данные батиметрических съемок Краснодарского водохранилища, включая его бывшую северо-восточную часть (Тщикский водоем), выполненных экспедицией № 205 ФФГУП «Северокавказское аэрогеодезическое предприятие» в 2004–2005 гг. и 2016 г.

Междугалсовые расстояния при батиметрической съёмке водохранилища установлены равными 100 м в соответствии с [17]. Для детализации участков дна водохранилища со сложным рельефом (старое русло Кубани, старое русло р. Псекупса, участок вблизи шлюзов водохранилища, северная часть водоема с наличием ям и пр.) дополнительно проложены галсы сгущения (рис. 2). Направления всех промерных галсов, как для основной чаши Краснодарского водохранилища, так и для отделившегося от него бывшего Тщикского водохранилища, установлены параллельными главной плотине водохранилища с дирекционным углом галсов 151–331°.

В пределах бывшего Тщикского водохранилища проложено 117 галсов. Средняя протяженность промерного галса по водной поверхности Тщикского водохранилища от одного берега до другого составила около 5 км. В пределах основной чаши Краснодарского водохранилища батиметрическая съёмка проведена по 264 галсам. Средняя протяженность промерного галса в основной чаше водохранилища от одного берега до другого составила 8–10 км при максимуме протяженности до 12 км в приплотинной части водохранилища. При этом средние расстояния между промерными точками составляли 2,43 м. Суммарная протяженность промерных маршрутов, пройденных при батиметрической съёмке Краснодарского водохранилища в 2016 г., составила 3525 км с общим количеством точек измерения глубин 1,451 млн. Общая отработанная площадь водной поверхности Краснодарского водохранилища (без учета заливов) в период проведения батиметрической съёмки

2016 г. составила 274 км²: 51 км² в акватории бывшего Тщикского водохранилища и 223 км² в основной чаше Краснодарского водохранилища.

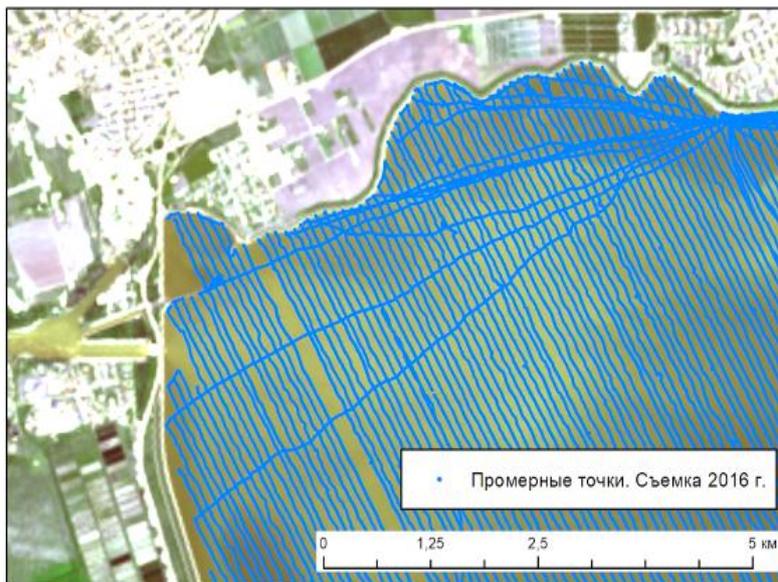


Рис. 2. Расположение промерных галсов, включая основные галсы и галсы сгущения, в северо-западном приплотинном участке съемки

Батиметрическая съемка выполнялась профилографом «Rio Grande 1200 kHz» [16], обеспечивающим автоматизированное позиционирование каждой промерной точки в прямоугольных плановых координатах X и Y относительно начальной точки. Соответственно, данное устройство не требует привязки к спутниковым системам для определения местоположения точки промера по данным о её широте и долготе. По данным координат начальной точки батиметрической съёмки в системе координат Пулково 95 и отметки в Балтийской системе (БС) высот 1977 г. производился автоматизированный пересчет всех измерений плановых отметок промерных точек в координаты Пулково 95 с приведением к Балтийской системе высот. Перемещение профилографа по промерному створу осуществлялось посредством жесткого крепления к борту моторной лодки.

Для расчета высотных отметок дна объектов батиметрической съёмки необходимо знание высоты уровня водного объекта в метрах БС на период проведения промерных работ. Методика и порядок измерения уровней воды любого поверхностного водоёма (реки, озера, пруда, водохранилища и т.д.) регламентируются [10; 11]. Базовым уровнем водной поверхности Краснодарского водохранилища в период проведения батиметрической съёмки служили суточные измерения уровня, публикуемые Кубанским бассейновым водным управлением [12].

Для создания ЦМР использовались инструменты 3D Analyst программного комплекса ArcGIS (ESRI). Построены ЦМР чаши Краснодарского водохранилища по состоянию на 2005 и 2016 гг. с пространственным разрешением, соответствующим плотности исходных промерных точек. Подобное пространственное разрешение позволяет анализировать морфометрические особенности дна водоема в масштабе мезо- и микроформ рельефа (затопленные русла, уступы устьевых баров и взморья, ямы и т.п.). Для расчета показателей тела заиления путем вычитания одной поверхности из другой применялись инструменты Spatial Analyst пакета ArcGIS. Расчет объемов и площадей зеркала водохранилища в 2016 г. выполнен для характерных уровней – НПУ и УМО. Расчеты основных морфометрических характеристик водоема произведены стандартными способами [3].

Результаты и их обсуждение

По данным батиметрических измерений 2016 г. построены гипсометрическая карта дна водоема (рис. 3) и карта глубин (рис. 4). Как видим, монотонное в целом повышение отметок дна от нижней приплотинной части на восток нарушено, в первую очередь, врезам затопленных русел рек Кубани, Пшиша и Псекупса. Дополнительно рельеф дна осложнен многолетним прямым антропогенным воздействием – изъятием с помощью земснарядов донных отложений (песок) для строительных нужд

с образованием локальных выемок. Основные карьеры расположены в затопленном русле Кубани и в устье Псекупса. Так, за период 1973–2005 гг. объем этого изъятия составил около 70 млн м³ [15].

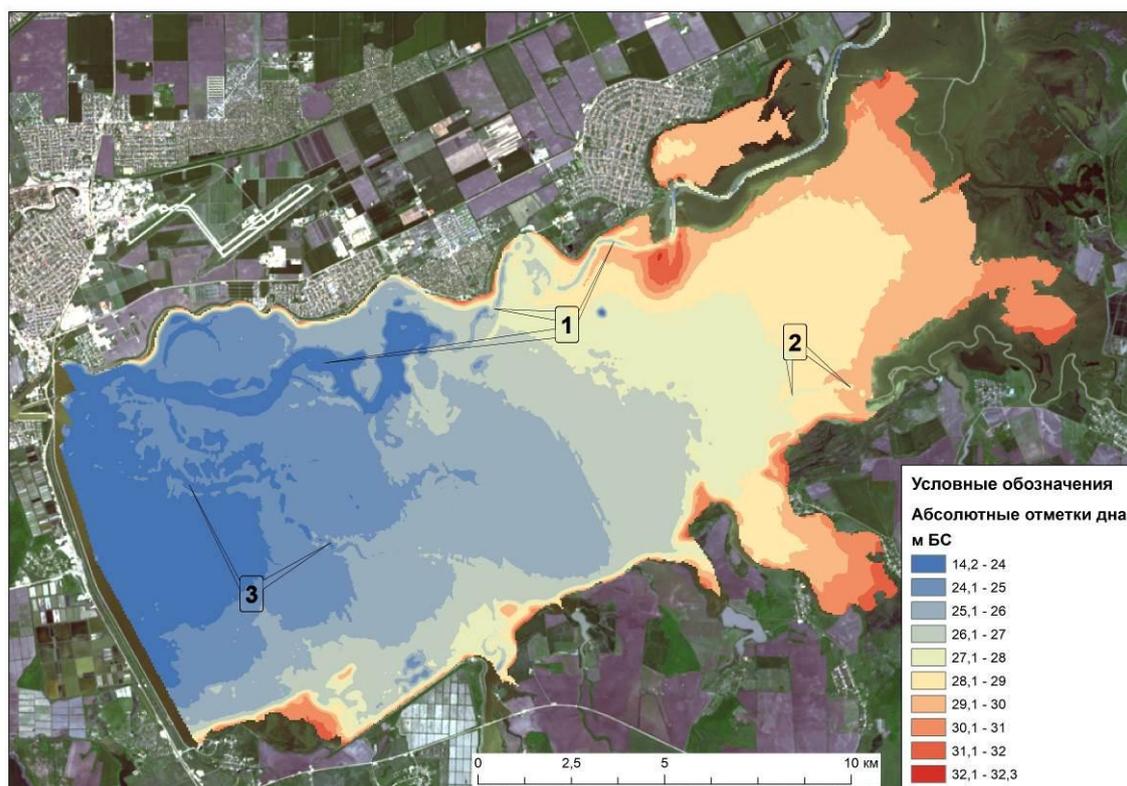


Рис. 3. Гипсометрическая карта дна Краснодарского водохранилища. 2016 г.
Цифрами показаны затопленные русла рек Кубань (1), Пшиш (2) и Псекупс (3)

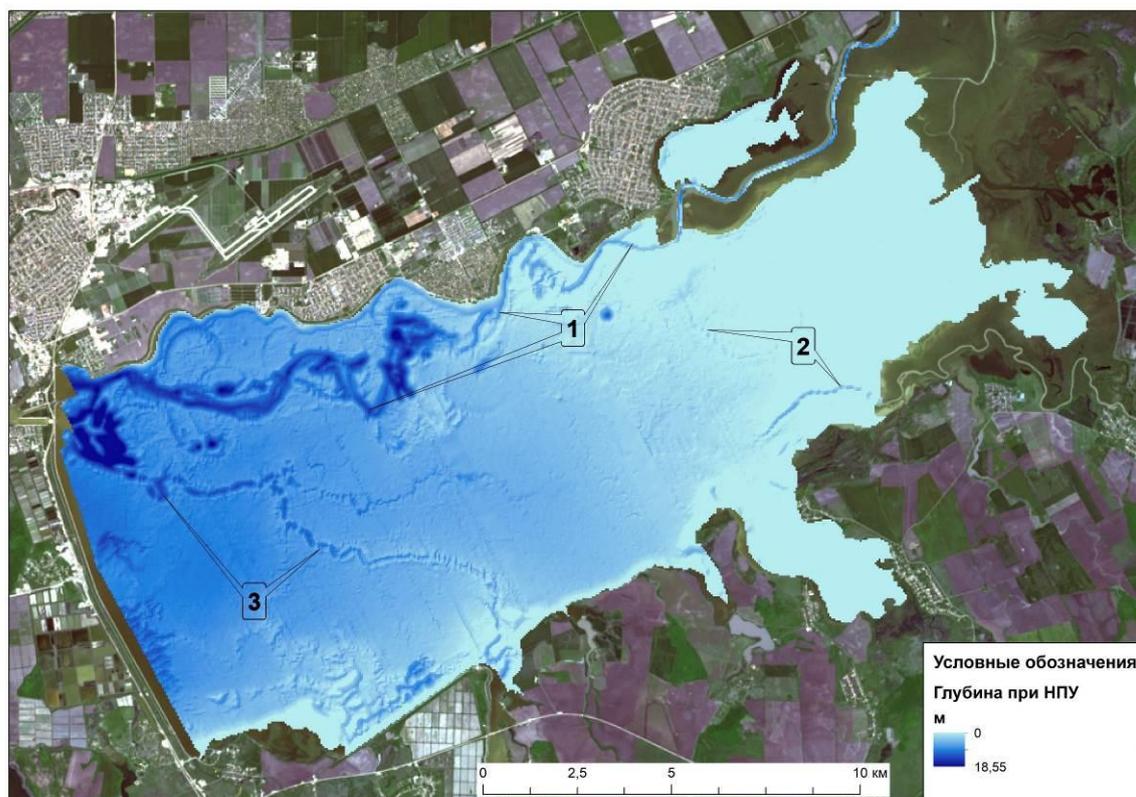


Рис. 4. Глубина Краснодарского водохранилища при НПУ. 2016 г.
Цифрами показаны затопленные русла рек Кубань (1), Пшиш (2) и Псекупс (3)

Гидрология

Рассчитанные современные ёмкости и площади зеркала Краснодарского водохранилища в сравнении с проектными данными приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища по данным геодезических (в том числе батиметрических) съемок разных лет и проектным данным

Показатель	Проектные характеристики (1973 г.)	Характеристики по съемкам		
		1985–1986 гг.	2004–2005 гг.	2016 г.*
Ёмкость, млн. м ³				
– при ФПУ	3048	2987	2793	–
– при НПУ 33,65 м	2396	2347	2149	–
– при НПУ 32,75 м	–	–	1798 (1532,14*)	1448,94
– при УМО	236	221	192	151,42
– полезная ёмкость (при НПУ=33,65 м)	2160	2126	1957	–
– полезная ёмкость (при НПУ=32,75 м)	–	–	1606	1297,52
– мертвого объема	236	221	192	151,42
Площади зеркала, км ²				
– при ФПУ	419,5	413	417,6	–
– при НПУ 33,65 м	400	394	–	–
– при НПУ 32,75 м	–	–	382,0	229,03
– при УМО	128	127	115,7	99,58
Длина водохранилища, км	46	46	45,5	29,9
Ширина водохранилища, км				
– <u>максимальная</u>	<u>11,0</u>	<u>11,0</u>	<u>11,0</u>	<u>11,0</u>
– средняя	8,7	8,7	8,2	8,7*
– минимальная	–	–	–	4,9
Средняя глубина, м	7,0	6,0	4,7 (6,72*)	6,33
Площадь литорали (зон с глубиной менее 2 м при НПУ), км ²	Не определялась	34	121	40,31*
Длина береговой линии, км	200	Не определялась	Не определялась	209,5

Примечание. Символом (*) показаны данные без учета Тшицкого водоема и образовавшейся надводной перемычки. Площадь зеркала Тшицкого водоема в 2016 г. при уровне 32,75 м равна 46,75 км², объем – 87,57 млн м³, средняя глубина – 1,87 м.

Полученные показатели (табл. 2) свидетельствуют о непрерывном уменьшении ёмкости и площади Краснодарского водохранилища при одновременном зарастании мелководья кустарником и древесной растительностью. Так, в 2016 г. 36,70 км², т.е. 16% площади зеркала, при НПУ приходилось на заросли гидроморфной растительности – преимущественно ивняка. По нашим наблюдениям свободная от растительности мелководная литораль (глубины менее 2 м) акватории Краснодарского водохранилища составляет всего 3,61 км². Иными словами, заиление сопровождается активной эвтрофикацией с увеличением площади, занятой литоральной растительностью, – участки дна водоема с абсолютными отметками выше 30,75 м БС к 2016 г. заросли практически полностью.

На графиках (рис. 5, 6) отражена динамика изменения объемов водохранилища при уровнях НПУ и УМО с экстраполяцией соответствующих показателей на ближайшие десятилетия. Экстраполяция, разумеется, не претендует на исчерпывающую точность, но дает представление о направленности трансформации водоема.

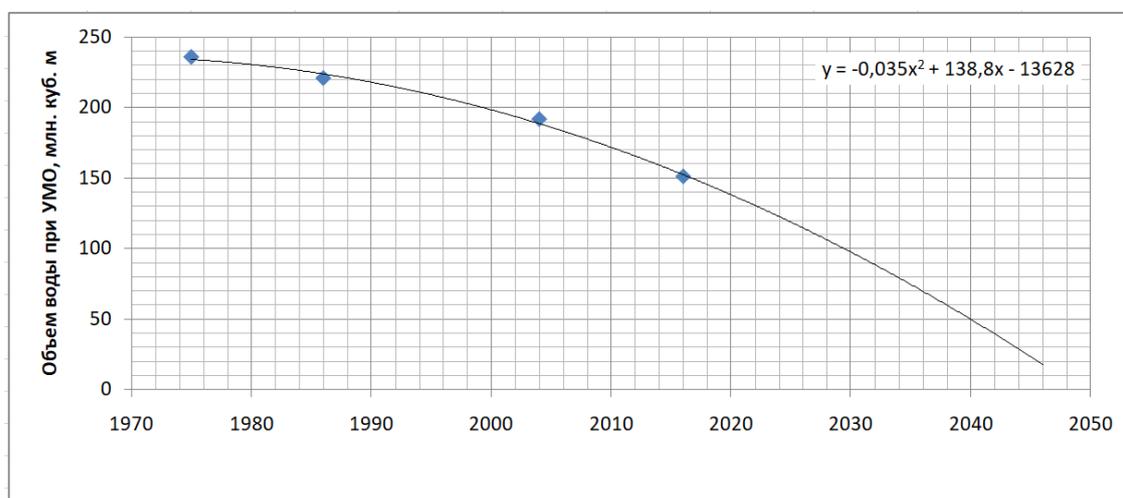


Рис. 5. Изменение объема воды в Краснодарском водохранилище при уровне мёртвого объема от ввода в эксплуатацию в 1973 г. до 2016 г.

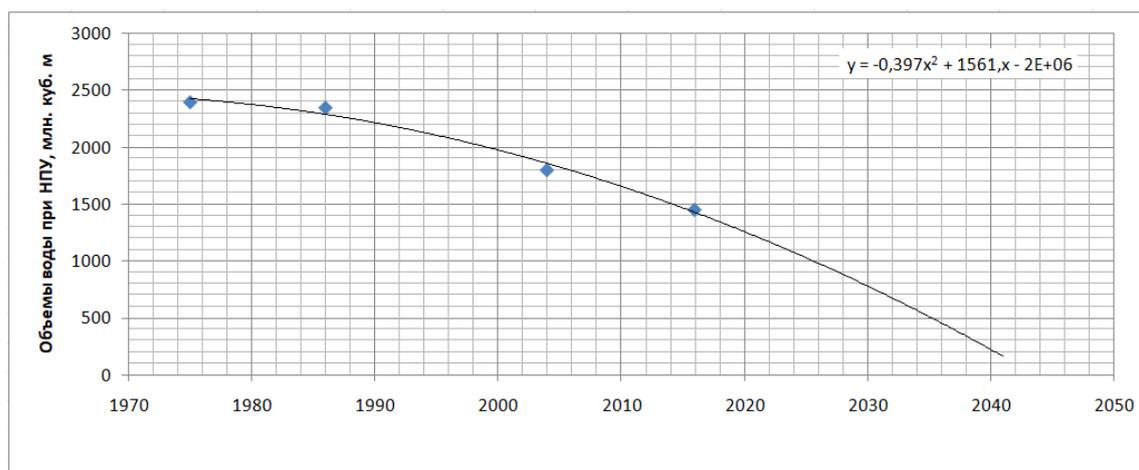


Рис. 6. Изменение объема воды в Краснодарском водохранилище при нормальном подпорном уровне от ввода в эксплуатацию в 1973 г. до 2016 г. В 1993 г. НПУ был снижен с отметки 33,65 м до 32,75 м

Карта распределения толщины тела заиления, т.е. его приращения за период между батиметрическими съемками, приведена на рис. 7. Объем заиления Краснодарского водохранилища за анализируемый период составил 83,2 млн м³, что составляет в среднем 6,9 млн м³ в год. Последний показатель, полученный независимым способом, близок к оценкам [2; 15].

Максимальное увеличение толщины тела заиления (4–8 м и более) отмечено в пределах устьевого взморья р. Кубани на левобережной пойменной террасе затопленной долины напротив станицы Старокорсунской и хутора Ленина (рис. 7). Значительно увеличилась толщина тела заиления в устье р. Пшиш – до 1,5–2 м. На большей части акватории заиление не превышает 0,5 м при среднем значении для анализируемой площади 0,36 м.

На формирование тела заиления влияет водный режим водохранилища. В рельефе дна современной чаши водохранилища выделим генетически однородные морфологические части с характерными особенностями аккумуляции продуктов твердого стока: устьевые взморья – сопредельные с дельтой мелководные части прибрежной зоны водоема [9], зону постоянного подпора (ниже УМО) и зону переменного подпора. Последняя располагается между следующими точками на

продольном профиле реки (рис. 8): нижняя – пересечение уровня мертвого объема и меженного профиля реки; верхняя – пересечение нормального подпорного уровня с тем же уровнем реки [2].

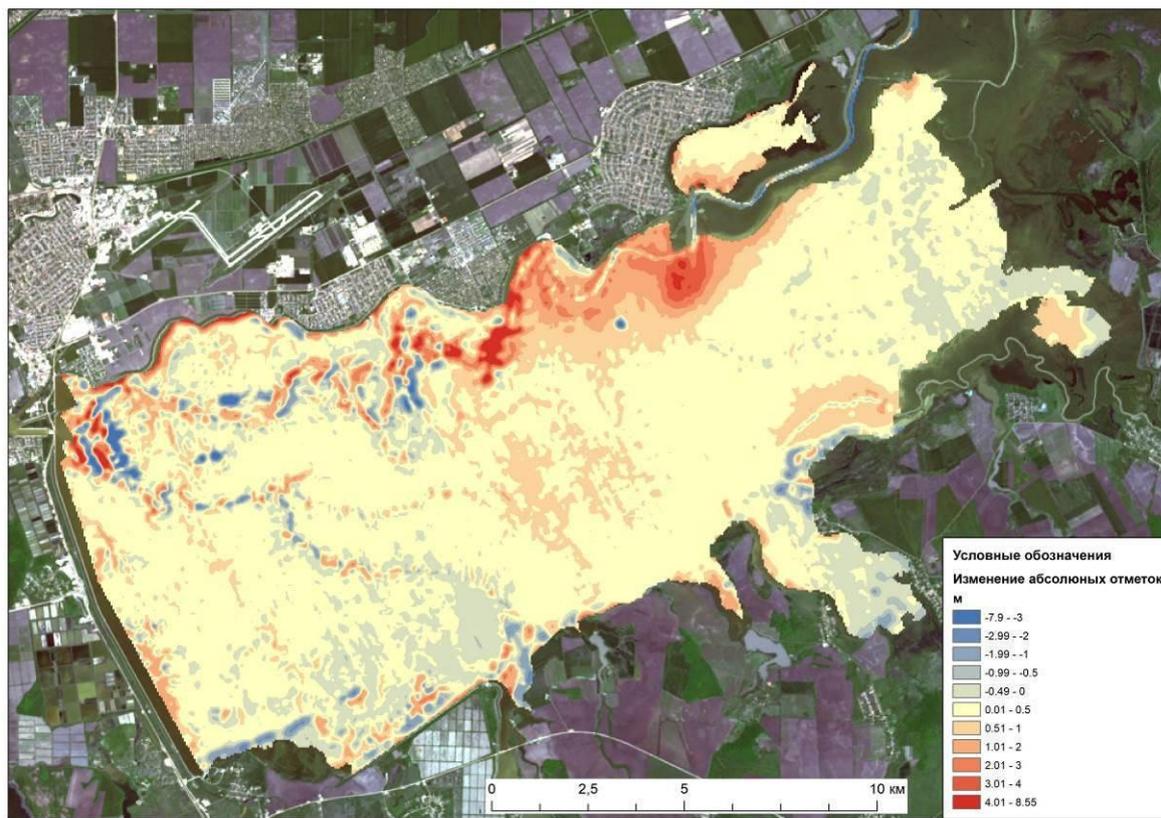


Рис. 7. Приращение тела заиления Краснодарского водохранилища за период 2005–2016 гг.

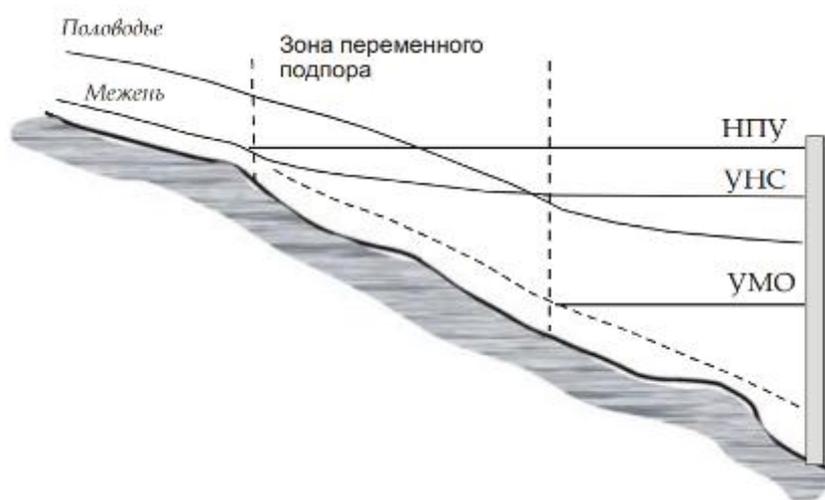


Рис. 8. Схема зоны переменного подпора в продольном профиле водохранилища [2]

Полученные за 2005–2016 гг. данные свидетельствуют о приблизительно равном распределении наносов между указанными зонами (табл. 3). Как видим (рис. 7), примерно треть наносного материала (27,03 млн м³) оказалась сосредоточенной в пределах устьевых взморьев рек Кубань и Пшиш на площади 30,09 км². За анализируемый период среднее приращение толщины тела заиления в этой зоне составило 0,9 м. Другая треть (27,16 млн м³) отложилась ниже изогипсы 25,85 м (УМО) при среднем приращении толщины 0,27 м. Оставшиеся твердые наносы (29,01 млн м³) за период 2005–2016 гг. распределились по зоне переменного подпора на площади 98,6 км².

Примечательным является разделение устьевое взморья Кубани на две разноуровневые зоны (рис. 9), формирующиеся, очевидно, в соответствии с переменным подпором и годовыми колебаниями уровней водохранилища: нижняя – в период сработки и аккумуляции объема воды в чаше, верхняя – в период высоких уровней. Это хорошо согласуется с внутригодовыми изменениями средних суточных, максимальных и минимальных уровней водохранилища по данным Кубанского бассейнового водного управления [12]. На графике (рис. 10) отчетливо выделяются характерные фазы водного режима водохранилища: с марта по июль с уровнями, близкими к НПУ, резкое падение уровней в августе и плавный рост к весне.

Таблица 3

Объемы приращенения тела заиления за период 2005–2016 гг. в морфологически однородных зонах чаши Краснодарского водохранилища

Акватория	Площадь, км ²	Средняя толщина тела заиления, м	Объем тела заиления	
			млн. м ³	%
Вся чаша	228,6	0,36	83,20	100
Зона постоянного подпора (ниже УМО)	99,94	0,27	27,16	32,65
Зона переменного подпора (выше УМО)	98,57	0,29	29,01	34,87
Устьевые взморья рек	30,09	0,90	27,03	32,48



Рис. 9. Устьевой (р. Кубань) участок акватории Краснодарского водохранилища 1 октября 2016 г. В результате понижения уровня верхняя часть устьевое взморья осушена, а «функционирует» только нижняя часть. Снимок DigitalGlobe, Inc.

Заключение

Данные батиметрических съемок с последующим построением ЦМР позволяют оценить объем тела заиления и динамику изменений морфометрических показателей Краснодарского водохранилища, произошедших за период между съемками (2005 и 2016 гг.).

Объем водохранилища при НПУ на площади 229 млн км² сократился на 83,2 млн м³, объем при УМО – на 41,6 млн м³. Площадь зеркала при УМО уменьшилась на 16,1 км² и составляет 99,6 км². Средняя глубина при НПУ уменьшилась на 0,36 м. Процесс заиления сопровождается эвтрофикацией и зарастанием литорали водоема кустарником и древесной растительностью практически на всей площади литорали.

Объем заиления Краснодарского водохранилища (без отчлененного Тшицкого водоема с самостоятельным водным режимом) за 2005–2016 гг. составил 83,2 млн м³. Примерно треть объема тела заиления (27,03 млн м³) оказалась сосредоточенной в пределах устьевых взморьев рек Кубань и Пшиш на площади 30,09 км². Установлено, что устьевое взморье Кубани делится на две разноуровневые части, формирующиеся в соответствии с переменным подпором и годовыми колебаниями уровней водохранилища.

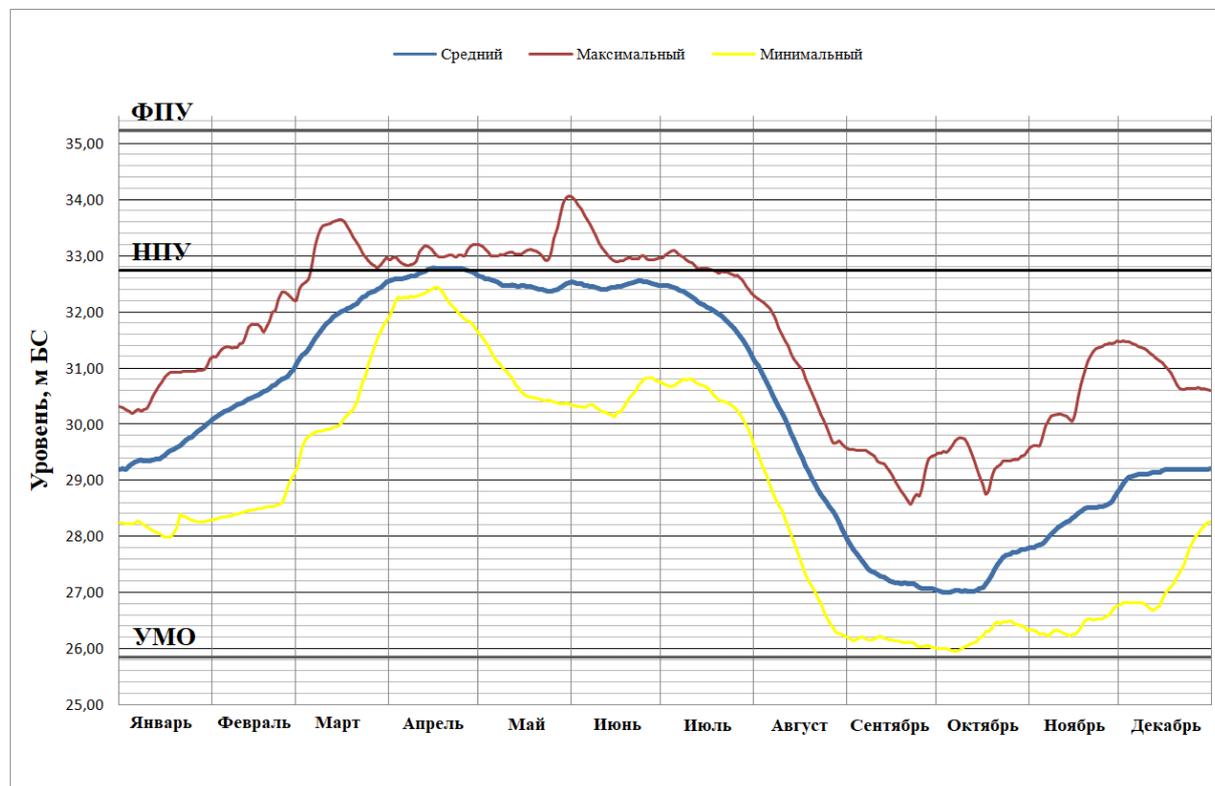


Рис. 10. Годовой ход уровней Краснодарского водохранилища в верхнем бьефе за период 2005–2016 гг.

За анализируемый период среднее приращение толщины тела заиления в зоне устьевых взморья составило 0,9 м. Около трети твердого стока (27,16 млн м³) отложилось ниже изогипсы 25,85 м (УМО) при среднем приращении толщины тела заиления 0,27 м. В зоне переменного подпора на площади 98,6 км² объем заиления за период 2005–2016 гг. составил 29,01 млн м³.

Аккумулятивный конус выноса р. Кубани в 2005–2016 гг. продвигался в чаше водохранилища в сторону плотины со скоростью примерно 0,62 км/год. Выполненные расчеты дают основания предполагать, что при сохранении существующей скорости продвижения аккумулятивный конус достигнет УМО к 2030–2032 гг. После этой фазы, вне зависимости от подпора, темп заиления мертвого объема значительно ускорится, что приведет к неизбежной деградации Краснодарского водохранилища в ближайшие десятилетия.

Библиографический список

1. Бельчиков В.А., Борщ С.В., Мухин В.М., Полунин А.Я. Опасные паводки в бассейне р. Кубань и методы их прогнозирования // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада, лтд, 2010. С. 401–422.
2. Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 163 с.
3. Догановский А.М., Орлов В.Г. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши: учеб. пособие. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. 315 с.
4. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е.. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. М.: Колос, 1984. 205 с.
5. Иванов А.Н., Неговская Т.А. Гидрология и регулирование стока. М.: Колос, 1970. 287 с.
6. Курбатова И.Е. Мониторинг трансформации Краснодарского водохранилища с использованием спутниковых данных высокого разрешения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. №3. С. 42–53.

7. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 500 с.
8. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.
9. Михайлов В.Н. Современные дельты: Строение, образование, эволюция // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. №3. С. 60–66.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. Гидрологические наблюдения на постах / под ред. И.Ф. Карасева и Н.Н. Федорова. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 264 с.
11. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 7. Ч. I. Гидрометеорологические наблюдения на озерах и водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 301 с.
12. Официальный сайт Кубанского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kbvufgu.ru/> (дата обращения: 01.08.2018).
13. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С. Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географический вестник=Geographical bulletin. 2017. №1(40). С. 130–137.
14. Погорелов А.В., Салтагаров А.Д., Киселев Е.Н., Куркина Е.В. Геоинформационный метод в практике региональных физико-географических исследований // Тр. Тебердинского гос. биосферного заповедника. 2007. Вып. 45. Кисловодск: Северо-Кавказское изд-во МИЛ, 200 с.
15. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. ПИИ «Кубаньводпроект». Краснодар, 2008. 158 с.
16. РД 52.08.767-2012. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами "Stream Pro" и "Rio Grande. М.: Росгидромет, 2012.
17. Руководство по топографической съёмке шельфа и внутренних водоемов (ГКИНП-11-157-88). М.: ЦНИИГАиК, 1989.

References

1. Belchikov, V.A., Borsch, S.V., Mukhin, V.M. and Polunin, A.Y., *Opasnyye pavodki v bassejne reki Kuban i metody ikh prognozirovaniya* [Dangerous floods in the Kuban River's Basin and methods of their forecasting], Collection: 80 years of Russian hydrometeorological center. 1939- 2010, 2010, pp. 401–422.
2. Berkovich K.M. *Ruslovye protsessy na rekakh v sphere vliyaniya vodokhranilishch* [Channel processes on rivers in the reservoir sphere of influence]. Moscow: Moscow State University, 2012, 163 p.
3. *Sbornik zadach po opredeleniyu osnovnykh kharakteristik vodnykh obyektov sushi. Uchebnoye posobiye* [Collection of tasks for determining the main characteristics of water bodies on land. Tutorial]. Saint Petersburg: RSHU, 2011. 315 p.
4. Zheleznyakov G.V., Negovskaya T.A., Ovcharov Ye. Ye. *Gidrologiya, gidrometriya i regulirovaniye stoka* [Hydrology, hydrometry and flow regulation]. Moscow: Kolos. 1984. 205 p.
5. Ivanov A.N., Negovskaya T.A. *Gidrologiya i regulirovaniye stoka* [Hydrology and flow regulation]. Moscow: Kolos, 1970. 287 p.
6. Kurbatova, I.E. *Monitoring trasformatsii Krasnodarskogo vodokhranilisha s ispolzovaniyem sputnikovykh dannykh vysokogo razresheniya* [Monitoring of the transformation of the Krasnodar Reservoir using high resolution satellite data], Actual problems of remote sensing of the Earth from space, 2014, vol. 11, no. 3, pp. 42–53.
7. Lurye P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu. *Reka Kuban: gidrografiya i rezhim stoka* [The Kuban River: hydrography and regime of runoff]. Saint Petersburg: Hydrometeoizdat, 2005, 498 p.
8. Mikhaylov V.N., Dobrolyubov S.A. *Gidrologiya: uchebnik dlya vuzov* [Hydrology: Tutorial for University]. Moscow, Berlin: Direct-Media, 2017, 752 p.
9. Mikhaylov V.N. *Rechnyye delty: struktura, obrazovaniye, evolyutsiya* [River deltas: structure, formation, evolution]. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal = Soros educational bulletin*, 2001, Volume 7, no. 3, pp. 60-66.
10. Manual for hydrometeorological stations and posts. Issue 2. Part II. Hydrological observations at the posts. Ed: Karasev I.F., Fedorov N.N. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1975, 264 p.
11. Manual for hydrometeorological stations and posts. Issue 7. Part I. Hydrometeorological observations on lakes and reservoirs. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974, 301 p.
12. The official site of the Kuban Basin Water Administration of the Federal Agency for Water Resources, available at: <http://www.kbvufgu.ru/> (Accessed 1 August 2018).

13. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kurnosova A.S. Sputnikovyy monitoring Krasnodarskogo vodokhranilishcha [Satellite monitoring of the Krasnodar reservoir]. *Geograficheskiy vestnik = Geographical bulletin*, 2017, no. 1 (40), pp. 130-137.

14. Pogorelov, A.V., Salpagarov, A.D., Kiselev, E.N. and Kurkina, E.V. (2007), *Geoinformacionnyi metod v praktike regionalnykh fizokogeograficheskikh issledovaniy* [Geoinformation method in the practice of regional physiographic studies], North Caucasus publishing, Kislovodsk, Russia. 2017, 200 p.

15. *Pravila ispolzovaniya vodnykh resursov Krasnodarskogo vodokhranilishcha* [Rules for the using of water resources of the Krasnodar Reservoir], Design and surveying institute «Kubanvodproekt», Krasnodar, 2008, 158 p.

16. RD 52.08.767-2012. Raskhod vody na vodotokakh. Metodika izmereniy akusticheskimi doplerovskimi profilografami «Stream Pro» i «Rio Grande» [Guidance Document 52.08.767-2012. Water discharge in streams. The measurement procedure with the acoustic Doppler profilographs "Stream Pro" and "Rio Grande"], Federal State Institution «State Hydrological Institute» of Hydromet, 2012.

17. *Rukovodstvo po topograficheskoy syomke shelfa i vnutrennikh vodoyomov* (GKINP -11-157-88) [Topographical survey of the shelf and inland waters. Manual.], Moscow: Central Scientific Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography, 1989.

Поступила в редакцию: 03.09.2018

Сведения об авторе

Лагута Андрей Александрович

главный специалист отдела наблюдательной сети, ГКУ КК «Территориальный центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»; Россия, 350020, г. Краснодар, ул. Рашпилевская, 179/1

About the authors

Andrey A. Laguta

Chief Specialist, Department of Observation Network, Krasnodar Region State Institution «Territorial Center for Monitoring and Forecasting Emergency Situations of Natural and Technogenic Character»; 179/1, Rashpilevskaya st., Krasnodar, 350020, Russia

e-mail: alaguta@icloud.com

Погорелов Анатолий Валерьевич

доктор географических наук, заведующий кафедрой геоинформатики, Кубанский государственный университет; Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149

Anatoly V. Pogorelov

Doctor of Geographical Sciences, Head of the Department of Geoinformatics, Kuban State University; 149, Stavropolskaya st., Krasnodar, 350040, Russia

e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности заиления краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съёмов // *Географический вестник = Geographical bulletin*. 2018. №4(47). С. 54–66. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66

Please cite this article in English as:

Laguta A.A., Pogorelov A.V. Peculiarities of Krasnodar water reservoir silting. Evaluation based on the data of bathymetric surveys // *Geographical bulletin*. 2018. №4(47). P. 54–66. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66