

КАРТЫ И ГИС В ИССЛЕДОВАНИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

MAPS AND GIS IN RESEARCH OF CLIMATE AND ENVIRONMENT CHANGES

УДК: 556.555.6

DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-5-15

А.А. Лагута¹, А.В. Погорелов²

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ЗА ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ (1973–2018 годы)

АННОТАЦИЯ

Краснодарское водохранилище – крупнейший на Северном Кавказе искусственный водоём, имеющий противопаводковые и ирригационные функции. Располагается на территории Краснодарского края и Республики Адыгея. За период эксплуатации с 1973 года водохранилище испытало заметные преобразования, отразившиеся на трансформации чаши водоёма. По данным батиметрических съёмок 2004–2005 годов и 2016 года выполнена оценка многолетних преобразований Краснодарского водохранилища в показателях его контуров, площади, ёмкости, изменений поверхности дна и других характеристик. Данные съёмки с последующим построением ЦМР позволили оценить динамику изменений морфометрических показателей Краснодарского водохранилища, произошедших в процессе его эксплуатации.

В результате заиления водохранилище разделилось на два водоёма; бывшее Тщикское водохранилище оказалась изолированным от западной части Краснодарского водохранилища надводной перемычкой и превратилось в самостоятельный водоём. По данным батиметрических измерений установлено непрерывное уменьшение ёмкости и площади

¹ ГКУ Краснодарского края «Территориальный центр мониторинга и прогнозирования», ул. Раппиневская, 179/1, 350020, Краснодар, Россия, *e-mail*: alaguta@incloud.com

² Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 350040, Краснодар, Россия, *e-mail*: pogorelov_av@bk.ru

Краснодарского водохранилища при одновременном зарастании мелководья кустарником и древесной растительностью. Объём водохранилища при нормальном подпорном уровне на площади 229 млн км² сократился на 83,2 млн м³, объём при уровне мёртвого объёма – на 41,6 млн м³. Площадь зеркала при уровне мёртвого объёма уменьшилась на 16,1 км² и составляет 99,6 км². Средняя глубина при нормальном подпорном уровне уменьшилась на 0,36 м. Процесс заиления сопровождается эвтрофикацией и зарастанием литорали водоёма кустарником и древесной растительностью практически на всей площади литорали.

Объём заиления Краснодарского водохранилища (без отчленённого Тшикского водоема с самостоятельным водным режимом) за 2005–2016 годы составил 83,2 млн м³. Направленность трансформации ведёт к ухудшению противопаводковых и ирригационных функций водохранилища. Установленные темпы заиления, сокращения площади и полезного объёма приведут к деградации Краснодарского водохранилища в ближайшие десятилетия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Краснодарское водохранилище, батиметрическая съёмка, цифровая модель рельефа, заиление, морфометрические характеристики, трансформация

Andrey A. Laguta¹, Anatoly V. Pogorelov²

CHANGE OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE KRASNODAR WATER RESERVOIR FOR THE PERIOD OF ITS OPERATION (1973–2018)

ABSTRACT

Krasnodar Reservoir is the largest in the North Caucasus artificial reservoir, which has anti-flood and irrigation functions. It is located on the territory of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea. For the period of operation since 1973, the reservoir has undergone notable transformations, reflected in the transformation of the thickets of the reservoir. According to the bathymetric surveys of 2004–2005 and in 2016 an estimation of long-term transformations of the Krasnodar Reservoir in terms of its contours, area, capacity, changes in the bottom surface, and other characteristics was performed. The survey data, followed by the construction of a DEM, made it possible to assess the dynamics of changes in the morphometric indices of the Krasnodar Reservoir that occurred during its operation.

As a result of silting, the reservoir was divided into two reservoirs; the former Tchikskoye reservoir was isolated from the western part of the Krasnodar reservoir by a water jumper and turned into an independent reservoir. According to bathymetric measurements, a continuous decrease in the capacity and area of the Krasnodar reservoir is established with simultaneous overgrowing of shoal with shrub and tree vegetation.

The volume of sedimentation of the Krasnodar reservoir (without an isolated Tchikskoye reservoir with an independent water regime) for 2005–2016 amounted to 83.2 million m³. The direction of transformation leads to a deterioration of the flood control and irrigation functions of the reservoir. The established rates of silting, shrinking area and useful volume will lead to the degradation of the Krasnodar Reservoir in the coming decades.

KEYWORDS: Krasnodar Reservoir, bathymetric survey, siltation, digital elevation model, morphometric characteristics, transformation

¹ Territorial Center for Monitoring and Forecasting, Rashpilevskaya str., 179/1, 350020, Krasnodar, Russia, e-mail: alaguta@incloud.com

² Kuban state University, Stavropolskaya str., 149, 350040, Krasnodar, Russia, e-mail: pogorelov_av@bk.ru

ВВЕДЕНИЕ

Краснодарское русловое водохранилище расположено в среднем течении реки Кубани в 242 км от её устья непосредственно выше города Краснодара. Это крупнейший на Северном Кавказе искусственный водоём. Водохранилище простирается на пойменных землях реки Кубани от станицы Воронежской до Краснодара. До затопления водохранилищем левобережная пойма реки Кубани представляла собой естественные плавневые массивы. Чаша водохранилища находится на территории двух субъектов Российской Федерации – Республики Адыгея (87 % площади водоёма при вводе в эксплуатацию) и Краснодарского края (13 %). Площадь водосбора водохранилища составляет 45,9 тыс. км², при этом на Краснодарский край приходится 24,1 тыс. км², на Республику Адыгея – 7,6 тыс. км².

В водохранилище, кроме Кубани, впадают левые её притоки – Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс. Рельеф дна Краснодарского водохранилища на значительной площади унаследован поверхностями еще до его затопления, сформированными естественными геоморфологическими процессами. В поперечном сечении чаша водохранилища имеет корытообразную форму с плоским дном и невысокими бортами. Левый берег преимущественно пологий, уступы редки и приурочены в основном к затопленным приустьевым участкам долин рек. Затопленные боковые долины левобережных притоков образуют своеобразные «эстуарии», вследствие чего береговая линия левобережья характеризуется сильной изрезанностью (рис. 1). Правый берег водохранилища в основном обрывистый с высотами до 10–14 м.



Рис. 1. Краснодарское водохранилище на снимке Landsat 3 29 сентября 1978 года
Fig. 2. Krasnodar Reservoir in the image Landsat 3. September 29, 1978

Эксплуатация Краснодарского водохранилища, начавшаяся в 1973 году, решала целый ряд задач:

- пропуск паводков с расходами до 1500 м³/с и защита от наводнения 600 тыс. га земель с населением более 300 тыс. жителей;
- орошение 215 тыс. га рисовых систем;
- хозяйственно-бытовое и питьевое водоснабжение Краснодара (грунтовые воды, фильтрующиеся из водохранилища), курорта Анапа и Темрюкского района (минимальный сброс в Кубань в период критически низких расходов);
- обеспечение рыбного хозяйства и рассоление до 156 тыс. га Приазовских лиманов;
- улучшение навигационных условий на Нижней Кубани (400 км водных путей).

При вводе в эксплуатацию Краснодарское водохранилище, включившее в своей северо-восточной части построенное в 1940–1941 годах Тшикское водохранилище, имело площадь зеркала около 400 км², длину 46 км, ширину до 8–11 км, среднюю глубину 7 м, максимальную глубину до 18 м, полезный объём воды 2,2 км³ [Лурье и др., 2005] при полной ёмкости около 3 км³. Наполнение водой до проектного нормального подпорного уровня произошло в 1977 году. Основные гидрометрические характеристики водохранилища в соответствии с проектным положением представлены в табл. 1.

Табл. 1. Гидрометрические характеристики Краснодарского водохранилища по проектному положению¹
Table 1. Hydrometric characteristics of the Krasnodar reservoir according to project parameters²

Показатели	Проектное положение (на 1973 год)
Ёмкость, млн м ³	
при форсированном уровне (ФУ)	3048
при нормальном подпорном уровне (НПУ) 33,65 м	2396
при уровне мёртвого объёма (УМО)	236
полезная ёмкость (при НПУ=33,65 м)	2160
противопаводковой призмы (при НПУ=33,65 м)	652
мёртвого 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

Анализу трансформации Краснодарского водохранилища с оценками изменений морфометрических характеристик посвящено ограниченное количество публикаций [Курбатова, 2014; Погорелов и др., 2017]. Вместе с тем происходящие изменения водохранилища при всей его хозяйственной значимости заслуживают детального количественного анализа.

¹ Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. Краснодар: ПИИ «Кубаньводпроект», 2008. 158 с.

² Rules for the using of water resources of the Krasnodar Reservoir. Design and surveying institute “Kubanvodproekt”, Krasnodar, 2008. 158 p. (in Russian)

За период своей эксплуатации водохранилище испытало весьма заметные преобразования и продолжает трансформироваться. Динамическое равновесие речной системы было нарушено в момент возведения плотины, и в настоящий момент система находится далеко от него в представлениях вещественного баланса. Подпор внёс изменения в гидравлический режим водотока – уменьшил уклоны свободной поверхности воды, скорости течения, увеличил глубины потока. Вследствие этого влекомые и взвешенные наносы аккумулируются в чаше водоёма.

Река Кубань характеризуется одним из наиболее высоких показателей мутности среди рек России, на которых построены водохранилища. Так, в 1940–1960 годах мутность Кубани в среднем составляла $0,68 \text{ кг/м}^3$, а сток взвешенных наносов в среднем был равен 8,4 млн т; наносы реки Белой – левого притока Кубани – оцениваются в 2 млн т [Беркович, 2012]. По данным Правил использования... (2008, см. ссылку на с. 8), в водохранилище осаждается 97–98% объёма поступающего твёрдого стока; при этом средний годовой сток наносов пяти основных рек (Кубань, Лаба, Белая, Псекупс, Пшиш) равен 6 млн м^3 . Дополнительно на заиление влияет переработка 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 отметках воды ниже 32,2 м представляет собой замкнутый водоём объёмом до 64 млн м^3 . В устье реки Белой образовался водораздел, отгораживающий реку от водохранилища. Средние глубины воды в Тщикском водоёме не превышают 1,5 м. Заиление чаши бывшего Тщикского водохранилища происходит значительно активнее, чем остальной площади. В период с 1985 по 2005 годы мощность иловых отложений выросла здесь от 1,5 м до 2,0 м (Правила..., 2008, ссылка на с. 8). В настоящее время Тщикское водохранилище имеет собственный гидрологический режим, практически не зависящий от основной части Краснодарского водохранилища.

Заиление, как известно, влечёт за собой утрату регулирующего значения водохранилищ [Иванов, Неговская, 1970]. Между тем, объём тела заиления Краснодарского водохранилища непрерывно увеличивается. Существуют методы, позволяющие выполнять мониторинг и оценку объёмов тела заиления, а также актуализацию значений основных морфометрических характеристик водоёма. В работе ставились задачи по данным батиметрических съёмок определить объём тела заиления за период между батиметрическими съёмками (2005–2016 годы), установить тенденции и особенности процесса заиления, рассчитать изменения ключевых морфометрических характеристик Краснодарского водохранилища на основе цифрового моделирования рельефа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходными материалами для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) явились данные батиметрических съёмок Краснодарского водохранилища в 2004–2005 годах и 2016 году, выполненных с участием авторов. Съёмки проводились в соответствии с Руководством по топографической съёмке (1989)¹. Батиметрическая съёмка выполнялась профилографом «Rio Grande 1200 kHz»², обеспечивающим автоматизированное позиционирование каждой промерной точки в прямоугольных плановых координатах X и Y относительно начальной точки. Методика и порядок измерения уровней воды любого поверхностного водоёма регламентируется Наставлениями Росгидромета [Наставление..., 1974; 1975]. Базовым

¹ Руководство по топографической съёмке шельфа и внутренних водоёмов (ГКИНП-11-157-88). М.: ЦНИИ-ГАиК, 1989

² РД 52.08.767-2012. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами «Stream Pro» и «Rio Grande»// (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета, 2012

уровнем водной поверхности Краснодарского водохранилища в период проведения батиметрической съёмки служил уровень, ежедневно публикуемый Кубанским бассейновым водным управлением¹. По данным координат начальной точки батиметрической съёмки в системе координат Пулково 95 и отметки в Балтийской системе (БС) высот 1977 года производился автоматизированный пересчёт всех измерений точек промера дна в координаты Пулково 95 с приведением к Балтийской системе высот.

Междугалсовые расстояния при батиметрической съёмке водохранилища установлены равными 100 м (рис. 2). Для детализации участков дна водохранилища со сложным рельефом (старые русла Кубани и Псекупса, участок вблизи шлюзов водохранилища, северная часть водоёма с наличием ям и пр.), дополнительно прокладывались галсы сгущения. Направления всех промерных галсов, как для основной чаши Краснодарского водохранилища, так и для отделившегося от него бывшего Тшикского водохранилища, установлены параллельными главной плотине водохранилища с дирекционным углом галсов 151–331°.

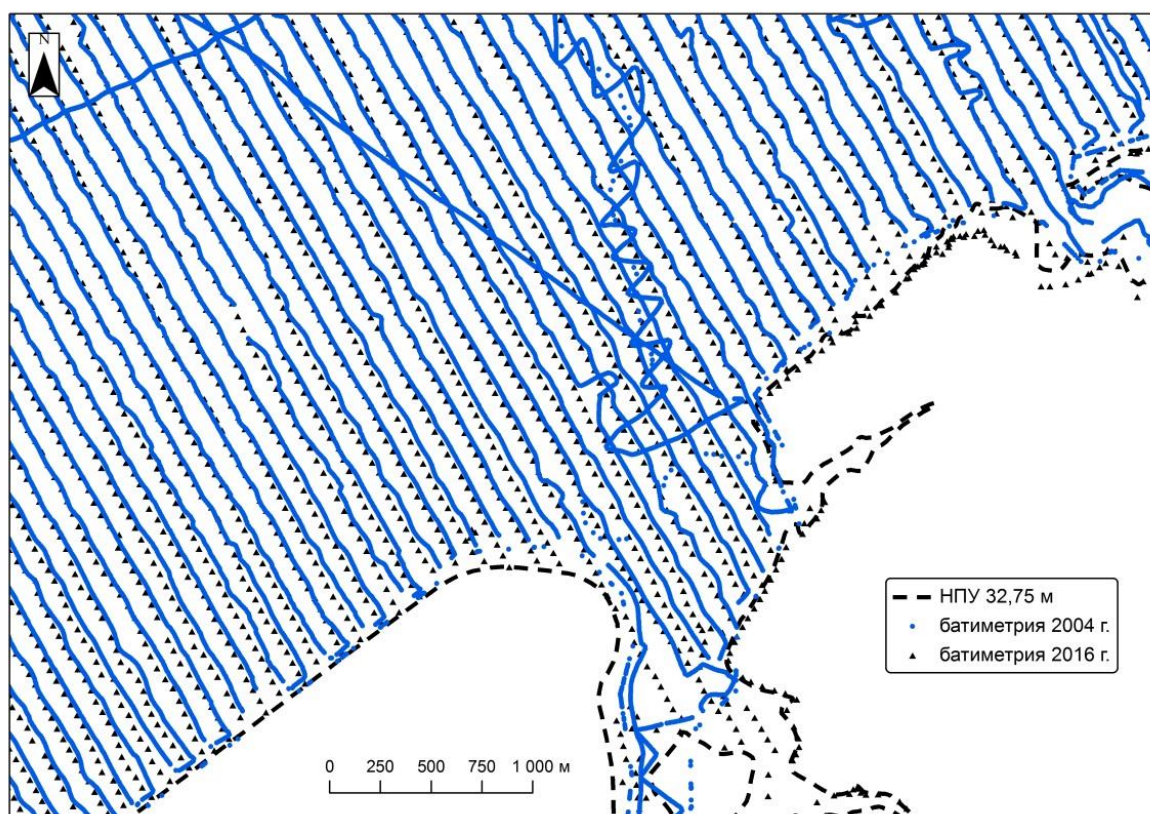


Рис. 2. Схема расположения промерных галсов при батиметрических съёмках Краснодарского водохранилища (фрагмент в районе устьевой части р. Псекупс)

Fig. 2. Scheme of the location of survey lines during bathymetric surveys of the Krasnodar Reservoir (fragment in the mouth area of the Psekups River)

¹ Официальный сайт Кубанского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов: <http://www.kbvuv-fgu.ru/> (дата обращения: 01.08.2018).

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 протяжённости до 12 км в приплотинной части водохранилища. Средние расстояния между промерными точками составляли 2,4 м. Суммарная протяжённость промерных маршрутов, пройденных при батиметрической съёмке Краснодарского водохранилища в 2016 году, составила 3525 км с общим количеством точек измерения глубин 1,451 млн.

Обработка материалов съёмок и построение ЦМР выполнены в программе ArcGIS (ESRI). Построены ЦМР чаши Краснодарского водохранилища по состоянию на 2005 и 2016 годы с пространственным разрешением, соответствующим плотности исходных промерных точек. Подобное пространственное разрешение позволяет анализировать морфометрические особенности дна водоёма в масштабе мезо- и микроформ рельефа (затопленные русла, морфология устьевых баров и взморья, ямы и тому подобное). Расчёт объёмов и площадей зеркала водохранилища в 2016 году выполнен для характерных уровней – НПУ и УМО.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе эксплуатации Краснодарского водохранилища в районе дельты реки Белой образовались зона мелководья и обширная надводная перемычка, разделившая Краснодарское водохранилище на два самостоятельных водоёма – западный и восточный (на месте бывшего Тщикского водохранилища) (рис. 3). Река Кубань на выходе из расширяющейся перемычки продолжает в настоящее время формировать свою выносную дельту в сторону плотины. Ширина перемычки вместе с областью заиления при низких уровнях воды достигает 10–17 км. Перемычка с большим количеством мелких водоёмов заросла растительностью.

По данным батиметрических измерений 2016 года построены гипсометрическая карта дна водоёма 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. Так, за период от ввода водохранилища в эксплуатацию до 2005 года объём этого изъятия составил около 70 млн м³ (Правила..., 2008, см. ссылку на с. 8).

Основные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища, включая ёмкости и площади зеркала, отражающие направленность трансформации его чаши, приведены в таблице 2.

Полученные показатели (табл. 2) свидетельствуют о непрерывном уменьшении ёмкости и площади Краснодарского водохранилища при одновременном зарастании мелководья кустарником и древесной растительностью (рис. 5). В 2016 году 36,70 км², то есть 16 % площади зеркала, при НПУ приходились на затопленные 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 водоёма с абсолютными отметками выше 30,75 м заросли практически полностью. С использованием вегетационного индекса NDVI установлено, что наиболее интенсивно происходит зарастание в юго-западной части выдвинутой дельты реки Белой, где формируется пойменный лес.

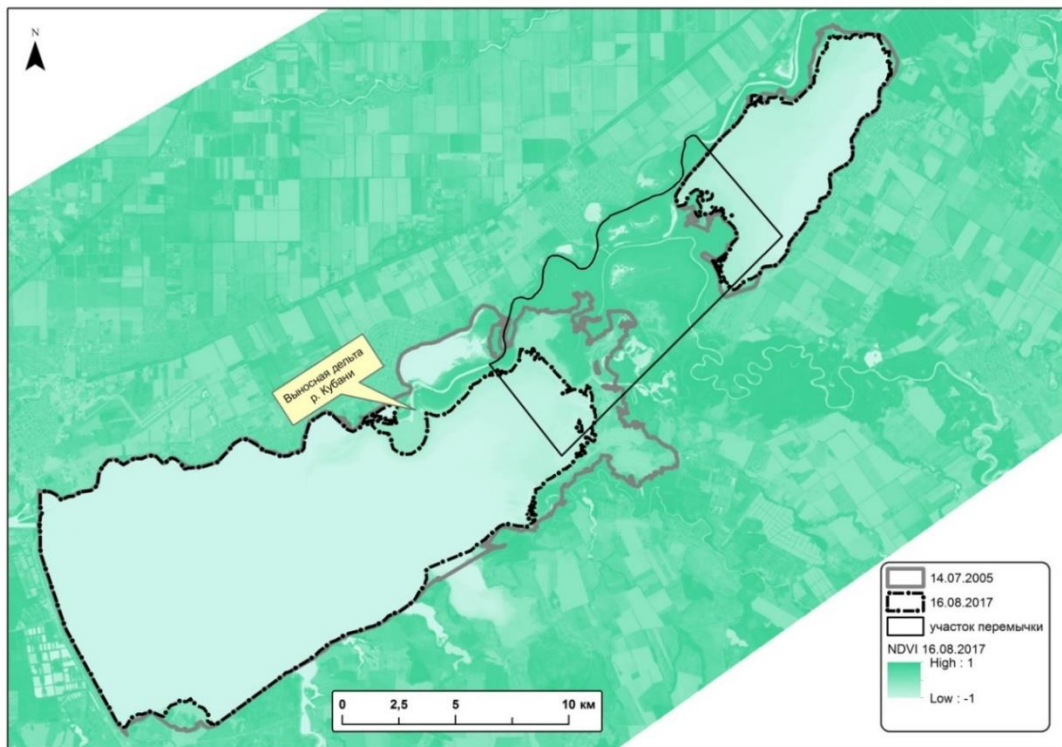


Рис. 3. Изменение контуров Краснодарского водохранилища в 2005–2017 годах.
В качестве подложки использован вегетационный индекс NDVI (16.08.2017)

Fig. 3. Changes in the contours of the Krasnodar Reservoir in 2005–2017.
Index NDVI was used as a substrate (16.08.2017)

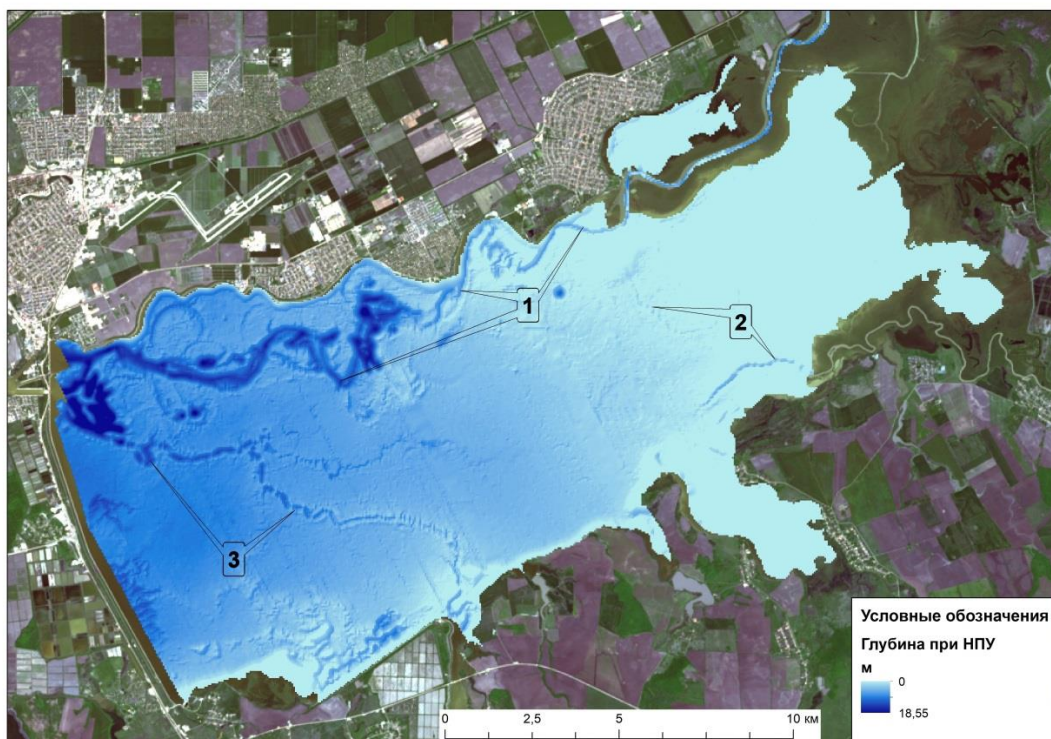


Рис. 4. Глубина Краснодарского водохранилища при нормальном подпорном уровне, 2016. Цифрами показаны затопленные русла рек Кубани (1), Пшиша (2) и Псекупса (3)

Fig. 4. The depth of the Krasnodar reservoir at a normal retaining level, 2016.
The numbers show flooded riverbeds of the Kuban (1), Pshish (2) and Psekups (3)

Табл. 2. Основные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища по данным геодезических (в том числе батиметрических) съёмок разных лет и проектным данным

Table 1. The main morphometric characteristics of the Krasnodar reservoir according to the data of geodetic (including bathymetric) surveys of different years and project parameters

Показатели	Проектные характеристики, 1973 год	Характеристики по съёмкам, годы		
		1985–1986	2004–2005	2016*
Ёмкость, млн м³				
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
мёртвого объёма	236	221	192	151,42
Площадь зеркала, км²				
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				
Максимальная	11,0	11,0	11,0	11,0
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

* Данные без учёта Тщикского водоёма и образовавшейся надводной перемычки. Площадь зеркала Тщикского водоёма в 2016 году при уровне 32,75 м равна 46,75 км², объём – 87,57 млн м³, средняя глубина – 1,87 м

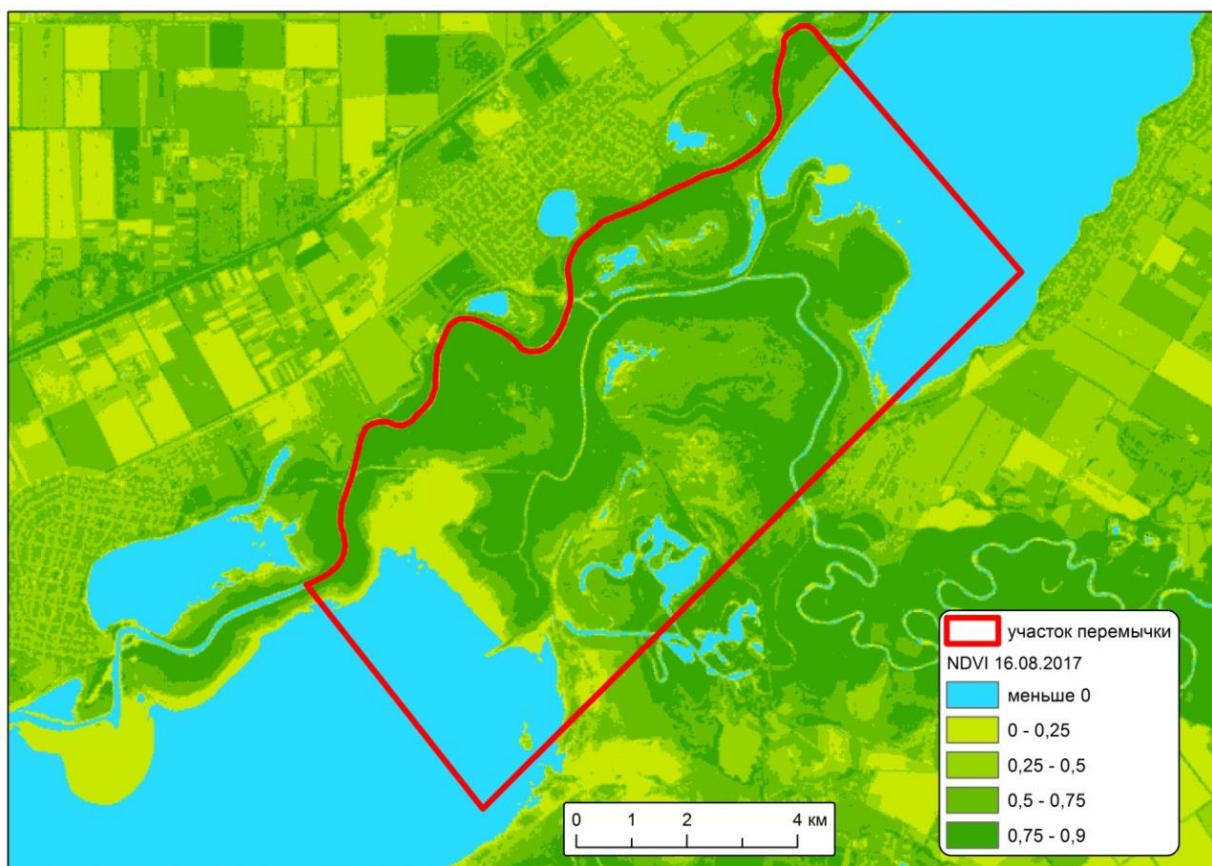


Рис. 5. Распределение относительной фитомассы (вегетационный индекс NDVI) в августе 2017 года в районе перемычки

Fig. 5. Distribution of relative phytomass (vegetative index NDVI) in August 2017 in the dam area

ВЫВОДЫ

Выполнена оценка многолетних (1973–2018 годы) преобразований руслового Краснодарского водохранилища в показателях его контуров, изменений поверхности дна и объёма, а также зарастания растительностью образовавшейся перемычки между западным и восточным водоёмами. Данные батиметрических съёмок с последующим построением ЦМР позволили оценить объём тела заиления и динамику изменений морфометрических показателей Краснодарского водохранилища, произошедших за период между съёмками (2005 и 2016 годы).

Объём водохранилища при НПУ на площади 229 млн. км² сократился на 83,2 млн. м³ (то есть на объём заиления), объём 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 водоёма кустарником и древесной растительностью практически на всей площади литорали.

Такие преобразования чаши Краснодарского водохранилища, несомненно, ухудшают его противопаводковые и ирригационные функции, а выявленные темпы заиления неизбежно ведут к ускорению в ближайшие десятилетия трансформации водохранилища. По нашим оценкам аккумулятивный конус Кубани, формирующий выносную дельту в сторону плотины, достигнет уровня мёртвого объёма не позднее 2030–2032 годов, что приведёт к качественно новой фазе существования искусственного водоёма – деградации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович К.М. Руслловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 163 с.
2. Иванов А.Н., Неговская Т.А. Гидрология и регулирование стока. М.: Колос, 1970. 287 с.
3. 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.
4. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 500 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрологические наблюдения на постах. Ред. д-р технических наук И.Ф. Карасёв и Н.Н. Фёдоров. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Гидрометеиздат, 1975. Вып. 2. Ч. II. 264 с.
6. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрометеорологические наблюдения на озерах и водохранилищах. Л.: Гидрометеиздат, 1974. Вып. 7. Ч. I. 301 с.
7. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С. Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища. Географический вестник, 2017. № 1 (40). С. 130–137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137.

REFERENCES

1. Berkovich K.M. Channel processes on rivers in the reservoir sphere of influence. Moscow: Moscow State University, 2012, 163 p. (in Russian).
2. Ivanov A.N., Negovskaya T.A. Hydrology and flow regulation. Moscow: Ear, 1970. 287 p. (in Russian).
3. Kurbatova I.E. Monitoring of the transformation of the Krasnodar Reservoir using high resolution satellite data. Actual problems of remote sensing of the Earth from space, 2014. V. 11. No 3. P. 42–53 (in Russian).
4. Lurye P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu. The Kuban River: hydrography and regime of runoff. St Petersburg: Hydrometeoizdat, 2005. 498 p. (in Russian).
5. Manual for hydrometeorological stations and posts. Hydrological observations at the posts. Ed. by I.F. Karasyov, N.N. Fyodorov. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1975. Iss. 2. P. II. 264 p. (in Russian).
6. Manual for hydrometeorological stations and posts. Hydrometeorological observations on lakes and reservoirs. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974. Iss. 7. P. I. 301 p.
7. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kurnosova A.S. Satellite monitoring of the Krasnodar reservoir. Geographical bulletin, 2017. No 1 (40). P. 130–137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137 (in Russian).