

УДК: 556.555.6

DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-536-551

А.В. Погорелов¹, А.А. Лагута², М.В. Кузякина³

**ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
КРУПНОГО РАВНИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА
(по данным измерений на Краснодарском водохранилище)**

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены результаты анализа и обобщения материалов батиметрических съемок Краснодарского водохранилища в 2005, 2016 и 2021 гг. Краснодарское водохранилище в мелиоративном комплексе Кубани занимает ключевое положение, поэтому его преобразования, вызванные заилением, нельзя недооценивать. Особое внимание уделено геоморфологическим аспектам трансформации ложа водохранилища в процессе заиления, непосредственно влияющего на морфометрические характеристики водоема. По данным серии батиметрических съемок построены цифровые модели рельефа котловины и карты, отражающие распределение донных отложений и процессы морфолитогенеза ложа. За период 2005–2021 гг. объемы аккумуляции наносов в основном водоеме без учета отчленившегося Тщикского водоема и дельтовых отложений разделяющей перемычки составили 127 млн м³. Наибольший вклад в геоморфологические преобразования вносят флювиальные процессы, с участием которых формируются дельты впадающих в водохранилище рек (Кубань, Белая, Пшиш и др.) и устьевые взморья. Так, за 2016–2021 гг. в пределах устьевого взморья Кубани объем наносов составил 9,36 млн м³ или 38 % общего объема тела заиления в водоеме, а приращение слоя заиления за 5 лет достигло 2–3 м и более. В пределах зоны переменного подпора в открытой части акватории донные отложения распределяются относительно равномерно с приращением слоя наносов за 5 лет 0,01–0,4 м. Наиболее низкие скорости приращения слоя наносов отмечены в зоне мертвого объема – менее 2 см в год. За исследуемый период зафиксировано уменьшение среднегодовых объемов заиления, что, предположительно, указывает на постепенное затухание процесса заиления по мере уменьшения объема водохранилища.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Краснодарское водохранилище, батиметрическая съемка, цифровая модель рельефа, заиление, морфолитогенез, морфометрические характеристики

¹ Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 3500040, Краснодар, Россия; e-mail: pogorelov_av@bk.ru

² Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 3500040, Краснодар, Россия; e-mail: alaguta@icloud.com

³ Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 3500040, Краснодар, Россия; e-mail: marinavkuzyakina@gmail.com

Anatoly V. Pogorelov¹, Andrey A. Laguta², Marina V. Kuzyakina³

**GEOMORPHOLOGICAL ASPECTS OF THE TRANSFORMATION
OF A LARGE PLAIN RESERVOIR
(according to measurements at the Krasnodar reservoir)**

ABSTRACT

The article considers the results of the analysis and generalization of the materials of bathymetric surveys of the Krasnodar reservoir in 2005, 2016 and 2021. The Krasnodar reservoir occupies a key position in the Kuban reclamation complex, so its transformations caused by siltation cannot be underestimated. Special attention is paid to the geomorphological aspects of the transformation of the reservoir bed in the process of siltation, which directly affects the morphometric characteristics of the reservoir. According to a series of bathymetric surveys, digital elevation models of the basin and maps reflecting the distribution of bottom sediments and the processes of morpholithogenesis of the bed were constructed. During the period 2005–2021, the volume of sediment accumulation in the main reservoir, excluding the separated Tschikskoe reservoir and deltaic sediments of the dividing bridge, amounted to 127 million m³. The greatest contribution to geomorphological transformations is made by fluvial processes, with the participation of which deltas of rivers flowing into the reservoir (Kuban, Belaya, Pshish, etc.) and estuarine avandeltas are formed. So, for 2016–2021, within the mouth of the Kuban seashore, the volume of sediments amounted to 9.36 million m³ or 38 % of the total volume of the siltation body in the reservoir, and the increment of the siltation layer over 5 years reached 2–3 m or more. Within the zone of variable backwater in the open part of the water area, bottom sediments are distributed relatively evenly with an increment of the sediment layer over 5 years of 0.01–0.4 m. The lowest rates of sediment layer increment were observed in the dead volume zone – less than 2 cm per year. During the study period, a decrease in the average annual volume of situation was recorded, which presumably indicates a gradual attenuation of the siltation process as the volume of the reservoir decreases.

KEYWORDS: Krasnodar reservoir, bathymetric survey, digital elevation model, siltation, morpholithogenesis, morphometric characteristics

ВВЕДЕНИЕ

Краснодарскому водохранилищу как ключевому объекту ирригационной системы Краснодарского края и одновременно крупнейшему природно-техногенному объекту в бассейне р. Кубани в последние годы уделяется повышенное внимание [Курбатова, 2008, 2013; Литовка и др., 2019; Лагута, Погорелов, 2020; Pogorelov et al., 2021] в связи с существенным изменением проектных характеристик и очевидными проявлениями разнообразных трансформаций. Этот искусственный водоем, введенный в эксплуатацию в 1973 г., служит основным источником воды для посевов риса в Краснодарском крае с ежегодным лимитом забора воды на орошение около 3,35 млрд м³. При этом в регионе с преимущественно семиаридными условиями наблюдается неуклонный рост

¹ Kuban State University, Stavropolskaya str., 149, 3500040, Krasnodar, Russia; e-mail: pogorelov_av@bk.ru

² Kuban State University, Stavropolskaya str., 149, 3500040, Krasnodar, Russia; e-mail: alaguta@icloud.com

³ Kuban State University, Stavropolskaya str., 149, 3500040, Krasnodar, Russia; e-mail: marinavkuzyakina@gmail.com

водопотребления на сельскохозяйственные и производственные нужды. Подобные Краснодарскому водоему, долинные водохранилища, как правило, являются сложными и динамичными объектами, что обусловлено равнинным характером рельефа и режимом колебания уровней вод [Курбатова, 2008]. Таким образом, Краснодарское водохранилище как сложный и динамичный объект требует организованного наблюдения (мониторинга) и комплексного изучения, включая геоморфологические исследования. До сих пор геоморфологическим аспектам трансформации водоема не уделялось должного внимания. Отметим, что на недостаточную изученность процессов рельефообразования и осадконакопления котловин водохранилищ, механизмов процессов морфолито-генеза и проявления их в рельефе и строении осадочных толщ указывают, в частности, работы [Хабидов, 2000; Назаров, 2009].

Краснодарскому водохранилищу (проектные характеристики: площадь – 400 км², полезный объем воды – 2,4 млрд м³) с сезонным регулированием свойственны относительно большие для равнинной территории амплитуды внутригодовых уровней и изменения площади зеркала (рис. 1). Так, в маловодном 2020 г. уровни воды изменялись в пределах 25,61...32,69 м, в многоводном 2021 г. – в пределах 26,38...33,31 м. Подобная амплитуда, выступая фактором формирования ложа котловины, способствует образованию значительных площадей переменного затопления и постоянному перемещению контактной зоны «вода – суша».

В долинное водохранилище, кроме р. Кубани, впадают левые ее притоки – Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс. В формировании рельефа ложа водохранилища и его трансформации в целом ведущая роль принадлежит флювиальным процессам, из которых наиболее активно проявляют себя процессы дельтообразования. За период существования водохранилища эволюция речных дельт Кубани и Белой существенно повлияла на его морфометрические характеристики [Лагута, Погорелов, 2020]. Устьевой участок р. Кубани через несколько лет после начала эксплуатации водохранилища за 1973–1977 гг. преобразовался из дельты выполнения в дельту выдвигания, совмещающую лопастную и клювовидную формы. Площадь, отторгнутая дельтой Кубани от акватории за период 1977–2018 гг., составила 43,23 км². Дельта р. Белой, эволюционирующая с 1941 г., т.е. со времени создания Тщикского водохранилища, в настоящее время представлена обширными отмершими и «действующими» участками, отчленившимися основной водоем от чаши бывшего Тщикского водохранилища (рис. 1). Значительная часть растущей перемычки между основной котловиной Краснодарского водохранилища и котловиной бывшего Тщикского водохранилища в настоящее время представляет собой особый для степных ландшафтов Краснодарского края прибрежный экотон.

О характере трансформации ложа следует судить по распределению донных отложений. По ранее сделанным оценкам [Данекер и др., 1996] наибольших значений (3 м) толщина наносов достигает в затопленных руслах рек Кубань и Белая. По нашим расчетам, за период 2005–2021 гг. суммарные объемы аккумуляции наносов в основном водоеме при нормальном подпорном уровне 32,75 м без учета отчленившегося Тщикского водоема и дельтовых отложений разделяющей перемычки составили 127 млн м³. Именно на этот объем произошло сокращение полезной емкости водохранилища. Постепенно происходит уменьшение и мертвого объема: в последние годы на 3..3,5 млн м³ в год. Для понимания морфолито-генеза ложа водохранилища, а именно – механизмов и динамики заиления, локальных особенностей осадконакопления, включая затопленные русла, транспортировки наносов – необходим анализ пространственного распределения донных отложений по данным повторных батиметрических съемок.

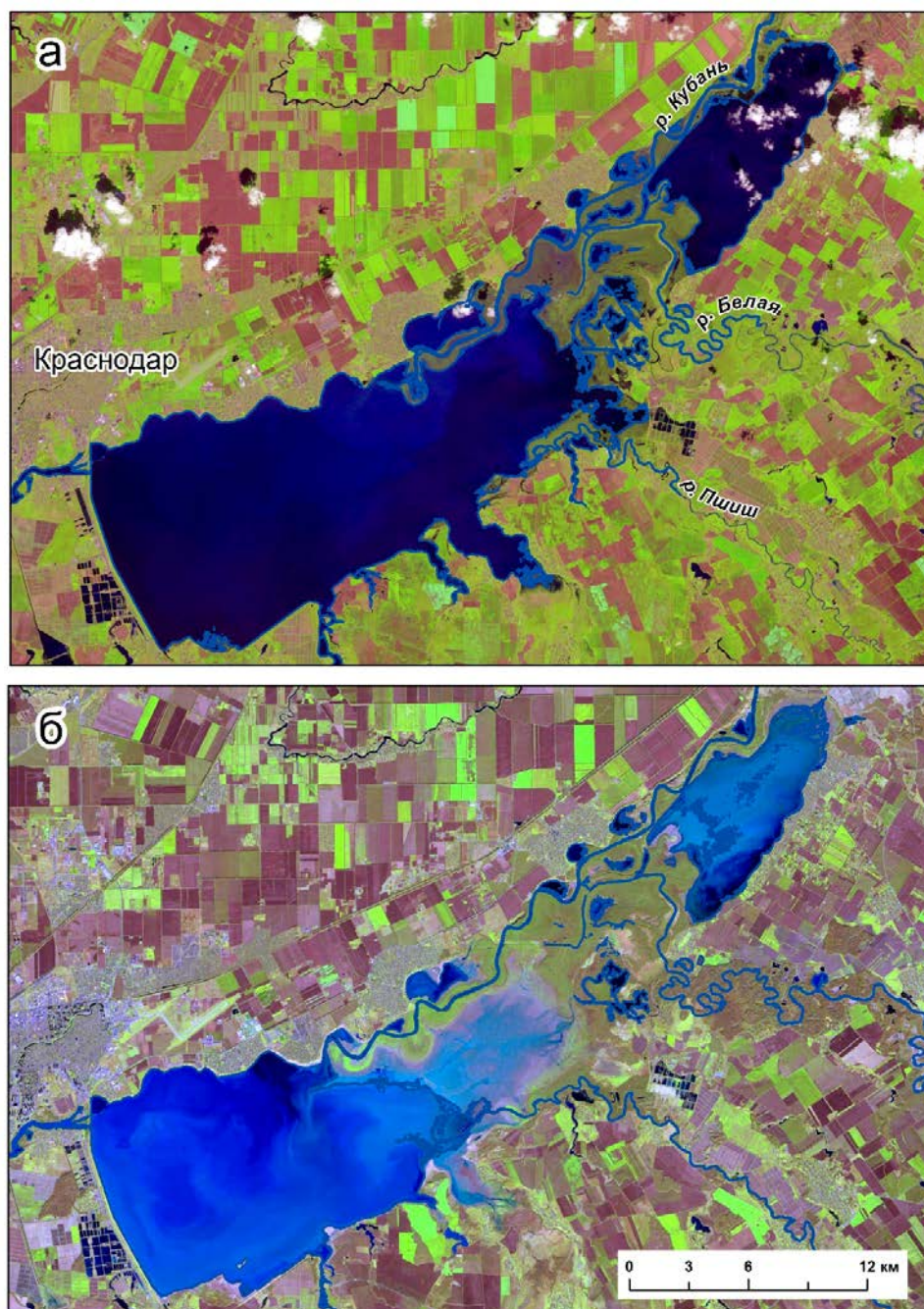


Рис. 1. Краснодарское водохранилище 15.05.2021 при уровне воды 33,02 м (площадь 250,9 км²) (а) и 16.11.2021 при уровне воды 27,97 м (площадь 202,1 км²) (б).
Спутниковые снимки Sentinel-2A

Fig. 1. Krasnodar reservoir on 15.05.2021 at a water level of 33.02 m (area 250.9 km²) (a) and on 16.11.2021 at a water level of 27.97 m (area 202.1 km²) (b).
Satellite images of Sentinel-2A

Настоящее исследование включает: 1) построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) ложа водохранилища, 2) расчет объемов заиления и основных морфометрических характеристик Краснодарского водохранилища, 3) выявление особенностей дифференциации донных отложений на разных участках ложа, 4) установление характерных морфологических особенностей рельефа ложа и осадочных толщ, 5) оценку темпов осадконакопления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных материалов для построения цифровых моделей рельефа использованы данные батиметрических съемок Краснодарского водохранилища 2005, 2016 и 2021 гг. Последняя съемка выполнена нами в июле – октябре 2021 г. Методика проведения съемки изложена в [Лагута, Погорелов, 2020]. Батиметрическая съемка выполнялась профилографами «Rio Grande 1200 kHz» и «Sontek 701»¹, навигация – эхолотом-картплоттером Garmin 585 (рис. 2).



Рис. 2. Маломерное судно, оборудованное для выполнения гидрометрических измерений в Краснодарском водохранилище. 11.08.2021

Fig. 2. Small vessel equipped to perform hydrometric measurements in the Krasnodar reservoir. 11.08.2021

Межгалсовые расстояния при батиметрической съемке водохранилища заданы равными 100 м в соответствии с руководством по топографической съемке шельфа и внутренних водоемов² (рис. 3). Направления всех промерных галсов установлены параллельными главной плотине водохранилища с дирекционными углами галсов 151° и 331°.

В 2021 г. батиметрическая съемка в пределах основной чаши Краснодарского водохранилища проведена по 253 галсам. Средняя протяженность промерного галса в основной чаше водохранилища от одного берега до другого составила около 9 км при максимуме около 12 км в приплотинной части водохранилища. При этом средние расстояния между промерными точками составляли 4,31 м. Суммарная протяженность промерных маршрутов, пройденных при батиметрической съемке Краснодарского водохранилища в 2021 г., составила 2653 км с общим количеством точек измерения глубин 1,001 млн.

¹ РД 52.08.767-2012. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами «Stream Pro» и «Rio Grande. М.: Росгидромет, 2012.

² Руководство по топографической съемке шельфа и внутренних водоемов (ГКИНП-11-157-88). М.: ЦНИИГАиК, 1989.

Общая отработанная площадь водной поверхности Краснодарского водохранилища (без учета заливов) в период проведения батиметрической съемки 2021 г. в основной чаше Краснодарского водохранилища оказалась равной 224 км². Для сравнения: при выполнении съемки в 2016 г., охватившей и акваторию Тшикского водоема (площадь 51 км²), протяженность промерных маршрутов составила 3525 км с 1,451 млн точек измерения глубин. Исходными уровнями водной поверхности Краснодарского водохранилища в период проведения батиметрической съемки служили регулярные измерения уровня, публикуемые Кубанским бассейновым водным управлением¹.



Рис. 3. Расположение промерных галсов в юго-восточной части акватории
 Fig. 3. Location of sounding lines in the southeastern part of the water area

В исследованиях равнинных водохранилищ, направленных на уточнение их морфометрических параметров и изменений объемов, в последние десятилетия широко и успешно применяются ГИС-технологии, опирающиеся на цифровые модели рельефа дна водохранилищ [Белобородов, 2019]. ЦМР чаши Краснодарского водохранилища по состоянию на 2021 г. построена с пространственным разрешением, соответствующим плотности исходных промерных точек. При создании и анализе ЦМР использовались инструменты Spatial Analyst программного комплекса ArcGIS (Esri). Заданное пространственное разрешение позволяет анализировать морфометрические особенности дна водоема в масштабе мезоформ рельефа (затопленные русла, уступы устьевых баров и взморья, прирусловые валы, ямы и т.п.). Объем тела заиления рассчитывался как разность цифровых моделей рельефа. Расчет объемов и площадей зеркала водохранилища в 2021 г. выполнен для характерных уровней – нормального подпорного уровня (НПУ) и уровня мертвого объема (УМО). Расчеты основных морфометрических характеристик водоема проводились стандартными способами.

¹ Официальный сайт Кубанского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов. Электронный ресурс: <http://www.kbvuu-fgu.ru/> (дата обращения 15.02.2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По материалам батиметрических измерений 2021 г. построены гипсометрическая карта дна (рис. 4), карты глубин водохранилища и приращения слоя наносов.

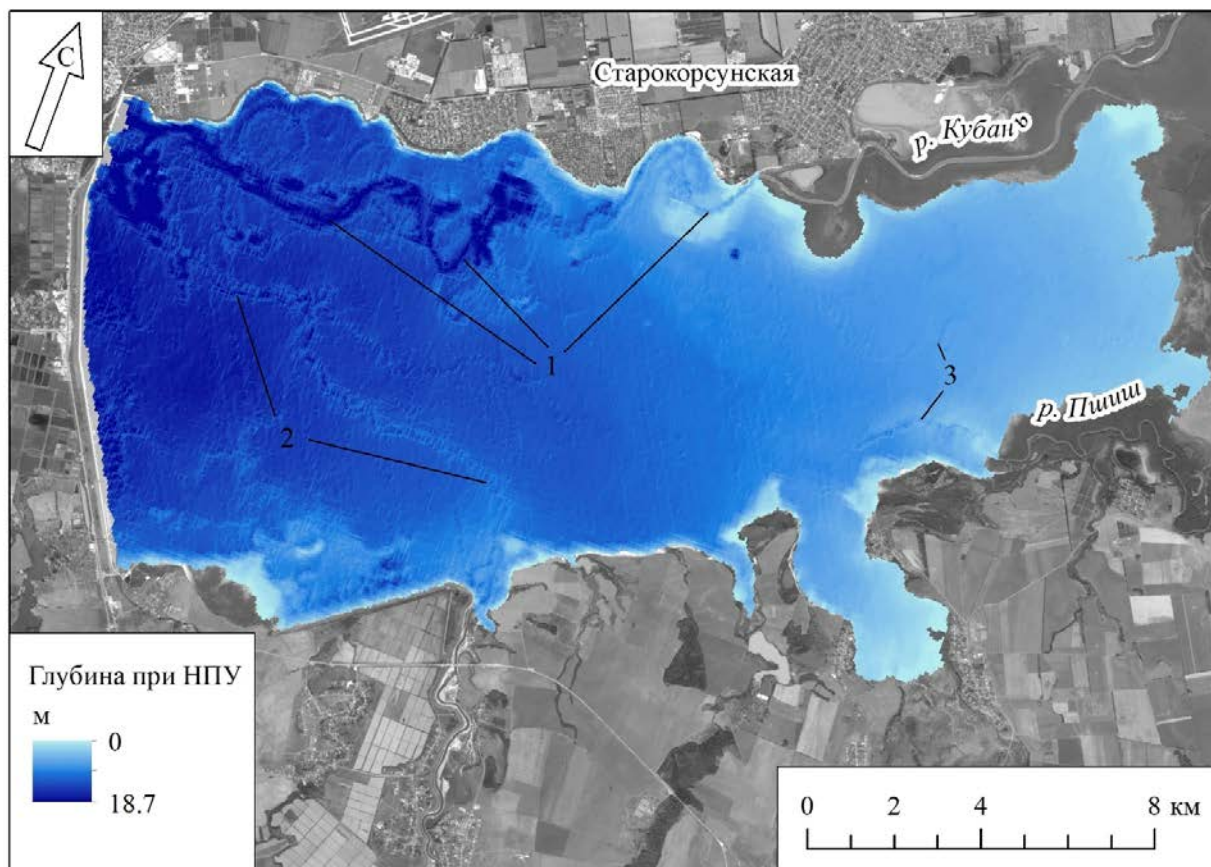


Рис. 4. Глубина Краснодарского водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ). 2021 г. Цифрами показаны затопленные русла рек Кубань (1), Псекупс (2) и Пшиши (3)
Fig. 4. Depth of the Krasnodar reservoir at a normal backwater level (2021). The numbers show the flooded channels of the Kuban (1), Psekups (2) and Pshish (3) rivers

Чаша водоема представляет собой затопленную долину Кубани; поверхность дна характеризуется постепенным понижением абсолютных отметок с востока на запад в сторону приплотинной части. Морфология ложа осложнена врезами левобережных притоков, разделяющими затопленную пойму на депрессии с отметками, лежащими ниже прирусловых валов этих притоков. Несмотря на почти полувековой период эксплуатации водохранилища, затопленные русла Пшиша, Псекупса и особенно Кубани хорошо сохранились и до сих пор имеют отчетливую морфологическую выраженность вне участков высокой аккумуляции наносов (рис. 4). В северо-западной части водоема в рельефе дна, по данным съемок, отмечены искусственные ямы – результат изъятия донных отложений на строительные нужды. Современные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища в сравнении с характеристиками по материалам съемок разных лет приведены в таблице 1.

Табл. 1. Основные морфометрические характеристики Краснодарского водохранилища по данным съемок разных лет и проектному положению

Table 1. The main morphometric characteristics of the Krasnodar reservoir according to survey data from different years and the design situation

Показатели	Проектные характеристики (1973 г.)	Характеристики по данным съемок за разные годы			
		1985–1986 г.	2004–2005 г.	2016 г.*	2021 г.*
Объем, 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	1405,48
при УМО	236	221	192	151,42	135,07
полезный объем при НПУ=33,65 м	2160	2126	1957	–	–
полезный объем при НПУ = 32,75 м			1606	1297,52	1270,41
мертвый объем	236	221	192	151,42	135,07
Площадь 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	224,16
при УМО	128	127	115,7	99,58	91,27
Глубина, м					
средняя	7,0	6,0	6,72	6,33	6,27
Площадь мелководий (до 2 м), км ² /%					
при НПУ = 32,75 м	не определялась	34/8,6	121/31,7	40,3/17,6*	44,5/19,5*

Примечание. Символом (*) показаны данные без учета Тщикского водоема и образовавшейся надводной перемычки.

Рельеф ложа водохранилища формируется под влиянием накопления наносов в процессе заиливания и занесения. Известно, что распространение влекомых наносов в ходе занесения, как правило, ограничивается устьевыми участками [Назаров, 2009]. Количественный вклад размыва берегов в баланс наносов Краснодарского водохранилища на основе регулярных измерений до сих пор детально не изучался. Занесение водохранилища продуктами абразии происходит преимущественно за счет переформирования высокого правого берега по абразивно-обвальному типу с формированием волноприбойных ниш, карнизов и абразионных останцов (рис. 5). Так, в 1975–1998 гг. размыв крутого правого берега в процессе абразионной переработки на верхнем участке водохранилища составил 28 м, на среднем – 33 м, на нижнем – 40 м. По оценкам [Лурье, Панов, 2021] в общем объеме наносов на речные наносы приходится 86,3 %, на продукты разрушения берегов – 13,7 %, из которых 12,1 % поступает с правого берега. В работе [Литовка и др., 2019] для 2017 г. объем наносов за счет переработки берегов оценивается в 1,57 млн м³, однако способ и исходные данные для расчета не указаны.

В нашем случае об объемах заиления и динамике объема водохранилища следует судить непосредственно по материалам выполненных батиметрических измерений (табл. 1) и картам толщины слоя заиления. Карта распределения слоя заиления, полученная как разность построенных ЦМР ложа водохранилища 2021 г. и 2016 г., т.е. за период между последними батиметрическими съемками, приведена на рисунке 6. В соответствии с расчетами, объем заиления Краснодарского водохранилища за 2016–2021 гг. для площади 224 км² (табл. 1) составил 24,66 млн м³, т.е. в среднем 4,93 млн м³ в год. Это меньше среднегодовой величины, полученной нами ранее за период 2005–2016 гг. для площади 229 км² (6,86 млн м³ в год).



*Рис. 5. Правый берег Краснодарского водохранилища в районе х. Ленина
09.06.2019 (вверху), 24.01.2020 (внизу)*

*Fig. 5. The right bank of the Krasnodar reservoir in the area h. Lenina
09.06.2019 (above), 24.01.2020 (below)*

Дифференциацию донных отложений следует рассматривать с позиции общих (для всей котловины водохранилища) и локальных факторов морфолитогенеза ложа. На большей части открытой акватории слой донных отложений формируется за счет взвешенных наносов. Поэтому, как видим (рис. 6), в целом слою заиления за 2016–2021 гг. свойственно относительно равномерное, плащевидное распределение, особенно характерное для восточной части озерной котловины с меньшими глубинами и, предположительно, меньшим участием влекомых наносов в донных отложениях. В этой части исследуемой котловины на площади около 140 км², как и в предыдущие годы, отмечено незначительное приращение слоя заиления в 0,01–0,5 м. Общая закономерность – вниз по течению в сторону мертвого объема водохранилища толщина слоя отложений в целом уменьшается.

На локальном уровне выделим участки преимущественно флювиального морфолитогенеза – устьевые взморья, в пределах которых формирование донного рельефа определяется флювиальными процессами с участием влекомых наносов. Устьевые взморья занимают придельтовое пространство с активной аккумуляцией наносов, включая устьевые бары по периферии. Здесь происходит падение скоростей русловых течений с отложением донных наносов повышенной крупности. По нашим расчетам, в пределах устьевого взморья Кубани с 2016 по 2021 гг. отложилось 9,36 млн м³ твердого стока, т.е. 38 % от общего объема приращения тела заиления за этот период.

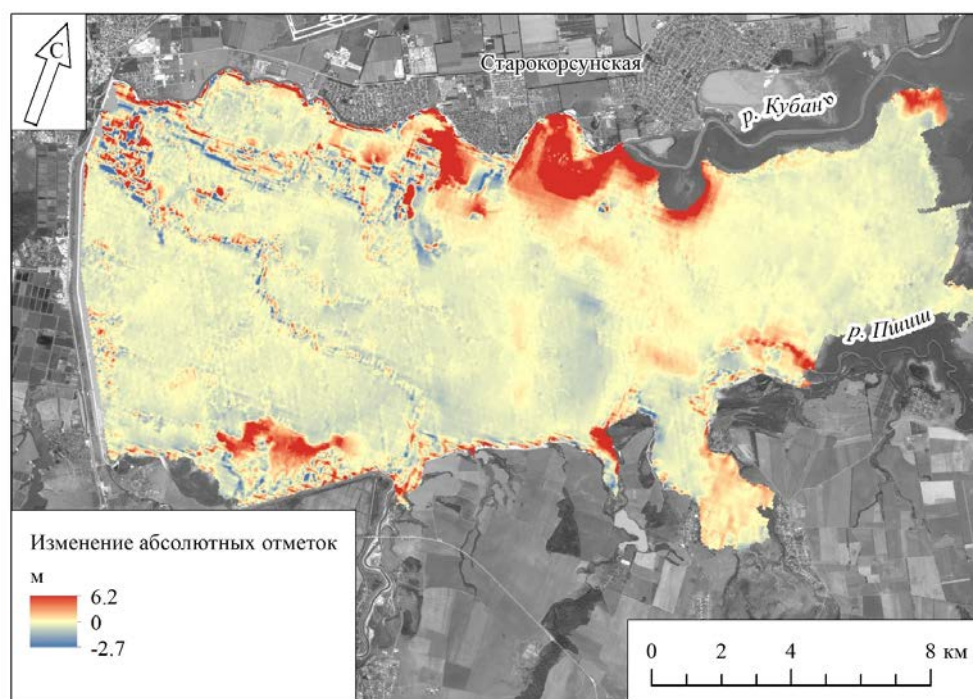


Рис. 6. Приращение слоя заиления Краснодарского водохранилища за период 2016–2021 гг.

Fig. 6. Increment of the siltation layer of the Krasnodar reservoir for the period 2016–2021

Аномально высокие значения слоя заиления за 2016–2021 гг. (2–3 м и более) отмечены в районе непрерывно выдвигающейся дельты Кубани с формирующейся надводной ее частью между станцией Старокорсунской и хутором Ленина. На участке своеобразной авандельты, в соответствии с установленным затуханием энергии русловой струи Кубани

[Лагута, Погорелов, 2020], главного источника поступления твердого стока, наблюдается повышенное отложение наносов. За 2016–2021 гг. область с высокой скоростью аккумуляции в дельте Кубани со слоем отложений более 1 м закономерно сместилась на запад на 2–4 км, образовав у правого берега дугообразное аккумулятивное тело с обширным мелководьем, которое практически полностью нивелировало в рельефе дна фрагменты бывшего русла. Положение и форма этого аккумулятивного тела соответствуют положению устья Кубани при разных уровнях воды в водохранилище. Так, в маловодный 2020 г. устье достигало уровня мертвого объема. Вполне объяснимо, в связи с этим, что надводный рукав с дельтовым каналом за обозначенный период удлинился на 2,5 км (рис. 1, б), приблизившись к изогипсе 27 м и к еще сохранившимся наиболее глубоким участкам затопленного русла Кубани.

В рельефе дна современной чаши водохранилища выделим участки с характерными особенностями аккумуляции продуктов твердого стока (рис. 7): 1) участок в пределах зоны переменного подпора (площадь 121,1 км²), 2) участок ниже УМО (площадь 91,3 км²), 3) участки устьевых взморьев (площадь 11,8 км²). Последние расположены в зоне переменного подпора, но требуют самостоятельного выделения, в связи с повышенным приращением слоя донных отложений – более 1 м за 2016–2021 гг.

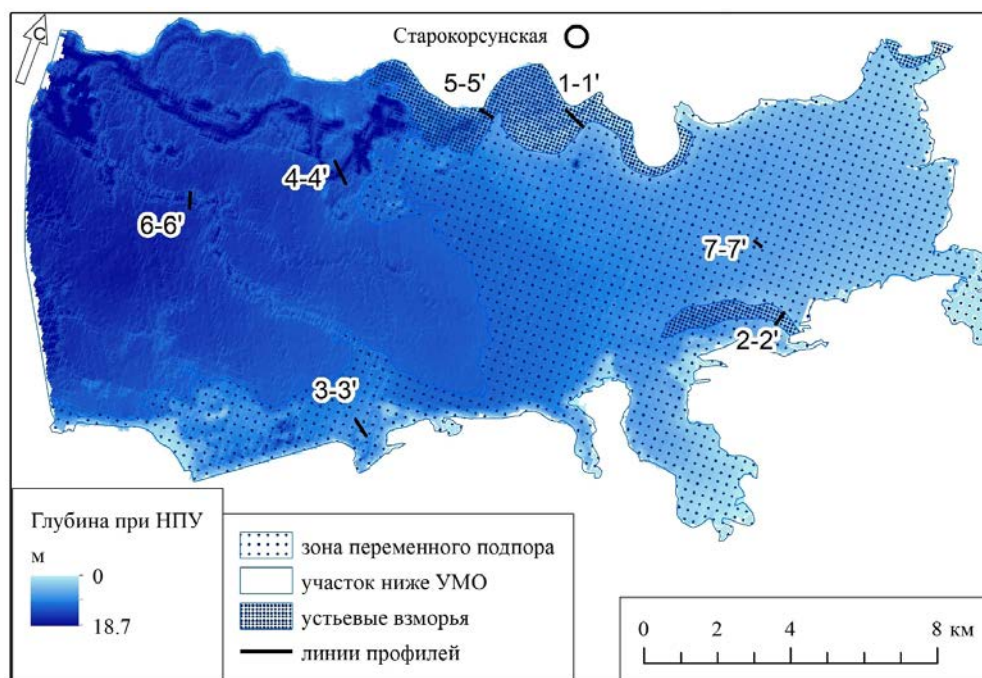


Рис. 7. Участки ложа Краснодарского водохранилища с характерными особенностями отложения наносов

Fig. 7. Sections of the bed of the Krasnodar reservoir with characteristic features of sediment deposition

Зона переменного подпора в наибольшей мере подвержена преобразованиям вследствие усиленного заиления и изменений рельефа ложа. С исчезновением подпора и увеличением уклонов водной поверхности отмечается деформация ложа с врезанием русел в устьях Белой и Пшиша. На участках выклинивания подпора происходит усиленная аккумуляция наносов с выдвиганием береговой линии (постепенным наращиванием мелководий и суши). В течение 2016–2021 гг. в зоне переменного подпора среднегодовой слой наносов изменялся в диапазоне 1–3 см.

Рассмотрим особенности морфолитогенеза ложа водохранилища в пределах выделенных участков на локальном уровне, имея в виду, что толщина донных отложений может соответствовать морфологии поверхности подводного рельефа. Для этого в пределах выделенных участков определим приращение тела заиления с помощью поперечных профилей, которые дают представление о характере распределения толщины слоя отложений и скорости заиления. Затопленные русла, включая устьевые участки притоков, по мнению [Назаров, 2009], относятся к наименее изученным элементам ложа водохранилищ, поэтому представляют наибольший интерес.

Профили 1–1', 2–2' и 5–5' (рис. 7, 8) расположены в зоне переменного подпора и устьевых взморий над затапливаемыми руслами рек Кубань и Пшиш. Масштабы осадконакопления в дельтах Кубани и Пшиша различаются в соответствии с величинами твердого стока. Так, за 2005–2021 гг. в дельте Пшиша толщина слоя заиления составила примерно 1 м, в дельте Кубани в створе 1–1' около 3 м, а в створе 5–5' – 4–5 м (рис. 8). Отчетливо заметны различия в осадконакоплении между верхней (створ 1–1') и нижней (5–5') частями зоны переменного подпора. Профили 1–1' и 5–5' расположены над руслом р. Кубани в районе активно формирующейся дельты выдвигания с сопутствующим интенсивным образованием прирусловых валов в последние годы (с 2016 по 2021 гг.). Наиболее выражены русловые валы на профиле 1–1' (рис. 8).

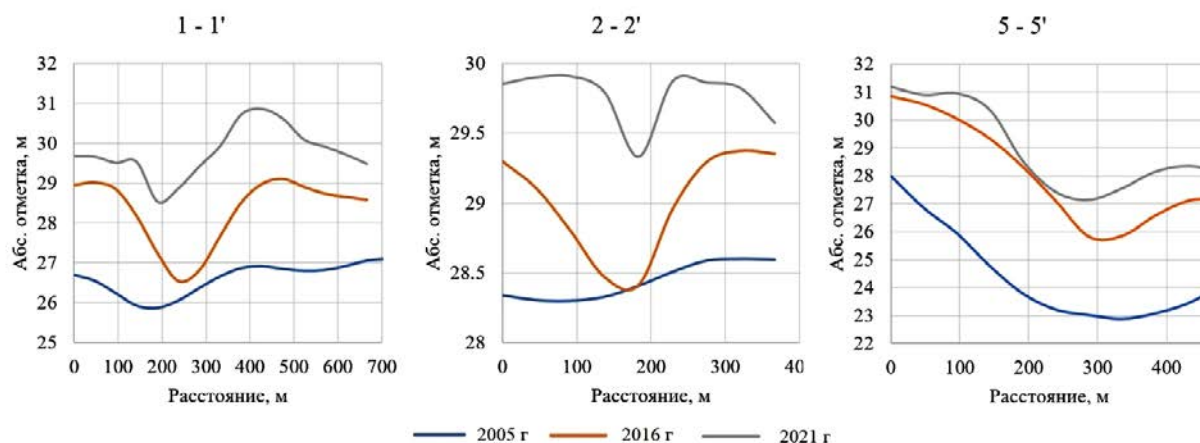


Рис. 8. Поперечные профили в зоне устьевых взморий
Fig. 8. Transverse profiles in the area of estuarine avandeltas

Трансформация русел Кубани и Пшиша в пределах зоны переменного подпора происходит по-разному. Кубань за 2005–2021 гг. не меняла положения русла (рис. 8), и формирование ее дельты происходит в соответствии с процессами, описанными [Pogorelov et al., 2021]. Дельта в целом представляет собой восстановленный пойменно-русловой комплекс, которому свойственны растущие отметки прирусловых валов и причленяемые к местам изгибов русла отмели в виде устойчивых подводных конусов выноса. Река Пшиш, в отличие от Кубани, после 2005 г. изменила положение русла (см. профиль 2–2' на рисунке 8). Новое русло канализовано лишь в верхней части зоны переменного подпора, а в нижней не прослеживается. При этом ширина русла и глубина врезания за последние годы заметно уменьшилась.

О формировании тела и механизмах заиления в зоне переменного подпора дают представление профили 3–3' (русло Псекупса) и 7–7' (старое русло Пшиша) (рис. 9). Над действующим руслом Псекупса приращение тела заиления в течение 2005–2021 гг.

происходило относительно равномерно, с сохранением постепенно сужающегося «вложенного» руслового вреза. Аккумуляция отложений в русле Псекупса привела к сокращению его ширины за анализируемый период с 350 м до 170 м. Старое русло Пшиша, расположенное на удалении 2 км от устьевое взморья, на фоне ежегодной сработки водохранилища, как видим, неуклонно нивелируется (рис. 9).

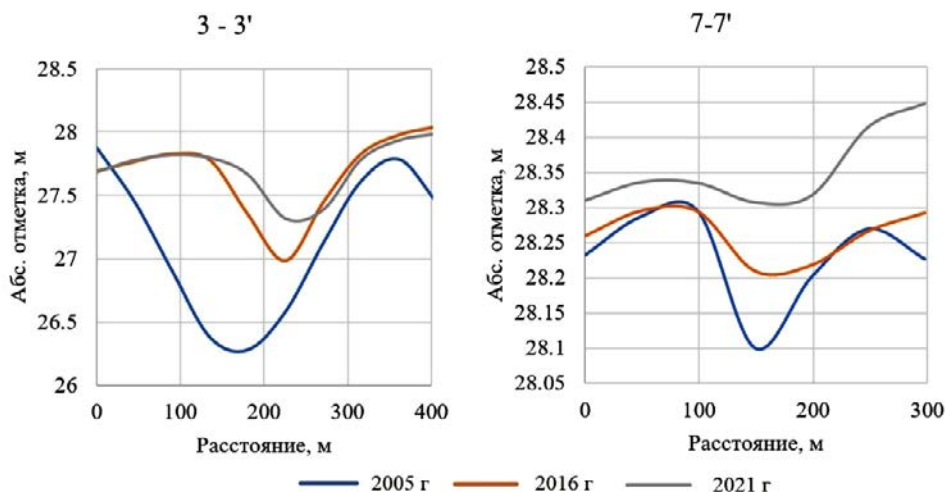


Рис. 9. Поперечные профили в зоне переменного подпора

Fig. 9. Transverse profiles in the zone of variable backwater

Поперечные профили 4–4' и 6–6' (рис. 10) отражают характер и темпы заиления котловины ниже уровня мертвого объема. В верхней части рассматриваемого участка (профиль 4–4') за исследуемый период отмечено незначительное увеличение слоя заиления, более выраженное в 2005–2016 гг. В центре участка (профиль 6–6') приращение слоя наносов крайне незначительно и отмечается только на бортах долины. Таким образом, на участке котловины ниже уровня мертвого объема в течение всего периода наблюдений сохраняется морфологическое подобие поверхности ложа, независимо от размеров форм рельефа.

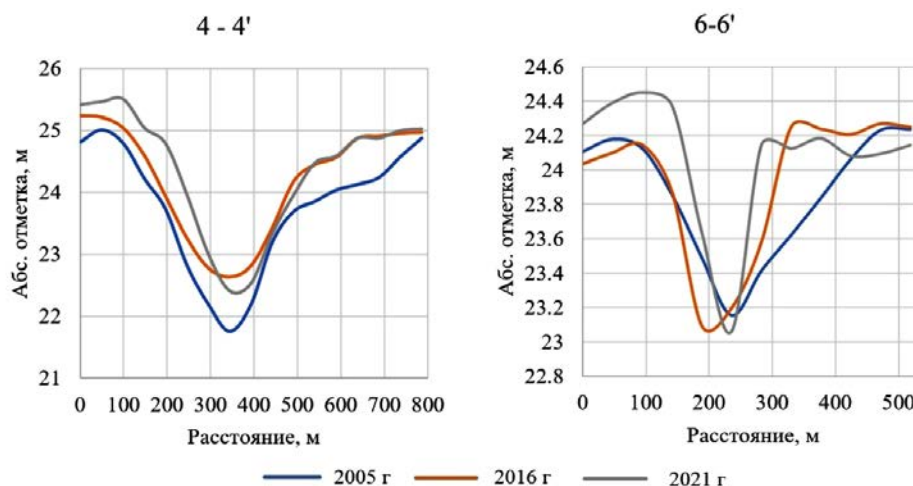


Рис. 10. Поперечные профили на участке ниже уровня мертвого объема

Fig. 10. Transverse profiles in the area below the dead volume level

ВЫВОДЫ

Цифровые модели рельефа являются информативным источником для гидрометрических и геоморфологических оценок состояния равнинных долинных водохранилищ – сложных и динамичных природно-техногенных объектов. Материалы батиметрических съемок 2005, 2016 и 2021 гг. Краснодарского водохранилища дают возможность на основе построенных ЦМР и производных карт получить объективные показатели заиления, рассчитать необходимые гидрометрические характеристики, а также установить ключевые геоморфологические особенности и тренды трансформации водоема. Регулярные измерения с соответствующим картографическим обеспечением целесообразно проводить, по нашему мнению, во избежание недооценки скорости трансформации Краснодарского водохранилища.

Распределение слоя отложений, сформировавшегося за период между последними съемками (2016–2021 гг.), характеризуется неоднородностью с формированием повышенных объемов наносов в устьевых областях рек Кубань, Белая, Пшиш. По данным построенных карт, включая карту толщины слоя заиления, установлено, что за период между последними съемками исследуемого водохранилища объем заиления на площади 224 км² составил 24,66 млн м³, средняя скорость заиления оказалась равной 4,93 млн м³/год. Показателями деградации водохранилища следует считать и рост относительной площади мелководий, которая в исследуемом водоеме за 2016–2021 гг. увеличилась с 17,6 до 19,5 %.

Дифференциация донных отложений в котловине в целом подчиняется делению ложа на участки с преобладанием тех или иных процессов транспортировки продуктов твердого стока. Выделены участки: зона переменного подпора, участок ниже уровня мертвого объема и участок устьевых взморий. Наиболее низкие темпы приращения слоя наносов за 2005–2021 гг. зафиксированы в зоне мертвого объема (около 0,5–2 см за год); наиболее высокие – в устьевых взморьях. На участке устьевого взморья Кубани с 2016 по 2021 гг. отложилось 9,36 млн м³ твердого стока или 38 % от общего объема приращения тела заиления за этот период.

Уменьшение среднегодовых объемов заиления в течение 2016–2021 гг. (4,93 млн м³), в сравнении с периодом 2005–2016 гг. (6,86 млн м³), указывает на признаки затухания процесса заиления, что, предположительно, может быть связано с постепенным сокращением площади зеркала и объема Краснодарского водохранилища, следовательно, ростом скорости вещественного обмена и увеличением транзита твердого стока.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/123 и Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-27-20008.

ACKNOWLEDGMENTS

The research was carried out with the financial support of the Kuban science Foundation in the framework of the scientific project No. IBR-20.1/123 and the Russian Science Foundation in the framework of the scientific project No. 22-27-20008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белобородов А.В.* Изменение морфометрических параметров крупных равнинных водохранилищ: причины и последствия (на примере Камского водохранилища). Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 72–92.
2. *Данекер Б.А., Ефремов Ю.В., Антошкина Е.В.* Современные сведения о крупных водохранилищах Краснодарского края. География Краснодарского края: антропогенное воздействие на окружающую среду: Сборник научных статей. Краснодар: Кубанский госуниверситет, 1996. С. 56–70.
3. *Курбатова И.Е.* Геоэкологический мониторинг Краснодарского водохранилища: системный подход к организации и информационному обеспечению. Сб. трудов конфер. Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Майкоп. 2013. С. 126–136.
4. *Курбатова И.Е.* Космический мониторинг береговой зоны Краснодарского водохранилища. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Т. 5. № 2. С. 523–528.
5. *Лагута А.А., Погорелов А.В.* Анализ заиления и гидродинамических процессов в деградирующем пойменно-долинном водохранилище (на примере Краснодарского водохранилища). Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2020. № 26 (2). С. 335–348. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-335-348.
6. *Литовка Ф.С., Бандурин М.А., Ванжа В.В.* Пути решения проблемы заиления Краснодарского водохранилища для рационального использования водных ресурсов пойменных территорий. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2019. № 8. Электронный ресурс: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6126> (дата обращения 01.04.2022).
7. *Лурье П.М., Панов В.Д.* Реки бассейна Азовского моря: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2021. 670 с.
8. *Назаров Н.Н.* Русловые процессы и морфолитогенез ложа водохранилищ. Географический вестник=Geographical bulletin. 2009. № 1. С. 10–17.
9. *Хабидов А.Ш.* Закономерности рельефообразования и осадконакопления в береговой зоне крупных водохранилищ. Дисс. докт. геогр. наук. М.: МГУ, 2000. 236 с.
10. *Pogorelov A., Laguta A., Kiselev E., Lipilin D.* Features of the long-term transformation of the Krasnodar reservoir, near the mouth of the Kuban river, Russia. Journal of Geographical Sciences. 2021. Vol. 31. P. 1895–1904. DOI: 10.1007/s11442-021-1928-7.

REFERENCES

1. *Beloborodov A.V.* Changes in morphometric parameters of large plain reservoirs: causes and consequences (on the example of the Kama reservoir). Water management of Russia. 2019. No. 4. P. 72–92 (in Russian).
2. *Daneker B.A., Efremov Yu.V., Antoshkina E.V.* Modern information about large reservoirs of the Krasnodar Territory. Geography of the Krasnodar Territory: anthropogenic impact on the environment: collection of scientific articles. Krasnodar: Kuban State University, 1996. P. 56–70 (in Russian).
3. *Khamidov A.Sh.* Regularities of relief formation and sedimentation in the coastal zone of large reservoirs. Diss. doct. geogr. of Sciences. Moscow State University. 2000. 236 p. (in Russian).
4. *Kurbatova I.E.* Geoecological monitoring of the Krasnodar reservoir: a systematic approach to organization and information support. Collection of works of the confer. Applied aspects of geology, geophysics and geoecology using modern information technologies. Maykop. 2013. P. 126–136 (in Russian).

5. *Kurbatova I.E.* Space monitoring of the coastal zone of the Krasnodar reservoir. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2008. Vol. 5. No. 2. P. 523–528 (in Russian)
 6. *Laguta A.A., Pogorelov A.V.* Analysis of siltation and hydrodynamic processes in a degrading floodplain-valley reservoir (on the example of the Krasnodar reservoir). Materials of the International Conference “InterCarto. InterGIS”. 2020. Vol. 26 (2). P. 335–348. DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-335-348 (in Russian).
 7. *Litovka F.S., Bandurin M.A., Vanzha V.V.* Ways to solve the problem of siltation of the Krasnodar reservoir for the rational use of floodplain water resources. Electronic scientific journal “Engineering Bulletin of the Don”. 2019. No. 8 (in Russian).
 8. *Lurie P.M., Panov V.D.* Rivers of the Azov Sea basin: hydrography and flow regime. Rostov-on-Don: Don Publishing House, 2021. 670 p. (in Russian).
 9. *Nazarov N.N.* Channel processes and morpholithogenesis of reservoir beds. Geographical Bulletin. 2009. No. 1. P. 10–17 (in Russian).
 10. *Pogorelov A., Laguta A., Kiselev E., Lipilin D.* Features of the long-term transformation of the Krasnodar reservoir, near the mouth of the Kuban river, Russia. Journal of Geographical Sciences. 2021. Vol. 31. P. 1895–1904. DOI: 10.1007/s11442-021-1928-7.
-