

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК: 556.555.6

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134

**ОСОБЕННОСТИ ДЕЛЬТОФОРМИРОВАНИЯ РЕК, ВПАДАЮЩИХ
В ДОЛИННОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ
(НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)****Андрей Александрович Лагута**

e-mail: alaguta@icloud.com

*ООО «Аэрогеоматика», Краснодар***Анатолий Валерьевич Погорелов**

РИНЦ AuthorID: 71246, Spin-код: 6274-3126

e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Кубанский государственный университет, Краснодар

По данным карт, спутниковых снимков и батиметрических съемок рассматриваются механизмы дельтоформирования основных рек, впадающих в долинное Краснодарское водохранилище (Кубань, Белая, Пшиш). Установлено, что трансформация чаши водохранилища и, как следствие, его эксплуатационные характеристики определяются дельтовыми процессами этих рек. Гидрологический режим Краснодарского водохранилища с сезонными фазами высоких и меженных уровней обусловил образование в продольном профиле двух устьевых баров – верхнего и нижнего. Анализируются стадии эволюции дельт, их индивидуальные особенности в связи с естественными факторами, техногенным преобразованием рельефа и перераспределением речного стока в устьях. Устьевой участок р. Кубани с 1977 г. из дельты выполнения преобразовался в дельту выдвижения, совмещающую разные типы. Дельта р. Белой, эволюционирующая с 1941 г., в настоящее время представлена обширными отмершими участками. Построены карты и характерные продольные профили русел рек, отражающие динамику площадей дельт, скорости их роста, а также участие устьевых областей в трансформации водохранилища. Показано, что в ходе дельтоформирования площадь зеркала Краснодарского водохранилища с 1973 по 2018 г. сократилась на 35%, а в обозримой перспективе растущая дельта Кубани достигнет уровня мертвого объема водохранилища.

Ключевые слова: долинное водохранилище; дельтоформирование; эрозионно-аккумулятивные процессы; дельта выполнения; дельта выдвижения; трансформация; батиметрическая съемка; спутниковые снимки.

**PECULIARITIES OF DELTA FORMATION IN RIVERS FLOWING INTO THE VALLEY
RESERVOIR (A CASE STUDY OF KRASNODAR RESERVOIR)****Andrey A. Laguta**

e-mail: alaguta@icloud.com

Aerogeomatica LLC, Krasnodar

Anatoly V. Pogorelov

RSCI AuthorID: 71246, Spin-code: 6274-3126

e-mail: pogorelov_av@bk.ru

Kuban State University, Krasnodar

The paper considers the mechanisms of delta formation of the main rivers flowing into the valley Krasnodar Reservoir (Kuban, Belaya, Pshish) according to the maps, satellite images and bathymetric surveys. It was established that the transformation of the reservoir bowl and, as a result, its operational characteristics are determined by the delta processes in these rivers. The hydrological regime of the Krasnodar Reservoir with seasonal phases of high and low-water levels led to the formation of two stream-mouth bars, the upper and lower, in the longitudinal profile. The article analyzes the stages in the evolution of the deltas, their individual characteristics in connection with natural factors, the technogenic transformation of the relief and the redistribution of river flow in the estuaries. Since 1977, the Kuban delta has been transformed from the estuarine delta into an advanced one, combining different subtypes. The Belaya river delta, which has been evolving since 1941, is currently represented by large dead areas. Maps and characteristic longitudinal profiles of river beds were constructed, reflecting the dynamics of delta areas, their growth rates, as well as the participation of estuarine areas in the transformation of the reservoir. It was shown that during the delta formation, the area of the Krasnodar Reservoir decreased by 35% from 1973 to 2018, and in the foreseeable future the growing Kuban delta will reach the dead volume level of the reservoir.

Key words: valley reservoir, delta formation, erosion-accumulation processes, estuarine delta, advanced delta, transformation, bathymetric survey, satellite imagery.

Введение

Краснодарское водохранилище – крупнейший на Северном Кавказе искусственный водоем, расположенный в нижнем течении р. Кубани между станицей Воронежской и Краснодаром на густозаселенной территории сплошного сельскохозяйственного освоения. В это долинное водохранилище, кроме р. Кубани, впадают левые ее притоки – Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс (рис. 1). При вводе в эксплуатацию в 1973 г. оно имело 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 при полной емкости около 3 км³ [7]. Основными функциями Краснодарского водохранилища являются защита от наводнения 600 тыс. га земель при пропуске паводка с расходами до 1500 м³/с и орошение 215 тыс. га рисовых систем [12].

Среди рек России, на которых созданы крупные водохранилища, наибольшая мутность (0,68 кг/м³) характерна для Кубани. В водохранилище осаждается до 95 % наносов, приносимых рекой [2]. В связи этим в ходе эксплуатации водохранилище претерпело значительные преобразования. Подпорное влияние плотины обусловило запуск устьевых эрозионно-аккумулятивных процессов, следствием которых явились образование и интенсивный рост субаквальных аккумулятивно-дельтовых форм с дальнейшим их переходом в надводное состояние. Вместе с тем под влиянием сезонного переменного подпора на территориях, примыкающих к водохранилищу, образуются две выраженные дельтовые области – верхняя и нижняя. По нашим расчетам за 1977–2018 гг. дельта Кубани выдвинулась на 32,42 км, отторгнув у Краснодарского водохранилища площадь 41,41 км², включая отчлененные от основной чаши сформированными прирусловыми валами нерегулируемые зарастающие водоемы. Суммарная площадь дельтовых областей, разделивших водохранилище на две автономные чаши, составила в 2018 г. 85,9 км².

Наряду с этим нами [5] зафиксированы изменения и других проектных эксплуатационных характеристик (уменьшение полезного объема, средних глубин и пр.). Оценкам состояния и анализу тенденций трансформации Краснодарского водохранилища

посвящено ограниченное количество научных публикаций [4–6; 10]. Происходящие изменения водохранилища при всей его хозяйственной значимости заслуживают детального анализа. Это относится и к геоморфологическим процессам, и к формам рельефа устьевых областей рек, впадающих в водохранилище. В настоящей работе рассматриваются преобразования дельтовых областей, объясняющие направленность трансформации Краснодарского водохранилища и изменения его эксплуатационных характеристик. Основные решаемые задачи – раскрытие механизмов формирования дельт основной реки и ее главного притока р. Белой на фоне сезонного регулирования уровней и образующегося в устьевых областях рек динамического подпора, а также прочих антропогенных преобразований.



Рис. 1. Краснодарское водохранилище. 17.06.1979. Снимок Landsat 3
Fig. 1. The Krasnodar Reservoir. 17.06.1979. Landsat 3 image

Материалы и методы исследования

Спутниковые снимки Landsat (1974–2018 гг.) [15], топографические карты (1940–1942 гг.), данные батиметрических съемок [5] в совокупности позволяют анализировать как многолетние, так и внутригодовые преобразования конфигурации водоема, а также плановые и вертикальные деформации русел. Для корректного сравнения и анализа многолетних изменений учитывался уровень водоема, соответствующий дате спутниковой съемки. Уровень на верхнем бьефе Краснодарского водохранилища на соответствующую дату (на 8:00 ч) определялся по данным Кубанского бассейнового водного управления [16].

Результаты и их обсуждение

Дельта р. Кубани. Заполнение чаши речного долинного [1] Краснодарского водохранилища началось в ноябре 1972 г. Проектная отметка нормального подпорного уровня (НПУ=33,65 м БС) была достигнута в 1977 г. При этой отметке уровни воды в р. Кубани обеспечиваются подпором от водохранилища, прослеживающимся на 17,8 км выше по течению от створа ст. Воронежской (рис. 1). Основные интересующие нас следствия динамического подпора: формирование длинного ингрессионного залива в долине Кубани со снижением уклона водной поверхности, скоростей течения реки и транспортирующей способности водотока. Последнее, в свою очередь, влечет за собой повышение отметок русла и заиление верхнего участка акватории водохранилища.

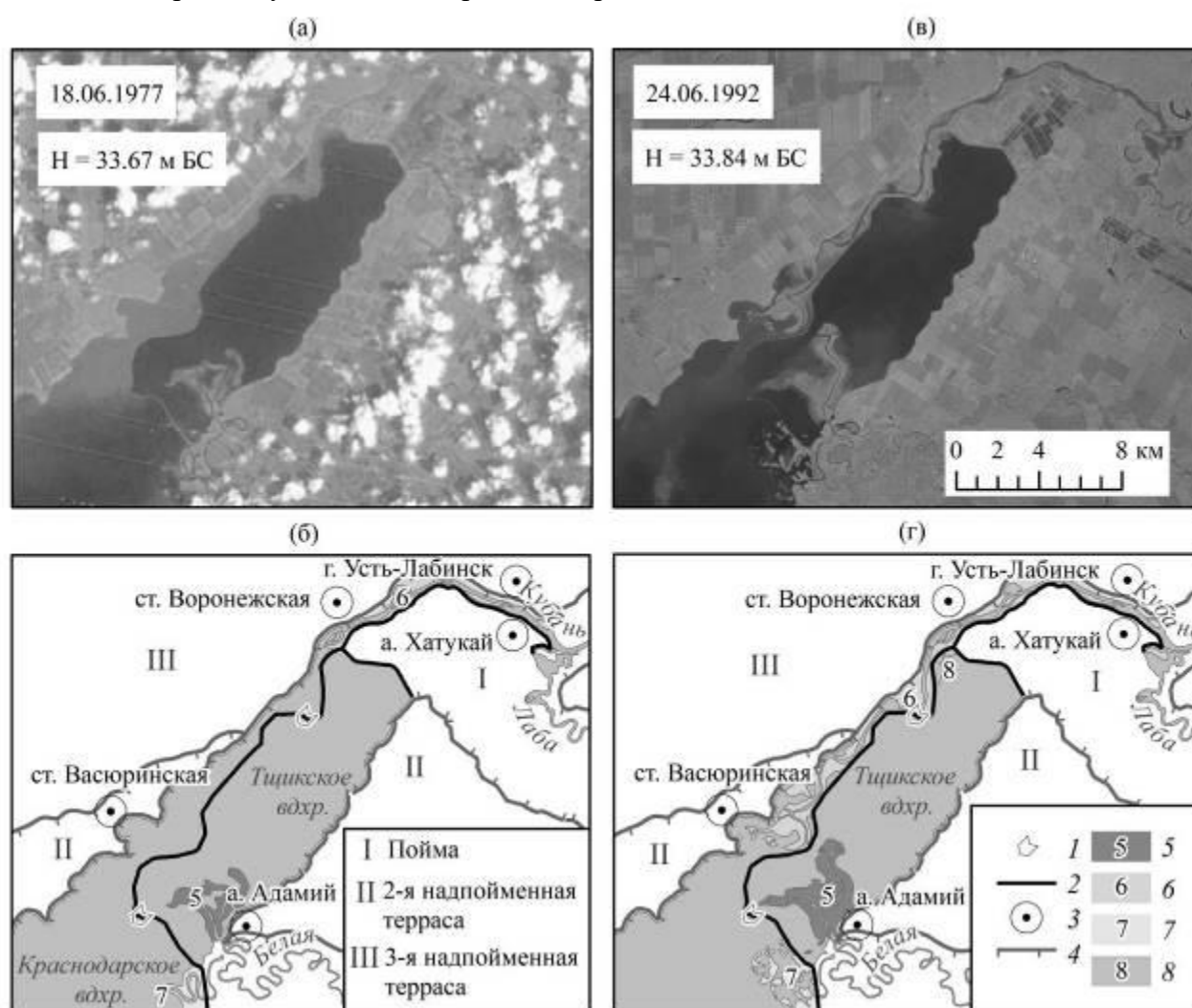


Рис. 2. Динамика устьевых областей рек в системе Краснодарского водохранилища в 1977–1992 гг.:

- 1 – сбросное сооружение и шлюз в дамбе Тшицкого вдхр., 2 – дамба Тшицкого вдхр.,
3 – населенные пункты, 4 – бровки надпойменных террас, 5 – дельта выдвижения р. Белой в Тшицкое вдхр.,
6 – дельта выполнения эстуарного залива р. Кубани, 7 – прирусловые валы старого русла р. Белой,
8 – участки зарастания мелководья Тшицкого вдхр. Снимки Landsat

Fig. 2. The dynamics of the river mouth areas in the Krasnodar Reservoir system in 1977–1992: 1 – the regulating structure and the sluice in the Tshchik Reservoir dam, 2 – the Tshchik Reservoir dam, 3 – settlements, 4 – the edges of the floodplain terraces, 5 – the advanced delta of the Belaya river in the Tshchik Reservoir, 6 – the estuarine delta of the

Kuban river, 7 – the natural levees of the old (abandoned) Belaya riverbed, 8 – the eutrophication areas of shallow water in the Tshchik Reservoir. Sattelite images - Landsat

На специфику условий рельефообразования и осадконакопления в начальной «дельте выполнения» Кубани оказали влияние сравнительно небольшая площадь и ширина водной поверхности над руслом Кубани, ограниченной относительно высокой правобережной надпойменной террасой, дамбой Тщикского водохранилища и обвалованием в районе аула Хатукай (рис. 2). К 1992 г. река в плане практически восстановила свое русло до ст. Васюринской, но при этом в ходе заилиения значительно повысила отметки дна русла и поймы, существовавшие до затопления. Дальнейшее развитие связано с изменением режима эксплуатации Краснодарского водохранилища – снижением НПУ на 0,9 м до 32,75 м БС. Снижение локального базиса эрозии увеличило скорости течения, что обусловило врезание русла р. Кубани в отложения, накопленные ранее. К 2001 г. отметки дна русла практически вернулись к значениям при начале эксплуатации (1978 г.) (рис. 3).

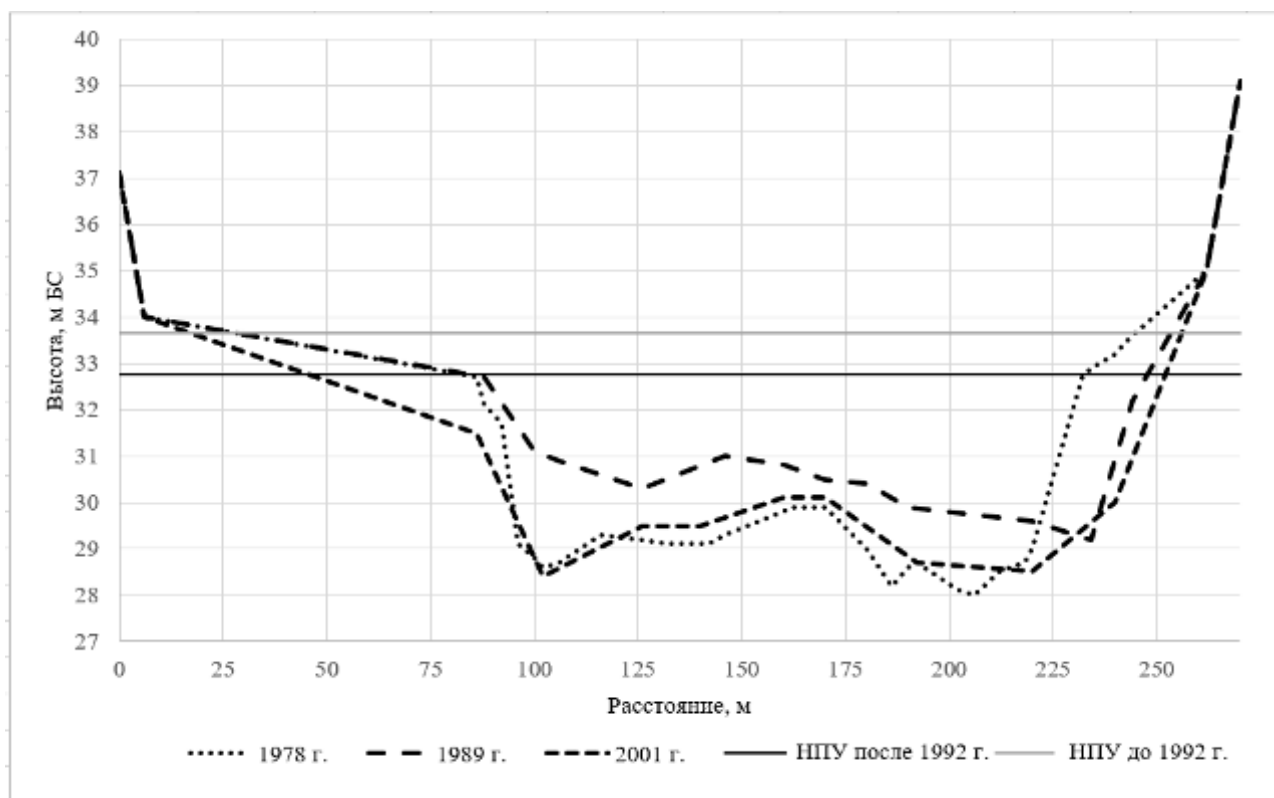


Рис. 3. Совмещенные поперечные профили русла р. Кубани в створе г. Усть-Лабинска (мост на автодороге А-160) в 1978, 1989 и 2001 гг. [13]

Fig. 3. Combined cross-sections of the Kuban riverbed in the alignment of Ust-Labinsk (bridge on the highway A-160) in 1978, 1989 and 2001 [13]

К 2004 г. край дельты р. Кубани выдвинулся к основной, открытой части водохранилища. На границе открытой акватории включился механизм новой стадии дельтоформирования – «дельты выдвижения» с участием подводных конусов выноса (рис. 4). Среди особенностей морфолитогенеза на данной стадии – включение в процесс дельтоформирования волнового фактора. Аккумуляция речных наносов в основном сосредоточена в пределах устьевоего взморья и прирусловой части. Интенсивный рост отметок прирусловых валов создает на внешних бортах этих форм относительно большой уклон. В этих условиях в результате воздействия волн создается береговой вал; а вследствие сезонной интенсивной сработки водохранилища с понижением уровня водоема формируются серии береговых валов (рис. 4).

имеющихся выраженных прирусловых валов затопленного ПРК, не меняя его общей плановой конфигурации. При этом ежегодная сработка водохранилища размывает формирующийся в период половодья устьевой бар, восстанавливая русло ПРК до следующего половодья. Подобная конфигурация русла впадающей реки, затопленного ПРК и положения береговой линии приемного водоема способствует развитию типичной *клювовидной* дельты выдвижения. За изгибом русла (коленом) в месте впадения реки в приемный водоем аллювиальный конус выноса формирует устьевой бар с баровой бороздиной, направленной в сторону от затопленного ПРК (рис. 4), что создает предпосылки к разделению потока (бифуркации) и образованию «птичьих лапок», характерных для *лопастной* дельты выдвижения. Отметим, что лопастная дельта выдвижения к 2019 г. сформировалась в устье искусственной «наносоотсасывающей» прорези-отвода (рис. 4, 6, 8) из русла р. Кубани. Иными словами, дельте выдвижения Кубани свойственны две формы: *клювовидная* дельта формируется над выраженным затопленным ПРК, а вне его на однообразном пологом устьевом взморье образуется лопастная дельта.

Таким образом, тип формируемой дельты выдвижения р. Кубани в Краснодарском водохранилище, помимо комбинации факторов стока и волнения, определяется первичным рельефом чаши водоема. Дельта в целом представляет собой восстановленный ПРК с растущими отметками прирусловых валов и причленяемыми в процессе роста в местах изгибов русла отмелями, сформированными устойчивыми подводными конусами выноса.

Характерным отражением направленных вертикальных русловых деформаций в устьях рек является динамика продольного профиля русла на устьевом участке [14]. На рис. 5 представлен совмещенный продольный профиль дна русла р. Кубани в 2005 г. и 2016 г., в том числе и в пределах затопленного ПРК. Зона размыва за исследуемый период соответствует участку «в-г» и составляет 7,1 км. Зона аккумуляции соответствует участку «б-в» протяженностью 10 км. Как видим, аккумуляция в русле Кубани на данном этапе наблюдается на всем участке зоны переменного подпора от нижнего («морского») края дельты до уровня мертвого объема (УМО).

Обращает на себя внимание толщина тела заиления над наиболее глубокими ложбинами в профиле русла. Эти отрицательные формы рельефа приурочены к подножию низового склона дельты – основного источника поступления наносного материала и находятся в зоне затухания речной струи. Мутный, более холодный и плотный речной поток попадает в относительно прозрачный водоем; текущая вода сталкивается с «тихой» водой водоема и, частично смешиваясь, продолжает движение под поверхностный слой, пока поток не встретит воду равной плотности или не разгрузится. Такие течения известны как плотностные потоки, стратифицированные потоки, а процесс – как туннелирование илистой воды [17]. Предполагаем, что повышенная интенсивность заиления указанных ложбин в продольном профиле русла может быть связана с наличием именно такого «тяжелого» придонного течения. Придонные слои потока характеризуются относительно повышенным значением объемного веса и, получая добавочное ускорение в области крутого низового склона дельты, двигаются по дну водохранилища со скоростью большей, чем поверхностные слои, заполняя «ямы» интенсивнее пологих участков [8].

Гидрологический режим Краснодарского водохранилища характеризуется наличием четких сезонных фаз с высоким (половодье) и низким (межень) уровнями, относительно интенсивной сработкой и длительным наполнением. Такой режим приводит к образованию двух выраженных в продольном профиле устьевых баров: верхнего – основного, формирующегося в период половодья при уровнях, близких к НПУ, и нижнего бара – при уровнях, близких к УМО, образуемого наносами в период сработки. При сравнительно небольшом объеме этих наносов (по отношению к объему отложений в половодье) их седиментация в течение всей эксплуатации водохранилища локализуется в достаточно узких

пределах, тяготея к УМО. А положение верхнего устьевых бара меняется вследствие устьевых удлинения русла при его выдвигании в приемный водоем.

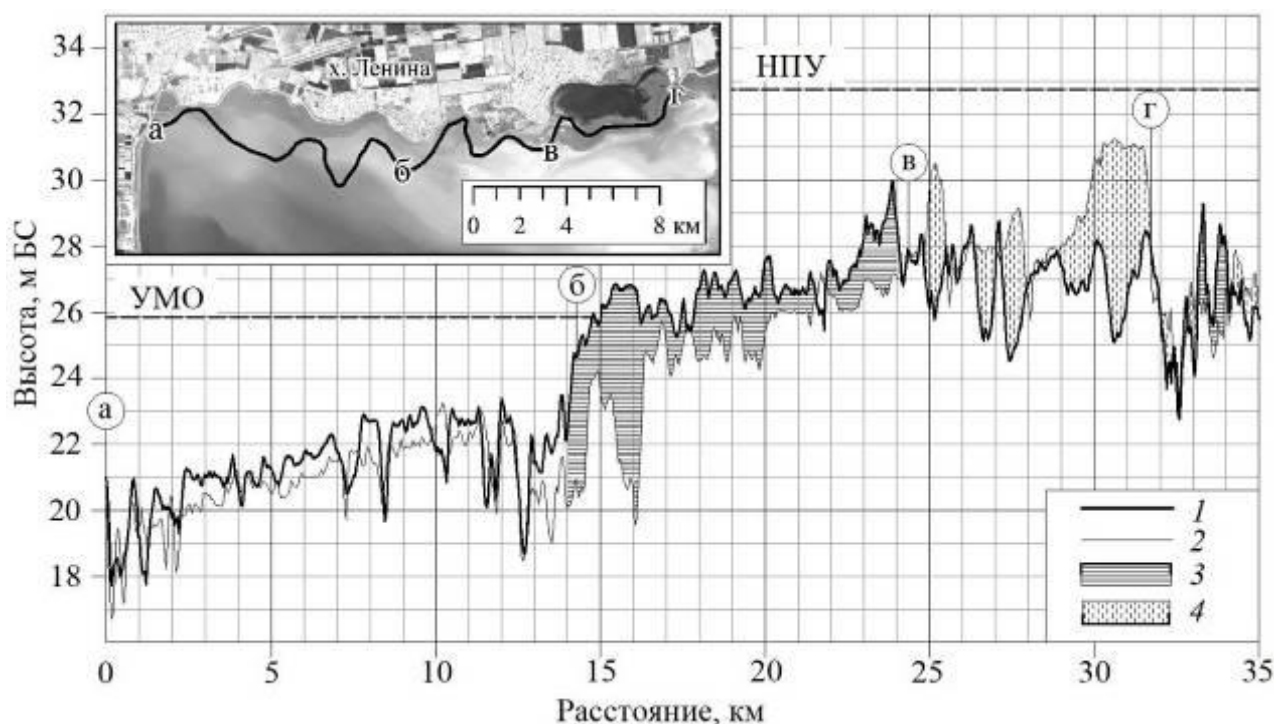


Рис. 5. Совмещенный продольный профиль дна русла р. Кубани в 2005 г. (1) и 2016 г. (2). Выраженные зоны аккумуляции (3) и размыва (4). Характерные точки на профиле: а – верхний бьеф, б – урез УМО, в – верхняя граница зоны аккумуляции за 2005–2016 гг., г – верхняя граница зоны размыва за 2005–2016 гг.

Положение точек а, б, в, г на профиле показано во врезке

Fig. 5. Combined longitudinal profile of the Kuban riverbed bottom in 2005 (1) and 2016 (2). Marked zones of accumulation (3) and erosion (4). Characteristic points on the profile: а – upper pool, б – the dead level edge, в – upper boundary of the accumulation zone for 2005–2016, г – upper boundary of the erosion zone for 2005–2016.

The position of points а, б, в, г on the profile is shown in the sidebar

В целом эволюция продольного профиля дна русла р. Кубани в 1973–2018 гг. заключается в стремлении верхнего устьевых бара к нижнему и тем самым сокращению длины зоны переменного подпора, на которой распределяется седиментация соответственно режиму регулирования водохранилища.

Дельта р. Белой. Анализируемые процессы определяются особенностями строения долины р. Кубани на участке ниже впадения р. Лабы, а именно – наличием поймы, относящейся к типу обвалованной. Такие поймы, занимающие плоские поверхности, образуются в результате наращивания высоты прирусловых валов с обеих сторон русла. В пределах обвалованной поймы прирусловые валы левых притоков р. Кубани разделяют и изолируют друг от друга лежащие гипсометрически ниже пойменные участки, заливаемые в половодье. На одном из этих участков (Тшицких плавнях) в 1941 г. было построено Тшицкое водохранилище.

Обратим внимание на генетический тип этого водоема – наливное водохранилище. Такое водохранилище создается в естественной депрессии и регулируется по приводящему и отводящему каналам [1]. Приток воды в Тшицкое водохранилище обеспечивался перенаправленным в образованный водоем по каналу ниже аула Адамий руслом р. Белой. Сброс осуществлялся по каналу в старое русло реки. В связи с указанным типом водоема процесс дельтоформирования в устье приводящего канала начался сразу со стадии «дельты выдвигания» (рис. 6). Ко времени ввода в эксплуатацию Краснодарского водохранилища и

включением в его границы Тшикского водохранилища дельта Белой уже интенсивно формировалась в поперечном долине направлении в течение тридцати с лишним лет.

К концу 1980-х гг. рост дельты р. Белой сделал невозможным регулируемый сброс ее воды в Краснодарское водохранилище. Русло реки через проран было выведено напрямую, мимо сбросного сооружения. После этого дельта выдвижения р. Белой стала формироваться в двух водоемах с разным уровневый режимом. В 2004 г. в створе ст. Васюринской был создан отвод (рис. 6), что повлекло за собой отмирание дельты р. Белой, формировавшейся до этого в Краснодарском водохранилище, и, как следствие, сокращение стока по ее рукавам. В обоих водоемах ввиду отсутствия на устьевых взморьях затопленных ПРК формировались многорукавные лопастные дельты выдвижения.

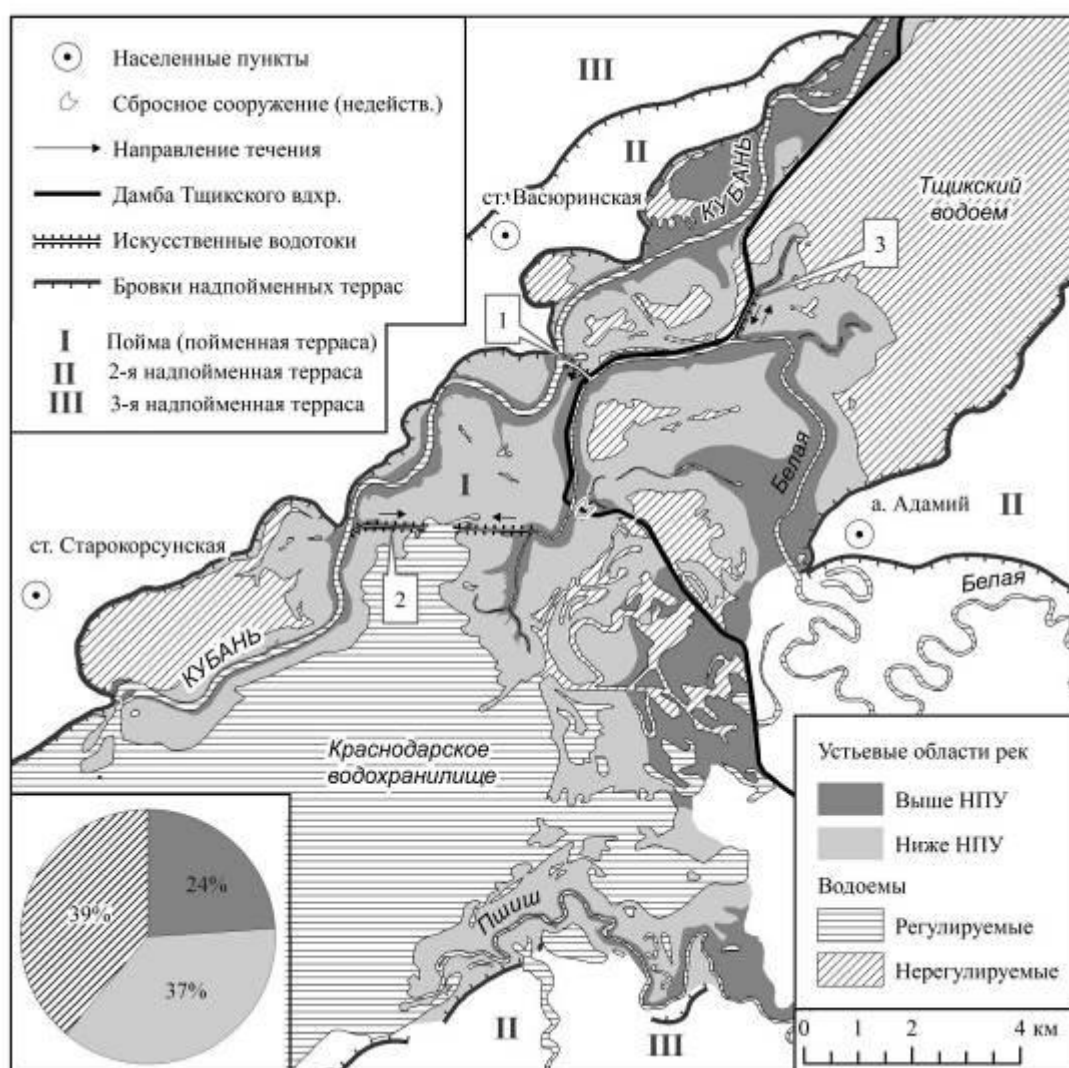


Рис. 6. Участие устьевых областей рек в трансформации Краснодарского водохранилища. Ситуация 2018 г. Искусственные водотоки: 1 – отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2004 г., 2 – отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2013 г., 3 – канал из р. Белой в Тшикское вдхр., построенный в 1990 г.

Fig. 6. The participation of river estuaries in the transformation of the Krasnodar Reservoir. The situation in 2018. Artificial watercourses: 1 – the outlet cutoff from the Belaya river to the Kuban river built in 2004, 2 – the cutoff from the Belaya river to the Kuban river built in 2013, 3 – the outlet cutoff from the Belaya river to the Tshchik Reservoir built in 1990

Показательно текущее состояние основного русла р. Белой (рис. 7). Участок «б-а» продольного профиля по дну русла р. Белой представляет собой остановившийся в развитии после сокращения стока верховой (напорный) склон отмирающей дельты. По состоянию на 2016 г. при падении уровней воды ниже отметки 32,2 м БС рукава дельты перестают функционировать, и весь сток р. Белой по участку «г-б» через отвод попадает только в р. Кубань (рис. 7).

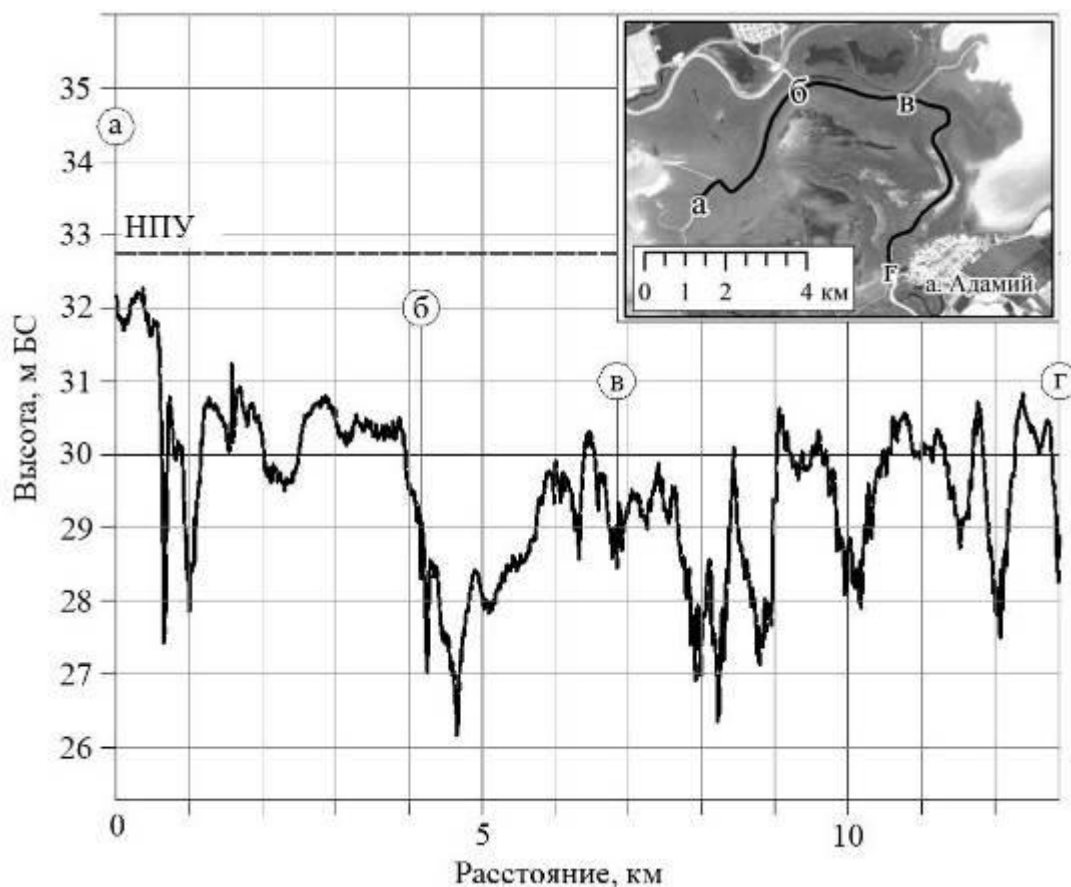


Рис. 7. Продольный профиль дна русла р. Белой ниже а. Адамий. 2016 г.

Положение точек а, б, в, г на профиле показано во врезке

Fig. 7. The longitudinal profile of the Belaya river bottom below the village of Adamiy. 2016.

The position of points а, б, в, г on the profile is shown in the sidebar

Этапы развития устьевых областей рек Краснодарского водохранилища от начала эксплуатации по настоящее время обобщены на карте (рис. 8).

Отдельно следует охарактеризовать участки в зоне переменного подпора, удаленные от устьевых областей рек – основных районов дельтоформирования. При ежегодной сработке водохранилища в плоских депрессиях, ограниченных современными прирусловыми валами и валами староречий, образуются неглубокие (0,1–0,2 м) эфемерные озера. При испарении воды обнажается поверхность дна, сложенного седиментами илистой и пылевой фракции; на обнажениях образуются трещины усыхания, разбивающие поверхность на многоугольные отдельные (рис. 8а). Таким образом, значительной площади ежегодно осушаемой части чаши Краснодарского водохранилища присущи такыровидные формы рельефа.

Дельтоформирование и трансформация водохранилища

Полученные сведения о длине и скорости нарастания дельты Кубани за выделяемые периоды приведены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика дельты р. Кубани в Краснодарском водохранилище
Dynamics of the Kuban River Delta in the Krasnodar Reservoir

Период	Линейный рост дельты, км	Средняя скорость роста, км/год
1977–1992 гг.	16,06	1,03
1993–2004 гг.	8,32	0,69
2005–2018 гг.	8,04	0,57
1977–2018 гг.	32,42	0,77

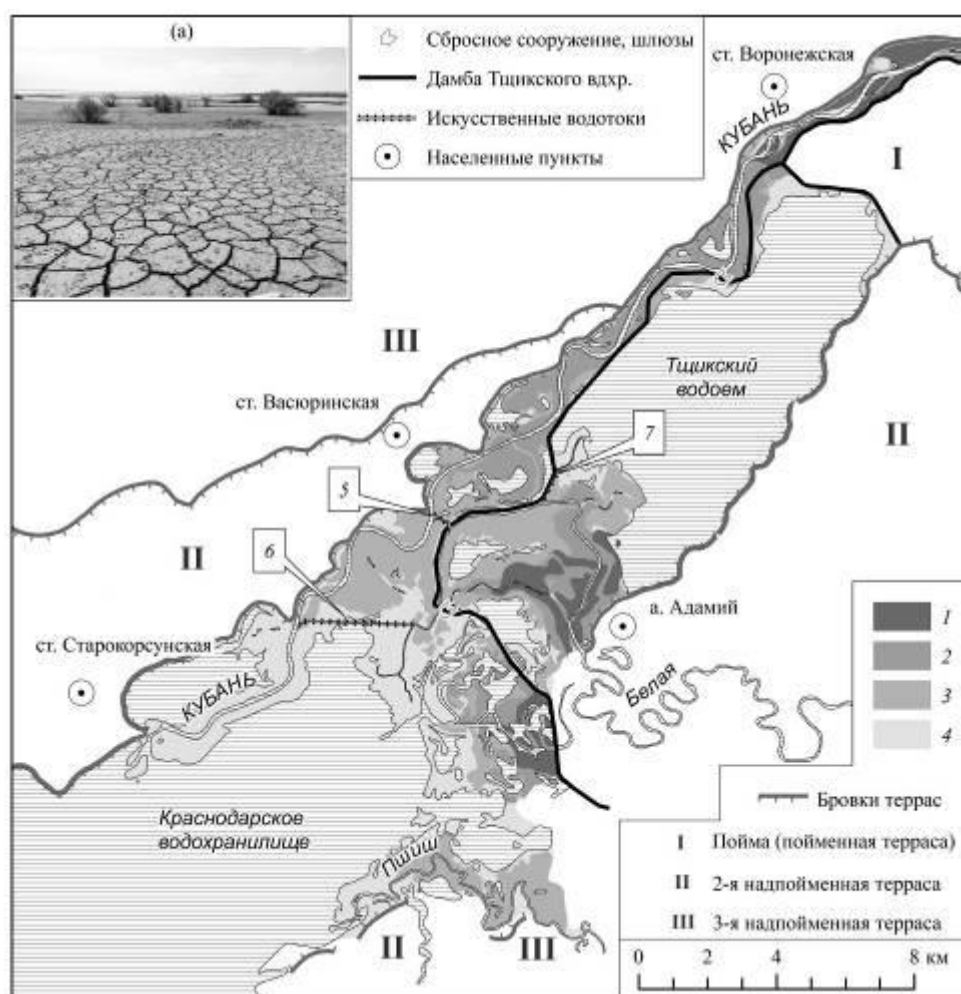


Рис. 8. Динамика развития устьевых областей рек Краснодарского водохранилища в 1977 г. (1), 1992 г. (2), 2004 г. (3) и 2018 г. (4). Искусственные водотоки: 5 – отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2004 г., 6 – отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2013 г., 7 – канал из р. Белой в Тщикское водохранилище, построенный в 1990 г. Урез воды – НПУ (33.65 м БС в 1977 г. и 1992 г., 32.75 м в 2004 г. и 2018 г.). Во врезке – такыровидные поверхности в обнаженных понижениях эфемерных озер

Fig. 8. Dynamics of the estuarine areas of the Krasnodar Reservoir rivers in 1977 (1), 1992 (2), 2004 (3) and 2018 (4). Artificial watercourses: 5 – the outlet cutoff from the Belaya river to the Kuban river built in 2004, 6 – the cutoff from the Belaya river to the Kuban river built in 2013, 7 – the outlet cutoff from the Belaya river to the Tshchik Reservoir built in 1990. The water edge is the normal headwater level (33.65 m in 1977 and 1992, 32.75 in 2004 and 2018).

Sidebar (a) shows takyr-like surfaces in the exposed depressions of ephemeral lakes

Постепенное снижение темпов роста дельты Кубани (табл. 1) вызвано следующим. На начальном этапе дельта формировалась в условиях узкого залива эстуарного типа, что обеспечивало высокую скорость ее образования. В дальнейшем при выходе в открытый водоем дельта изменила свой тип и стадию формирования, и, несмотря на «прибавку» твердого стока р. Белой, скорость ее движения к плотине уменьшилась. На снижение скорости на современном этапе (в среднем 0,57 км/год) повлияло создание в 2013 г. нового канала (рис. 6, 8). Он выполнил свою функцию отведения части наносов из основного русла Кубани. Кроме того, на темпы роста дельты повлияло увеличение длины самого русла с соответствующим снижением уклона водной поверхности потока и скоростей течения. В этом случае растет доля наносов, осаждающихся в пределах самой дельты. В табл. 2 даны площади выделенных участков, отражающих трансформацию Краснодарского водохранилища в связи с процессами дельтоформирования.

Таблица 2

Формирование устьевых областей рек Краснодарского водохранилища
Formation of the estuarine areas of the Krasnodar Reservoir rivers

Участок	Площадь, км ²				
	1977 г.	1992 г.	2004 г.	2018 г.	
				Всего	В том числе выше НПУ
Дельта выдвижения р. Белой в Тщикское вдхр.	4,05	7,65	16,35	19,82	7,10
Дельта выдвижения р. Белой в Краснодарское вдхр.	–	–	0,82	5,40	1,04
Дельта выполнения р. Кубани	4,15	13,47	25,62	27,85	16,76
Дельта выдвижения р. Кубани	–	–	–	13,56	1,36
Дельта выдвижения р. Пшиша	–	–	4,93	9,32	2,47
Прирусловые валы старого русла р. Белой	2,16	4,17	7,07	11,57	4,95
Участки зарастания литорали в Тщикском водоеме	–	0,83	2,03	4,36	–
Тщикский водоем	–	–	–	48,68	–
Всего	10,36	26,12	54,80	140,56	33,69

Наиболее значительным участком дельтоформирования в акватории Краснодарского водохранилища является дельта р. Кубани. Общая площадь, отторгнутая дельтой от акватории водоема за 1973–2018 гг., составляет 41,41 км². Дельты выдвижения, сформированные р. Белой, в настоящее время имеют общую площадь 25,22 км², из них 19,82 км² расположено в Тщикской чаше, а 5,40 км² – в Краснодарской, к западу от дамбы. Площадь обособленного Тщикского водоема к 2018 г. при НПУ составляет 48,68 км² (табл. 2). При уровнях ниже 32,2 м (по состоянию на 2016 г.) этот водоем становится бессточным и питания не имеет. Река Пшиш к 2018 г. образовала дельту выдвижения площадью 9,32 км². Таким образом, процессы дельтоформирования привели к сокращению площади зеркала Краснодарского водохранилища к 2018 г. на 140,56 км², т.е. на 35% его проектной площади.

Выводы

1. По данным спутниковых снимков Landsat, топографических карт и материалов батиметрических съемок проанализированы ключевые особенности трансформации Краснодарского водохранилища. Основная причина трансформации – дельтоформирование, вызванное взаимодействием приемного водоема и русел основных впадающих рек. На

процессы дельтоформирования и расчленения водоема влияют особенности местного рельефа, в первую очередь – наличие в пойме р. Кубани обвалованных русел левых притоков, а также собственно кубанского затопленного пойменно-руслового комплекса. Среди левобережных притоков р. Белая выделяется водностью и объемами твердого стока.

2. Дельта основной реки Кубани за 40 с лишним лет сменила в своем развитии стадию дельты выполнения ингрессионного залива на дельту выдвижения, совмещающую как лопастной, так и клювовидный типы. Формирование последних определяется извилистостью приустьевых участков затопленного ПРК.

3. Гидрологический режим Краснодарского водохранилища с выраженными сезонными фазами высоких и меженных уровней способствовал образованию в продольном профиле двух устьевых баров: верхнего – основного, формирующегося в период половодья, и нижнего, образуемого материалами размыва русла при понижении уровня водоема и наносами в период сработки. Положение верхнего устьевого бара приближается к нижнему вследствие устьевого удлинения русла при его выдвижении в приемный водоем.

4. Наиболее активное отступление Краснодарского водохранилища с момента ввода его в эксплуатацию отмечено в дельте Кубани. Площадь, отторгнутая ею от акватории водоема за 1977–2018 гг., составляет 41,41 км². При этом скорость продвижения дельты Кубани имеет тенденцию к уменьшению: от 1,03 км/год (1977–1992 гг.) до 0,57 км/год (2005–2018 гг.). Это объясняется рядом обстоятельств: эволюционным преобразованием дельты эстуарного типа в дельту выдвижения; созданием в 2013 г. искусственной прорези, отводящей часть взвешенных наносов из основного русла Кубани; общим увеличением длины русла реки в пределах растущей дельты. Дельта р. Белой занимает площадь 25,22 км², из них 19,82 км² относятся к Тщикской чаше. Площадь, отторгнутая от водоема аллювиальными отложениями р. Белой вместе с прирусловыми валами ее старого русла, составляет 36,79 км². Площадь изолированного Тщикского водоема в 2018 г. составляет 48,68 км². Река Пшиш к 2018 г. сформировала дельту выдвижения площадью 9,32 км². Таким образом, площадь зеркала Краснодарского водохранилища за 1973–2018 гг. в результате дельтоформирования впадающих в водохранилище рек и отторжения Тщикского водоема сократилась на 140,56 км², или на 35%.

5. В обозримой перспективе дельта Кубани неизбежно продолжит свое выдвижение к нижней границе зоны динамического подпора, расстояние до которой по руслу составляет всего 9,9 км, т.е. менее трети линейного роста дельты в 1977–2018 гг. При достижении этой границы водохранилище перейдет в качественно новый этап деградации: вне зависимости от подпора и гидрологического периода реки дельта будет формироваться уже в пределах уровня мертвого объема водохранилища.

Библиографический список

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 331 с.
2. Алексеевский Н.И., Беркович К.М., Чалов Р.С., Чалов С.Р. Пространственно-временная изменчивость русловых деформаций на реках России // География и природные ресурсы. 2012. №3. С. 13–21.
3. Бабич Д.Б., Виноградова Н.Н., Иванов В.В., Коротаев В.Н., Чалова Е.Р. Типизация и динамика устьев рек, впадающих в водохранилища // Геоморфология. 2018. №1. С. 33–44.
4. 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.
5. Лагута А.А., Погорелов А.В. Особенности заиления Краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съемок // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 54–66.

6. Лагута А.А., Погорелов А.В. О переработке берегов Краснодарского водохранилища // Региональные географические исследования: сб. науч. тр. Краснодар: Изд-во Кубанского гос. ун-та, 2019. Вып. 2(12). С. 23–30.
7. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 500 с.
8. Маккавеев Н.И., Белинович И.В., Хмелева Н.В. Русловые процессы в зонах переменного подпора // Русловые процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 318–337.
9. Михайлов В.Н. Речные дельты: Строение, образование, эволюция // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. №3. С. 60–66.
10. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Курносова А.С. Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №1(40). С. 130–137.
11. Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 400с.
12. Правила использования водных ресурсов Краснодарского водохранилища. ПИИ «Кубаньводпроект». Краснодар, 2008. 158 с.
13. Оценка процессов заиления участков рек Кубань, Пшиш и Псекупс в зонах подпора Краснодарским водохранилищем. Краснодар, 2001. 45 с.
14. Эрозионно-русловые системы: монография / под ред. Р.С. Чалова, А.Ю. Сидорчука, В.Н. Голосова. М.: ИНФРА-М, 2017. 698 с.
15. Официальный сайт Геологической службы США [Электронный ресурс]. URL: <https://glavis.usgs.gov/> (дата обращения: 01.10.2018-17.06.2019).
16. Официальный сайт Кубанского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kbv-u-fgu.ru/> (дата обращения: 01.08.2018).
17. Brown C.B. The Control of Reservoir Silting / C.B. Brown. U. S. Dept. Agr. Misc. Pub. 521, 1943. P. 38.

References

1. Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Vodokhranilishcha [Reservoirs]. М.: Mysl', 1987. 331 p.
2. Alekseevskii N.I., Berkovich K.M., Chalov R.S., Chalov S.R. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' ruslovykh deformatsii na rekakh Rossii [Spatio-temporal variability of channel deformations on the rivers of Russia] // Geografiya i prirodnyye resursy. 2012. № 3. PP. 13–21.
3. Babich D.B., Vinogradova N.N., Ivanov V.V., Korotaev V.N., Chalova E.R. Tipizatsiya i dinamika ust'ev rek, vpadayushchikh v vodokhranilishcha [Typification and dynamics of estuaries of rivers flowing into reservoirs] // Geomorfologiya. 2018. №1. Pp. 33–44.
4. Kurbatova I.E. Monitoring transformacii Krasnodarskogo vodokhranilishha s ispol'zovaniem sputnikovyh dannyh vysokogo razresheniya [Transformation monitoring of the Krasnodar reservoir using high resolution satellite data] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2014. Т. 11. № 3. PP. 42–53.
5. Laguta A.A., Pogorelov A.V. Osobennosti zailenija Krasnodarskogo vodokhranilishha. Opyt otsenki po dannym batimetricheskih s'emok [Peculiarities of Krasnodar water Reservoir silting. Evaluation based on the data of bathymetric surveys] // Geograficheskij vestnik = Geographical bulletin. 2018. №4 (47). PP. 54–66.
6. Laguta A.A., Pogorelov A.V. O pererabotke beregov Krasnodarskogo vodokhranilishcha [About the processing of the Krasnodar reservoir's coastline] // Regional'nye geograficheskie issledovaniya: sb. nauch. tr. Krasnodar: Kuban state university, 2019. V. 2(12). PP. 23–30.
7. Lur'e P.M., Panov V.D., Tkachenko Ju.Ju. Reka Kuban': gidrografija i rezhim stoka [Kuban River: hydrography and flow regime]. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. 500 p.

8. Makkaveev N.I., Belinovich I.V., Khmeleva N.V. Ruslovyie protsessy v zonakh peremennogo podpora [Channel processes in zones of variable backwater] // Ruslovyie protsessy. M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. PP. 318–337.
9. Mihajlov V.N. Rechnye del'ty: Stroenie, obrazovanie, evoljucija [River deltas: Structure, formation, evolution] // Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. 2001. Tom 7. №3. PP. 60–66.
10. Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Kurnosova A.S. Sputnikovyy monitoring Krasnodarskogo vodohranilishha [Satellite monitoring of the Krasnodar Reservoir] // Geograficheskij vestnik = Geographical bulletin. 2017. №1 (40). PP. 130–137.
11. Saf'yanov G.A. Geomorfologiya morskikh beregov [Coastal Geomorfology]. M.: Izdatel'stvo MGU, 1996. 400 p.
12. Pravila ispol'zovaniya vodnyh resursov Krasnodarskogo vodohranilishha [Rules for the use of water resources of the Krasnodar Reservoir]. PII «Kuban'vodproekt». Krasnodar, 2008. 158 p.
13. Otsenka protsessov zaileniya uchastkov rek Kuban', Pshish i Psekups v zonakh podpora Krasnodarskim vodokhranilishchem [Evaluation of the siltation processes of the Kuban, Pshish and Psekups rivers in the area of the backwater of the Krasnodar Reservoir]. PII «Kuban'vodproekt». Krasnodar, 2001. 45 s.
14. Erozionno-ruslovyie sistemy: monografiya [Erosion-channel systems: a monograph] / pod nauch. red. Chalova R.S., Sidorchuka A.Yu., Golosova V.N. M.: INFRA-M, 2017. 698 s.
15. The official site of the United States Geological Survey, available at: <https://glovis.usgs.gov/> (Accessed 1 October 2018 – 1 August 2019).
16. The official site of the Kuban Basin Water Administration of the Federal Agency for Water Resources, available at: <http://www.kbv-u-fgu.ru/> (Accessed 1 August 2018).
17. Brown C.B. The Control of Reservoir Silting / C.B. Brown. U. S. Dept. Agr. Misc. Pub. 521, 1943. P. 38.

Поступила в редакцию: 14.08.2019

Сведения об авторах

Лагута Андрей Александрович

ведущий инженер, ООО «Аэрогеоматика»;
350063, Россия, г. Краснодар,
ул. им. Фрунзе, д. 22/1

About the authors

Andrey A. Laguta

Leading Engineer, Aerogeomatica LLC;
22/1, Frunze st., Krasnodar, 350063,
Russia

e-mail: alaguta@icloud.com

Погорелов Анатолий Валерьевич

доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой геоинформатики,
Кубанский государственный университет;
Россия, 350040, г. Краснодар,
ул. Ставропольская, д. 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 дельтоформирования рек, впадающих в долинное водохранилище (на примере Краснодарского водохранилища) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №3(50). С. 119–134. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.

Please cite this article in English as:

Laguta A.A., Pogorelov A.V. Peculiarities of delta formation in rivers flowing into the valley reservoir (a case study of Krasnodar reservoir) // Geographical bulletin. 2019. №3(50). P. 119–134. doi 10.17072/2079-7877-2019-3-119-134.

УДК 681.518.(075.32)

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-3-134-145

**ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ****Андрей Владимирович Тарасов**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-6623>, РИНЦ Author ID: 1040743,

SPIN-код: 3994-7421

e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

В статье освещены некоторые результаты применения методов оперативного картографирования на примере пилотного проекта по организации ежемесячного мониторинга лесохозяйственной деятельности с использованием снимков с космических аппаратов PlanetScope и Sentinel-2. Объектом исследования стал тестовый участок (Добрянское лесничество площадью 396 777 га, расположенное в Пермском крае), предметом оперативного картографирования являлись негативные изменения на лесных территориях (пожары, вырубки, ветровалы). Выявление изменений производилось с помощью разности вегетационного индекса TVI, что обусловлено особенностями съемочной системы PlanetScope, на которой установлены сенсоры для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов спектра. Благодаря созданию полуавтоматических инструментов удалось сократить время получения карт до 1–2 дней, что является одним из основных признаков оперативного картографирования. Использование данных с современных спутниковых систем позволяет увеличить временное разрешение оперативного картографирования лесохозяйственной деятельности до 1 месяца (в некоторых случаях до 1 недели). Главным ограничением разработанного метода является невозможность получения безоблачных снимков с требуемой частотой, особенно в осенний период.

Ключевые слова: оперативное картографирование, PlanetScope, Sentinel-2, вегетационные индексы.