

УДК: 556.555.6

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-335-348

А.А. Лагута¹, А.В. Погорелов²

**АНАЛИЗ ЗАИЛЕНИЯ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
В ДЕГРАДИРУЮЩЕМ ПОЙМЕННО-ДОЛИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ
(НА ПРИМЕРЕ КРАСНОДАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)**

АННОТАЦИЯ

В статье по данным материалов батиметрических съёмок, топографических карт и спутниковых снимков анализируются процессы отложения наносов в чаше пойменно-долинного Краснодарского водохранилища в связи с циркуляцией водных масс. За период эксплуатации с 1973 г. площадь Краснодарского водохранилища сократилась на 35 % при значительном уменьшении полезного объёма. Особое внимание уделяется анализу циркуляции вод — важнейшему фактору формирования тела заиления, переработки берегов и распределения наносов. Среднегодовой объём заиления Краснодарского водохранилища за 2005–2016 гг. оценивается в 6,9 млн м³. Наибольшее увеличение толщины тела заиления (4–8 м и более) отмечено в устьевых участках крупных впадающих в водохранилище рек — в пределах устьевого взморья р. Кубани и дельты р. Белой. Вообще формирование дельт играет ключевую роль в трансформации чаши водоёма. Наступающая дельта Кубани за 1977–2018 гг. заняла в акватории водохранилища площадь 41,41 км², а дельты выдвигания, сформированные р. Белой, в настоящее время имеют общую площадь 25,22 км².

Циркуляция водных масс исследована с помощью акустического доплеровского измерителя течений — профилографа. Механизмы трансформации чаши и особенности отложения наносов рассматриваются в аспекте движения водных масс в связи со стоковой и ветровой составляющими циркуляции, а также гидродинамикой в устье Кубани. Установлено, что в поперечном профиле в водохранилище действуют два разнонаправленных потока. Основным является правый поток, формирующийся под влиянием стока Кубани и сброса воды из водохранилища, с направлением на юго-запад (вдоль северного берега) и средней скоростью 0,04 м/с; левый поток со средней скоростью 0,01 м/с направлен на восток. Скорости потоков уменьшаются с приближением к оси циркуляции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Краснодарское водохранилище, батиметрическая съёмка, внутренние дельты, заиление, течения

¹ ООО «Аэрогеоматика», ул. им. Фрунзе, д. 22/1, 350063, Краснодар, Россия; *e-mail*: alaguta@icloud.com

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

Andrey A. Laguta¹, Anatoly V. Pogorelov²

**ANALYSIS OF SILTING AND HYDRODYNAMIC PROCESSES
IN THE DEGRADING FLOODPLAIN-VALLEY RESERVOIR
(ON THE EXAMPLE OF THE KRASNODAR RESERVOIR)**

ABSTRACT

Based on the data of bathymetric surveys, topographic maps, and satellite images, the article analyzes sediment deposition processes in the bowl of the floodplain-valley Krasnodar Reservoir in connection with the circulation of water masses. Over the period of operation since 1973, the area of the Krasnodar reservoir decreased by 35 % with a significant decrease in usable volume. Particular attention is paid to the analysis of water circulation — the most important factor in the formation of the siltation body, processing of coasts and distribution of sediments. The average annual siltation of the Krasnodar Reservoir for 2005–2016 estimated at 6.9 mn m³. The greatest increase in the thickness of the siltation body (4–8 m or more) was recorded in the estuarine areas of the largest rivers flowing into the reservoir — within the estuary of the Kuban river and the Belaya river delta. In general, the formation of deltas plays a key role in the transformation of the reservoir. The upcoming Kuban delta from 1977–2018 occupied an area of 41.41 km² in the water area of the reservoir, and the extension deltas formed by the Belaya river currently have a total area of 25.22 km².

The circulation of water masses was studied using an acoustic Doppler profilograph. Bowl transformation mechanisms and sediment deposition features are considered in the aspect of the movement of water masses in connection with the river flow and wind components of the circulation, as well as hydrodynamics at the mouth of the Kuban. It has been established that in the transverse profile in the reservoir there are two multidirectional flows. The main one is the right flow, formed under the influence of the Kuban runoff and the discharge of water from the reservoir, with a direction to the south-west (along the northern coast) and an average speed of 0.04 m/s; the left flow at an average speed of 0.01 m/s is directed east. Flow rates decrease with approach to the circulation axis.

KEYWORDS: Krasnodar Reservoir, bathymetric survey, inland river deltas, siltation, water flows

ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования выступает пойменно-долинное Краснодарское водохранилище, расположенное в нижнем течении р. Кубани между станицей Воронежской и Краснодаром на территории Краснодарского края и Республики Адыгея. По размерам водохранилище, согласно классификации [Авакян, Шаранов, 1977], относится к категории крупных. 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 объём воды 2,2 км³ при полной ёмкости около 3 км³ [Лурье и др., 2005]. В водоём, кроме основной реки Кубани, впадают левые её притоки — Белая, Пшиш, Марта, Апчас, Шундук, Псекупс. Основные функции Краснодарского водохранилища: защита от наводнения земель при пропуске паводка с расходами до 1500 м³/с и орошение рисовых систем в низовьях Кубани.

В процессе эксплуатации вследствие заиления водохранилище претерпело значительную трансформацию с изменением его начальных эксплуатационных характеристик (уменьшились площадь зеркала, полезный объём, средние глубины и пр.).

¹ LLC “Aerogeomatica”, Frunze str., 22/1, 350063, Krasnodar, Russia; e-mail: alaguta@icloud.com

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

На трансформацию чаши существенное влияние оказало активное формирование дельт впадающих в образованный водоём рек (Кубань, Белая и др.) с весьма высокими показателями мутности [Лурье и др., 2005]. Оценкам состояния, анализу этапов и тенденций трансформации Краснодарского вдхр. за период эксплуатации посвящены публикации [Курбатова, 2014; Лагута, Погорелов, 2018; и др.¹]. В результате заиления часть водоёма на месте бывшего Тщикского вдхр. оказалась изолированной от основной акватории Краснодарского вдхр. надводной перемычкой; площадь этого изолированного водоёма по состоянию на 2018 г. составила 48,68 км². Таким образом, площадь зеркала Краснодарского вдхр. за 1973–2018 гг. в целом сократилась на 140,56 км², или на 35 %. Объём водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) в основной чаше на площади 229 млн км² за 1973–2016 гг. сократился на 83,2 млн м³ (т.е. на объём заиления), объём при уровне мёртвого объёма — на 41,6 млн м³. Средняя глубина при НПУ уменьшилась на 0,36 м [Лагута, Погорелов, 2018].

Происходящие изменения пойменно-долинного водохранилища (по сути — деградация) при всей его хозяйственной значимости заслуживают детального количественного анализа с раскрытием факторов и механизмов трансформации чаши искусственного водоёма, включая гидродинамические процессы. В данной статье на основе материалов батиметрических съёмок, топографических карт и спутниковых снимков анализируются процессы отложения наносов в чаше водохранилища в связи с циркуляцией водных масс. Особое внимание уделяется анализу циркуляции вод — важнейшему фактору формирования тела заиления, переработки берегов и распределения наносов в водохранилище.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ многолетних преобразований конфигурации водоёма выполнен нами по данным спутниковых снимков Landsat (1974–2018 гг.)², топографических карт 1940–1942 гг. и полевых наблюдений 2016–2019 гг. Батиметрическая съёмка выполнена в 2016 г. профилографом «Rio Grande 1200 kHz». Положение промерных галсов представлено на рис. 1; расстояния между галсами — 100 м. Для детального измерения 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. Общая протяжённость промерных маршрутов, пройденных при батиметрической съёмке в 2016 г., составила 3 525 км с количеством точек измерения глубин около 1,451 млн. Обработка материалов съёмок и построение ЦМР выполнены в программе ArcGIS.

Анализ циркуляции водных масс в водохранилище выполнен с помощью акустического доплеровского измерителя течений ADCP — профилографа. Профилограф обеспечивает сбор полевых данных большого объёма в виде мгновенных измерений направления и скорости течения с высоким пространственным разрешением. С 2009 г. профилографы используются в подразделениях Росгидромета; изданы руководства, регламентирующие методику измерений расходов воды этими устройствами³. Оценки циркуляции, как правило, базируются на измерениях скоростей и расходов воды на поперечных профилях водоёмов. Сведения о течениях в крупных озёрах и

¹ Например, Погорелов А.В., Литилин Д.А., Курносова А.С. Спутниковый мониторинг Краснодарского водохранилища. Географический вестник = Geographical bulletin, 2017. № 1 (40). С. 130–137. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-1-130-137

² Официальный сайт Геологической службы США. Электронный ресурс: <https://glovis.usgs.gov/> (дата обращения 01.10.2018–17.06.2019)

³ РД 52.08.767-2012. Расход воды на водотоках. Методика измерений акустическими доплеровскими профилографами «Stream Pro» и «Rio Grande». М.: Росгидромет, 2012. 84 с.

водохранилищах и схемы течений для конкретных водоёмов по данным акустических доплеровских измерений приводятся эпизодически. Известны результаты исследований на озёрах Аппер-Клатат, США [Vermeijen, Wahl, 1999], Мид, США [Vermeijen, 2009], а также на озере Кинерет (Галилейское море), Израиль [Серебряный и др., 2018].

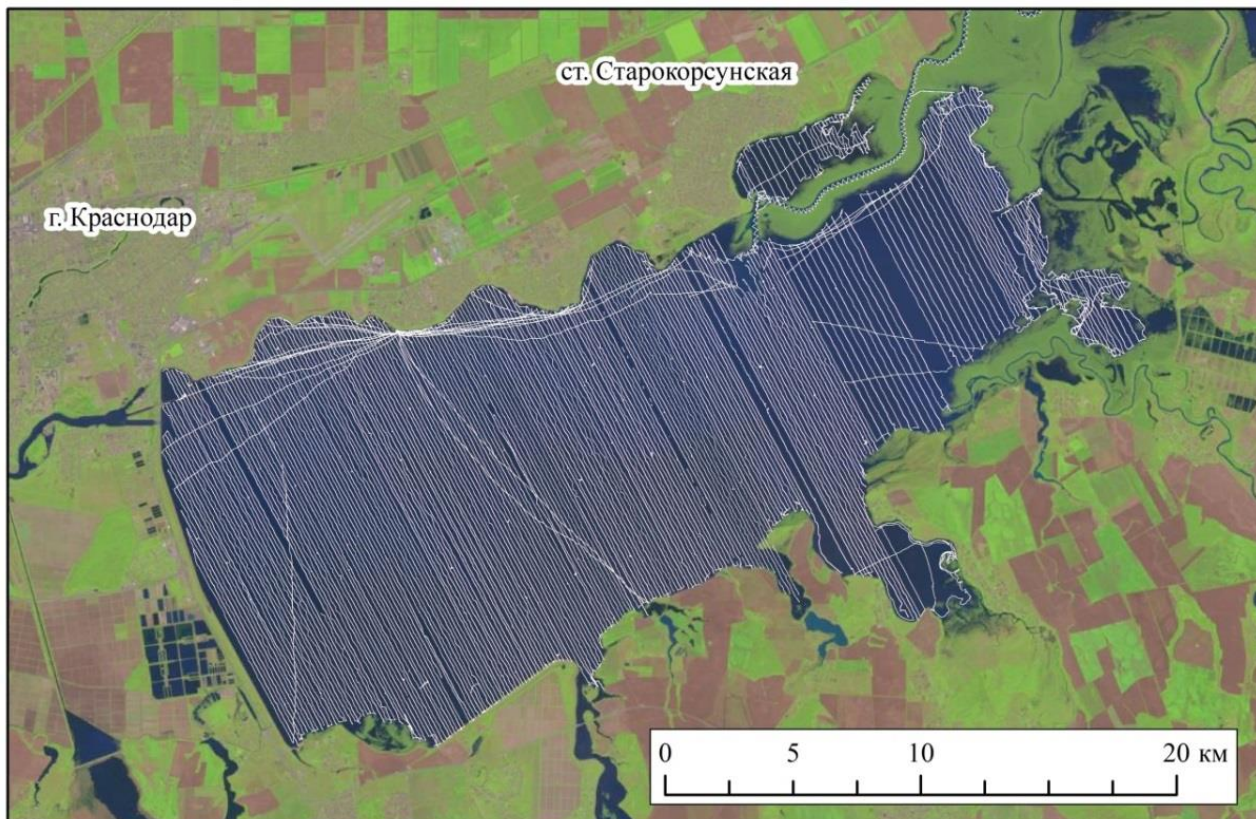


Рис. 1. Схема расположения промерных галсов в Краснодарском водохранилище при выполнении батиметрической съёмки
Fig. 1. Scheme of the location of the survey transects during bathymetric survey of the Krasnodar Reservoir

Методика ADCP-измерений сводится к следующему. Каждое частное измерение вектора скорости по промерной вертикали, соответствующей в плане точке измерения глубины, производится в отдельной ячейке высотой 0,25 м. При движении вдоль галса формируется профиль скорости от поверхности до дна. Скорость измеряется по трём ортогональным осям X, Y и Z (East, North, Up или U, V, W) относительно неподвижного дна водоёма (донный след), направление — по встроенному магнитному компасу. Посредством ADCP дополнительно выполняется регистрация интенсивности акустического эха, получаемого от взвешенных в воде частиц и объектов (минеральное вещество, планктон, пузырьки воздуха и т.п.), и обеспечивается отображение распределения величины обратного рассеяния.

Измерения выполнены в июле-августе — периоде с наименьшими в течение года средними скоростями ветра в районе Краснодарского вдхр. Фоном для съёмки в представлениях мезомасштабной временной изменчивости течений послужили суточные изменения, непосредственно влиявшие на формирование поля скоростей и циркуляцию

водных масс в целом. Среди них изменения как естественного происхождения (скорость и направление ветра, приточность), так и техногенного (режим эксплуатации водохранилища) (табл. 1).

Табл. 1. Эксплуатационные и метеорологические условия во время измерений (фрагмент)
Table 1. Operational and meteorological conditions during measurements (fragment)

Даты съёмки	Рабочие уровни воды в водохранилище, м БС	Сведения о промерных галсах		Ветровой режим		Гидравлические характеристики		
		Количество	Номера	Направление ветра ¹	Скорость ветра, м/с	Приток, м ³ /с	Сброс, м ³ /с	Разность, м ³ /с
07.07.2016	33,06	6	80-75	З	2	801	930	129
11.07.2016	33,07	4	73-69	В	3	892	930	38
04.08.2016	32,38	12	221-232	ЮЗ	1	233	618	385

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дельтоформирование

По нашим расчётам, наиболее активная аккумуляция наносов и одновременно отступление Краснодарского вдхр. происходит в устьевых областях рр. Кубани и Белой (рис. 2). Дельта Кубани за 40 с лишним лет сменила в своём развитии стадию дельты выполнения ингрессионного залива на дельту выдвигения. Площадь, отторгнутая наступающей дельтой Кубани от акватории водоёма за 1977–2018 гг., составляет 41,41 км². Дельты выдвигения, сформированные р. Белой, в настоящее время имеют общую площадь 25,22 км²; из них 19,82 км² расположено в изолированной Тщикской чаше, а 5,40 км² — в Краснодарской. Дельта выдвигения Пшиша охватывает площадь 9,32 км², при этом за 2004–2018 гг. площадь дельты увеличилась вдвое. Образовавшиеся устьевые участки сократили площадь зеркала Краснодарского вдхр. за период его эксплуатации (с учётом отторгнутой Тщикской чаши) на 35 %.

Заиление

Изменения тела заиления за период между батиметрическими съёмками 2004–2005 гг. и 2016 г. отражены на рис. 3. Наибольшее увеличение толщины тела заиления (4–8 м и более) отмечено в пределах устьевого взморья р. Кубани на левобережной пойменной террасе затопленной долины. Значительно увеличилась толщина тела заиления в устье р. Пшиш — до 1,5–2 м. На большей части анализируемой акватории заиление не превышает при среднем значении 0,36 м.

¹ Указано направление ветра, принятое в метеорологии

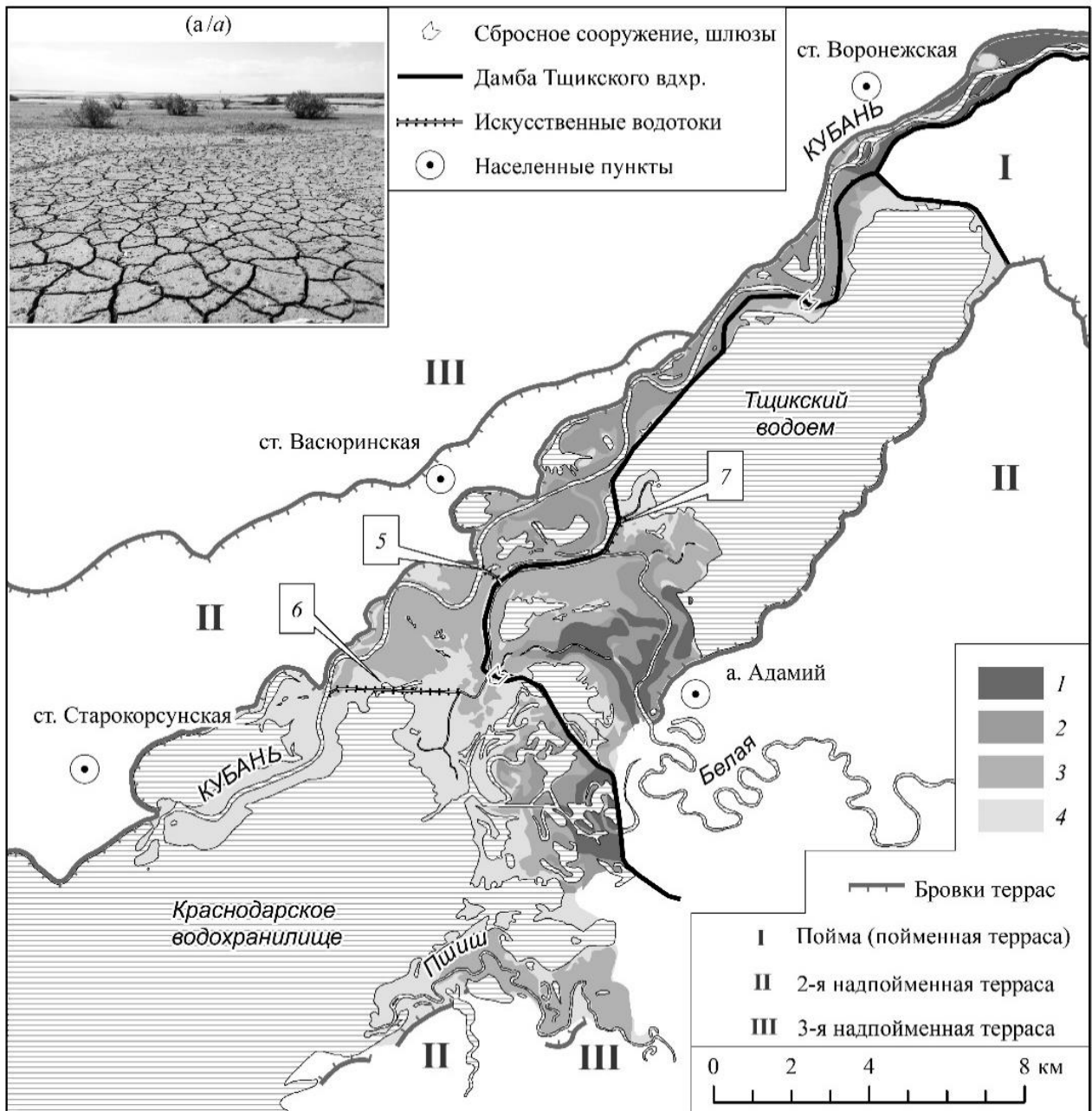


Рис. 2. Динамика развития устьевых областей рек Краснодарского вдхр. в 1977 г. (1), 1992 г. (2), 2004 г. (3) и 2018 г. (4). Искусственные водотоки: 5 — отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2004 г., 6 — отвод из р. Белой в р. Кубань, построенный в 2013 г., 7 — канал из р. Белой в Тщикское вдхр., 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 (a) — такыровидные поверхности в обнажённых понижениях эфемерных озёр

Fig. 2. 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

Циркуляция водных масс

Сведения о промерных галсах по данным батиметрической съёмки 2016 г. и сопутствующих метеорологических и эксплуатационных условиях даны в табл. 1. При воздействии на поверхность водоёма северо-восточных и восточных ветров в водохранилище формируется циклоническая циркуляция со стоковым течением вблизи правого (северного) берега. На рис. 4а приведён профиль с векторами скоростей, осреднёнными по 30 ансамблям. Съёмка по галсу выполнялась 11.07.2016 при восточном ветре скоростью до 3 м/с. Отчётливо видно, что в поперечном профиле выделяются два разнонаправленных потока. Правый поток, формирующийся под влиянием стока Кубани и сброса из Краснодарского гидроузла, по нашим расчётам имеет суммарный расход воды $1714 \text{ м}^3/\text{с}$, среднее направление на юго-запад (азимут 229°) и среднюю скорость $0,04 \text{ м/с}$; левый поток характеризуется расходом $830 \text{ м}^3/\text{с}$, направлением на восток (азимут 84°) и скоростью $0,01 \text{ м/с}$. Сброс воды из водохранилища 11.07.2016 составил $930 \text{ м}^3/\text{с}$. Расход стокового течения, превышающий в 2 р. общую приточность в водохранилище, объясняется вовлечением в речную струю водных масс водоёма [Михайлов, 1997]. Скорости обоих потоков уменьшаются с приближением к продольной оси водоёма — оси циркуляции. Профиль интенсивности обратного рассеяния, показывающего концентрацию взвешенных частиц в воде, свидетельствует о высоком градиенте между приповерхностным слоем до 1,4 м и более глубокими слоями (рис. 4).

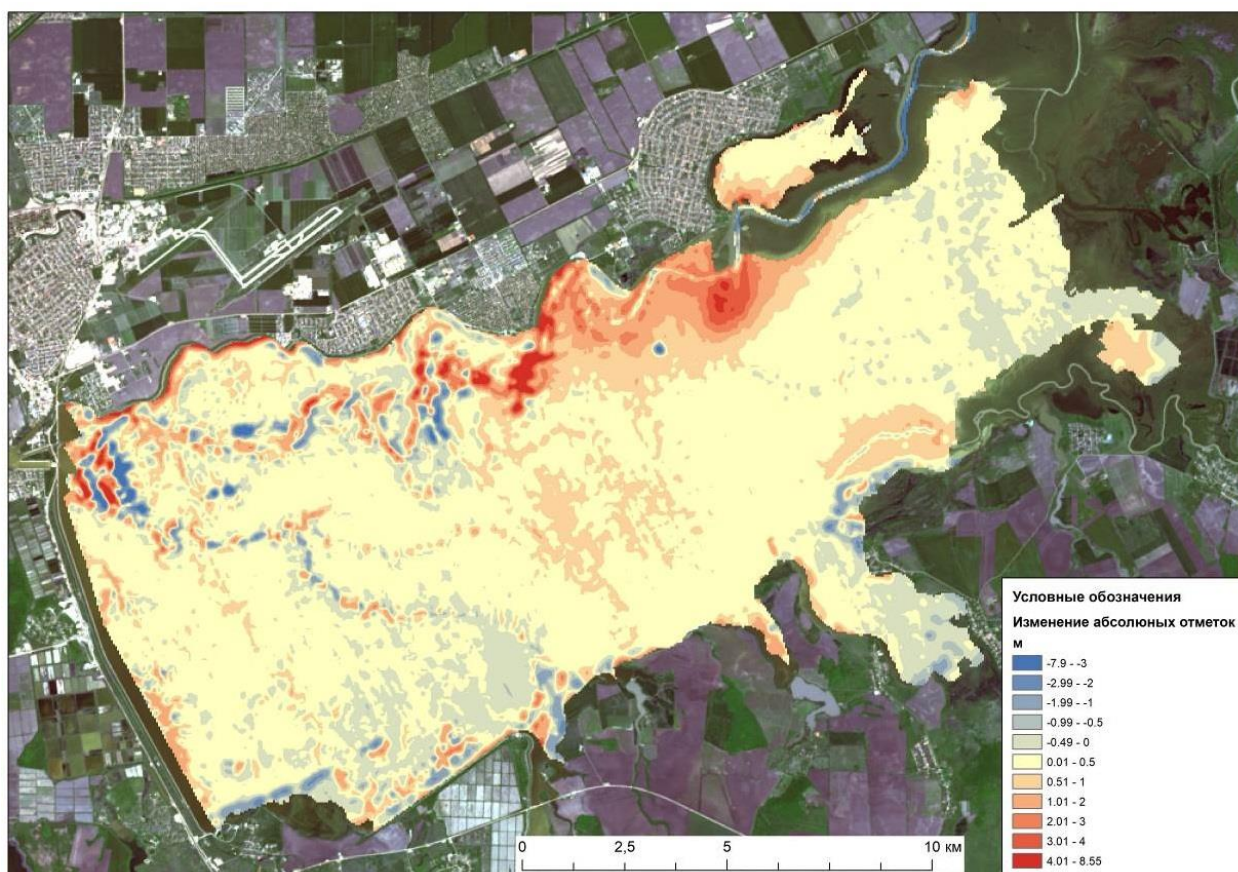


Рис. 3. Приращение тела заиления Краснодарского водохранилища за период 2005–2016 гг.

Fig. 3. The increment of the siltation body of the Krasnodar Reservoir for the period 2005–2016

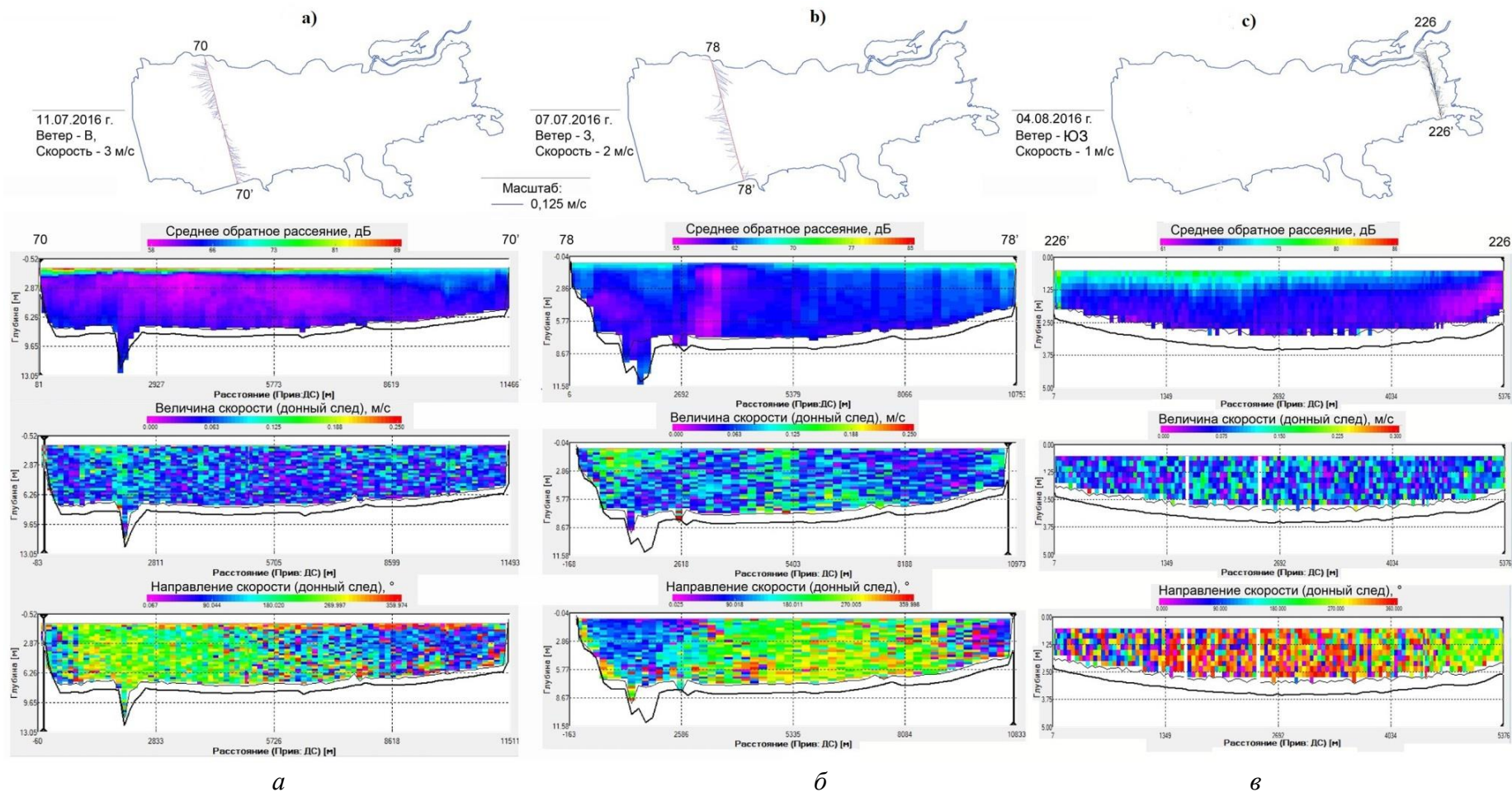


Рис. 4. Поперечные профили интенсивности обратного рассеяния (концентрация взвешенных частиц), скорости и направления течения (векторы скорости) вдоль промерных галсов № 70 (а), 78 (б), 226 (в)
 Fig. 4. Cross-sectional profiles of the intensity of backscattering (concentration of suspended particles), velocity and direction of flow (vectors of velocity) along the transects No 70 (a), 78 (b), 226 (c)

При западном ветре, как показали данные измерений 07.07.2016, формируется иная схема течений, а именно наблюдается отклонение стокового течения от правого берега к осевой части водоёма (рис. 4 б). Съёмка по промерному галсу № 78 выполнялась при западном ветре скоростью до 2 м/с. В анализируемом профиле выделяются три участка циркуляции водных масс. Течение в центральной части имеет расход воды 1930 м³/с, с господствующим движением водной массы на юго-запад (азимут 248°) со средней скоростью 0,03 м/с. Стоковая струя оттеснена от правого берега вглубь водоёма течением в восточном направлении (азимут 106°) с расходом 732 м³/с и средней скоростью 0,03 м/с. У левого берега формируется течение, противоположное стоковому, с расходом воды 262 м³/с. Наибольшие измеренные скорости течения при такой схеме циркуляции отмечены в центральной части стокового течения, а также в местах впадения рек.

Сброс из водохранилища 07.07.2016 составил 930 м³/с, что сопоставимо с суммарным расходом по створу; это отражает наличие определённой схемы течений в конкретных условиях, а именно стоковой струи и образуемых ею и западным ветром циркуляций водных масс. Косвенно на это также указывают пониженные значения интенсивности обратного рассеяния, наблюдаемые по всей толще воды на расстоянии около 3 км от правого берега (рис. 4 б). Причина — вытеснение взвешенных частиц из осевого участка циркуляции под действием центробежной силы. Высокие вертикальные градиенты интенсивности обратного рассеяния между приповерхностным слоем (до 1,4 м) и более глубокими слоями отмечены во всех случаях.

Распределение осреднённых по вертикали скоростей течения подтверждает локализацию стокового течения с выраженным движением на восток вдоль правого (северного) берега водоёма (рис. 5). Максимальные скорости (более 0,5 м/с) наблюдаются в устьях рр. Кубани и Пшиша. В осевой и приплотинной части акватории скорости не превышают 0,05 м/с, в некоторых случаях понижаясь до 0,01 м/с. На рис. 5 б показано распределение осреднённой по вертикали широтной составляющей скорости течения (U) в условиях ветрового воздействия на динамику водных масс в ходе съёмки. Как видим, при восточном ветре (это направление имеет повышенную частоту в течение всего года) [Справочник..., 1967] в водоёме наблюдается циклоническая циркуляция: вдоль правого берега водные массы перемещаются преимущественно на запад (векторы 180–360°), вдоль левого — на восток (0–180°).

Наконец, анализ гидродинамики дополним построенной схемой распределения скоростей движения водных масс в устьевой области р. Кубани (рис. 7), иллюстрирующей процессы формирования течений с большей детализацией, и, главное, отражающей гидрологические условия формирования дельты и устьевого конуса выноса. Устьевые области Кубани и Белой вследствие высокой доли аккумулирующихся здесь наносов играют ключевую роль в трансформации водохранилища. В поле осреднённых по вертикали скоростей течения на участке устьевого взморья р. Кубани выделяются две составляющих гидродинамического процесса. В первом случае поток рассредоточивается на участке устьевого взморья, во втором — отмечается направленное струйное движение воды в затопленном русле р. Кубани (рис. 7). Судя по нашим измерениям, кинетическая энергия речной струи Кубани затухает на расстоянии 1,5–2,0 км от вершины дельты, что характеризует способность струи перемещать наносы в пределах устьевого бара.

Обобщённые схемы стоково-ветровой циркуляции в Краснодарском водохранилище при преобладающей широтной циркуляции воздуха показаны на рис. 6.

Непрерывное преобразование аккумулятивных форм в устьевых областях является отражением особенностей гидродинамики. Применительно к дельте Кубани это относится как к эволюции самой дельты, так и к сопутствующим формам (бары, валы и пр.) (рис. 8), образующимся при переменном подпоре. В процессе эволюции аккумулятивный конус

выноса р. Кубани в 2005–2016 гг. продвигался в чаше водохранилища в сторону плотины со скоростью примерно 0,62 км/год, менявшейся в разные этапы дельтоформирования. На начальном этапе дельта формировалась в условиях узкого залива эстуарного типа, что обеспечивало высокую скорость её образования. В дальнейшем с ростом длины самого русла, снижением уклона водной поверхности и скоростей течения увеличилась доля наносов, осаждающихся в пределах самой дельты. Как следствие, это привело к переходу в стадию дельты выдвигания (рис. 8).

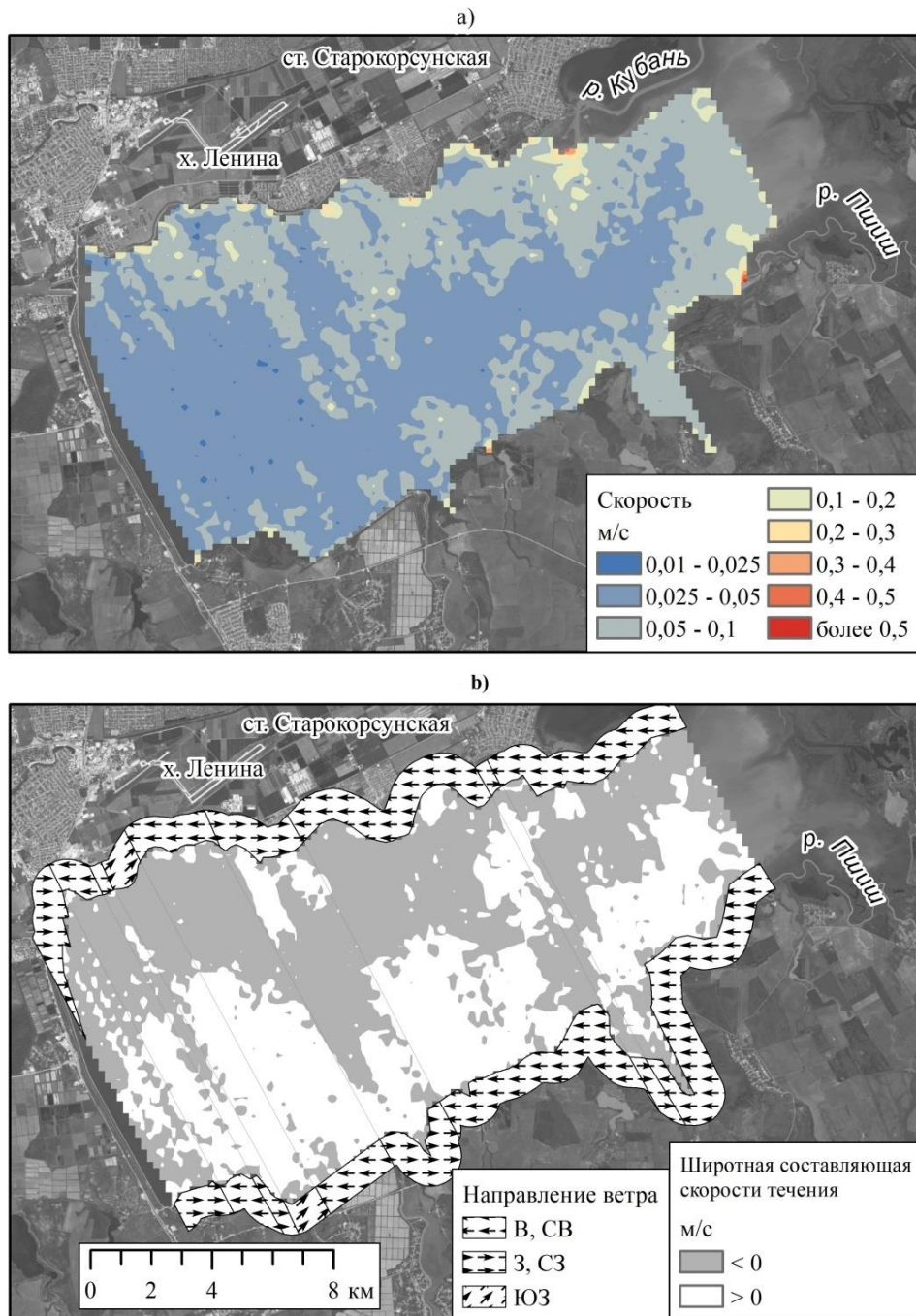


Рис. 5. Распределение осреднённых по вертикали абсолютной величины (а) и широтной составляющей (б) скорости течения
 Fig. 5. Distribution of vertical averaged absolute values (a) and latitudinal component (b) of the water flows velocity

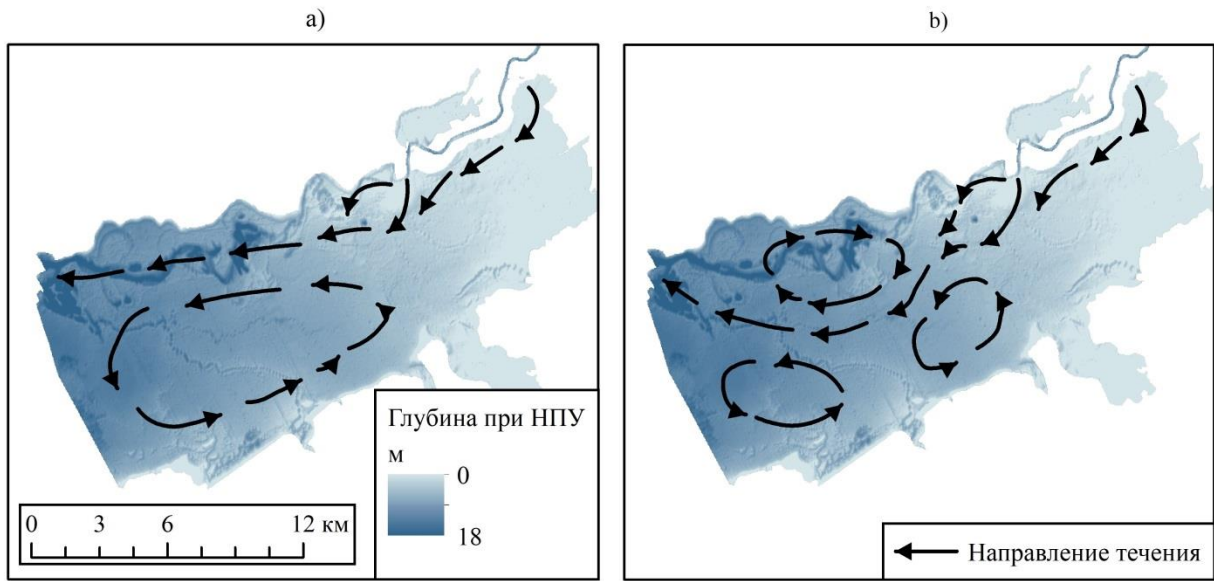


Рис. 6. Циркуляция водных масс Краснодарского водохранилища при восточных (а) и западных (б) ветрах
 Fig. 6. Circulation of the water masses of the Krasnodar reservoir with eastern (a) and western (b) winds

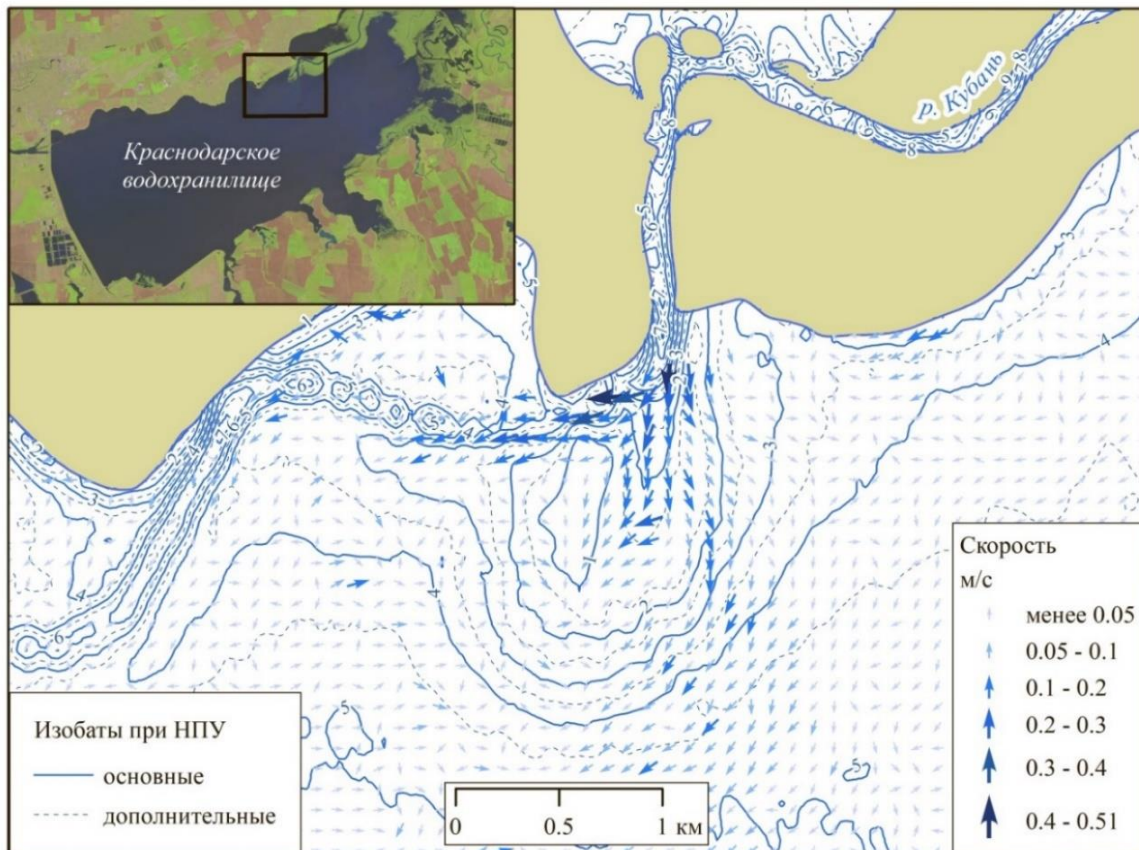


Рис. 7. Векторы осреднённой по вертикали скорости течения. Устьевое взморье р. Кубани. 06.08.2019 – 09.08.2019
 Fig. 7. Vectors of vertical averaged flow velocity. Avandelta of the Kuban River. 06.08.2019 – 09.08.2019

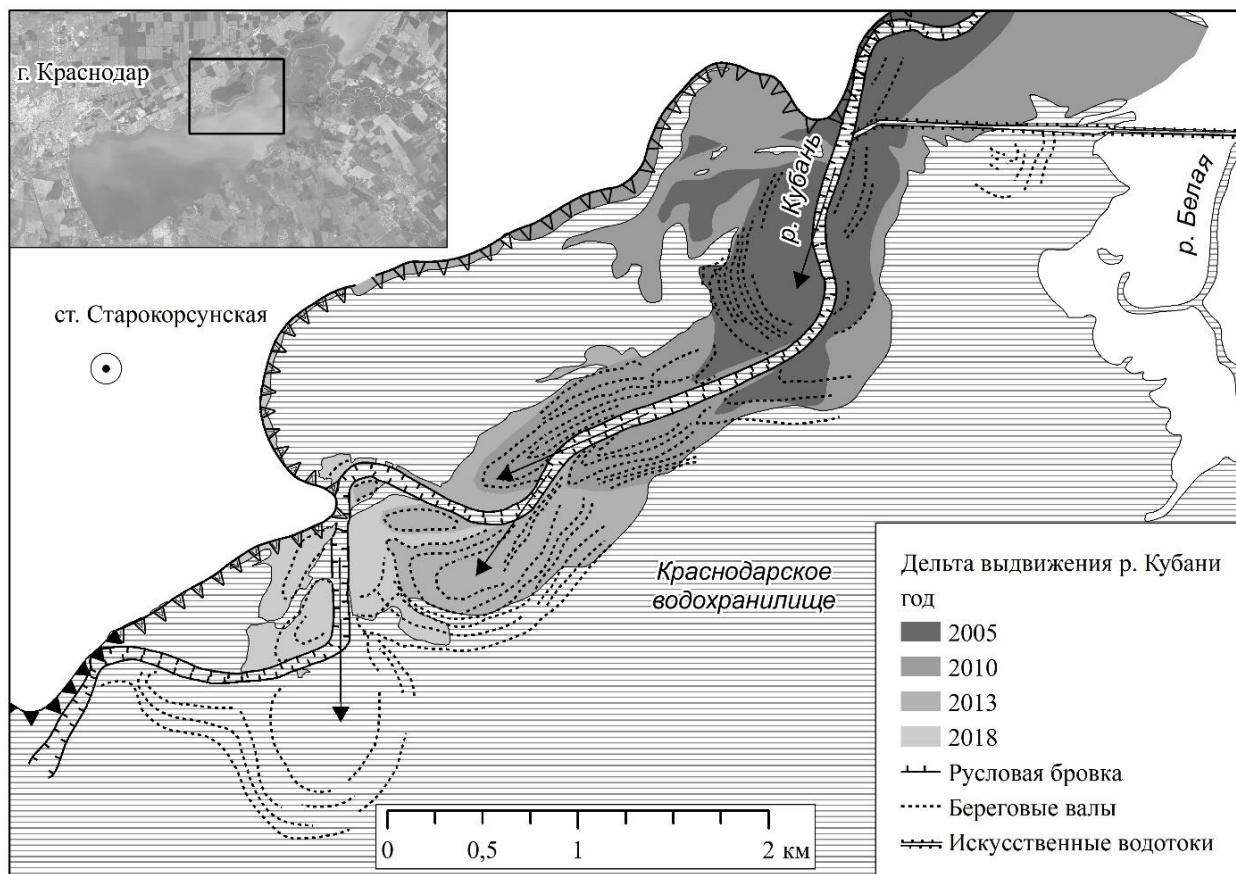


Рис. 8. Развитие дельты выдвигения р. Кубани с 2005 г. Стрелками указано направление выгибания устьевых баров для различных конфигураций русла впадающей реки и положения береговой линии приемного водоёма

Fig. 8. The evolution of the advanced delta of the Kuban River since 2005. The arrows indicate the direction of curvature of the estuary bars for various configurations of the channel of the inflowing river and the position of the coastline of the receiving reservoir

ВЫВОДЫ

Наблюдаемая трансформация пойменно-долинного Краснодарского вдхр. на фоне процессов заиления сопровождается уменьшением площади (в течение 1973–2018 гг. сократилась на 35 %), объёма (при НПУ на площади 229 млн км² за 1973–2016 гг. сократился на 83,2 млн м³) и средней глубины (при НПУ уменьшилась на 0,36 м). Раскрытие механизмов трансформации и особенностей отложения наносов требует анализа циркуляции водных масс в связи со стоковым и ветровым факторами циркуляции.

Анализ циркуляции водных масс, выполненный по данным акустического доплеровского измерителя течений ADCP в июле–августе 2016 г., показал, что в поперечном профиле в водохранилище действуют два разнонаправленных потока: правый, формирующийся под влиянием стока Кубани, имеет расход 1714 м³/с, среднее направление на юго-запад и среднюю скорость 0,04 м/с; левый поток с расходом 830 м³/с направлен на восток со средней скоростью 0,01 м/с. Скорости потоков уменьшаются с приближением к оси циркуляции. При устойчивом западном ветре отмечено отклонение стокового течения от правого берега к осевой части водоёма.

На местном уровне в устьевой области р. Кубани зафиксированы два основных гидродинамических процесса: на участке устьевого взморья струйный поток

рассредоточивается, а в затопленном русле р. Кубани отмечено направленное струйное движение воды, затухающее на расстоянии 1,5–2,0 км от вершины дельты.

Эволюция основных и сопутствующих аккумулятивных форм в устьях впадающих в водохранилище рек отражает особенности местной гидродинамики и её временную изменчивость. Дельта Кубани в своём развитии эволюционировала от дельты выполнения ингрессионного залива до дельты выдвигания с изменениями скорости выдвигания аккумулятивного конуса от 1,03 км/год (1977–1992 гг.) до 0,57 км/год (2005–2018 гг.).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/123.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research was carried out with the financial support of the Kuban science Foundation in the framework of the scientific project № МФИ-20.1/123.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авакян А.Б., Шаранов В.А.* Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1977. 398 с.
2. *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.
3. *Лагута А.А., Погорелов А.В.* Особенности заиления Краснодарского водохранилища. Опыт оценки по данным батиметрических съёмки. Географический вестник, 2018. № 4 (47). С. 54–66. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-4-54-56.
4. *Лагута А.А., Погорелов А.В.* Изменение морфометрических характеристик Краснодарского водохранилища за период эксплуатации (1973–2018 годы). ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета, 2019. Т. 25. Ч. 2. С. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-2-25-5-15>.
5. *Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю.* Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 500 с.
6. *Михайлов В.Н.* Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997. 171 с.
7. *Серебряный А.Н., Кацнельсон Б.Г., Тарасов Л.Л., Ужанский Э., Островский И.* Новые результаты измерений системы течений и внутренних волн в Галилейском море. Доклады XVI школы-семинара им. акад. Л.М. Бреховских «Акустика океана», совмещённой с XXXI сессией Российского Акустического Общества. М.: ГЕОС, 2018. С. 255–258.
8. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ч. III. Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 332 с.
9. *Vermeyen T.B.* Acoustic doppler current profiler measurements near the proposed Southern Nevada Water System Intake No 3, Lake Mead, Nevada. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Hydraulic Investigations and Laboratory Services Group. Denver, Colorado, 2009. 45 p.
10. *Vermeyen T.B., Wahl T.* Experiences using acoustic doppler current profilers (ADCP) for physical model calibrations. Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics, Salt Lake City, Utah, 1999. P. 44–60.
11. WinRiver II. Software user's guide. Teledyne RD Instruments, 2018. 296 p.

REFERENCES

1. *Avakyan A.B., Sharapov V.A.* Reservoirs of hydroelectric power plants of the USSR. Moscow: Energy, 1977. 398 p. (in Russian).

2. Handbook of the climate of the USSR. Iss. 13. Part III. Wind. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967. 332 p. (in Russian).
 3. *Kurbatova I.E.* Monitoring the transformation of the Krasnodar Reservoir using high-resolution satellite data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 2014. V. 11. No 3. P. 42–53 (in Russian).
 4. *Laguta A.A., Pogorelov A.V.* Peculiarities of Krasnodar water reservoir silting. Evaluation based on the data of bathymetric surveys. *Geographical Bulletin*, 2018. No 4 (47). P. 54–66. DOI: 10.17072/2079-7877-2018-4-54-66 (in Russian).
 5. *Laguta A.A., Pogorelov A.V.* Change of morphometric characteristics of the Krasnodar Water Reservoir for the period of its operation (1973–2018). *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Moscow: Moscow University Press, 2019. V. 25. Part 2. P. 5–15. DOI: <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-2-25-5-15> (in Russian, abs English).
 6. *Lurie P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu.* Kuban River: hydrography and flow regime. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2005. 500 p. (in Russian).
 7. *Mikhailov V.N.* Hydrological processes in river mouths. Moscow: GEOS, 1997. 171 p. (in Russian).
 8. *Serebryaniy A.N., Kacnel'son B.G., Tarasov L.L., Uzhanskij E., Ostrovskiy I.* New results of measurements of the system of currents and internal waves in the Sea of Galilee. Reports of the XVI academic seminar named after academician L.M. Brekhovskiy's "Acoustics of the Ocean", combined with the XXXI session of the Russian Acoustic Society. Moscow: GEOS, 2018. P. 255–258 (in Russian).
 9. *Vermeyen T.B.* Acoustic doppler current profiler measurements near the proposed Southern Nevada Water System Intake No 3, Lake Mead, Nevada. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Hydraulic Investigations and Laboratory Services Group. Denver, Colorado, 2009. 45 p.
 10. *Vermeyen T.B., Wahl T.* Experiences using acoustic doppler current profilers (ADCP) for physical model calibrations. Proceedings of the 3rd International Symposium on Ecohydraulics, Salt Lake City, Utah, 1999. P. 44–60.
 11. WinRiver II. Software user's guide. Teledyne RD Instruments, 2018. 296 p.
-