

Мониторинг трансформации Краснодарского водохранилища с использованием спутниковых данных высокого разрешения

И.Е. Курбатова

Институт водных проблем РАН

Москва 119333, Россия

E-mail: irenkurb@yandex.ru

Рассмотрены проблемы заиливания водохранилищ, построенных на реках, протекающих в предгорных районах. Оценены возможности использования спутниковой информации для наблюдения за развитием негативных процессов в таких водохранилищах. Обсуждена необходимость организации постоянных наблюдений за русловыми водохранилищами, сооруженными несколько десятилетий назад. Отмечена актуальность разработки современных способов описания процессов преобразования акваторий водохранилищ и их берегов (альтернативных традиционным), предполагающих получение оценок морфометрических характеристик водоема в условиях сокращения наземной наблюдательной сети. К таким способам относятся дистанционное зондирование и картографирование водных объектов и их водосборов с последующим формированием на основе полученных данных информационной базы проблемно-ориентированных ГИС. В качестве объекта исследования выбрано построенное в период с 1968 по 1973 гг. на р. Кубань Краснодарское водохранилище, являющееся крупнейшим русловым водохранилищем на всем Северном Кавказе. С помощью ретроспективных данных дистанционного зондирования и картографических материалов исследованы этапы формирования водохранилища с момента его создания до настоящего времени. Рассмотрены причины катастрофического заиления водоема, разделенного на две самостоятельные части обширной перемычкой из наносов р. Белой. Привлечение данных космической съемки высокого разрешения с ИСЗ последнего поколения компенсирует невозможность проведения наземных обследований перемычки, позволяя получить важную информацию о временном ходе процессов ее формирования. Сделаны выводы о значительном уменьшении полезного объема водохранилища и риска его переполнения при катастрофических паводках. Составлена картосхема и проведены расчеты изменения площади акватории водохранилища за период его существования.

Ключевые слова: русловые водохранилища, заиление, космический мониторинг, экологические проблемы, боковые притоки, водосбор, риск, паводки.

Введение

Проблема заиления русловых водохранилищ наносами, поступающими в результате переработки берегов и/или выносимыми с водосборных бассейнов на протяжении всего периода существования водохранилищ, является одной из наиболее серьезных с позиций сохранения их функциональности. Скорость заиления зависит от режима жидкого и твердого стока, интенсивности эрозионных процессов на водосборе, условий и длительности эксплуатации водохранилища и пр. Наибольшее заиление наблюдается в водохранилищах южных горных и предгорных районах Закавказья, Северного Кавказа, а также Карпат и Средней Азии. Сокращение полезного объема водохранилища в результате заполнения его наносами влияет на полноценное осуществление им мелиоративных и противопаводковых функций и является не менее важной проблемой, чем “старение” гидротехнических сооружений. По мере обмеления водохранилища увеличивается вероятность его переполнения паводковыми водами и возникает риск перелива воды через плотину, поэтому потеря емкости водохранилища может рассматриваться как потенциально опасная гидрологическая ситуация (Беркович, 2012; Курбатова, 2012).

Для водохранилищ, подверженных интенсивному заилению, необходима организация постоянных наблюдений за изменением их гидрографических, гидрохимических, морфометрических характеристик. Резкое сокращение в последние два десятилетия сети инструментальных наблюдений Росгидромета в бассейнах рек снизило достоверность гидрологических прогнозов, значительно осложнило работу по оперативному регулированию водохозяйственных систем и своевременному прогнозированию чрезвычайных ситуаций (Малик, 2010). В связи с этим, для комплексной оценки современного состояния водохранилищ, возраст которых насчитывает несколько десятилетий, весьма актуальным является поиск новых (альтернативных традиционным наземным) способов получения информации. К таким способам относятся дистанционное зондирование и картографирование водных объектов и их водосборов с последующим преобразованием в информационную базу проблемно-ориентированных ГИС (Курбатова, 2012).

Методы и подходы

Одним из наиболее актуальных направлений использования космических снимков является выявление фактических площадей распространения речных наносов по акватории водохранилища. Оно основано на различиях оптической плотности изображения более прозрачной воды водоема и мутного речного стока. Участки поверхностных вод, содержащих большое количество твердых взвесей, обладают повышенной отражательной способностью в диапазоне съемки 0,5-0,6 мкм и выглядят на фотоизображении светлее участков с более низким содержанием мелкодисперсных взвесей. Континуальность изображения области распространения взвесей и возможность предварительной качественной оценки их концентрации по степени изменения яркости делает спутниковые снимки источником уникальной информации. Эти сведения при условии сочетания их с результатами наблюдений в ближайшем гидрологическом створе реки для разных дат съемки позволят перейти к количественным оценкам концентрации взвешенных веществ в зонах вод разной яркости, выделяемых по спутниковым изображениям. Новые знания о динамике поступления твердых речных стоков помогут оценить масштабы и скорость заиления водоема, позволят скорректировать прогноз изменения пропускной способности водохранилища при его интенсивном заилении, а также решить ряд других водохозяйственных задач.

Результаты

В качестве объекта исследования было выбрано Краснодарское водохранилище, построенное в период с 1968 по 1973 гг. и являющееся крупнейшим русловым водохранилищем не только в бассейне р. Кубань, но и на всем Северном Кавказе. Водоохранилище расположено в средней части русла реки между ст. Воронежской и г. Краснодаром. Его площадь составляла 400 км², наибольшая длина - 46 км, полезный объем – 2200 млн. м³, (Лурье и др., 2005). При создании водохранилища планировалось решить целый комплекс задач: осуществить выравнивание гидрографа стока и устранить катастрофические наводнения в нижнем течении Кубани; обеспечить водой оросительные системы; улучшить условия судоходства, наладить воспроизводство ценных пород рыб; улучшить водоснабжение населения и условия рекреации. Однако помимо положительного эффекта от образования водохранилища одновременно стали проявляться и отрицательные стороны его существования. В частности, в результате создания водохранилища были подтоплены сельскохозяйственные угодья и нижние участки притоков Кубани, образовав заливы типа эстуариев. Исключение составила р. Белая, в устье которой начала формироваться выносная дельта. Рост этой дельты впоследствии привел к формированию острой экологической ситуации в регионе, угрожающей существованию водохранилища.

Для выявления динамики формирования берегов водохранилища были привлечены топографические карты (1962-1996 гг.) и разновременные данные космической съемки (1984-2013 гг.). Таким образом, исходными материалами был обеспечен весь более чем 40-летний период существования водоема, в котором можно выделить следующие этапы.

1. Предварительный - создание Тщикского водохранилища (1940-1941 гг.);
2. Начальный - формирование берегов Краснодарского водохранилища (1973-1984 гг.);
3. Промежуточный - выдвигание дельты р. Белой в акваторию водоема (1984-1993 гг.);
4. Современный - снижение нормального подпорного уровня (НПУ) на 0,9 м, деление водохранилища перемычкой из наносов р. Белой на два самостоятельных водоема (1993-2012 гг.).

Предварительный этап. Предыстория создания Краснодарского водохранилища уходит в далекие 1939-1941 гг., когда на месте Тщикских плавней с целью частичного устранения паводковых наводнений на Кубани и Белой, перераспределения стока и сохранения судоходства в маловодный период было сооружено Тщикское водохранилище (рис. 1а). Водоохранилище самостоятельно существовало с 1941 по 1973 гг. Его первоначальная емкость - 350 млн. м³, площадь зеркала воды – 80 км², длина дамбы - 32 км, высота – 3,5-7,5 м. В 60-е годы прошлого века было принято решение о строительстве нового водохранилища и включения Тщикского в его границы (рис. 1б). На карте хорошо видны планируемые к затоплению лесные массивы, устья притоков Кубани, населенные пункты, транспортная сеть. По разным источникам, под воду ушло от двадцати до двадцати шести

населенных пунктов, множество социальных и культурных объектов, 35 тысяч га пахотных земель, переселено более 13 тысяч человек, вырублено около 16 тысяч га леса.

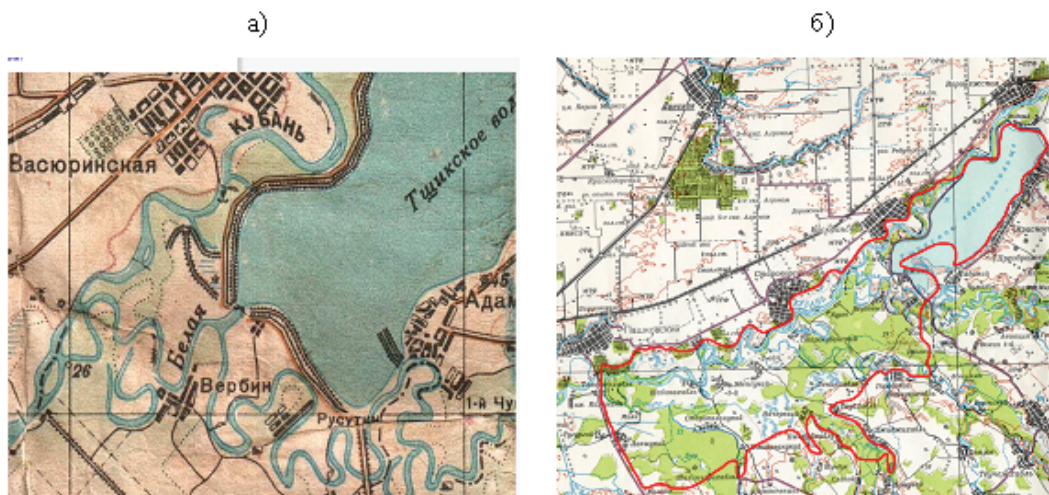


Рис. 1. Предистория создания Краснодарского водохранилища. Тшицкое водохранилище: фрагмент карты 1947 г. (а); планируемые границы зоны затопления территории при заполнении Краснодарского водохранилища, 1962 г. (б)

Начальный и промежуточный этапы формирования берегов (1973-1984, 1984-1993 гг.) В месте впадения р. Белой в водохранилище из транспортируемых ею наносов, среднегодовой расход которых может составлять до 74 кг/сек (Лурье, 2002), стала формироваться обширная дельта. Уже в этот период началось закрепление надводной части дельты влаголюбивой растительностью и кустарниками. На космическом снимке, полученном в июне 1984 г. камерой МСУ-Э ИСЗ “Ресурс -01” в диапазоне 0,8-0,9 мкм (рис. 2а) отчетливо видны формирующаяся надводная часть дельты Белой (область 1) и глубоко врезанные заливы в устьях маловодных рек (области 2, 3). По данным (Лурье, 2002) площадь дельты к 1986 г. составила около 9 км² (рис. 2б).

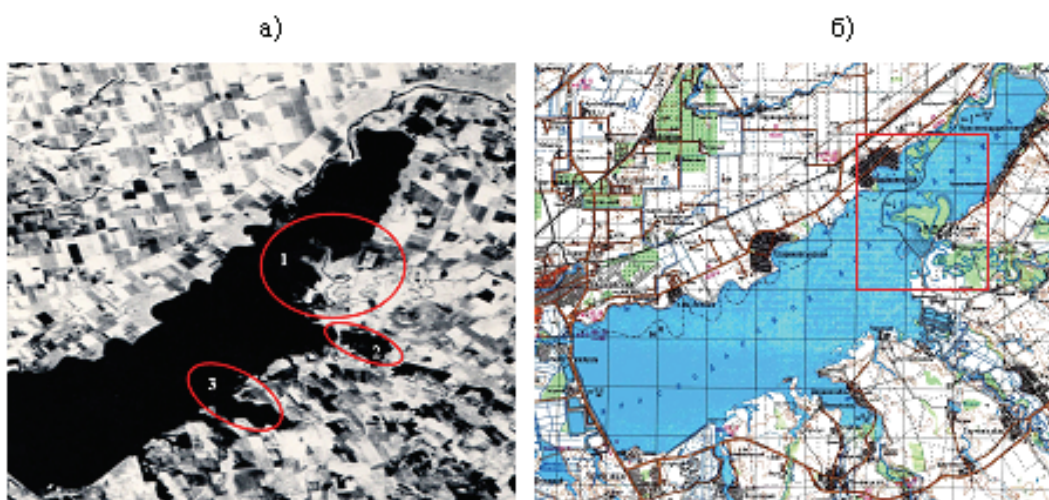


Рис. 2. Формирование дельты р. Белой спустя 10 и 20 лет после начала заполнения водохранилища: архивный космоснимок 1984 г. (а); топографическая карта 1995 г. (б)

Современный этап формирования дельты (1994-2012 гг.). Резкой активизации процессов заиления водохранилища способствовало снижение с 1993 г отметок нормального подпорного уровня (НПУ) на 0,9 м (с 33,65 до 32,75 м абс.), в соответствии с “Соглашением Республики Адыгея и Краснодарского края о временном режиме эксплуатации Краснодарского водохранилища” для уменьшения негативного воздействия водохранилища на прилегающие территории Адыгеи. Это привело к сокращению площади водного зеркала водохранилища до 382 км², а его объема – до 1,928 млн. м³ (Лурье и др., 2005). В результате мероприятий по снижению уровня резко увеличилась площадь выносной дельты р. Белой. К августу 2006 площадь перемычки составила более 50 км² (рис.3а), а зона распространения речных взвесей продвинулась практически до приплотинного участка (рис. 3б). Средняя скорость выдвигания дельты, от зарождения до образования перемычки, составила 112 м/год (Неупокоев, 2013). По свидетельству участников комплексного гидролого-морфометрического полевого обследования, проводившегося Государственным гидрологическим институтом и Северо-Кавказским Управлением гидрометеослужбы в 2007-2008 гг., образовавшаяся территория представляет собой практически недоступную для наземных обследований непроходимую топкую заболоченную поверхность с большим количеством мелководных водоемов (Неупокоев, 2013). Обсохшие участки иловых отложений заросли густым кустарником, ивняком, разнотравно-хвощевыми и камышевыми сообществами.



Рис. 3. Сплошная перемычка спустя три десятилетия после заполнения водохранилища: изображения с ИСЗ “Монитор-Э” 3 августа 2006 г. (а) и с ИСЗ “Alos” 21 июня 2009 г. (б)

Анализ космических изображений высокого разрешения, подобранных по каталогу компании СОВЗОНД (<http://catalog.sovzond.ru>), топографических карт и данных Кубанского бассейнового водного управления (БВУ) об уровне водохранилища на даты съемки позволил осуществить детальное изучение строения и динамики формирования перемычки

на современном этапе ее развития. Предпосылки будущих проблем водохранилища наглядно отображены на топографической карте (*рис. 4а*). В соответствии с проектом его создания, р. Кубань впадала в водоем не в верхнем бьефе, а в средней его части, на уровне станицы Васюринской, тогда как на противоположном берегу (внутри дамбы Тщикского водохранилища) уже формировалась выносная дельта р. Белой. Таким образом, отложения наносов обеих рек происходят практически в одном створе Краснодарского водохранилища, что и привело к интенсивному заилению (*рис. 4б*). Проведение совместного анализа карты и спутникового изображения правомерно, так как на карте положение береговой линии водохранилищ соответствует НПУ, а на снимке уровень воды лишь на 6 см выше (32,81 м). За прошедшие 17 лет выносная дельта р. Белой увеличила свою площадь с 9 км² (1995 г.) до 73 км², разделив водохранилище на два самостоятельных водоема. Воды Кубани по мере расширения перемычки вынуждены были прорезать илистые отложения в границах своего старого русла, существовавшего до затопления. К 2012 г. рекой был восстановлен участок русла от станицы Васюринской до станицы Старокорсунской, были также сформированы и закреплены древесной растительностью прирусловые валы, а на выходе из области перемычки Кубань из приносимых ею наносов продолжает формировать свою выносную дельту, которая постепенно смещается в сторону плотины. Река Белая не впадает теперь, как прежде, в Кубань, а формирует свое русло в новом направлении почти параллельно Кубани в сторону плотины, одновременно увеличивая перемычку в этом же направлении. На изображении с ИСЗ WorldView-2 с разрешением 0,46 м; полученном 14 марта 2011 г. (*рис. 5*), хорошо видно, что в том месте, где расстояние между руслами рек минимально, образовалась небольшая протока, по которой часть жидкого и твердого стока Белой поступает в Кубань. О мощности поступления наносов можно судить по изменению цвета кубанских вод (область 1 на *рис. 5*). Вторая протока соединяет р. Белую с Тщикским водохранилищем. Она является единственным водотоком, питающим водоем не только во время паводков, но и в сравнительно маловодные периоды (область 2). Зона распространения речного стока, маркируемого взвесями, отчетливо прослеживается на акватории Тщикского водохранилища. Такие же шлейфы взвесей наблюдаются в протоках выдвигной дельты Белой (область 3). Об увеличении степени заиления Краснодарского водохранилища можно судить по заполненному наносами бывшему эстуарию р. Пшиш (см. *рис. 2а*), русло которого, ранее затопленное, теперь отчетливо маркируется на снимке берегами, закрепленными растительностью (область 4). Уровень воды на дату съемки равен 31,78 м, то есть почти на 1 метр ниже НПУ. По различиям в структуре изображения и оттенкам цветовой гаммы легко определяются илистые отложения разной степени увлажнения, обсыхания, стадии зарастания кустарниковой или травянистой растительностью.

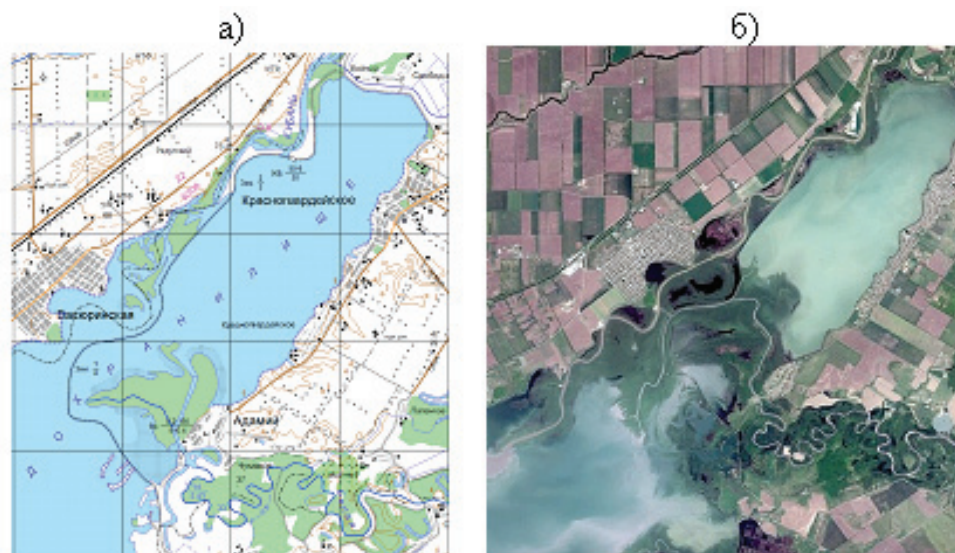


Рис. 4. Заиление Краснодарского водохранилища: надводная и мелководная части дельты р. Белой на карте 1995 г. (а), на изображении с ИСЗ Pleiades-1a 6 мая 2012 г. (б)

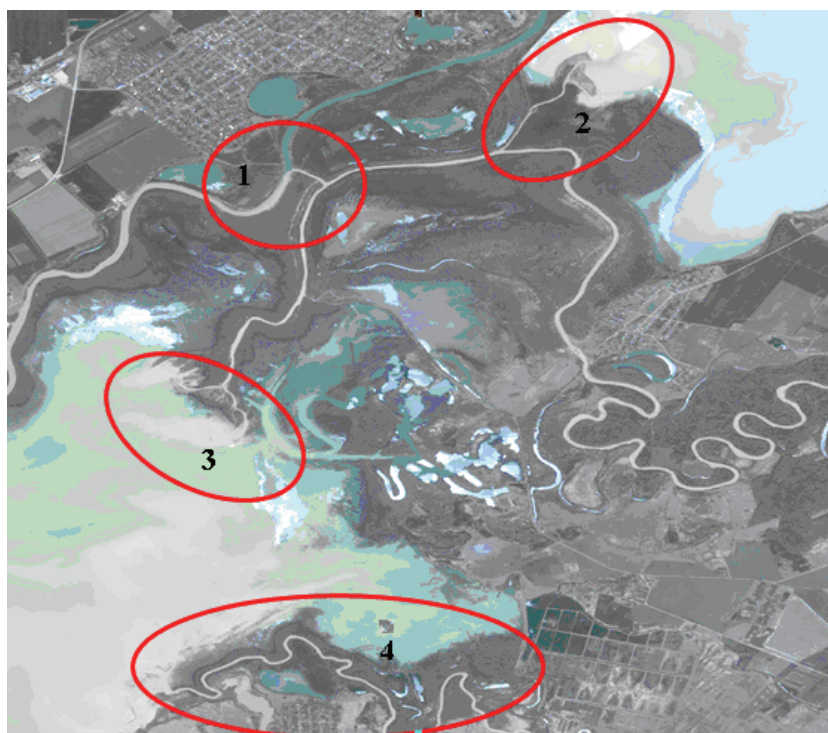


Рис. 5. Изображение перемычки с ИСЗ "WorldView-2" 14 марта 2011 г.:
 1 – соединительная протока между Кубанью и Белой; 2 – протока Белой в Тщикское водохранилище; 3 – выносная дельта Белой; 4 – заиление эстуария р. Пishi и восстановление ее русла

Сравнительный анализ космических изображений высокого разрешения, полученных с интервалом в 7 лет с ИСЗ QuickBird 13 июня 2004 г. и WorldView-2 (с разрешением 2 м) 8 сентября 2011 г., позволил проследить за формированием русла р. Кубань. Целью сравнения изображений снимков 2004 и 2011 гг. был анализ продвижения русел Кубани и Белой через перемычку. Участки, закрепленные древесной одноствольной и кустарнико-

вой растительностью, хорошо дешифрируются на снимке независимо от уровня воды в водохранилище.



Рис. 6. Формирование берегов р. Кубань внутри водохранилища: ИСЗ “QuickBird” 13 июня 2004 г. (а) и ИСЗ “WorldView-2” 8 сентября 2011 г. (б)

По состоянию на 2004 г. (рис. 6а) закрепленные древесной растительностью прирусловые валы выдвинулись за пределы перемычки и оказались в 10 км ниже запроектированного места впадения р. Кубань в водохранилище. С 2004 по 2011 гг. произошло продвижение границы закрепленных русловых валов Кубани еще на 9 км (до станицы Старокорсунская), практически отчленив залив от водохранилища (рис. 6б). Таким образом, с 1995 г. выносная дельта Кубани переместилась на 19 км, продвигаясь со средней скоростью около 1 км/год. Уровень водохранилища на 8 сентября 2011 г. составил 27,10 м. Это на 5,65 м ниже НПУ и всего лишь на 1,25 м выше уровня мертвого объема (25,85 м). Зафиксированное на рис. 6б столь существенное понижение уровня позволило обнаружить массивы мокрых иловых отложений площадью более 60 км², занимающих все ложе водохранилища от левого до правого берега на протяжении 8 км. На этом же снимке хорошо

прослеживается старое русло Кубани, вдоль которого в результате аккумулятивной деятельности реки в ближайшем будущем будет продолжено формирование прирусловых валов и их закрепление растительностью. Разделение Краснодарского водохранилища на два независимых водоема и наличие значительного перепада уровней между ними обнаружено и подтверждено наземными измерениями в течение полевых сезонов 2007-2008 гг. (Неупокоев, 2013). Уровень дна и водной поверхности Тщикского водохранилища находится выше соответствующих уровней Краснодарского, как в период наполнения последнего, так и в период его сработки. Сохранение объема воды в Тщикском водохранилище обеспечивается лишь за счет грунтовых вод, сбросов из мелиоративных систем и эпизодического поступления вод Кубани и Белой. Такая ситуация сводит к минимуму способности этой части водоема к самоочищению, его интенсивному загрязнению. Промерзание мелководного водоема влияет на сокращение запасов рыбы.

По результатам совместного анализа картографических и дистанционных материалов составлена схема заиления Краснодарского водохранилища за время его существования с 1973 г. по настоящее время (рис. 7). Всего выделено пять периодов формирования перемычки: начиная с начального этапа существования Тщикского водохранилища и заканчивая современным состоянием. Следует отметить, что размеры перемычки по состоянию на 2009-2012 гг. даны с учетом сформировавшихся мелководий, обнажающихся при сработке водохранилища.

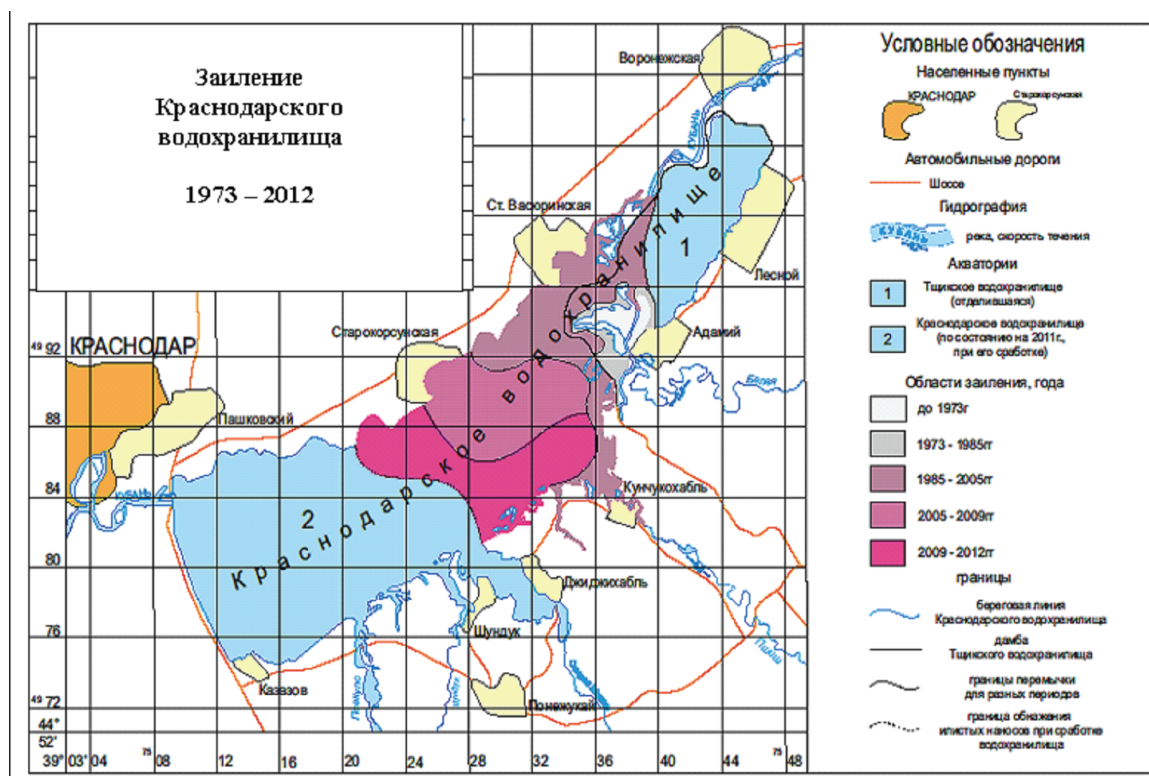


Рис. 7. Схема заиления Краснодарского водохранилища за 1973-2012 гг.

Результаты расчетов уменьшения площади зеркала воды Краснодарского водохранилища и его образовавшихся частей в результате заиления акватории с 1973 по 2012 гг. представлены в *табл. 1*.

Таблица 1. Площадь зеркала воды Краснодарского водохранилища с 1973 по 2012 гг.

Годы	Площадь зеркала воды при НПУ*, км ²			Площадь области заиления, км ²
	Все водохранилище	Западная часть	Восточная часть - Тщикское вдхр	
1973	400	320	80	0
1985	400	320	77	3
1993	382	302	74	6
2006	382	270	67	45
2009	382	264	60	58
2012	382	258	51	73

*Значения НПУ до 1993 г. – 33,65 м абс., после 1993 г. – 32,75 м абс.

Уменьшение объема водохранилища чревато тяжелыми экологическими последствиями при возникновении чрезвычайных гидрологических ситуаций – прохождении катастрофических половодий и паводков, объем которых может превышать удерживающие способности водохранилища в его современном состоянии. Во время катастрофического наводнения на Кубани летом 2002 г. в Краснодарское водохранилище ежесекундно поступало 2050 м³ воды, а сбрасывалось всего 1176 м³ (Воробьев и др., 2003). Тем не менее, запаса объема водохранилища хватило, чтобы не допустить перелива воды через плотину в низовья Кубани и не усугубить ситуацию. К настоящему времени по разным оценкам (Беркович, 2012; Неупокоев, 2013) полезный объем водохранилища уменьшился на 0,39 – 0,53 км³, что ставит под сомнение защитные противопаводковые функции Краснодарского водохранилища в случае повторения подобной ситуации.

Выводы

По результатам совместного анализа картографических материалов и данных ДЗЗ, охватывающих весь период существования Краснодарского водохранилища, можно сделать следующие выводы. Негативная ситуация, сложившаяся в Краснодарском водохранилище, обусловлена природными особенностями региона, недочетами проектирования водохранилища и недостатками эксплуатации. Основные факторы, определившие проблемы его формирования, на наш взгляд, следующие:

- включение в его акваторию Тщикского водохранилища, существовавшего самостоятельно в 1941 – 1972 гг. на протоке р. Белой;
- сохранение дамбы Тщикского водохранилища, которая задерживала не только полые воды Кубани и Белой, но и значительную часть их твердого стока;

- запроектированное впадение р. Кубань не в верхнюю часть водохранилища, а пятнадцать километрами ниже, около станицы Васюринская, почти напротив устья р.Белой, что привело к суммарному накоплению наносов обеих рек на одном участке (створе) водохранилища;

- снижение в 1993 г. НПУ водохранилища на 90 см активизировало процесс обмеления и рост надводных участков перемычки, что послужило предпосылкой отделения Тщикского водохранилища от основного зеркала воды, способствуя созданию перепада высот и исключению данного водоема из Краснодарского водохранилища.

Регулярное проведение в предстоящие годы спутникового мониторинга в периоды паводков, наполнения и сработки водохранилища позволит оперативно следить за развитием процессов заиления, определять изменение морфометрических характеристик, прогнозировать дальнейшую трансформацию водоема.

Литература

1. Беркович К.М. Руслые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ // М., Географический факультет МГУ. 2012. 163 с.
2. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. // М.: ООО ДЭКС-ПРЕСС. 2003. 352 с.
3. Курбатова И.Е. Космический мониторинг негативных ситуаций в прибрежных зонах крупных водоемов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №2. С. 52-59.
4. Лурье П.М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа // СПб., Гидрометеоздат. 2002. 506 с.
5. Лурье П. М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб., Гидрометеоздат, 2005. 498 с.
6. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации на водохозяйственных сооружениях: причины и последствия // Экстремальные гидрологические ситуации. Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М., ООО "Медиа-ПРЕСС". 2010. С. 57-88.
7. Неупокоев В.А. Краснодарское водохранилище. Центр гидрометеорологических работ "Экология- Гидрометеорология". 2013. Электронный ресурс http://погода-краснодар.рф/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=37

Monitoring the transformation of Krasnodar Reservoir utilizing high resolution satellite data

I.E. Kurbatova

*Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences
E-mail: irenkurb@yandex.ru*

The problems of silting reservoirs built on the rivers flowing in the foothill areas are considered. The feasibility of using satellite information to monitor the development of negative processes in such reservoirs is evaluated. The need to organize permanent observation of channel reservoirs built a few decades ago is discussed. The urgency of developing modern methods to describe transformation processes of water areas and shores of reservoirs (alternative to traditional) is noted that involves obtaining estimates of morphometric characteristics of the reservoir under condition of reducing ground observation network. Such methods include remote sensing and mapping water bodies and their catchment areas with subsequent creation of an information base of the problem-oriented GIS on the basis of data obtained. The Krasnodar Reservoir built on the Kuban River between 1968 and 1973, the largest channel reservoir in the North Caucasus, has been chosen the object of investigation. The stages of the reservoir formation from

its inception to the present are studied using historical remote sensing data and mapping materials. Considered are the causes of catastrophic siltation of the reservoir divided into two separate parts with the vast dam from the Belaya River sediments. Using high-resolution space imagery from the last generation satellites compensates for the inability to carry out ground surveys of this dam. Conclusions state a substantial reduction in the useful volume of the reservoir and a risk of its overflow during catastrophic floods. Schematic map is drawn and calculations of the reservoir water area changes for the period of its existence are carried out.

Keywords: channel reservoirs, siltation, space monitoring, ecological problems, side tributaries, watershed, risk, floods.

References

1. Berkovich K.M. *Ruslovye protsessy na rekakh v sphere vliyaniya vodokhranilishch* (Channel processes on rivers in the reservoir sphere of influence). Moscow: Moscow State University, 2012, 163 p.
2. Vorobyev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. *Catastrophicheskie navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyyody* (Catastrophic floods in the early XXI century: Lessons and Conclusions). Moscow: DEX-PRESS Ltd, 2003, 352 p.
3. Kurbatova I.E. Cosmicheskiy monitoring negativnykh situatsiy v pribrezhnykh zonakh krupnykh vodoemov. (Space monitoring negative situations in coastal zones of large reservoirs). *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 52-59.
4. Lurye P.M. *Vodnye resursy i vodniy balance Kavcaza* (Water resources and water balance of the Caucasus). Saint Petersburg: Hydrometeoizdat, 2002, 506 p.
5. Lurye P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu. *Reka Kuban: hydrographiya i regim stoka* (The Kuban River: hydrography and regime of runoff). Saint Petersburg: Hydrometeoizdat, 2005, 498 p.
6. Malick L.K. Chrezvychainye situatsii na vodokhozyaistvennykh soorugeniyyakh: prichiny i posledstviya (Emergencies at water facilities: causes and consequences). In: *Extremalnye gidrologicheskie situatsii*. (Extreme Hydrological Situations) Moscow: Media-PRESS Ltd., 2010, pp. 57-88.
7. Neupokoev V.A. *Krasnodarskoe vodokhranilishche* (The Krasnodar Reservoir). http://погода-краснодар.рф/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=37