

# Космический мониторинг береговой зоны Краснодарского водохранилища

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем РАН  
119333, Москва, ул. Губкина, 3  
E-mail: [irenkurb@aqualaser.ru](mailto:irenkurb@aqualaser.ru)*

Рассматриваются основные положения комплексной программы геоэкологического мониторинга русловых водохранилищ, обеспечивающего оперативное получение сведений о пространственно-временных изменениях гидроэкологических характеристик акватории и береговой зоны. Описан опыт изучения и картографирования береговой зоны Краснодарского водохранилища, которое за годы своего существования обмелело и разделилось на два водоема. По разновременным материалам дистанционного зондирования, а также современным и архивным (до создания водохранилища) картам местности прослежена динамика прибрежных территорий и определены области осушения и подтопления как вдоль береговой зоны, так и вдоль русел впадающих рек. Полученные таким образом новые данные являются важной информационной составляющей в картографическом и математическом моделировании дальнейшего преобразования водоема.

## Введение

Разработка комплексных исследований водохранилищ как водных объектов суши искусственного происхождения и провоцирующих значительные природные и социально-экономические преобразования является одной из актуальных задач природопользования. В основу этих исследований должно быть положено изучение взаимосвязей процессов как внутри самих искусственных водоемов, так и их взаимодействия с окружающей средой. Круг хозяйственных задач, решаемых в результате их создания, достаточно широк, но не менее широк и многообразен перечень прямых и косвенных негативных последствий. Русловые водохранилища, которые наиболее часто встречаются на земном шаре, относятся к динамичным водным объектам, что обусловлено равнинным характером рельефа и сложным режимом колебания уровня водоема за счет многолетних, сезонных и суточных изменений в результате наполнения или сработки водохранилища. Регулирование стока вызывает резкие колебания объемов и уровней воды, что проявляется преимущественно в береговой зоне водохранилищ в виде затоплений, осушений и подтоплений прилегающей территории. Чем крупнее водохранилище, тем значительнее его влияние на окружающую среду, а, следовательно, тяжелее негативные последствия и сложнее комплекс природоохранных мероприятий. С экологических позиций равнинное русловое водохранилище является наиболее сложным водным объектом, требующим пристального наблюдения и комплексного изучения динамики развития самого водохранилища и особенностей формирования его береговой зоны. В последние десятилетия в этой области достигнуты определенные успехи, но многие проблемы остаются нерешенными из-за отсутствия или недостатка данных натурных наблюдений. В такой ситуации возникает потребность в организации специальной информационной системы наблюдения и анализа состояния природной среды – комплексного мониторинга водохранилищ на базе геосистемного подхода.

## Методы и подходы

Комплексный мониторинг водохранилищ должен представлять собой организационно-технологическую схему регулярных наблюдений, оценки и прогнозирования состояния водных объектов под воздействием природных и антропогенных факторов. Целью мониторинга водохра-

нилиц является создание информационного обеспечения программ рационального использования водного объекта, охраны его вод от истощения и загрязнения, а также предотвращения вредного воздействия вод на другие компоненты окружающей среды и сохранения благоприятной для жизнедеятельности человека среды обитания.

Можно выделить три основных направления деятельности мониторинга:

- контроль и наблюдение за водохранилищем как специфическим природно-антропогенным объектом со сложным режимом колебания уровня;
- контроль и наблюдение за воздействием окружающей среды на водоем;
- контроль и наблюдение за изменением окружающей среды под воздействием водного фактора (влияние водохранилища на прилегающую территорию).

Соответственно, к объектам наблюдения мониторинга относятся:

- 1) акватория с подразделением на гидрографические районы и участки (плесы главные и краевые, зоны сработки, выклинивания подпора, глубоководные, мелководные, прибрежные, нижнего бьефа);
- 2) прибрежная зона с районированием по типу берегов для определения доминирующих процессов рельефообразования (абразионных, абразионно-обвальных, абразионно-оползневых, аккумулятивных и т.д.);
- 3) водосборы бокового притока с выделением гидрографической сети и земель с различным характером использования для последующей оценки влияния антропогенных и природных факторов водосборов на качество вод водохранилищ, интенсивности развития эрозионных процессов, сукцессии прибрежных экосистем;
- 4) объекты прямого и косвенного негативного влияния водохранилища на природу и хозяйство прилегающих территорий (области переработки и разрушения берегов, зоны подтопления, заболачивания прилегающих территорий и т.д.)

Основные задачи мониторинга – обеспечение водохозяйственных и природоохранных систем управления достоверной и современной информацией, позволяющей оценить состояние и функциональную целостность экосистем; выявить причины изменений и оценить их последствия, определить корректирующие меры. Информационное обеспечение исследований искусственных водоемов должно включать большой объем разнообразных сведений о физико-географических и социально-экономических особенностях территорий, прилегающих к водохранилищу.

В настоящее время основными методами изучения экологических последствий создания и эксплуатации водохранилищ являются: различные полевые обследования (сетевые стационарные и эпизодические экспедиционные), дистанционное зондирование (с аэро- и космических летательных аппаратов), картографическое и математическое моделирование.

Комплексная программа геоэкологического мониторинга водохранилищ должна базироваться на совместном использовании всех методов, дополняющих и информационно поддерживающих друг друга. В условиях дефицита наземных наблюдений особую роль в получении новых данных играют материалы дистанционного зондирования. Их преимущества заключаются в высоком пространственном разрешении, регулярности получения спектральной информации для всей водной системы в целом. Космические изображения позволяют фиксировать многолетние, сезонные и эпизодические изменения в положении береговой линии за счет колебания уровня водохранилища, динамику подтопления и осушения береговой зоны, области развития аккумулятивных и абразионных процессов. Результаты дешифрирования материалов дистанционного зондирования, подтвержденные данными наземных наблюдений, обеспечивают оперативное получение сведений о пространственно-временных изменениях гидроэкологических характеристик в любой точке акватории и береговой зоны водохранилища. Полученные таким образом новые данные являются важной информационной составляющей в картографическом и математическом моделировании

исследуемых процессов. Этапы многолетней динамики формирования берегов водохранилища и прибрежных природно-территориальных комплексов могут быть изучены с привлечением архивного фонда космических изображений, который охватывает почти 40-летний период. Ранние архивные изображения отличаются невысоким качеством, мелкомасштабностью, низким разрешением. Тем не менее, они являются ценным документальным материалом для анализа динамических процессов (с конца 60-х годов прошлого века). Для изучения начального этапа формирования водохранилищ, массовое строительство которых в России относится к 1930-1940 гг. и 1950-1960 гг. необходимо привлекать фондовые картографические материалы, которые позволят оценить территорию предполагаемого затопления, состояние берегов и положение береговой линии при нормальном подпорном уровне водохранилища в первые годы его существования. Совместный анализ картографических и дистанционных материалов за весь период существования искусственного водоема позволит не только отследить произошедшие изменения, но и разработать прогноз его дальнейшего формирования.

Использование космической съемки наиболее эффективно при изучении средних и крупных равнинных водохранилищ – площадь которых, соответственно, от 20 до 100 и от 100 до 500 км<sup>2</sup>. Зона мелководья таких водохранилищ (от 0 до 2.5 м по глубине) может составлять до 40 % площади зеркала воды, ширина полосы переработки берегов в среднем равна 200-300 м, а ширина зоны подтопления за счет повышения грунтовых вод может колебаться от 300 до 2000 м [1]. Средняя пространственная разрешающая способность космических изображений как фотографических (8-10 м), так и сканерных (10-40 м) обеспечивает хорошую детальность изучения территории при регулярном фиксировании перемещений береговой линии на равнинных участках в периоды различного наполнения водохранилищ. Для достоверного выделения зон сработки необходимо совместный анализ космоизображений в ближнем ИК-диапазоне и данных гидрологических наблюдений за режимом уровня, с тем, чтобы даты съемки соответствовали периодам наивысшего и наименьшего положения уровня воды. Если на снимках зафиксированы положения береговой линии при промежуточных значениях уровня, то высотные отметки линий уреза воды могут определяться путем интерполяции.

## Результаты и обсуждение

В качестве объекта исследования выбрано Краснодарское водохранилище - крупнейшее русловое водохранилище в бассейне р. Кубань. Необходимость зарегулирования вод Кубани была обусловлена сложным водным режимом реки: помимо летнего, самого многоводного паводка, на реке наблюдается еще в среднем 6-7 паводков в год, во время которых амплитуда колебаний уровня воды у Краснодара могла достигать 5 м. Водоохранилище расположено в средней части русла р. Кубань. Его площадь 397.8 км<sup>2</sup>, наибольшая длина 46 км, средняя ширина 8.6 км. Полный объем водохранилища составляет 2349.3 млн. м<sup>3</sup>, полезный – 2200 млн. м<sup>3</sup>. Подпорный уровень воды у плотины - 25 м. [2]. Водоохранилище было построено в период с 1968 по 1978 гг. с целью решения комплекса задач: межсезонное выравнивание гидрографа стока, устранение катастрофических наводнений в нижнем течении Кубани; обеспечение оросительных систем; улучшение условий судоходства, рыбоводство, водоснабжение и рекреация.

Для выявления динамики формирования берегов Краснодарского водохранилища были привлечены разновременные материалы космической съемки (1988 - 2006 гг.) и топографические карты (1962-1996 гг.). Таким образом, исходными материалами был охвачен 44-летний период, отражающий три этапа:

- 1) предварительный - состояние природно-территориальных комплексов на месте будущего ложа Краснодарского водохранилища на 1962 г.;
- 2) начальный этап формирования Краснодарского водохранилища 1972-1984 гг.;

3) современное состояние 1996-2006 гг.

На космическом снимке, полученном камерой МСУ-Э в июне 1984 г в ближнем ИК-диапазоне, зафиксирована конфигурация берегов водохранилища, сформировавшаяся через десять лет после окончания строительства (рис. 1). На снимке четко прослеживается положение уреза воды на момент съемки, гидрографическая сеть территории, сельскохозяйственные земли. Хорошо видно, что в результате создания водохранилища подтоплены нижние участки рек Белая,



*Рис. 1. Космическое изображение береговой зоны Краснодарского водохранилища. МСУ-Э. Июнь 1984 г.*

Пшиш, Марта, Апчас, Псекупс. Некоторые притоки этих рек оказались самостоятельно впадающими в водохранилище (реки Фильтрук, Туапча, Дыш). В устьях всех рек образовались заливы типа эстуариев, кроме р. Белой, в устье которой начала формироваться обширная дельта. Ее образование связано с выносом рекой большого количества твердых взвесей (средний годовой расход наносов в устье реки составляет 74 кг/с [2]) и наличием дамбы, огораживающей бывшее Тщикское водохранилище - построенное в 1940 г. и вошедшее затем в акваторию Краснодарского. Дамба препятствует распространению взвесей вдоль ложа всего водохранилища и обуславливает их локальное накопление. На космическом снимке, полученном спустя 22 года с Landsat-7 в августе 2006 г. (рис. 2), отображено современное состояние водохранилища. Дешифрирование снимка



*Рис. 2. Космическое изображение береговой зоны Краснодарского водохранилища. Landsat-7. Август 2006 г.*



позволило выявить многочисленные изменения прибрежных территорий, произошедших за два десятилетия, определить области подтоплений, как вдоль береговой зоны, так и вдоль русел впадающих рек, степень и характер антропогенной освоенности берегов. К наиболее значительным изменениям относится катастрофический прирост дельты р. Белой, площадь которой за это время достигла почти 20 км<sup>2</sup>, практически разделив водоем на две части перемычкой шириной около 5 км. Если процесс заиливания водохранилища будет идти с такой же скоростью, то через 15-20 лет его восточная часть будет осушена полностью.

Привлечение топографических карт 1962 г. позволило восстановить характер землепользования территории, отчужденной под водохранилище, дороги, населенные пункты, леса, луга, болота, рисунок гидрографической сети затопленного участка р. Кубань и ее притоков, особенности рельефа будущего ложа водохранилища. Все материалы – и картографические и дистанционные были трансформированы в одну проекцию и приведены к единому масштабу. Совместный анализ всех разновременных материалов лег в основу серии карт масштаба 1:200 000, отражающих динамику береговой линии на разных этапах формирования Краснодарского водохранилища (1962-1996 и 1996-2006 гг.), затопленные и осушившиеся участки, аккумулятивные и абразионные участки берегов и т.д. (рис. 3). По картографическим материалам составлена таблица изменения морфометрических характеристик за годы существования водоема, включая предварительный этап заполнения Тщикского водохранилища.

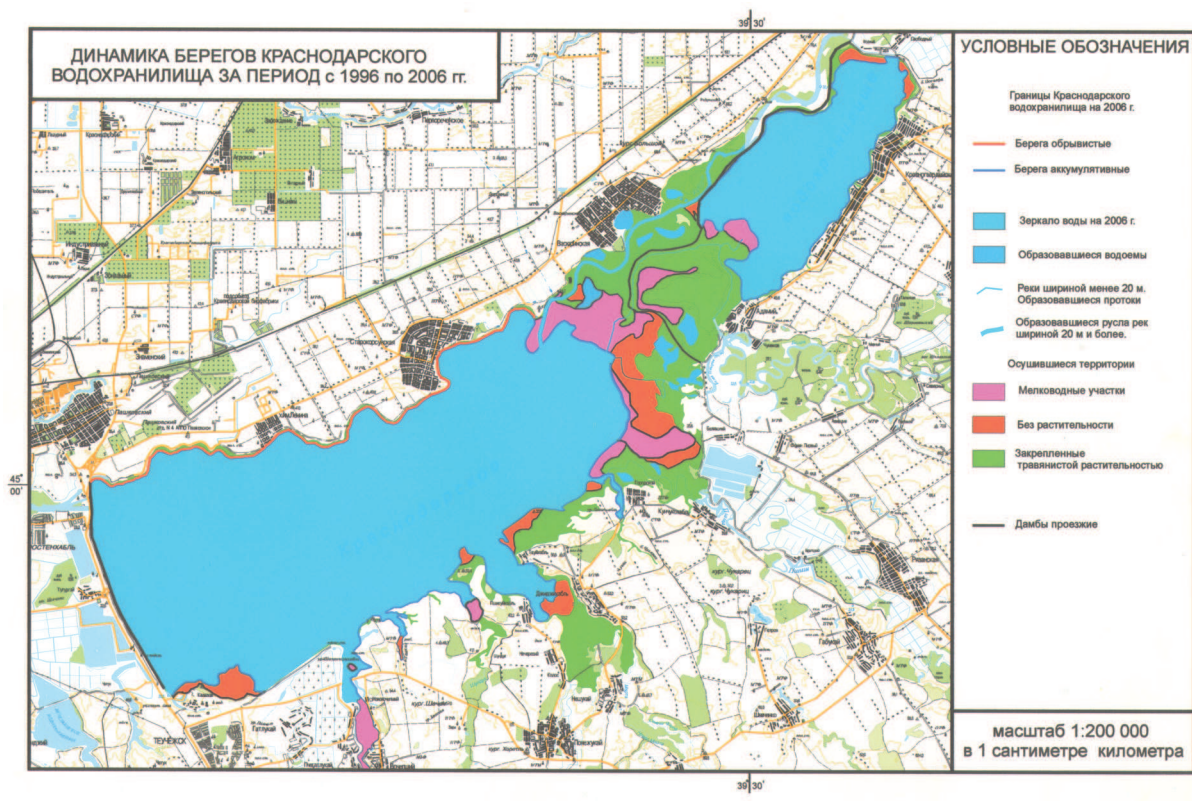


Рис. 3 . Динамика берегов Краснодарского водохранилища за период с 1996 по 2006 гг.

Полученные карты могут быть использованы как базовые при дальнейшем углубленном изучении процессов, влияющих на формирование природно-территориальных комплексов береговой зоны водохранилища, для геоэкологического мониторинга и прогноза развития водоема.

Таблица. Изменение морфометрических характеристик Краснодарского водохранилища и его частей (1962-2006 гг.).

Водохранилище, его части	Тщикское	Краснодарское (полностью)	Западная часть	Восточная часть (бывшееТщик- ское)
годы	1962	1996	2006	
Площадь зеркала воды (км <sup>2</sup> )	65.8	377.3	253.5	49.5
Длина L <sub>max</sub> (км)	27.3	77.0	46.3	21.0
Ширина Н <sub>max</sub> (км)	9.5	21.3	20.8	8.9
Длина береговой линии L <sub>б.л.</sub> (км)	51.9	222.9	137.9	40.1
Длина аккумулятивного берега L <sub>ак.бер.</sub> (км)	33.5	156.0	95.1	13.0
Длина абразионного берега L (км)	18.5	56.0	32.3	13.1
Длина дамбы L <sub>д</sub> (км)	-----	10.4	10.4	10.4
Коэффициент изви- листости абразионного берега K <sub>аб. бер.</sub>	2.1	1.9	1.9	1.7
Коэффициент изви- листости аккумулятивного берега K <sub>ак. бер.</sub>	3.2	4.65	5.1	3.9
Средний коэффициент изви- листости абразионного берега K <sub>аб. бер.</sub>	2.6	3.2	3.5	2.8

### Литература

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаратов В.А. Водохранилища // М.: Мысль, 1987. 324 с.
2. Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока // Санкт-Петербург.: Гидрометеоиздат, 2005. 500 с.