

Автоматизированные технологии обработки материалов ДЗЗ в комплексном мониторинге Волгоградского водохранилища

А.В. Студеникин, О.В. Филиппов

*Учебно-научная лаборатория эколого-социальных исследований Волжского
гуманитарного института (филиала) Волгоградского государственного университета
E-mails: standvic@gmail.com, oleg.filippov@vgi.volsu.ru*

Статья посвящена вопросам применения ДЗЗ в изучении актуальных экологических проблем водных ресурсов Волгоградской области. Рассмотрены гидрологические процессы, происходящие после создания Волгоградского водохранилища. Выполнен обзор видов мониторинга этих процессов. Описаны способы применения технологий обработки ДЗЗ при реализации мониторинга экологических проблем водохранилища. Представлены результаты анализа спектральных зон космических снимков для дешифрирования основных объектов исследования.

Ключевые слова: водохранилище, экологические проблемы, абразия, мониторинг, технологии обработки ДЗЗ, Landsat TM, дешифрирование, спектральные каналы, классификация.

Введение

Как географические объекты водохранилища являются составной частью географической оболочки планеты, занимают закономерное положение в структуре ландшафтно-экологических комплексов, активно включаются в сложные процессы обмена вещества и энергии между компонентами данных комплексов. Относительная молодость водохранилищ в среде прочих географических объектов, имеющих естественный генезис, неизбежно становится фактором изменения сформировавшихся ландшафтов и экосистем. Масштаб сукцессий пропорционален величине водохранилищ и интенсивности процессов, определяемых их возникновением. Среди водохранилищ, отличающихся наибольшими масштабами последствий – водохранилища на крупных равнинных реках.

Волгоградское водохранилище является крайним нижним элементом общей схемы реконструкции Волги. Подпертое снизу гидросооружениями Волжской ГЭС, оно простирается вверх на 526 км до плотины Саратовской ГЭС у г. Балаково. Общая площадь водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) превышает 3,1 тыс. км², а общий объем – 31,4 км³. Водохранилище образовано перекрытием русла Волги плотиной Волжской ГЭС выше Волгограда в конце октября 1958 года.

Изменения в волжской речной долине коснулись всех без исключения составляющих общего гидрологического режима Волги: режима уровней и стока воды, ледово-термического режима и режима ветрового волнения, режимов стока наносов и качества воды и наносов (гидрохимического режима). Нарушения затронули общую схему баланса вещества (в первую очередь: воды, наносов, растворенных минеральных солей и природных газов) и энергии (в первую очередь – тепла). Аккумуляция больших объемов воды в долине Волги явилась первопричиной образования принципиально новых, устойчивых и крайне опасных геодинамических процессов – абразии (размыва берегов) и заиления. Указанные изменения затронули прибрежную полосу водохранилища, что, безусловно, повлияло на условия обитания и хозяйствования самого человека.

Задачи комплексного мониторинга

Целью комплексного мониторинга водохранилищ подобных Волгоградскому в условиях, обозначенных выше, следует считать отслеживание суммы изменений в речной долине, подвергшейся затоплению водами водохранилища, оценку последствий данных изменений и прогноз развития ситуаций, связанных с изменениями. Поскольку вся сумма изменений затрагивает совокупность условий обитания биоты и человека – мониторинг в целом следует определить как экологический. Задачами мониторинга в данной ситуации следует считать отслеживание тенденций во всем многообразии процессов и явлений, определяющих в конечном итоге изменения общей экосистемы (включая систему «природная среда – человек» или «человек – природная среда»).

Остановимся на одной из большого комплекса задач общего мониторинга водохранилища: задаче мониторинга береговой зоны, состояние которой в большой мере определяется процессом абразии, или размыва склонов под действием энергии ветрового волнения. Отметим при этом сложность общего процесса, наличие целого ряда производных, или подчиненных ему процессов. Так, например, размыв берега сопровождается перемещением продуктов размыва в зону волноприбоя с последующей их сортировкой и формированием прибрежной абразионно-аккумулятивной отмели (процесс занесения). Уничтожение полосы коренного берега в ходе отступления бровок под действием размыва сопровождается рядом характерных процессов в примыкающей зоне. Среди подобных процессов – разуплотнение геологических пород, слагающих береговые уступы; возникновение или активизация характерных геоморфологических процессов (обвалы, осыпи, осы, оползни, просадки и т.п.); нарушение гидрогеологического режима в прибрежной полосе коренного берега; активизация тектонических процессов; деградация прибрежных ландшафтов; ограничение хозяйственной деятельности и изменение условий жизненной среды человека.

Мониторинг изменений прибрежной полосы водохранилища в первую очередь ориентирован на отслеживание главных показателей – линейного отступления береговых бровок (бровок коренного берега) и объемов разрушения береговых склонов (береговых уступов, или клифов).

Традиционным подходом является организация и проведение наземных натурных наблюдений за отступлением и разрушением (переработкой) берега на стационарных участках. Методологической основой наблюдений является комплекс картографо-геодезических методов (применяемых как на территории, так и на акватории прибрежной полосы в пределах стационарных участков мониторинга). Многолетний (по сути: перманентный) характер мониторинга требует поддержания геодезического базиса участков на достаточно высоком уровне точности проложений, затратен и трудоемок. В сложившейся ситуации, на многих водохранилищах страны число подобных участков быстро сокращается уже в первые десятилетия их эксплуатации, надежность результатов наблюдений на сохраняемых участках заметно уменьшается, мониторинг теряет эффективность или полностью прекращается. Отметим, из 19 участков с полной программой многолетних наблюдений, которые были учреждены и поддерживались с 1958 года в сети Государственной гидрометеорологической службы на Волгоградском водохранилище, к настоящему времени в числе действующих осталось лишь 4. Из более чем 60 участков, на которых наблюдения поддерживались оползневыми партиями в системе Министерства геологии, уже к концу советского периода не осталось ни одного.

Отметим также, что наземные формы мониторинга на ограниченном числе участков даже при наиболее оптимальном их распределении не могут в достаточно полной мере охарактеризовать развитие процесса для всей береговой линии водохранилища.

В данной ситуации вполне естественным и обоснованным представляется поиск новых, менее трудоемких и менее затратных методов мониторинга. Одним из них может стать метод биологической индикации. Метод биоиндикации позволяет определить фазовое состояние процесса абразии на конкретных участках побережья. Однако данный метод не дает количественных характеристик размыва: темпов отступления берега, объемов переработки склонов.

В данной ситуации оптимальной альтернативой методу наземных натуральных наблюдений за размывом берега может стать метод дистанционного зондирования (ДЗЗ) с использованием аэрофотоснимков или космических (спутниковых) снимков. К преимуществам данного метода, безусловно, следует отнести широкий охват акватории и береговой линии водохранилища, а также – привязка ситуации практически к единому временному моменту с тождественностью внешних условий. Недостатком метода является утрата геодезической точности наземных измерений.

В то же время, использование метода ДЗЗ привносит в мониторинг берегов водохранилища важнейший положительный момент: комплексность отслеживаемой ситуации. Наряду с характеристиками отступления береговой линии (получаемыми путем сопоставления снимков за ряд лет), исследование материалов дистанционного зондирования позволяет установить наличие и развитие характерных геоморфологических процессов, развитие абразионно-аккумулятивной отмели, изменения ландшафта и социально-экономической инфраструктуры побережий. Заметим, отслеживание состояния и изменений растительных формаций в прибрежной зоне также представляется наиболее эффективным при использовании комплекса методов ДЗЗ.

Решение задач комплексного мониторинга с помощью автоматизированных технологий обработки материалов ДЗЗ

Технологии обработки материалов ДЗЗ входят в число динамично развивающихся направлений относительно молодой, ещё не приобретшей чёткие контуры, науки – геоинформатики. Для решения задач, поставленных в результате исследования экологических проблем Волгоградского водохранилища, геоинформационные методы применялись на нескольких этапах:

- формирование геоинформационной модели исследуемых объектов и процессов;
- сбор данных;
- предварительная обработка данных;
- дешифрирование и интерпретирование данных;
- сохранение результатов в формате принятой геоинформационной модели;
- анализ, тематическая обработка и представление данных.

Геоинформационная модель реализована в виде пространственной базы данных, содержащей основные, связанные между собой, объекты исследуемой территории, выделенные с точки зрения изучения экологических проблем водохранилища. Наиболее важные из них: береговая бровка водохранилища, заливы, отмель, водная растительность, прибреж-

ные территории социальной значимости (населённые пункты, коммуникации, земельные угодья). Пространственная база данных является частью ГИС водохранилища и постоянно наполняется графической и атрибутивной информацией.

В качестве исходных данных использовались снимки Landsat TM за 1986 и 2009 годы, а также топографическая карта проекта Волгоградского водохранилища за 1958 год с масштабом 1:25000. Снимки имеют пространственное разрешение 30 метров, что в терминологии российского ландшафтоведения соизмеримо с уровнем фации [2]. Этого разрешения достаточно для мониторинга процесса отступления берегов, качественного и количественного состояния водной растительности при относительно невысокой точности. Один кадр имеет размеры 185 км на 185 км, поэтому полностью водохранилище можно отобразить на трёх базовых кадрах.

Предварительная обработка потребовалась в минимальном объёме, поскольку снимок имеет уровень обработки L1T, то есть выполнены радиометрическая, геометрическая коррекции, ортотрансформирование с использованием цифровой модели местности и наземных контрольных точек, привязка к географической системе координат WGS-84 и к картографической проекции UTM.

Этап дешифрирования данных ДЗЗ рассмотрим подробнее, поскольку выбор того или иного алгоритма или метода определяет точность и адекватность результатов мониторинга. По причине очень больших линейных размеров многих объектов исследования предпочтение в обработке данных ДЗЗ отдано автоматизированным методам.

При дешифрировании объектов, составляющих геоинформационную модель водохранилища, использованы те спектральные зоны снимка, которые больше подходят для визуального или автоматического определения этих объектов. Для мониторинга основного объекта мониторинга – береговой бровки – может быть применён синтез каналов 7-5-4, в котором 7-й канал соответствует средней инфракрасной части спектра (2.08 – 2.35 мкм), 5-й также средней инфракрасной части (1.55 – 1.75 мкм), а 4-й – ближней инфракрасной (0.76 – 0.90 мкм). Такая комбинация обеспечивает лучшую проникаемость сквозь атмосферу, в связи с чем чётче определяются береговые линии [1]. Участок Волгоградского водохранилища, синтезированный с этими каналами, показан на рис. 1. Для лучшего зрительного восприятия выполнен синтез 7-4-5, чтобы фитомасса отображалась зелёным цветом.



Рис. 1. Участок водохранилища, синтезированный комбинацией каналов 7-4-5

Вдоль правого берега (левая сторона рисунка) на акватории видно вытянутое пятно с фитопланктоном. Вплотную к левому берегу просматривается повышенная мутность, вызванная работой волн и взвешиванием наносов на песчаной отмели. Эти явления осложняют применение автоматической классификации для выделения береговой бровки. Попытки использовать классификацию с обучением для выделения этих участков в отдельные классы не привели к положительным результатам, поскольку во многих случаях они смешиваются с участками растительности на берегу, особенно в заливах.

На синтезированном снимке эти объекты заметны благодаря 4-му каналу, который хорошо отображает растительность. На рис. 2 с 4-кратным увеличением истинного масштаба снимка изображён один и тот же тестовый участок бровки левого берега в 4-м, 5-м и 7-м каналах соответственно. Визуально заметно отличие изображения 4-го канала от остальных более размытой границей между берегом и водой.

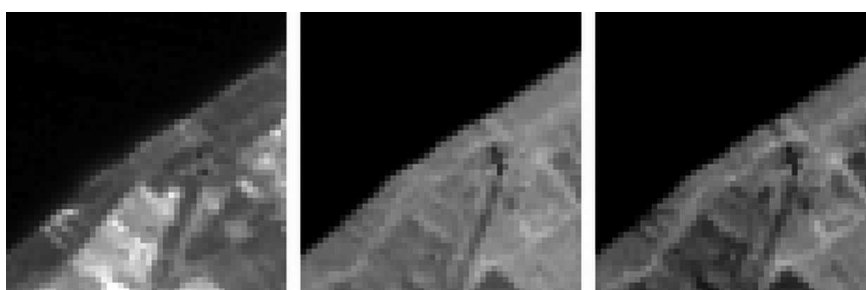


Рис. 2. Тестовый участок бровки левого берега для 4-го, 5-го и 7-го каналов

Это наблюдение подтверждается на рис. 3, на котором изображены профили (трансекты), проведенные на изображении соответственно 4-го, 5-го и 7-го каналов того же тестового участка. Профили имеют одинаковое пространственное положение на всех трёх каналах и поведены перпендикулярно берегу по направлению с северо-запада к юго-востоку. По оси X отложены номера пикселей вдоль линии профиля, а по оси Y – значения отражательной способности поверхности Земли в местах, соответствующих пикселям изображения. Значительный перепад значений Y на графиках характеризует линию берега на снимке. Несмотря на то, что из рис. 3 видно, что береговая линия на 7-м канале имеет более чёткую границу, тестовая выборка профилей по всему водохранилищу не выявила преимуществ у 5-го и 7-го каналов друг перед другом. Скорее предпочтение следует отдать 5-му каналу, поскольку его спектральная ширина составляет 0,2 мкм, а у 7-го – 0,27 мкм.

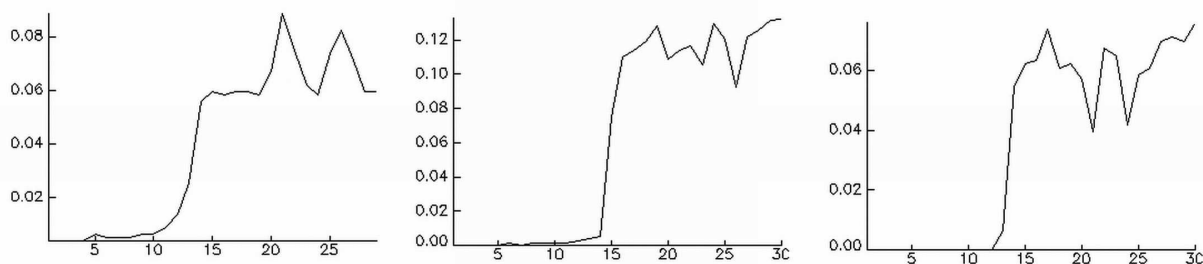


Рис. 3. Профили тестового участка для 4-го, 5-го и 7-го каналов

Для одноканального изображения выполнена классификация с целью выделения линии берега. Хорошие результаты показал метод классификации без обучения K-Means. Классификация с обучением также может использоваться довольно эффективно, поскольку график распределения (рис. 4) значений отражательной способности между 7-м (ось X) и 5-м (ось Y) каналами отображает довольно заметную корреляцию, а с учётом плотностей распределения можно выделить класс воды (на рис. 4 участок 1) и суши (на рис. 4 участок 2).

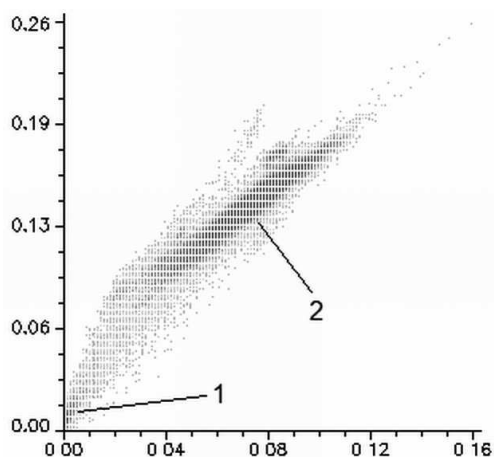


Рис. 4. График распределения между 7-м и 5-м каналами

Вся исследуемая территория водохранилища собрана в мозаике из трёх кадров Landsat TM и разделена на области интереса согласно представлениям о дальнейшей эффективной обработке. Классификация, преобразование в векторный слой и другие операции осуществляются над каждой из таких областей по отдельности.

По данным спутниковой съёмки были получены линейные векторные слои контуров водохранилища за 1986 и 2009 годы, что дало возможность увидеть отступление берегов в результате абразии за соответствующий срок. Полученные контуры неплохо соотносятся с результатами полевых исследований на основных участках изучения переработки берегов. Результаты исследований состояния основных объектов водохранилища помещаются в базу данных ГИС, что позволяет выполнять геопространственный, геостатистический анализ и автоматическую генерацию тематических карт.

Литература

1. Жиленёв М.Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке // Геоматика, 2009. № 3. С. 56-64.
2. Лебедева Н.В., Кривоуцкий Д.А., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М., Самуров А.В., Максимов В.Н., Тикунов В.С., Огуреева В.Н., Котова Т.В. География и мониторинг биоразнообразия: Учебно-методическое пособие. М.: Издательство НУМЦ, 2002. 432 с.
3. Филиппов О.В., Студеникин А.В., Золотарев Д.В. Геоинформационный подход к исследованию процессов абразии берегов Волгоградского водохранилища // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища: Сб. науч. статей. – Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2009.

Automated data processing technology of remote sensing in integrated monitoring of the Volgograd reservoir

A.V. Studenikin, O.V. Phillipov

*Science and Education Laboratory of Ecological and Eocial Research, Volzhsky Institute of
Humanities, Branch of Volgograd State University
E-mails: standvic@gmail.com, oleg.filippov@vgi.volsu.ru*

The article deals with the application of remote sensing in the study of urgent environmental problems of water resources of the Volgograd Region. Examined the hydrological processes occurring after the establishment of the Volgograd Reservoir. A review of monitoring these processes. Describes how the application of technologies for processing remote sensing data for monitoring implementation of environmental problems reservoir. The results of analysis of the spectral bands of satellite images for deciphering the basic objects of study.

Keywords: reservoir, environmental issues, erosion, monitoring, processing technology of remote sensing, Landsat TM, interpretation, spectral channels, classification.