

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЗЗ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ**

***Владимир Павлович Ступин***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

***Леонид Александрович Пластинин***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)881-18-08, e-mail: plast@istu.edu

В статье представлены результаты анализа возможностей практического использования космических данных открытого доступа для районирования и картографирования типов берегов водохранилищ ангарского каскада. Рассмотрены принципы типизации берегов и их дешифровочные признаки на средне- и крупномасштабных общедоступных космических снимках. Изложенный опыт может оказаться полезным при необходимости оперативного картографирования динамики протяженных береговых линий в сжатые сроки и при ограниченных информационных возможностях.

**Ключевые слова:** космические снимки, картографирование водохранилищ.

## **OPPORTUNITIES FOR THE USE OF OPEN REMOTE SENSING DATA FOR MAPPING THE DYNAMICS OF THE BANKS OF RESERVOIRS**

***Vladimir P. Stupin***

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (964)106-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

***Leonid A. Plastinin***

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: 8(914)881-18-08, e-mail: plast@istu.edu

The article presents the results of an analysis of the possibilities of practical use of open-access space data for regionalization and mapping of types of shores of the reservoirs of the Angara cascade. The principles of coast typing and their interpretive features on medium- and large-scale publicly available satellite images are considered. The described experience may be useful if it is necessary to map the dynamics of extended coastal lines in a short time and with limited information capabilities.

**Key words:** space images, reservoir mapping.

### ***Введение***

Мониторинг такого гигантского объекта, как каскад Ангарских водохранилищ (общая длина его главных ветвей, без учета изрезанности берегов, пре-

вышает 1 500 км), невозможен без привлечения материалов ДЗЗ, стоимость которых зачастую не соответствует возможностям исследователей. В то же время существует общедоступная и практически бесплатная поисковая система GoogleEarth. Данная работа посвящена анализу возможностей материалов открытого доступа в интересах оперативного картографирования и мониторинга зоны влияния крупных водохранилищ в условиях ограниченного финансирования.

### *Методы и материалы*

Основу данных в системе GoogleEarth представляют спутниковые снимки, полученные от компании DigitalGlobe. Базовое покрытие осуществляется снимками, точность которых, по информации поставщика (<http://www.google.com/earth/index.html>), соответствует точности карт масштаба 1 : 25 000. Эти снимки представлены компанией EarthSat, получены после 1999 г. со спутника Landsat-7 камерой ETM+ и Landsat-8 камерой OLI. Эти снимки имеют итоговое разрешение на местности равное 15 м/пк. Выходные изображения составлены с помощью комбинирования исходных 30-метровых спектрзональных и 15-метровых панхроматических данных, получаемых синхронно со спектрзональными; это позволяет увеличить пространственное разрешение спектрзональных данных.

Крупные города и значительная часть обжитых территорий отображаются с точностью масштаба 1 : 2 000. Эти снимки получены со спутников GeoEye-1 (разрешение 0,41 м/пк, первые снимки получены в октябре 2008 г.) и QuickBird-2) (разрешение 0,68 м/пк, снимки получены в конце 2001 г.) и также предоставляются фирмой DigitalGlobe. В то же время, снимки на малообжитые территории, предоставляемые компанией TerraMetrics, часто искусственно загублены и имеют разрешение порядка 100 м, которое, по нынешним меркам, оставляет желать лучшего.

Для создания ЦМР и перспективных изображений используются данные SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), полученные в результате радарной топографической съемки большей части территории земного шара, а также океанов, за исключением самых северных ( $> 60$ ) и самых южных широт ( $> 54$ ). Миссия была произведена в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы. Двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR, было собрано более 12 терабайт данных. На сегодняшний день это самая детальная мировая модель рельефа. Данные представлены 16-битным растром и задаются в поперечной цилиндрической проекции Меркатора Universal Transverse Mercator (UTM) по параметрам референц-эллипсоида Кларка (система координат WGS-84).

Исходные данные SRTM (Level-2) имеют размер элемента в 1 угловую секунду ( $30 \times 30$  м), с 20-метровой точностью по высоте. Однако, в связи с угрозой терроризма, все сырые данные и данные Level-2 распространяются только через Министерство Обороны США. На остальную территорию (кроме США)

распространяются снимки Level-1, ортотрансформированные по грубой модели рельефа с неисправимыми ошибками. Данные Level-1 комплектуются по квадратам размером  $1 \times 1$  градус, при разрешении 3 угловые секунды ( $90 \times 90$  м); такой квадрат является матрицей размером  $1201 \times 1201$  элементов (пикселей).

Исходные данные, используемые в системе GoogleEarth доступны в готовом виде и их не нужно специально обрабатывать. Однако их нельзя нужным образом настроить, например, сменить систему координат, комбинацию каналов данных, улучшить географическую привязку и т. д.

Фактическое покрытие территории исследований было выполнено как по Ангарскому направлению каскада, так и по его основным ветвям: Окинской и Ийской для Братского водохранилища и Илимской для Усть-илимского.

Следующим этапом анализа представленных в GoogleEarth снимков стало выяснения их фактического разрешения. Поскольку система предоставляет не исходные, а обработанные материалы, мы полагали, что их фактическое разрешение будет не всегда соответствовать декларируемому, поскольку имеют место неисправимые закругления разрешения, производимые поставщиком с той или иной целью. При определении предельно-допустимого комфортного увеличения снимков мы применяли упрощенный способ: анализируемый снимок увеличивали до наиболее комфортного, на наш взгляд, разрешения, а затем, используя линейный масштаб основного окна Google, определяли масштаб (но не точность) удовлетворительного выходного изображения.

### *Результаты*

Анализ показал, что больше половины территории покрывается снимками со спутника landsat, возможности которого для мониторинга динамики береговых морфосистем ограничены. При этом снимками высокого разрешения лучше всего обеспечена стволковая Ангарская ветвь, особенно обжитые территории Иркутска, Братска и Усть-Илимска. Боковые ветви такими снимками обеспечены значительно хуже. Также отмечается тенденция повышения доли снимков более низкого разрешения при продвижении к северу. Особенно досадно, что снимки высокого разрешения отсутствуют на наиболее динамичные и восприимчивые к размыву территории Осинского и Окинского расширений, а также на исток Ангары. Некоторые снимки высокого разрешения выполнены в неудачное время года – не сошел или образовался снежный покров, акватория покрыта льдом.

Проведенный анализ показал, что снимки с КА Landsat можно без существенной потери качества увеличивать до масштабов в весьма широком диапазоне: от  $1 : 11\ 000$  до  $1 : 22\ 300$ . Снимки КА QuickBird-2 можно увеличивать в диапазоне масштабов от  $1 : 800$  до  $1 : 1\ 600$ . Изображения с КА GeoEye, допускают максимальное увеличение в диапазоне от  $1 : 700$  до  $1 : 1\ 000$ .

Анализ дешифровочных возможностей рассмотренных снимков позволяет сделать следующие выводы:

*Среднемасштабные снимки с КА Landsat.* дают возможность выделять следующие типы берегов:

– абразионные: по отсутствию полосы пляжа, крутым высоким берегам и берегам, приуроченным к мысам; клифы, однако, не видны;

– абразионно-аккумулятивные: по светлой кайме вдоль береговой линии, демаскирующей пляжи и полосы осушки, по просвечивающим отмелям и потокам муты;

– аккумулятивные: по светлому ровному тону и форме аккумулятивных форм (кос, пересыпей, перейм);

– ингрессионные слабоизмененные: по положению в головах заливов с плоскими и низкими берегами и отсутствию светлой полосы пляжа.

Кроме того, снимки с КА Landsat позволяют выделить тип береговых ландшафтов (селитебные, таежные, лесные, степные, лесостепные, заболоченные). На них также хорошо видны дороги и просеки, а также вырубки и гари с дифференциацией на старые и свежие. Не позволяют: произвести дифференциацию пляжей по гранулометрическому составу, выявить сеть мелких промоин и оврагов, определить тип абразионно-денудационных берегов (обвальные, осыпные, оползневые, закарстованные, просадочные). В населенных пунктах невозможно различить строения, с трудом читается структура кварталов.

*Крупномасштабные снимки с КА QuickBird и GeoEye.* Предоставляют собой удовлетворительный материал для изучения и картографирования береговой зоны в интересах мониторинга ее динамики. Близки по пространственному разрешению к среднемасштабной аэрофотосъемке. Снимки GeoEye предпочтительней по сравнению со снимками QuickBird: лучше разрешение, выше фотометрические характеристики и цветопередача.

На этих снимках хорошо отслеживается береговая линия, побережье и прибрежное мелководье. Видно много важных деталей, позволяющих судить о типе экзогенных процессов в береговой зоне и их динамике.

Четко дифференцируется полоса пляжа (осушки), клифы и опирающиеся на клифы склоны. В пределах пляжа выделяются береговые валы, фестоны, отшнурованные лагуны, дюны и крупная ветровая рябь. Просматривается характер поверхности (оголенная, с разреженным или сплошным травяным покровом, куртины кустарниковой растительности. Различается плавник и упавшие, накренившиеся и полузатопленные деревья. В ряде случаев можно определить слагающие пляж грунты (глыбово-щебнистые, суглинистые, песчаные).

Клифы видны отчетливо, различаются резкие и сглаженные бровки и подошвы, наличие или отсутствие эрозионных рытвин, оползневых тел и цирков, обвально-осыпных шлейфов и конусов выноса у основания, крупных трещин и блоков отседания, характер слагающего клиф грунта (скальный или рыхлый).

На склонах, опирающихся на клиф, хорошо видны эрозионные формы: протяжины, лощины, балки, промоины и овраги; прослеживается свежесть или сглаженность их элементов; тип и характер растительного покрова (отсутствует, разреженный, сомкнутый). Читается карстовые и суффозионные западины, блюдца, воронки и провалы.

Возможность построения перспективных изображений, продольных профилей и виртуальных стереопар с использованием встроенной ЦМР дает немного. Эти изображения позволяют улучшить восприятие характера рельефа, дифференцировать высокие, низкие, приглубые и отмельные берега. При этом, однако, искажается восприятие наиболее важных с точки зрения литодинамики крутых и, особенно, отвесных склонов (клифов). Точностные данные ЦМР тоже оставляют желать лучшего – так, при снятии высотных отметок с горизонтального зеркала водохранилищ диапазон разброса высот достигает 25 м.

Начиная с версии 5.0, в GoogleEarth реализована весьма полезная возможность сравнения разновременных снимков на одну и ту же территорию. Однако эта опция реализована только для снимков высокого разрешения с КА QuickBird и GeoEye, а период возможностей ретроспективы ограничивается 2002 г. Набор разновременных снимков также неодинаков: в некоторых случаях это два снимка, в некоторых – пять-шесть. Тем не менее и за этот период на особенно активных участках, приуроченных к открытым мысам, сложенным легкоразмываемыми породами, динамика процесса проявляется весьма отчетливо. Так, был проведен анализ серии разновременных снимков на участок мыса Волчий (правый берег Иркутского водохранилища), сложенного суглинками III террасы Ангары. Шесть разновременных снимков были приведены к одному масштабу и совмещены по общим контурным точкам. Анализ совмещенных изображений показывает отступление берегового клифа на расстояние 70–80 м за период с 2002 по 2016 г. На другом участке береговой полосы в районе поселка Новоравзводная за 14 лет берег отступил на 35–40 м.

В то же время 14-летний промежуток времени оказался недостаточным для выявления отступления клифов абразионных берегов, сложенных скальными грунтами. Вероятно, он будет также недостаточным и для мониторинга по материалам аэросъемки; поэтому для получения данных по разрушению подобных берегов водохранилищ, необходимы полевые исследования и стационарные наблюдения на специальных площадках.

Анализ разновременных снимков предоставляет информацию по динамике полосы осушки, вызванной сезонными колебаниями уровня водохранилищ. Это особенно характерно для Братского водохранилища, где амплитуда таких колебаний полосы осушки абразионно-аккумулятивных берегов достигает до 10 м по высоте и до 100 м в плане. Еще большие колебания (сотни метров) отмечаются по низким и плоским берегам в изголовьях ингрессионных заливов.

### *Заключение*

Таким образом, дешифровочные возможности спутниковых снимков, высокого разрешения QuickBird-2 и GeoEye примерно соответствуют возможностям среднемасштабной аэросъемки, что позволяет использовать их в качестве основы для создания карт экзогенной динамики береговой зоны водохранилищ.

Снимки среднего разрешения с КА Landsat дают возможность отслеживать на пологих (отмелых и ингрессионных) берегах изменения полосы осушки, вызванные разного рода колебаниями уровня водохранилища.

Разновременные снимки позволяют выявлять изменения в рельефе береговой зоны, при условии, что эти изменения порядка нескольких м/год для снимков высокого разрешения и нескольких десятков м/год – для среднего разрешения.

К сожалению, в последнее время руководство GoogleEarth прекратило пополнение банка разновременных снимков с КА Landsat и существенно сократило базу уже накопленных снимков. На некоторые участки исследуемой территории теперь и вовсе нет ретроспективных наборов изображений, что значительно снижает их дешифровочные возможности в рамках решения задач экологического мониторинга. Тем не менее, сравнительный анализ этих снимков и топографических карт позволил выявить динамику широких полос осушки, приуроченных к низким отмелым берегам Братского водохранилища, сложенным рыхлыми, легко размываемыми отложениями. Здесь ингрессия вод залива в плане достигает нескольких километров.

Покрытие исследуемой территории снимками высокого разрешения неполное, особенно на малообжитые территории. Однако, постоянное пополнение, обновление и расширение базы данных GoogleEarth, позволяют надеяться на временность этого недостатка. Архивы разновременных снимков на одну и ту же территорию не повсеместны, а их временной интервал мал, что тоже должно измениться к лучшему.

ЦМР GoogleEarth по точности не удовлетворяют требованиям мониторинга берегов, хотя и позволяют создавать перспективные изображения и стереопары, позволяющие уточнить морфодинамический тип берегов и приблизительно оценить энергию их рельефа.

Таким образом, детальный кондиционный мониторинг изменений береговых морфосистем каскада Ангарских водохранилищ пока невозможен без регулярных продолжительных наблюдений на геостационарных участках. Материалы ДЗЗ при этом должны использоваться в качестве исходных при выборе места таких стационаров, организации полевых обследований и экстраполяции полученных результатов при оценочном и прогнозном картографировании динамических экзогенных процессов молодых побережий водохранилищ.

© В. П. Ступин, Л. А. Пластинин, 2019