

В. В. Никольский¹, Д. А. Веретельник¹, Д. В. Долгополов^{1}, В. А. Мелкий²*

Применение воздушного лазерного сканирования для информационного обеспечения задач кадастрового учета водных объектов

¹ ООО «Стар Гео», г. Москва, Российская Федерация

² Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

* e-mail: d-daniil@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются возможности применения технологии воздушного лазерного сканирования для решения задач информационного обеспечения кадастра водных объектов. Продемонстрирована возможность классификации облака точек и выделение класса точек, относящихся к земле, для создания цифровой модели рельефа, и последующего определения уклона берегов реки. Представлены результаты съемки и обработки материалов, полученных с использованием технологии воздушного лазерного сканирования. На примере реки Мста, показана возможность определения береговой линии, водоохранной зоны и прибрежной защитной полосы. Предложенный и апробированный на примере участка реки Мста подход позволяет построить по данным воздушного лазерного сканирования детальную цифровую модель рельефа наилучшим образом и может быть использован, в том числе, для анализа состояния водных объектов и наблюдения за его изменениями, связанными с протекающими активными экзогенными процессами.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, кадастровый учет, водный объект, водоохранная зона, прибрежная защитная полоса

V. V. Nikolskiy¹, D. A. Veretelnik¹, D. V. Dolgopolov^{1}, V. A. Melkiy²*

The use of aerial laser scanning for information support of the tasks of cadastral registration of water bodies

¹ «Star Geo» LLC, Moscow, Russia

² Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

* e-mail: d-daniil@yandex.ru

Abstract. This publication discusses the possibilities of using air laser scanning technology to solve the problems of information support for the cadastre of water bodies. The possibility of classifying a point cloud and allocating a class of points related to the earth to create a digital relief model and subsequently determine the slope of the river banks is demonstrated. The results of the survey and processing of materials obtained using air laser scanning technology are presented. Using the example of the Msta River, the possibility of determining the coastline, water protection zone and coastal protection strip is shown. The approach proposed and tested on the example of the Msta river section makes it possible to build a detailed digital relief model based on aerial laser scanning data in the best possible way and can be used, among other things, to analyze the state of water bodies and monitor its changes associated with active exogenous processes.

Keywords: aerial laser scanning, cadastral registration, water body, water protection zone, coastal protection strip

Введение

Водные объекты охраняются государством и необходимы для жизнедеятельности человека, обеспечивая экономическое, социальное и экологическое благополучие населения [1]. Учитывая сложность берегового рельефа, наличие растительности вдоль русла рек, необходимости контроля протекания экзогенных геологических процессов, исследователи, все чаще используют материалы, полученные с использованием беспилотных летательных аппаратов [2].

Требования к точности границ водных объектов определяются приказом Министерства экономического развития РФ от 23.03.2016 № 164 [3], в котором говорится, что при установлении местоположения характерных точек береговой линии, границы водного объекта должны определяться с точностью границ земельных участков, расположенных на данной категории земель, что составляет 0,5 мм в масштабе используемого картографического материала (табл. 1).

Таблица 1

Точность определения координат границы водного объекта

Масштаб картографического материала (ортофотоплана)	Точность определения координат, м
1:500	0,25
1:1000	0,5
1:2000	1,0

Распространенным способом получения информации о водных объектах являются цифровые ортофотопланы, которые являются базовыми материалами при создании и обновлении цифровых карт и планов (для масштабов от 1:500 до 1:10 000). Методы цифровой аэросъемки с использованием беспилотных авиационных систем информативнее наземных методов, кроме того, обеспечивается высокая точность получаемых данных. Полученные нами материалы, подтвердили результаты других исследователей о том, что плотность точек, получаемых при воздушном лазерном сканировании (ВЛС), превышает плотность фотограмметрического облака в 2,5 раза, поэтому его использование предпочтительно при изучении земной поверхности, покрытой растительностью [4].

На наш взгляд, более полно задачи кадастрового учета водных объектов обеспечивают методы ВЛС. Так как, во-первых, они позволяют получить более плотное облако (рис. 1), а, во-вторых, они более точно отображают земную поверхность в результате прохождения электромагнитных волн сквозь растительность (рис. 2)

Методы и материалы

В настоящей работе исследуются возможности технологии ВЛС для решения задач кадастрового учета водных объектов. В работе использовались методы ГНСС наблюдений при геодезическом обеспечении аэросъемочных работ.

а)

б)

Рис. 1. Фрагмент берега реки Мста, полученный методами: а) цифровой аэросъемки; б) воздушного лазерного сканирования

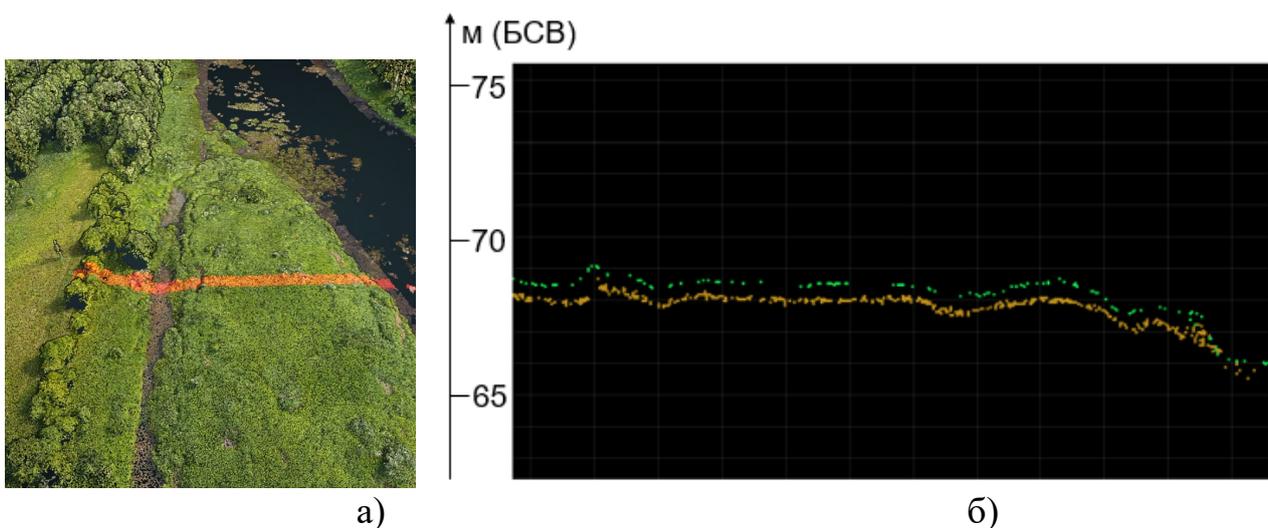


Рис. 2. Профиль реки Мста, построенный по данным ДЗЗ в ГИС МПТС [5]: а) схематично на 3D-сцене; б) в виде профиля облаков точек: зеленого цвета – с использованием технологии цифровой аэрофотосъемки, коричневого – с использованием технологии воздушного лазерного сканирования

В процессе построения поверхности рекомендуется учитывать неравномерность данных, получаемых средствами лазерного сканирования, чтобы получить сплошную поверхность, включая территории с плотной растительностью. Для построения буферной зоны использовались методы геопространственного анализа, реализованные в геоинформационной системе ArcGIS [6].

В работе использованы материалы воздушного лазерного сканирования и цифровой аэросъёмки участка реки Мста в окрестностях г. Боровичи в Новгородской области, полученные с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 300. Применялась система воздушного лазерного сканирования CHCNAV AlphaAir 450, совмещенная с фотокамерой 26 мП. Для геодезического обеспечения использовался комплект ГНСС аппаратуры PrinCe I50.

Результаты

В целях информационном обеспечении задач кадастрового учета водных объектов, решаются следующие задачи:

- развитие планово-высотного съёмочного обоснования;
- координирование береговой линии водного объекта;
- определения ширины водоохранной зоны;
- определения уклона берега и ширины прибрежной защитной полосы.

На первом этапе выполнялись работы по развитию планово-высотного съёмочного обоснования. Опорные точки маркировались опознавательным знаком в виде квадрата со стороной 1 м. На рисунке 3 приведены пример опознавательного знака и его вид на ортофотоплане (разрешение 5см/пк)



Рис. 3. Пример опознавательного знака (а); и его вид на ортофотоплане (б)

При развитии сети использовалась ГНСС аппаратура PrinCE: модели I30 и I50. Уравнивание данных производилось в программном комплексе СНС Geomatics Office (CGO), версия 2.0. Измерение пространственных координат точек планово-высотного обоснования с точностью 10 см в плане с точностью, соответствующей точности карт масштаба 1:2 000 [7].

Предварительное построение маршрута производилось с помощью портала TeoFly (версия – 0.9.15). Анализ рельефа и построение маршрута движения БВС (высоты в каждой точке) произведён на основе данных радарной съёмки SRTM (ЦММ Земли). Далее линия маршрута экспортировалась в программу управления на пульте БВС для дальнейшей активации и производства аэросъёмочных работ. Проектируемая высота полета – 130 метров, скорость полета – 14 м/с (50 км/ч), поперечное перекрытие – 50%. На отдельных участках

работ высота полета изменялась до 70 м.

Проведение работ по воздушному лазерному сканированию проводилось с использованием воздушного сканера СНС Alpha Air 450 и БВС DJI Matrice 300. Сканер совмещен с фотокамерой 26МП (табл. 2).

Таблица 2

Краткие характеристики сканера СНС Alpha Air 450

Характеристики сканера	Значения характеристик
Размеры	13.5 × 13.6 × 7.8 см
Скорость работы IMU (инерциальной системы)	500 Гц
Тип сканера	Livox Avia
Поле зрения	70.4° (перпендикулярно) × 4.5° (параллельно);
Скорость сканирования	240 000 тчк/сек при одинарном отражении, 480000 тчк/сек при двойном отражении, 720 000 тчк/сек при тройном отражении
Максимальная дальность сканирования	450 метров
Тип камеры	СНСNAV, встроенная, калиброванная со сканером, угол поля
Разрешение камеры	6252 x 4168
Рабочая температура	от -20 °С до +50 °С

Всего выполнено 11 вылетов БВС. В процессе полета лидаром произведено сканирование местности с высоты 130 и 70 м. Съёмочная система измеряла со скоростью 240 000 точек в секунду расстояния от сканера до поверхности сканируемых объектов (земли и инфраструктуры) с определением соответствующих направлений, формируя таким образом, трехмерное представление местности (в виде плотного облака точек). Дополнительно, с камеры получены фотографии на весь район работ.

Обработка данных сканирования производилась в программном комплексе СНС CoPre (уравнивание данных, получение и экспорт облака точек, создание ортофотоплана по облакам точек) и геоинформационных системах Кредо 3Д Скан, для обработки облаков точек (рис.4) и ArcGIS Pro (версия – 3.2.0) при построении поверхности, пространственном анализе, оформлении результатов.

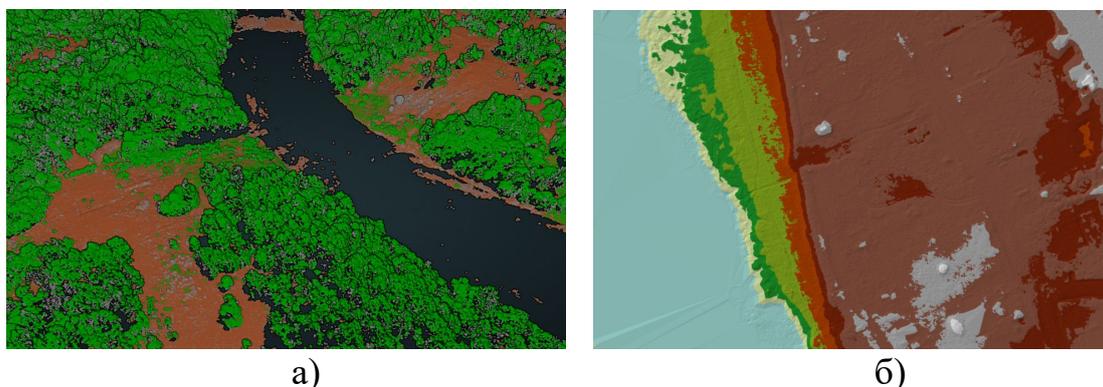


Рис. 4. а) классификация облака точек по классам: коричневый – земля, зеленый – растительность, серый – прочие; б) цифровая модель рельефа участка реки Мста, построенный по данным ВЛС

При построении ортофотоплана с использованием наземной привязки, средняя квадратическая ошибка планового положения опорных точек составила 0,12 м. Таким образом, полученные данные позволили определить координаты береговой линии с точностью, соответствующей точности карт масштаба 1:2000 (рис. 5).

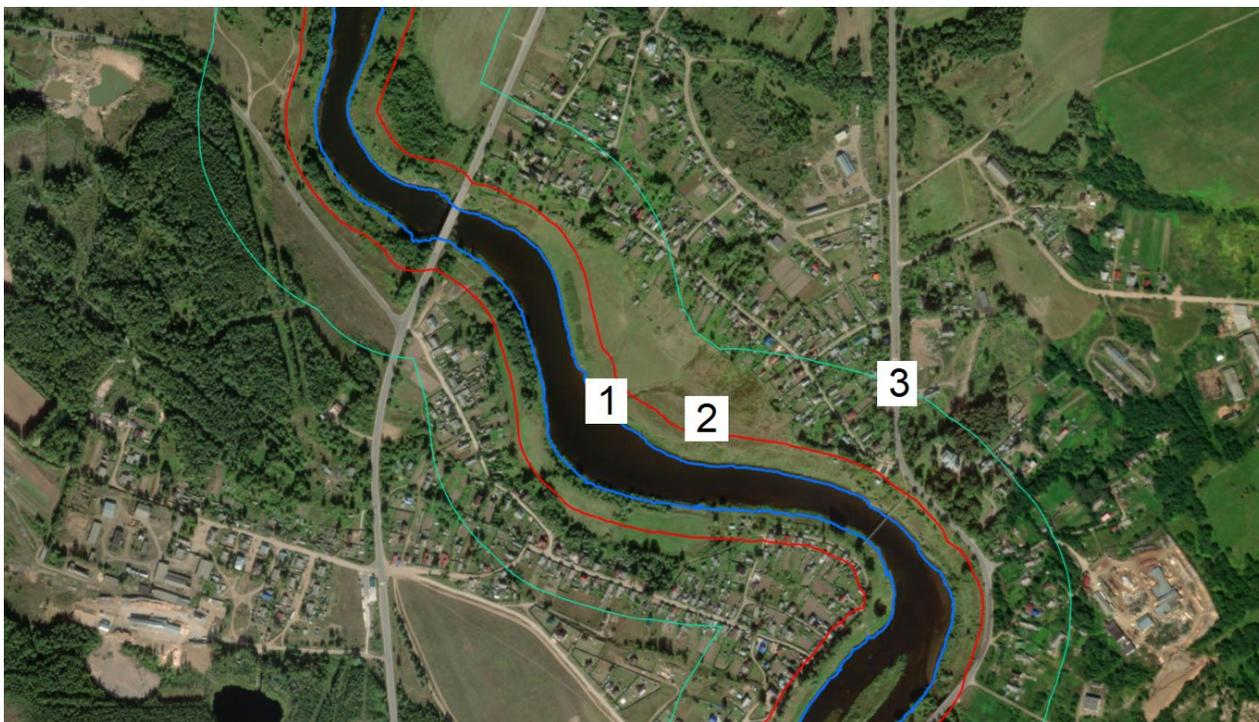


Рис. 5. Схема участка реки Мста с нанесенными: 1) береговой линией, 2) прибрежной защитной полосой, 3) водоохранной зоной

В соответствии с Водным кодексом Российской Федерации [8] ширина водоохранной зоны устанавливается в зависимости от протяженности реки от истока до устья. Ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью:

- до 10 км – 50 м;
- от 10 до 50 км – 100 м;
- от 50 и более – 200 м.

Река Мста протекает на северо-западе Европейской части России, в Тверской и Новгородской областях и имеет протяженность 445 км. Необходимая ширина водоохранной зоны составила 200 м.

Ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет тридцать метров для обратного или нулевого уклона, сорок метров для уклона до трех градусов и пятьдесят метров для уклона три и более градуса.

Построение цифровой модели рельефа (ЦМР) и определение уклона берега было произведено в программном обеспечении ArcGIS с использованием

триангуляции Делоне. Для чего использовался класс «Земля», полученный после классификации облака точек лазерного сканирования. Использование инструментов ArcGIS достаточно распространено и хорошо описано в отечественной и зарубежной литературе [9].

Уклон берега на изучаемом участке реки более трёх градусов, поэтому ширина прибрежной защитной полосы составит 50 м. Помимо определения уклона поверхности ЦМР необходима для выявления и мониторинга протекания опасных экзогенных процессов в береговой зоне, определения уровней затопления при паводках и иных гидрологических задач [10–17].

Заключение

Предлагаемый подход мониторинга водных объектов с использованием технологии воздушного лазерного сканирования может быть успешно использован при информационном обеспечении задач кадастрового учета водных объектов, а также при разработке комплекса решений при управлении прибрежными территориями в границах населенных пунктов.

Интегрированный подход к управлению прибрежными территориями предполагает, что любая деятельность здесь должна сопровождаться комплексной оценкой воздействия на окружающую среду для соблюдения интересов всех отраслей, включая охрану природы [18, 19].

Огромным плюсом при проведении анализа изменений в прибрежной зоне являются данные лазерного сканирования, которые позволяют получить количественные характеристики протекающих опасных природных и антропогенных процессов, оценить их динамику. Динамика изменения берегов индивидуальна для каждого объекта, имеет свою специфику, связанную с типом грунтов и объемом водостока, антропогенными процессами [2, 20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глоссарий по Кадастру береговой (прибрежной) зоны / Г. Г. Гогоберидзе, В. А. Жамойда, Е. Н. Нестерова Д.В. Рябчук, М.А. Спиридонов. – Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2008. – 95 с.
2. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / И. М. Ламков, А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2016. – № 4(36). – С. 200–209.
3. Об утверждении требований к описанию местоположения береговой линии (границы водного объекта) : приказ Минэкономразвития России от 23.03.2016 № 164 (зарегистрировано в Минюсте России 28.04.2016 № 41951). – Доступно на: <https://ivo.garant.ru/#/document/71389718/paragraph/1:0> (дата обращения 27.04.2024).
4. Сравнительная оценка воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов / Р. А. Друзь, А. В. Протасова, Ш. Р. Охунов, А. В. Кшановская // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 5. – С. 130–141. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_5_0_130.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022662888. Технологическая цифровая платформа мониторинга природно-технологической среды; дата рег. 07.07.2022: опубл. 07.07.2022 / Д. В. Долгополов, Р. А. Камашев, Д. С. Назаров,

- М. С. Удовиченко. – Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_49198307_61108071.PDF (дата обращения 27.04.2024).
6. ArcGIS GeoAnalytics Engine // Сайт ESRI. Доступно на: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-geoanalytics-engine/overview> (дата обращения 27.04.2024).
 7. ГОСТ 51608-2000. Карты цифровые топографические. Требования к качеству цифровых топографических карт. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс»
 8. Водный кодекс Российской Федерации: федер. Закон: [принят Гос. Думой 12 апр. 2006 г.; одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 г.]: офиц. текст. – М.: Омега-Л, 2016. – 42 с.
 9. LIDAR to Digital Elevation Models // Сайт Christian Haller. Доступно на: <https://www.christianhaller.me/blog/projectblog/2020-03-29-LIDAR-to-DEM/> (дата обращения 27.04.2024).
 10. Верхотуров А.А., Мелкий В.А. Геоинформационное обеспечение прогнозирования зон затоплений на юге Сахалина // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий) . – 2021. – Т. 26. – № 2. – С. 115–126.
 11. Долгополов Д.В., Баборыкин М.Ю., Мелкий В.А. Мониторинг опасных геологических процессов при строительстве и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта по данным дистанционного зондирования Земли // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 4(1). – С. 25–32. DOI 10.33764/2618-981X-2021-4-1-25-32.
 12. Жоров В.А., Зырянова Т.А., Ловцкая О.В., Постнова И.С., Яковченко С. Г. Использование ГИС ArcView 3.2 и программного продукта НЕС-4 при моделировании зон затопления паводковыми водами // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2016. – Т. 15. – № 2. – С. 385–391.
 13. Зенкин О.В., Мелкий В.А., Малинников В.А., Долгополов Д.В. Прогнозирование поверхностного стока половодий и дождевых паводков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 3. – С. 79–84.
 14. Мелкий В.А., Долгополов Д.В., Верхотуров А.А. Возможности использования космических снимков для наблюдения затоплений на трубопроводах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2020. – Т. 4. – № 1. – С. 21–28.
 15. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. – Пермь: Изд-во ООО «Раритет-Пермь», 2014. – 296 с.
 16. Lappas V., Kostopoulos V.A. Survey on Small Satellite Technologies and Space Missions for Geodetic Applications. Satellites Missions and Technologies for Geosciences. – 2020. Pp. 123. DOI: 10.5772/intechopen.92625
 17. Tarolli P., Mudd S.M. Introduction to remote sensing of geomorphology. Developments in Earth Surface Processes. – 2020. – V. 23. – Pp. XIII–XV. DOI: 10.1016/B978-0-444-64177-9.09992-6
 18. Братков В.В., Заурбеков Ш.Ш., Мелкий В.А., Вазарханов И.С. Геоэкология: учебник. – М., Кнорус, 2021. – 280 с.
 19. Richards J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Textbook. 6th ed. – Berlin, Springer-Verlang, 2022. – 503 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-82327-6>
 20. Беленко О.А., Трубина Л.К., Полковников А.О. Особенности установления ЗОУИТ по экологическим требованиям в Новосибирске // Экология урбанизированных территорий. – 2022. – № 2. – С. 60–66.

© В. В. Никольский, Д. А. Веретельник, Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, 2024