

Е. В. Орлова^{1}, В. Н. Кузнецов¹*

Применение лидарной съемки в гидрологических исследованиях

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
* e-mail: orlov.sg@mail.ru

Аннотация. Надежность определения уровня воды в водоемах и водотоках требует слежения за стабильностью положения технических устройств наблюдения за уровнем воды и участка территории, где расположены эти устройства. Для качественного измерения уровня воды необходимо регулярно наблюдать за состоянием водных объектов: изменениями русла, поймы и окружающей местности, воздействующих на характеристики водного потока, а также, за положением гидрометрических сооружений и устройств на участке гидрологических исследований. Для этих целей составляется топографический план местности. Выполнение топографической съемки наземными методами часто осложняется крутым рельефом местности, болотистой почвой и препятствиями в виде густой древесно-кустарниковой растительности, ограждений и других сооружений. В данной статье рассматривается выполнение топографической съемки участка местности в гидрологических целях методом воздушной лидарной съемки с беспилотного летательного аппарата. Данный вид съемки, особенно в сочетании с аэрофото-съемкой, является более точной и дешевой альтернативой традиционной топографической съемке и позволяет избежать препятствий, затрудняющих съемку наземными методами.

Ключевые слова: гидрологические исследования, лидарная съемка, топографический план

E. V. Orlova^{1}, V. N. Kuznetsov¹*

Application of lidar survey in hydrological studies

¹ State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russian Federation
* e-mail: orlov.sg@mail.ru

Abstract. The reliability of determining the water level in reservoirs and watercourses requires monitoring the stability of the position of technical devices for monitoring the water level and the area where these devices are located. For high-quality measurement of the water level, it is necessary to regularly monitor the state of water bodies: changes in the channel, floodplain and surrounding area that affect the characteristics of the water flow, as well as the position of hydrometric structures and devices at the hydrological research site. For these purposes, a topographic plan of the area is drawn up. Topographic surveying by ground methods is often complicated by steep terrain, swampy soil and obstacles in the form of dense tree and shrub vegetation, fences and other structures. This article discusses the implementation of a topographic survey of a section of the terrain for hydrological purposes by the method of aerial lidar survey from an unmanned aerial vehicle. This type of survey, especially in combination with aerial photography, is a more accurate and cheaper alternative to traditional topographic surveying and avoids obstacles that make it difficult to survey with ground methods.

Keywords: hydrological surveys, lidar survey, topographic plan

Введение

Целью работы является качественное выполнение гидрологических исследований и, прежде всего, повышение надежности и точности определения уровня воды в водных объектах суши в Балтийской системе высот 1977 г. за счет повышения качества сопутствующих топогеодезических работ.

Для этой цели необходимы систематические наблюдения за изменениями речного русла, поймы, рельефа дна и окружающей местности, которые воздействуют на характер движения воды. Для выполнения наблюдений составляется подробный топографический план местности. Этот план используется для мониторинга участка гидрологических исследований, контроля состояния и местоположения гидрометрических приборов и сооружений.

Гидрологические исследования регламентируются нормативными документами Росгидромета. Для выполнения топогеодезических работ в гидрологических целях специалистами используются «Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках» [1]. Данный документ действует с 1978 года и в части используемой аппаратуры и методов работы устарел и требует обновления.

Для проведения наземной инструментальной топографической съемки участка гидрологических исследований используются нормативные документы по геодезии и картографии [2–4]. Инструкции по нивелированию и топографической съемке [2, 3] также давно не обновлялись.

Поскольку гидрологические исследования часто выполняются в условиях сложного рельефа местности, заболоченных почв, непроходимой густой древесно-кустарниковой растительности, ограждений и других препятствий, то работы наземными методами могут быть невыполнимы. В этих случаях хорошо работают аэрофототопографические методы. В данный момент появились современные методы выполнения топографических работ с беспилотных летательных аппаратов с применением лидарной съемки, которые регламентируются актуальными нормативными документами: ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования [5], ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэротопографическая [6], и ГОСТ 32453-2017 Глобальная навигационная спутниковая система [7].

Росгидрометом была инициирована научно-исследовательская работа по выполнению топографической съёмки участка гидрологического поста с использованием материалов лидарной съемки в рамках темы 2.2 НИР «Развитие и модернизация технологий мониторинга водных объектов суши по гидрологическим показателям, включая технологии их метрологического обеспечения и технологий выпуска аналитических обобщений по поверхностным водам суши (подраздел 2.2.1.3) [8].

Предполагалось, что выполнение топографических работ в гидрологических целях с использованием современных аэротопографических методов позволит получить цифровой план участка гидрологических наблюдений достаточной точности и увеличит надежность и точность получения отметок уровня воды в Балтийской системе высот 1977 г.

Методы и материалы

Аэротопографические работы производились специализированной аэрогеодезической организацией по заказу ФГБУ «ГГИ» на участке гидрологического поста № 72055 (река Охта – деревня Новое Девяткино в Ленинградской области) в апреле 2021 года. Технические требования и проект съемки составлялись исполнителем работ согласно требованиям стандартов [5, 6].

Основные этапы работ:

– Подготовительные работы: составление технической документации и получение разрешений на аэрофотосъемку.

– Полевые работы: создание геодезического съемочного обоснования, выполнение аэротосъемки с использованием беспилотного носителя и проведение воздушного лазерного сканирования.

– Камеральные работы: фотограмметрическая обработка снимков для построения ортофотоплана, обработка и классификация облака точек по результатам лидарной съемки, создание цифровой модели рельефа местности и составление плана участка гидрологического поста.

Подготовительные работы выполнялись совместно заказчиком и исполнителем работ, а камеральная обработка результатов лидарной съемки произведена авторами статьи.

Воздушное лазерное сканирование производилось с применением БПЛА «Геоскан 401 Лидар», оснащенного лазерным сканером AGM со встроенным ГНСС-приемником геодезического класса. Одновременно выполнялась аэрофотосъемка с высоты 150 м.

В результате аэрофотосъемки было получено 90 снимков с перекрытием 80/60. Общая площадь съемки составила 3 км². Разрешение снимков – 2,5 см/пиксель.

Съемка по результатам воздушного лазерного сканирования территории была представлена заказчиком в формате *.LAS. Средняя плотность точек составила 60-80 на м².

Результаты съемки были обработаны в программном обеспечении Agisoft Metashape, согласно методам, предложенным производителем БПЛА Геоскан [9]. Камеральная обработка выполнялась в следующей последовательности:

- 1) добавление опорных точек;
- 2) выравнивание снимков;
- 3) построение плотного облака точек и их классификация;
- 4) построение цифровой модели рельефа (ЦМР);
- 5) построение ортофотоплана;
- 6) составление цифрового топографического плана.

Результаты

Классификация облака точек

Исходное облако точек по результатам лазерного сканирования территории участка гидрологического поста было классифицировано по основным классам: земля, низкая растительность, деревья, здания. На рис. 1 представлено облако то-

чек по результатам классификации. Для облегчения процесса классификации в качестве подложки использовались аэрофотоснимки.

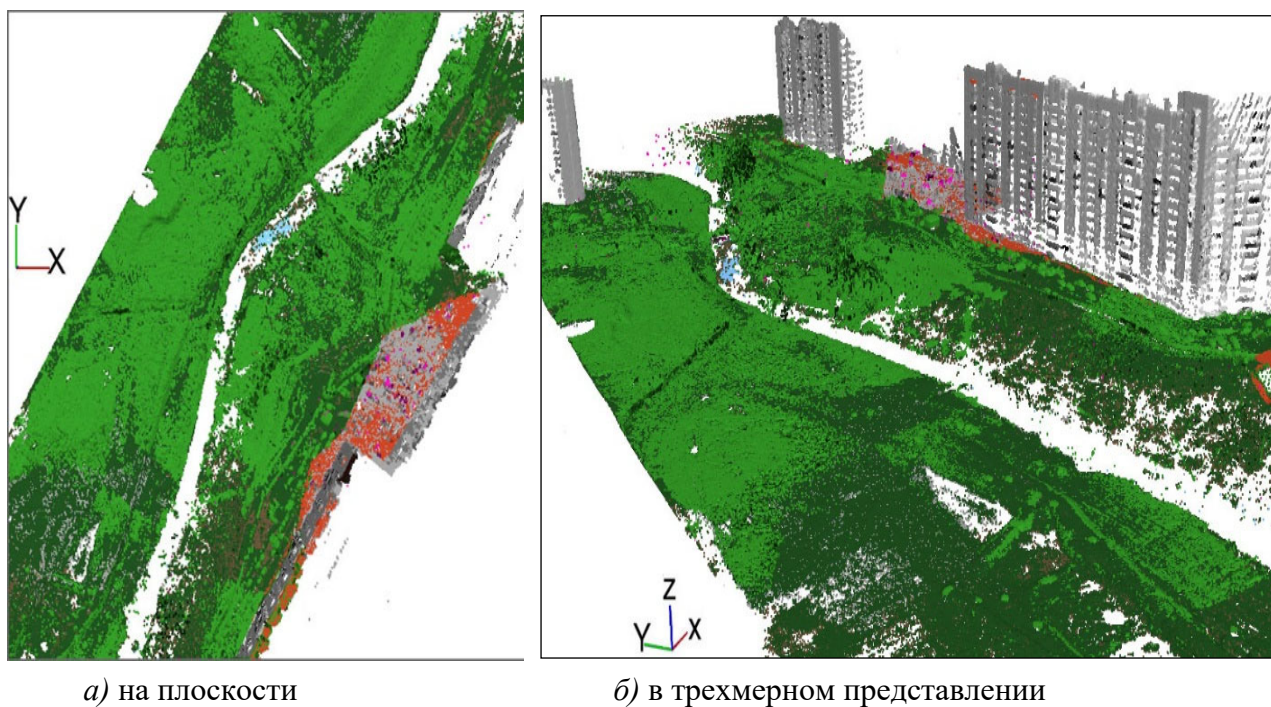


Рис. 1. Классифицированное облако точек

Создание цифровой модели рельефа местности

Для построения ЦМР были заданы исходные данные, система координат, проекция, качество выходной модели и тип интерполяции. Исходными данными для создания ЦМР послужило классифицированное облако точек территории. На рис. 2 представлена ЦМР участка гидрологического поста с разрешением 20 см/пиксель, составленная по результатам лидарной съемки в местной системе координат (МСК-64).

Оценка точности

Оценка точности производилась по методу эталонов согласно ГОСТ Р 57371-2016 [10]. Данные контрольных точек геодезического съемочного обоснования, определенные с использованием аппаратуры ГНСС, сравнили с данными, полученные нивелированием IV класса (табл. 1).

Создание плана участка гидрологического поста

Точность ЦМР позволила построить объекты местности и горизонталы с сечением 0.5 м. В результате был составлен цифровой топографический план участка гидрологического поста в масштабе 1:2 000 с нанесенными на нем планово-высотными характеристиками реки, всех гидрометрических сооружений и устройств (рис. 3).

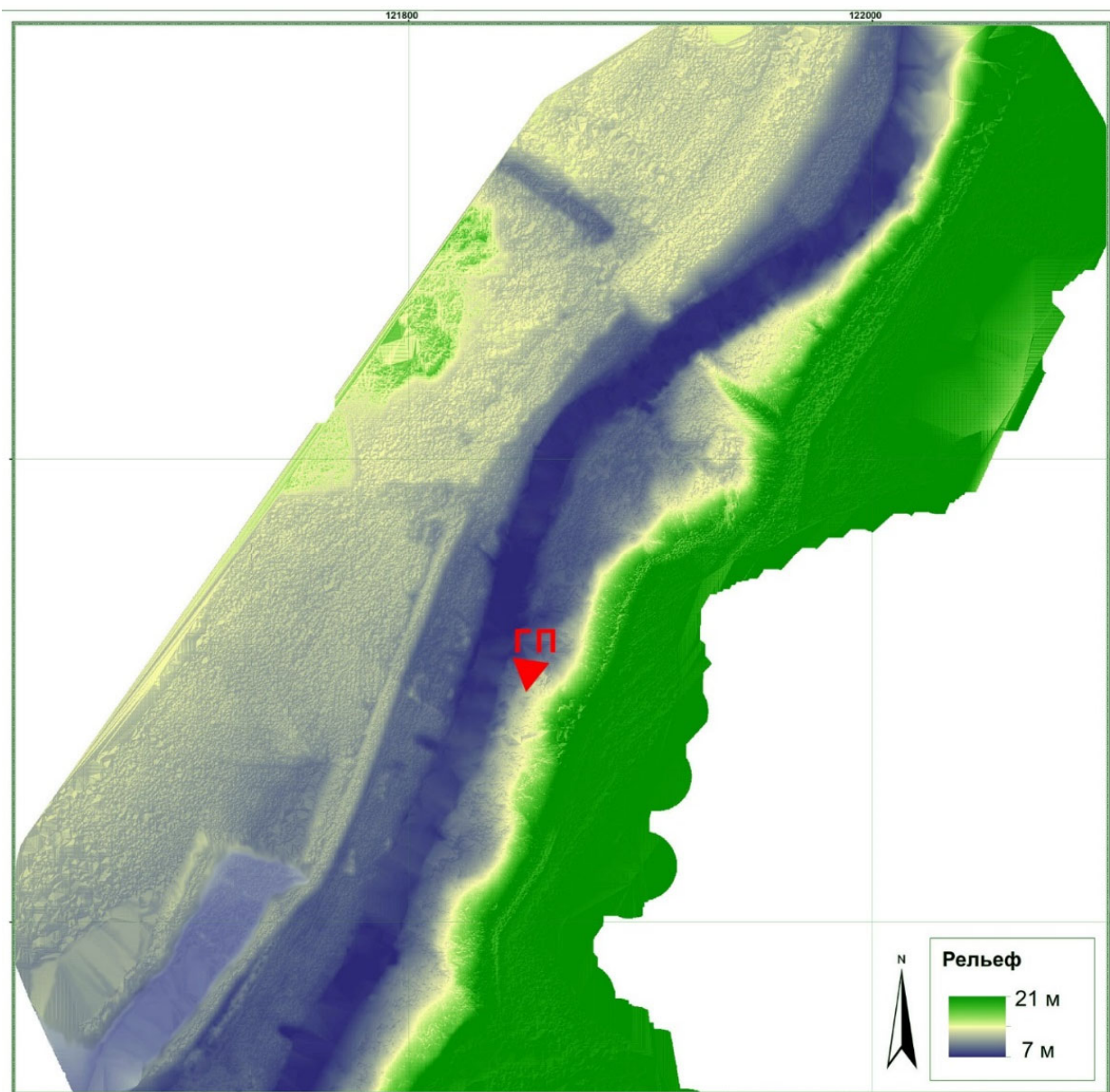


Рис. 2. ЦМР местности по результатам лидарной съемки

Таблица 1

Оценка точности данных (фрагмент)

Контрольные точки	Способ определения высотной отметки в БС-77, м		Точность определения, м
	нивелирование IV кл.	RTK	
RP9	12,497	12,248	0,249
RP7	12,201	11,972	0,229
RP4	12,437	12,601	0,164
св.1	12,400	12,407	-0,007
кк1	15,285	15,065	0,221

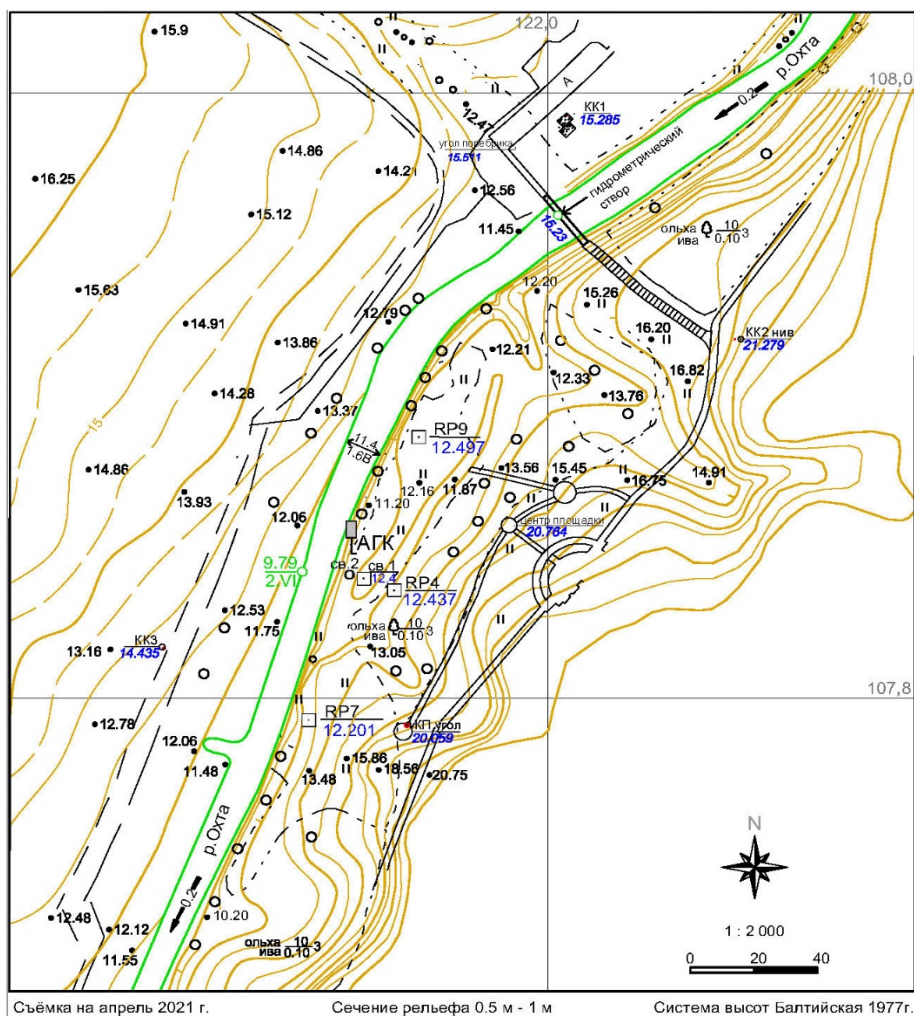


Рис. 3. План участка гидрологического поста

Обсуждение

Данные, полученные лидарной съемкой, показали хорошую сходимость с данными, полученными традиционными методами. Точность результатов лидарной съемки оказалась достаточной для составления крупномасштабного плана участка местности, определения состояния и положения водного объекта, его характеристик и местоположения гидрометрических устройств.

При этом лидарная съемка обладает следующими преимуществами [9]:

- может быть выполнена для недоступной или труднодоступной наземными методами территории;
- высокая производительность. За день может быть выполнена съемка территории до 18 км²;
- высокая точность съемки – до 10 см. Обеспеченная среднеквадратичная ошибка ЦМР составляет 15 см;
- низкая цена. Стоимость лазерного сканирования с БПЛА в разы дешевле традиционных методов геодезических работ;
- лидар формирует плотное облако точек даже в условиях густой сплошной залесенности и, таким образом, позволяет четко передать фактический рельеф местности;

– возможность классифицировать точки (земля/растительность/строение и пр.).

Заключение

Выполнение топографических работ с использованием современных аэротопографических методов и программ обработки данных измерений, позволит увеличить надежность и точность получения отметок уровня воды в Балтийской системе высот 1977 г. в пунктах гидрологических наблюдений.

Лидарная съемка представляется весьма перспективной для гидрологических исследований, поскольку она стала более доступной с использованием беспилотных носителей. Воздушное лазерное сканирование относительно небольших площадей для выполнения гидрологических задач, можно произвести за разумное время и средства.

Все это может способствовать развитию методов воздушной съемки территории с БПЛА в гидрологических исследованиях. В том числе, в дальнейшем предполагается проведение мониторинга дна водных объектов и донных наносов с использованием лидарной съемки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – вып. 6, ч. 1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 385 с.
2. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: ЦНИИГАиК, 2004 – 135 с.
3. ГКИНП – 02-033-82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1982.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 2007 – 286 с.
5. ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования.
6. ГОСТ Р 59562-2021 Съемка аэротопографическая. Технические требования.
7. ГОСТ 32453-2017 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М.: Стандартинформ, 2017 – 22 с.
8. Отчет НИР Росгидромета по теме 2.2 Развитие и модернизация технологий мониторинга водных объектов суши по гидрологическим показателям, включая технологии их метрологического обеспечения и технологий выпуска аналитических обобщений по поверхностным водам суши, подраздел 2.2.1.3 Разработка первой редакции раздела нормативно-технического документа (рекомендаций) по выполнению топографической съёмки участка гидрологического поста с использованием материалов лидарной съемки (с применением современных программ обработки данных полевых измерений), 2022 – 124 с.
9. Беспилотные летательные системы Геоскан / [Электронный ресурс] // Официальный сайт компании Геоскан: [сайт]. – URL: <https://www.geoscan.aero> (дата обращения: 20.04.2023).
10. ГОСТ Р 57371-2016 Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Оценка точности определения местоположения. Основные положения.

© Е. В. Орлова, В. Н. Кузнецов, 2023