УДК 528.85, 528.72, 551.4.022, 551.435 https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01
AGRIS U40

ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА АБРАЗИОННОГО БЕРЕГА С ПОМОЩЬЮ БПЛА

©Крыленко М. В., *ORCID: 0000-0003-4407-0548, канд. геогр. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Геленджик, Россия, krylenko@mail.ru*
©Крыленко В. В., *ORCID: 0000-0001-8898-8479, канд. геогр. наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Геленджик, Россия, krylenko.slava@gmail.com*

FEATURES OF PERFORMING HIGH-PRECISION SURVEY OF THE ABRASION COAST RELIEF BY UAV

©Krylenko M., *ORCID: 0000-0003-4407-0548, Ph.D., Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, Russia, krylenko@mail.ru*
©Krylenko V., *ORCID: 0000-0001-8898-8479, Ph.D., Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, Russia, krylenko.slava@gmail.com*

Аннотация. В работе приведены результаты адаптации методики высокоточной съемки наземного рельефа с помощью БПЛА для условий морского берегового обрыва. Анализ полученных цифровых снимков и созданных высокодетальных цифровых моделей рельефа показал, что данный вид съемки для рассматриваемого природного объекта является оптимальным, но имеет ряд ограничений. В число достоинств метода входит низкая себестоимость и оперативность получения данных. Недостатками метода является сложность обработки и интерпретации данных при наличии плотного растительного покрова и в зоне заплеска.

Abstract. The results of adaptation of the methodology for high-precision surveying of the ground relief using UAVs for conditions of marine coastal cliff are given in this work. Analysis of the obtained digital images and created digital elevation models showed that this type of survey is optimal for the considered natural object but has a number of limitations. Low cost and speed of data acquisition are the advantages of the method. The processing complexity and interpreting data in the presence of dense vegetation cover and near coastline are disadvantages of the method.

Ключевые слова: морской абразионный берег, съемка рельефа, беспилотный летательный аппарат, дистанционные методы.

Keywords: marine abrasion coast, relief survey, unmanned aerial vehicle, remote methods.

Введение

Рельеф как базисный элемент природного комплекса в значительной степени влияет на все его компоненты. Характеристики рельефа такие, как морфометрия, морфология, современная динамика, разнообразие, происхождение и т. д. являются важной информацией при изучении функционирования природных комплексов и прогноза их развития. Исследования рельефа необходимы при проведении большинства полевых научных и

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

инженерных исследований. Обеспечение оперативного мониторинга рельефа береговой зоны является одной из важнейших задач исследования берегов.

Долгое время методы изучения рельефа включали лишь прямые наземные измерения. Недостатками наземных измерений являются малый пространственный охват, трудоемкость, резко возрастающая при необходимости большей детализации, и низкая оперативность. Изучение рельефа высоких абразионных берегов такими методами было невозможно, поэтому для геодезических работ применялись дистанционные методы. Наиболее широко использовался фотограмметрический метод, включающий получение более или менее точных стереопар снимков, их оптическую и геометрическую коррекцию и последующую фотограмметрическую обработку. Однако, для условий морского берега, съемка была возможна только с моря, что препятствовало оборудованию закрепленных съемочных базисов с фиксированными координатами. Кроме того, требовалось привлечение дорогостоящих технических средств, на ряде этапов требовалась специальная, как правило, ручная обработка материалов, что снижало оперативность получения требуемых данных.

Существенный прорыв в съемках рельефа произошел после развития технологий компьютерной обработки исходных данных и разработки технологии лазерного сканирования. Лазерное сканирование, особенно воздушное, позволяет получить поле точек с недостижимой ранее плотностью для практически неограниченных площадей, в том числе труднодоступных [1–2]. Использование воздушного и наземного лазерного сканирования в сочетании со спутниковыми снимками и геоинформационным моделированием позволяет получать высокоточные пространственные данные о характеристиках рельефа [3–4]. Однако, наземная лазерная съемка, как и фотограмметрическая, на морском берегу затруднена необходимостью размещения съемочной аппаратуры в море и наличием недоступных для съемки участков при сложном рельефе.

В настоящее время аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является наиболее простым способом получения малоплощадной техническо-информационной съемки, имеющей целью составление ортофотопланов местности и построение цифровых моделей рельефа (ЦМР). Цифровая аэрофотосъемка выполняется с помощью небольших беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных цифровыми камерами высокого разрешения, системой стабилизации и ориентации в пространстве [5–7].

В работе рассмотрены особенности методики проведения цифровой аэрофотосъемки с помощью БПЛА и построение цифровой модели рельефа для участка абразионного берега в Геленджикском районе.

Особенности проведения цифровой аэрофотосъемки

С 2017 года для изучения состояния и динамики рельефа морских берегов сотрудниками Южного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН применялась технология аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей фотограмметрической обработкой полученных высокодетальных цифровых снимков [8–9]. Для съемки использовалась интеллектуальная камера «FC 6310», установленная на квадрокоптере «Fantom 4Pro». Это современный профессиональный БПЛА обладающий эффективной системой стабилизации, благодаря которой можно удерживать летающий аппарат в точке с погрешностью 0,5 м по высоте и 1 м по горизонтали. Квадрокоптер Fantom 4Pro способен на работу в режиме ручного управления, автономные полеты по заранее заданным координатам, с автоматическим возвратом на точку старта и автоматическую посадку в случае потери сигнала управления или в других нештатных ситуациях, что необходимо при съемке сложного рельефа с обеспечением требуемых

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

параметров. Кроме того, имеется система защиты аппарата от опасного сближениями с препятствиями.

Объектом исследования в представленной работе являлся берег между бухтой Рыбацкая и мысом Дооб (Рисунок 1). Берег сложен карбонатными флишевыми породами [10–11]. На участке развиты абразионный и абразионно–оползневой типы берега. Встречаются глубокие долины временных водотоков. Высота береговых обрывов достигает 100 м. Вдоль береговой линии встречаются единичные крупные обвально-оползневые конуса, сложенные грубообломочным материалом.

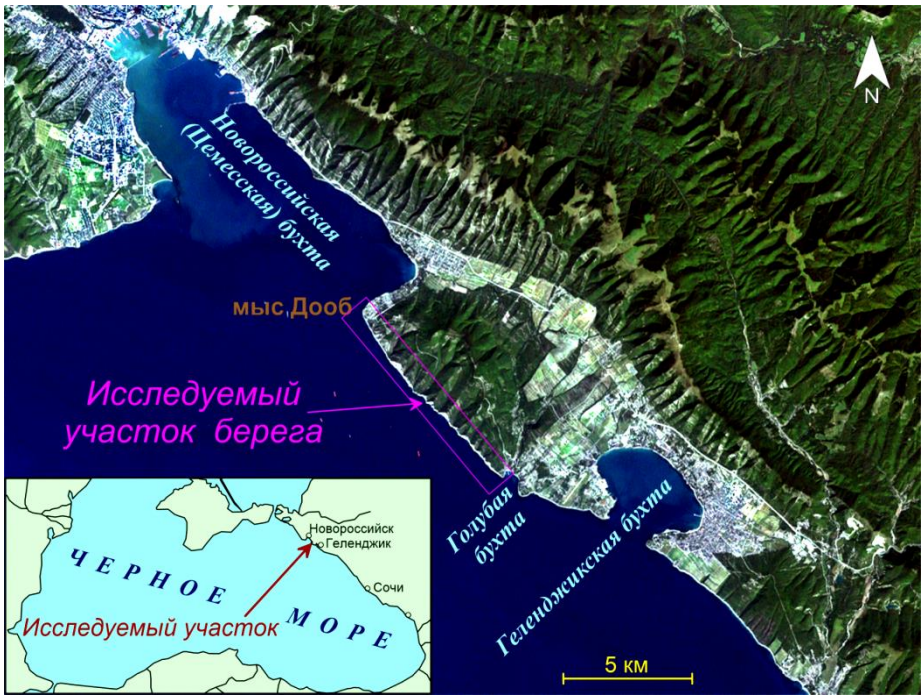

Рисунок 1. Участок проведения работ.

В мае–июне 2019 г. была выполнена аэрофотосъемка морского берега с последующей фотограмметрической обработкой полученных цифровых снимков, с целью составления высокодетальных ортофотопланов и построения цифровых моделей рельефа (ЦМР). Для съемок была использована методика, ранее примененная нами при исследовании рельефа различных участков берегов Азовского и Черного морей [8–9, 12] с дополнительной адаптацией для участков высокими береговыми обрывами.

Для аккумулятивных участков морских берегов, как правило, выполняется плановая съемка: объектив камеры квадрокоптера направлен вертикально вниз. Для нешироких линейных природных объектов (к примеру, участок береговой линии с пляжем) съемка производится в один пролет с обеспечением продольного перекрытия между соседними фотоснимками 60%. Если требуется провести аэрофотосъёмку большого по ширине участка, то фотографирование заданной площади производят серией параллельных маршрутов, имеющих поперечное перекрытие. При такой фотосъемке стандартное значение перекрытия составляет 30% [9]. При съемке абразионных морских берегов, имеющих рельеф с большими перепадами высот, в дополнение к плановой аэрофотосъемке было решено использовать перспективную аэрофотосъемку (с наклоном оптической оси), позволившую более эффективно распознавать объекты местности и анализировать их пространственное взаимное положение.

Перед началом аэрофотосъемки для пространственной привязки было произведено размещение 30 наземных реперов, распределенных по всей площади исследуемых участков.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

При размещении реперов учитывались конфигурация и рельеф участков, схема планируемых траекторий пролетов БПЛА, наличие и состояние растительного покрова, вероятность антропогенного вмешательства. На рыхлом грунте реперы (круги красного цвета диаметром 22 см) закреплялись на уровне грунта. На скалах отметки делались на ровных участках коренных пород. Определение точных координат наземных реперов производилось с помощью оборудования спутниковой системы позиционирования фирмы Leica Geosystems [13–14]. В состав оборудования входили два двухчастотных приемных устройства (Leica GS 10, Leica GS 15), обрабатывающие сигналы навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС.

Сначала аэрофотосъемка выполнялась в ручном режиме, но сложный рельеф абразионно-оползневого берега приводил к периодической потере сигнала между пультом управления и БПЛА, поэтому было принято решение перейти на автоматический режим полетов по заранее разработанным маршрутам. В этом случае при потере сигнала пульта управления БПЛА продолжает двигаться по заданному маршруту и возвращается в точку взлета после окончания съемки.

При подготовке маршрута полета учитывались следующие факторы: — протяженность полета и удаление аппарата от оператора; — прогнозное направление и сила ветра; − конфигурация и ландшафт косы; — обеспечение 30% поперечного и 60% продольного перекрытия. Обеспечение точного выполнения параметров полета реализовывалось с помощью программного обеспечения (ПО) “Litchi” (Рисунок 2). Подготовленные треки проверялись на сайте производителя ПО [15].

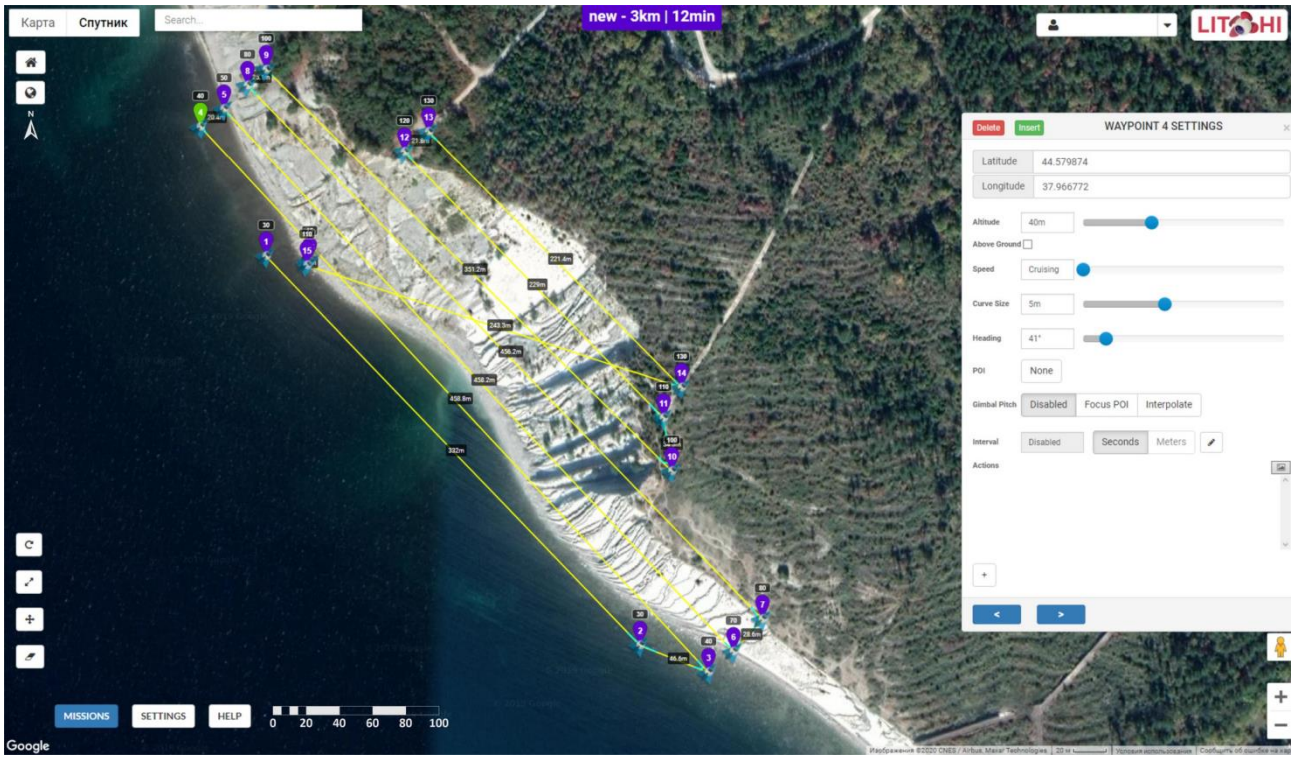

Рисунок 2. Подготовка маршрута полета.

Для обеспечения сплошной съемки участков с требуемым для фотограмметрической обработки перекрытием были выполнены 4 полета общей протяженностью 11,5 км. В результате аэрофотосъемки были получены 1574 снимка, распределенных по маршрутам съемки с 30% поперечным и 60% продольным перекрытием. Кроме того, за счет работы навигационного комплекса БПЛА были получены параметры внешнего ориентирования снимков.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Съемка проводилась с переменной высотой полета относительно точки старта БПЛА для сохранения одинакового расстояния от объектива камеры до поверхности береговой обрыва. При повышении абсолютной высоты элементов рельефа БПЛА также поднимался относительно высоты точки старта, сохраняя расстояние до земной поверхности. Примеры используемых параметров полетов приведены в Таблице. Для каждого участка проводилась съемка с двумя положениями оптической оси камеры относительно горизонта (вертикально вниз и 45 град.), что избежать «мертвых зон» под и за растительностью и выступающими форами рельефа. Также, изменение наклона камеры позволило избежать различного расстояния от камеры до снимаемой поверхности на одном и том же снимке. Примеры снимков одного и того же участка клифа при вертикальном и наклонном положении оптической оси камеры представлены на Рисунке 3.

Таблица.

ПРИМЕРЫ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТОВ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Протяженность полета, м	*Скорость полета, км/час*	*Время полета, минут*	*Высота полета, м*	*Наибольшее удаление от точки взлета, м*	*Угол наклона камеры, град*	*Радиус поворотов, %*	*Частота съемки, с*
3000	20	12	30–130	200	45	50	2
2400	15	13	50–140	200	90	50	2

Рисунок. 3. Снимки при вертикальном (вверху) и наклонном (снизу) положении оптической оси камеры.

Интерпретация полученных дистанционных данных

Для обработки полученных аэрофотоснимков использовалось программное обеспечение Agisoft Metashape [16], позволяющее создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий методами цифровой фотограмметрии (ЦФ). На первом этапе обработки Metashape находит общие точки фотографий («связующие точки») и по ним определяет параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т. п.) (Рисунок 4). Далее, на основе рассчитанных положений камер по цифровым фотографиям произведено построение плотного облака точек фотограмметрической обработки (ТФО) (Рисунок 5). На основе плотного облака точек строится цифровая модель поверхности и (после выделения класса точек «земля») — цифровая модель рельефа (ЦМР). Кроме того, на базе плотного облака точек были построены полигональные модели поверхности, использованные для составления обзорных ортофотопланов исследуемых участков с пространственным разрешением 0,05 м.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

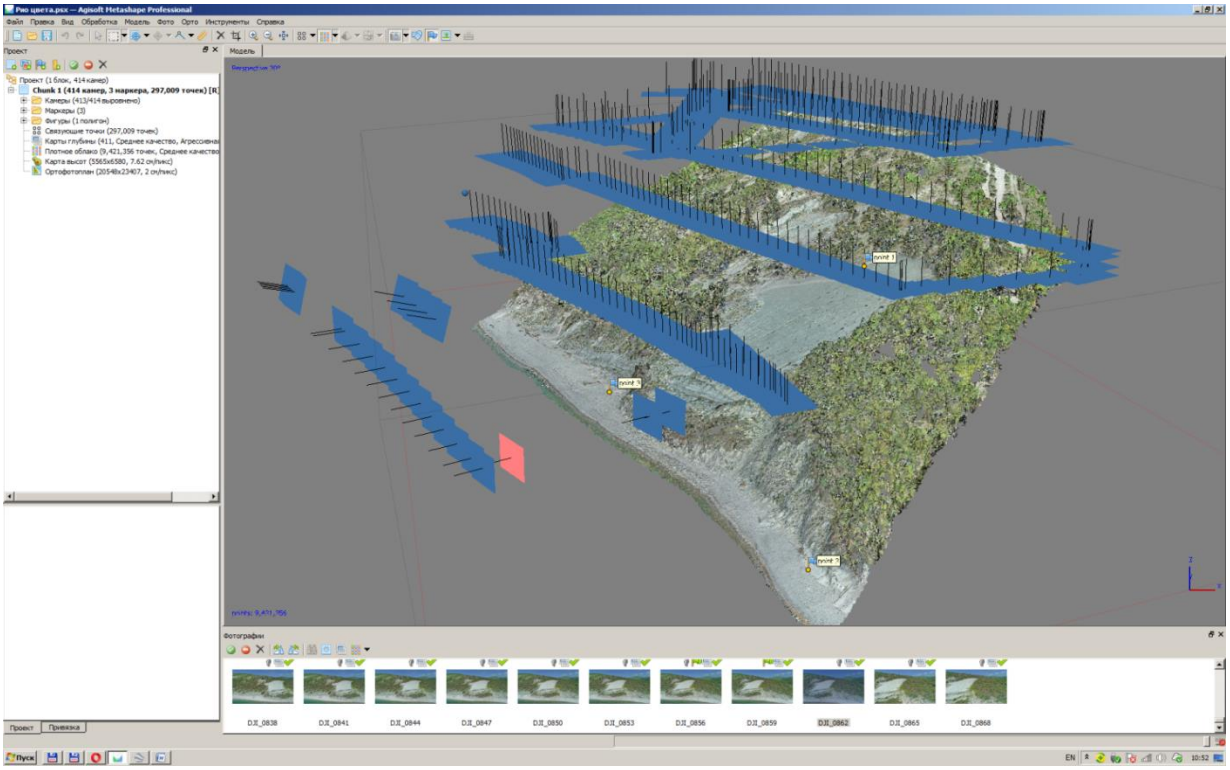

Рисунок 4. Расположение полученных фотографий для одного из участков съемки.

Классификация полученного плотного поля ТФО с целью выделения класса точек «земля» производилась при помощи программного пакета TerraScan (TerraSolid, Финляндия) [17] на платформе MicroStation V8 (Bentley Systems, США) [18]. Фильтрация облака точек осуществляется в TerraScan по итерационному принципу с использованием стандартных инструментов классификации «ow points», «air points», «isolated points», «below surface». Инструмент «low points» позволяет выделить обособленные точки и их группы, расположенные ниже основного облака точек и не описывающие реально существующие объекты. Инструмент «air points» позволяет выделить ТФО реальных объектов, расположенных значительно выше уровня земной поверхности и не являющихся топографическими (например, птицы). Инструмент «isolated points» позволяет выделить ложные ТФО на основании их обособленности от остального облака точек. Инструмент «below surface» используется для отбора ложных точек, находящихся ниже основной поверхности. После автоматической классификации был проведен контроль для выявления и устранения ошибок классификации. Контроль проводился методами оценки плотности покрытия классифицированными точками, профилирования облака точек, визуального анализа 3D модели, построенной по точкам земли с ручным отбором ложных отражений. Использование перечисленных инструментов позволило свести к минимуму возможность ошибок и ускорить процесс обработки данных. Наибольшую сложность при фильтрации облака точек представляли собой деревья и кустарники [19–20], автоматически «отфильтровать» которые не представлялось возможным, поскольку необходимо было сохранить исходную конфигурацию имеющихся элементов рельефа — выступов скал, останцов, обрывов. К сожалению, большую часть этой работы пришлось выполнять в ручном режиме, методом профилирования облака точек. Точки, классифицированные как «земля», были сохранены в виде файлов данных для построения моделей GRID и дальнейшей обработки и анализа в программах SAGA и Golden Software Surfer.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 6. №2. 2020
https://doi.org/10.33619/2414-2948/51

Рисунок 5. Плотное облако точек участка абразионно-оползневого берега.

Надо отметить, что обработка данных в Agisoft Metashape и TerraScan на всех этапах требует введения оператором ряда параметров и их комбинаций, зависящих от типа изучаемой поверхности, качества, количества и взаимного расположения исходных снимков, конфигурации полигона, требуемой точности. Достижение оптимального варианта возможно лишь после многочисленных итераций и требует значительного времени. Имеется погрешность, связанная с наличием участков сплошного древесно-кустарникового растительного покрова, где фотограмметрическим методом получить достоверные отметки коренной поверхности невозможно. Соответственно, на участках с плотной растительностью цифровая модель строится по среднему уровню поверхности. Поскольку целью наших исследований были рельеф берегового обрыва и обвально-оползневых конусов, где древесно-кустарниковая растительность присутствует фрагментарно, на точности измерений данная погрешность не сказалась.

С использованием материалов съемки, выполненной в 2019 г. с БПЛА, удалось построить высокоточные ЦМР для выбранных участков абразионного берега, с плановой и вертикальной точностью 10 см, что достаточно для исследования микроформ рельефа абразионного берега.

Заключение

Несмотря на наличие ограничений использованного метода, доступность получения цифровых фотографий береговых обрывов при помощи БПЛА имеет преимущество перед методом цифровой фотограмметрии при изучении рельефа с неплотным растительным покровом. Для повышения точности привязки аэрофотосъёмки необходимо производить определение геодезических координат наземных реперов. Аэрофотосъемку береговых обрывов рекомендуется выполнять в автоматическом режиме по подготовленным маршрутам полетов с использованием вертикального и наклонного положений оптической оси фотокамеры.

В отличие от космической и аэрофотосъемки с самолета, съемка с БПЛА дает возможность проводить мониторинг участков с высокими уклонами поверхности вплоть до отвесных, что необходимо при изучении абразионных берегов с выраженными клифами и сложным рельефом.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Работа выполнена в рамках темы Госзадания №0149-2019-0014 и при поддержке РФФИ, грант 19-05-00716.

Список литературы:

1. Pogorelov A. V., Boyko E. S., Rizaev I. G. The use of laser-location data for modeling and analysis of the structure and topography of mountainous areas reliefoid // Bulletin of the North Caucasus State Technical University. 2009. V. 4. №21. P. 46-52.

2. Boyko E., Krylenko V., Krylenko M. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts // Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015). International Society for Optics and Photonics. 2015. V. 9535. P. 95351Q. https://doi.org/10.1117/12.2192577

3. Погорелов А. В., Антоненко М. В., Бойко Е. С., Федорова С. И., Елецкий Ю. Б. Исследование компонентов береговой зоны Азовского моря по данным воздушного лазерного сканирования (район Вербяной косы) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. №11. С. 33-39.

4. Кравцова В. И., Другов М. Д. Типы динамики дюнного рельефа Анапской пересыпи: исследование по материалам воздушного лазерного сканирования // Геодезия и картография, 2019. Т. 80. №2. С. 32-45. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45

5. Глинка В. В., Беспалова Л. А., Ивлиева О. В. Исследование типов берегов Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления»). 2019. С. 157-158.

6. Kosolapov A. E., Skripka G. I., Bespalova L. A., Ivlieva O. V., Filatov A. A. Study of Morphological and Morphometric Characteristics of Tsimlyansk Reservoir Shores Using Unmanned Aerial Vehicles and GIS Technologies // Arid Ecosystems. 2018. V. 8. №3. P. 184-189. https://doi.org/10.1134/S2079096118030034

7. Мисиров С. А., Беспалова Л. А., Сапрыгин В. В. Исследование геоморфологических особенностей берегов Таганрогского залива с применением беспилотных летательных аппаратов и ГИС-технологий // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2018. №3. С. 42-48.

8. Крыленко В. В., Крыленко М. В. Высокоточная съемка рельефа Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. №4. С. 65-72. https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-65-72

9. Крыленко В. В., Руднев В. И. Методика аэрофотосъемки Бакальской косы // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. №4. С. 59-64. https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-59-64

10. Келлер Б. М. Верхнемеловые отложения Западного Кавказа // Труды ГИН АН СССР, серия геология. 1947. №48. С. 122-125.

11. Антонов Б. А. Региональная геоморфология Кавказа. М.: Наука, 1979. 196 с.

12. Krylenko M. V., Krylenko V. V., Volkova T. A. Development prospects of natural-territorial complex of the Dolgaya spit // Ocean and Coastal Management. 2018. V. 166. P. 98-102.

13. Крыленко В. В. Применение оборудования ГНСС LEICA GEOSYSTEMS в научных исследованиях // Геопрофи. Москва, 2013. №5. С. 19-23.

14. Krylenko M., Krylenko V. Active registration method of the coast changes // The XIII International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. Mugla: MEDCOAST Foundation, 2017. V. 2. P. 871-880.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

15. Litchi. https://flylitchi.com/hub

16. Metashape - photogrammetric processing of digital images and 3D spatial data generation. https://www.agisoft.com

17. Software for Processing Point Clouds and Image. http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php

18. Bentley Systems. https://www.bentley.com

19. Russ J. C. The Image Processing Handbook. CRC Press, 2016.

20. Ризаев И. Г., Погорелов А. В., Бойко Е. С. Пороговый метод фильтрации цифровых моделей растительного покрова в среде ГИС // Геоинформатика. 2016. №2. С. 14-18.

References:

1. Pogorelov, A. V., Boyko, E. S., & Rizaev, I. G. (2009). The use of laser-location data for modeling and analysis of the structure and topography of mountainous areas reliefoid. *Bulletin of the North Caucasus State Technical University, 4*(21), 46-52.

2. Boyko, E., Krylenko, V., & Krylenko, M. (2015, June). LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts. *In: Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015) 9535, 95351Q. International Society for Optics and Photonics*. https://doi.org/10.1117/12.2192577

3. Pogorelov, A. V., Antonenko, M. V., Boyko, E. S., Fedorova, S. I., & Eletsky, Yu. B. (2014). Research into the components of the coastal zone of the Sea of Azov by the airborne laser scanning data (Verbyanaya Spit area). *Environmental protection in the oil and gas complex,* (11), 33-39. (in Russian).

4. Kravtsova, V. I., & Drugov, M. D. (2019). Types of dune terrain dynamics of Anapa bay bar: research based on airborne LIDAR data. *Geodesy and Cartography, 80*(2), 32-45. https://doi.org/10.22389/0016-7126-2019-944-2-32-45 (in Russian).

5. Glinka, V. V., Bespalova, L. A., & Ivlieva, O. V. (2019). Study of types of shores of the Tsimlyansk water storage reservoir using unmanned aerial vehicles. *In: Patterns of formation and impact of marine, atmospheric hazardous phenomena and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the context of global climatic and industrial challenges (Dangerous phenomena),* 157-158. (in Russian).

6. Kosolapov, A. E., Skripka, G. I., Bespalova, L. A., Ivlieva, O. V., & Filatov, A. A. (2018). Study of Morphological and Morphometric Characteristics of Tsimlyansk Reservoir Shores Using Unmanned Aerial Vehicles and GIS Technologies. *Arid Ecosystems, 8*(3), 184-189. https://doi.org/10.1134/S2079096118030034 (in Russian).

7. Misirov, S. A., Bespalova, L. A., & Saprygin, V. V. (2018). Issledovanie geomorfologicheskikh osobennostei beregov Taganrogskogo zaliva s primeneniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov i GIS-tekhnologii. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnye tekhnologii i kosmicheskii monitoring,* (3), 42-48. (in Russian).

8. Krylenko, V. V., & Krylenko, M. V. (2018). High-precision survey of the relief of the Bakal spit. *Ecological safety of the coastal and shelf zones of the sea,* (4), 65-72. https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-65-72 (in Russian).

9. Krylenko, V. V., & Rudnev, V. I. (2018). Technique of photographic Aerial Survey of the Bakalskaya Spit. *Ecological safety of the coastal and shelf zones of the sea,* (4), 59-64. https://doi.org/10.22449/2413-5577-2018-4-59-64 (in Russian).

10. Keller, B. M. (1947). Upper Cretaceous deposits of the Western Caucasus. *Transactions of the GIN, USSR Academy of Sciences, series geology,* (48), 122-125. (In Russian).

11. Antonov, B. A. (1979). Regional geomorphology of the Caucasus. Moscow, 196. (in

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Russian).

12. Krylenko, M. V., Krylenko, V. V., Volkova, T. A. (2018). Development prospects of natural-territorial complex of the Dolgaya spit. *Ocean and Coastal Management, 166,* 98-102.

13. Krylenko, V. V. (2013). The use of GNIC LEICA GEOSYSTEMS equipment in scientific research. *Geoprofi. Moscow,* (5), 19-23. (in Russian).

14. Krylenko, M., & Krylenko, V. (2017). Active registration method of the coast changes. *In: The XIII International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. Mugla, MEDCOAST Foundation, 2,* 871-880.

15. Litchi. https://flylitchi.com/hub

16. Metashape - photogrammetric processing of digital images and 3D spatial data generation. https://www.agisoft.com

17. Software for Processing Point Clouds and Image. http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php

18. Bentley Systems. https://www.bentley.com

19. Russ, J. C. (2016). The image processing handbook. CRC press.

20. Rizaev, I. G., Pogorelov, A.V., Boyko, E. S. (2016). Method of threshold filtering Canopy Height Models in the environment of GIS. *Geoinformatics,* (2), 14-18. (in Russian).

Работа поступила в редакцию 08.01.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2020 г.

Ссылка для цитирования:

Крыленко М. В., Крыленко В. В. Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №2. С. 10-19. https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01

Cite as (APA):

Krylenko, M., & Krylenko, V. (2020). Features of Performing High-precision Survey of the Abrasion Coast Relief by UAV. *Bulletin of Science and Practice, 6*(2), 10-19. https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01 (in Russian).

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)