

В.В.Крыленко, В.И.Руднев

Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН, г.Москва

МЕТОДИКА АЭРОФОТОСЪЕМКИ БАКАЛЬСКОЙ КОСЫ

Представлена методика выполнения аэрофотосъемки Бакальской косы с помощью беспилотного летательного аппарата, оснащенного цифровой камерой высокого разрешения. Показано, что простота и низкая стоимость получения цифровых фотографий местности при помощи беспилотного летательного аппарата оптимальны при оперативном изучении крупных аккумулятивных форм. Аэрофотосъемка всей площади Бакальской косы, произведенная в 2018 г., позволила получить данные, необходимые для исследования различных компонентов геосистемы аккумулятивной формы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *морские берега, аккумулятивные формы, аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, Бакальская коса, Крымский полуостров*

doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-59-64

Введение. Обеспечение оперативного мониторинга береговой зоны является одной из важнейших задач исследования берегов [1]. В сравнении с другими видами съемок (натурными или дистанционными), съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяет обеспечить большую оперативность и любой временной шаг между съемками, что важно при мониторинге быстрых изменений берега или последствий опасных природных явлений [2]. Кроме того, современная камера, установленная на БПЛА, позволяет получить данные с высоким пространственным разрешением даже для труднодоступных участков.

Аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов является наиболее простым способом выполнения технико-информационной съемки, имеющей целью получение ортофотопланов местности и построение цифровых моделей рельефа (ЦМР). Современные мультикоптеры (квадрокоптеры, гексакоптеры и т.д.) обладают системами стабилизации, благодаря которым можно удерживать летающий аппарат в точке с погрешностью 0,5 м по высоте и 1 м по горизонтали. Они способны на автономные полеты по заранее заданным маршрутам, могут выполнять автоматический возврат на точку старта и автопосадку по команде в случае потери сигнала управления или в нештатных ситуациях.

В отличие от космической и аэрофотосъемки съемка с дронов дает возможность проводить мониторинг участков с высокими уклонами поверхности до отвесных, что необходимо при изучении зон питания аккумулятивных тел – абразионных берегов с выраженными клифами. Перспективная аэрофотосъемка (с наклоном оптической оси) позволяет эффективно распознавать объекты местности и анализировать их пространственное взаимное положение. Наиболее эффективна перспективная аэросъемка при изучении берегов со

© В.В.Крыленко, В.И.Руднев, 2018

сложным рельефом. Возможность, наряду со статичными фотоснимками, получать видеоизображение значительно повышает информативность данных.

Методика съемки и обработки данных. Бакальская коса (включая лагуны и прилегающие участки коренного берега) имеет площадь около 25 км² [3]. К геосистеме косы относится остров площадью около 0,3 км², ранее бывший её дистальной частью [4], расположенный на расстоянии 1,0 – 1,2 км (в зависимости от текущих гидро-литодинамических условий) от современной оконечности косы.

Для анализа ландшафтно-морфологической структуры и динамики аккумулятивного тела необходима информация о его текущем состоянии. Между тем, в пределах косы имеются многочисленные озера и заболоченные участки, что усложняет проведение маршрутных исследований. В связи с этим, с 2017 г. для анализа состояния различных компонентов геосистемы Бакальской косы и выявления их динамики используется технология аэрофотосъемки с БПЛА. В 2017 г. съемка носила рекогносцировочный характер, покрывала только отдельные ключевые участки косы [5].

В 2018 г. была выполнена съемка всей сухопутной части Бакальской косы. Целями съемки было построение точного ортофотоплана всей косы и создание цифровой модели рельефа (ЦМР). Для пространственной привязки полученных данных и повышения точности аэрофотосъемки перед ее началом было произведено размещение и геодезическая привязка 65 наземных реперов, распределенных по всей съемочной площади [6].

Цифровая аэрофотосъемка должна выполняться топографическими аэрофотосъемочными системами, обладающими высокой производительностью, геометрической точностью, пространственным разрешением и фотометрическим качеством изображения. Для исследований Бакальской косы был использован квадрокоптер «*Fantom 4Pro+*» с установленной камерой «*FC 6310*». Камера обладает механическим затвором, имеет матрицу, способную делать 14 фотографий в секунду в режиме серийной съемки, а также записывать видео с качеством 4К со скоростью 60 кадров/с. В табл.1 приведены основные характеристики камеры.

При подготовке маршрута (миссии) 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.

Т а б л и ц а 1 . Основные характеристики камеры «*FC 6310*».

матрица	объектив	ISO	скорость затвора	максимальный размер изображения
1" CMOS, 20 МП	угол обзора 84°, 24 мм, f/2,8 – f/11, автофокус 1 м – ∞	режим авто 100 – 3200, ручной 100 – 12800	механического 8 – 1/2000 с, электронного 8 – 1/8000 с	соотн. сторон 3 : 2 5472 × 3648 , соотн. сторон 4 : 3 4864 × 3648, соотн. сторон 16 : 9 5472 × 3078

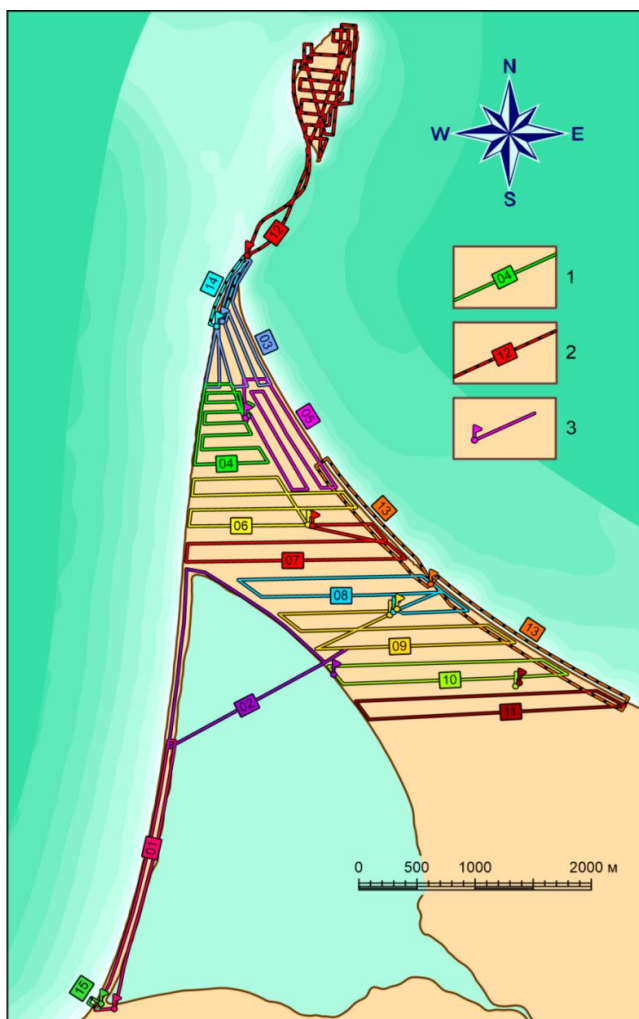
Для формата фотографий выбран максимальный размер (соотношение сторон 3 : 2, 5472 × 3648 пикселей). В этом случае при штатном угле обзора размер захвата изображения составляет примерно $1,2 H \times 1,8 H$, где H – высота полета. Исходя из этой величины и необходимого для последующей фотограмметрической обработки продольного перекрытия, рассчитывалась скорость полета между контрольными точками, которая составила 36 км/ч для высоты 120 м и 42 км/ч для высоты 150 м. Необходимо отметить, что ветер на Бакальской косе – явление практически постоянное, его сила и направление быстро меняются. Это обстоятельство затрудняет планирование времени выполнения рабочей миссии. В нашем случае при попутном направлении ветра квадрокоптер стабильно держал заданную скорость, а при встречном – имелись случаи ее падения до 12 – 14 км/ч при запланированной 36 км/ч. Снижение скорости приводило к увеличению количества фотоснимков и избыточностью по перекрытию на этих участках. Необходимое поперечное перекрытие реализовано расчетом расстояния между треками и составило 110 – 120 м для высоты полета 120 м и 140 – 150 м для высоты 150 м. Обеспечение точного выполнения параметров полета реализовывалось с помощью программного обеспечения (ПО) «Litchi». Подготовленные треки проверялись на сайте производителя ПО (<https://flylitchi.com/hub>). После корректировки данные экспортировались в память пульта управления. При выполнении программируемых полетов при помощи ПО «Litchi» автоматическая съемка велась через 3 с. В случаях, когда заранее планировать маршрут было нецелесообразно, пилотирование осуществлялось в ручном режиме с использованием ПО «DJI Go4» от производителя дрона. Интервал фотосъемки при этом составлял 2 с. В течение полета производился контроль установленных параметров.

После окончания серии полетов (ограничиваемой количеством батарей) производилась выгрузка цифровых снимков в память компьютера и выполнялась их проверка на качество, наличие пропусков и т.п. После зарядки батарей полеты продолжались. При необходимости производились дополнительные пролеты в ручном режиме. Были выполнены 16 полетов общей протяженностью 85,5 км. Общая площадь, покрытая съемкой, составила 7 км². На рис.1 и в табл.2 представлены схема и параметры выполненных полетов.

В ходе аэрофотосъемки были получены 3098 снимков, проведена их первичная обработка, заключающаяся в удалении некачественных или дублирующихся изображений. Кроме того, за счет работы навигационного комплекса съемочной аппаратуры были получены параметры внешнего ориентирования снимков.

Сжатые сроки работ не позволили выполнить все съемки при одинаковых условиях (облачности, положении солнца, состояния поверхности моря). В результате при дальнейшей обработке полученных данных были отмечены артефакты, ухудшающие точность. Для устранения артефактов и построения сплошных высокоточных ортофотоплана и ЦМР всей косы выполнена оптическая коррекция фотоснимков.

Для дальнейшей обработки использовалось ПО *Agisoft PhotoScan*, позволяющее создавать высококачественные 3D модели и ортофотопланы на основе цифровых фотографий. Построение ортофотопланов произведено в полу-



Р и с . 1 . Схема выполнения аэрофотосъемки Бакальской косы: 1 – пилотирование в программном режиме; 2 – пилотирование в ручном режиме; 3 – местоположение стартовых точек.

автоматическом режиме. Выбраны участки снимков с наименьшими искажениями и сформированы изображения с учетом ЦМР, параметров объектива и параметров съемки. В процессе формирования ортофотоизображения произведено цветовое и тоновое выравнивание снимков. Полученные ортофотопланы проконтролированы методом сплошного просмотра на предмет наличия и размера порезов на изображениях.

Результаты и выводы. В 2018 г. нами была отснята вся наземная часть Бакальской косы и проведена обработка полученных материалов. Произведено построение обзорного ортофотоплана на всю сухопутную часть косы с пространственным разрешением 0,1 м; для острова и пересыпи лимана с пространственным разрешением 0,05 м (рис.2). Точность и детальность построенных ортофотопланов позволяет использовать их для дешифровки при-

Т а б л и ц а 2. Параметры выполненных полетов.

№ полета	протяженность миссии, м	протяженность полета, м	скорость полета, (min/max) км/час	время полета, минут	высота полета, м	наибольшее удаление, м	кол-во снимков	режим управления БПЛА
01	5018	6243	36/54	16,9	120	2370	203	пр./ручн.
02	4981	5725	36/54	14,3	120	1556	222	прогр.
03	5104	7377	36/54	16,1	120	849	278	пр./ручн.
04	4907	5185	36/54	12,4	120	594	193	прогр.
05	4798	5109	36/54	12,5	120	978	177	прогр.
06	5402	6534	42/54	15,9	150	1082	254	прогр.
07	5386	5742	42/54	13,7	150	1113	204	прогр.
08	4908	5310	42/54	12,4	150	1348	195	прогр.
09a	5589	5950	42/54	16,8	150	1074	276	прогр.
09b	–	1214	42/54	4,9	–	435	52	ручной
10	4220	4854	42/54	11,0	150	1626	163	прогр.
11	4760	5248	42/54	11,7	150	1388	179	прогр.
12	–	11561	54	19,0	150	2192	395	ручной
13	–	7519	54	12,5	120	1964	307	ручной
14	–	1702	–	11,2	–	651	видео	ручной
15	–	218	–	3,3	–	92	видео	ручной



Р и с . 2. Фрагменты ортофотоплана: хорошо видны различия строения размываемой (а) и стабильной (б) частей пересыпи Бакальского озера.

родных и антропогенных объектов, в ландшафтных и других исследованиях [7]. Относительная простота и низкая стоимость получения цифровых фотографий местности при помощи БПЛА оптимальны при оперативном изучении крупных аккумулятивных форм. Аэрофотосъемка с помощью дронов должна стать необходимым элементом экспедиционных исследований морских берегов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 14-17-00547).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kosyan R.D., Goryachkin Yu.N., Krylenko V.V., Dolotov V.V., Krylenko M.V., Godin E.A.* Crimea and Caucasus accumulative coasts dynamics estimation using satellite pictures // *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2012. – № 12. – P. 385-390.
2. *Boyko E., Krylenko V., Krylenko M.* LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts // *The 3rd International Conference on remote sensing and geoinformation of the environment.* – Book Series: Proceedings of SPIE, 2015. – v.9535. – P.95351Q.
3. *Горячкин Ю.Н., Косьян Р.Д.* Бакальская коса – уникальный природный объект Крымского полуострова // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.* – 2018. – вып.4. – С.5-14.
4. *Современное состояние береговой зоны Крыма / Под ред. Ю.Н.Горячкина.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015. – 252 с.
5. *Kharitonova L.V., Kos'yan R.D., Goryachkin Yu.N., Krylenko V.V., Krylenko M.V., Godin E.A.* Monitoring of the West Crimean coast by Drone // *The 2nd International Youth Scientific and Practice Conference «Innovations in Geology, Geophysics and Geography».* Sevastopol, 7-9 July, 2017. – М.: Pero, 2017. – P.44.
6. *Крыленко В.В., Крыленко М.В.* Высоточная съемка рельефа Бакальской косы // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.* – 2018. – вып.4. – С.65-72.
7. *Крыленко С.В., Крыленко В.В.* Влияние трансформации дистальной части Бакальской косы на орнитофауну // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря.* – 2018. – вып.4. – С.73-80.

Материал поступил в редакцию 8.10.2018 г.

V.V.Krylenko, V.I.Rudnev

TECHNIQUE OF PHOTOGRAPHIC AERIAL SURVEY OF THE BAKALSKAYA SPIT

The techniques of photographic aerial survey of the Bakalskaya Spit using an unmanned aerial vehicle (drone) equipped by high-resolution digital camera is presented. It is shown that the relative simplicity and low cost of obtaining digital photographs of the area by drons are optimal for operational study of large accumulative forms. Aerial photography survey of the whole of Bakalskaya Spit area, realised in 2018, enabled to obtain the data which is necessary to investigate a various components of geosystem of accumulative form.

KEYWORDS: sea coasts, accumulative form, photographic aerial survey, unmanned aerial vehicle (drone), the Bakalskaya Spit, the Crimean Peninsula