

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ СЕРИИ СНИМКОВ ДРОНА

В.В. Долотов, Ю.Н. Горячкин, А.В. Долотов, В.Ф. Удовик

ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь, Россия, vdolotov@mail.ru

Для оперативного обеспечения данными о динамике береговой зоны Крыма в МГИ РАН используется беспилотный летательный аппарат (дрон). После обработки серии фотоснимков, полученных в результате выполнения полетного задания, создаются цифровые модели рельефа участков береговой зоны, которые сопоставляются с предыдущими съемками. Выполнена оценка погрешностей координат и высот, получаемых в процессе генерирования модели, которая сравнивается с измерениями, выполненными на местности с использованием GNSS приемников геодезического класса. Подтверждается на практике рекомендация разработчиков программного обеспечения о необходимости использования опорных точек, что существенно повышает точность модели рельефа. В целом это позволяет сократить до минимума количество геодезических измерений на местности с обеспечением не меньшей достоверности.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, дрон, Крым

ERRORS OF DIGITAL MODEL RELIEF, BASED ON DRON PHOTO SERIES

V.V Dolotov, Yu.N. Goryachkin, A.V. Dolotov, V.F. Udovik

Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia, vdolotov@mail.ru

For the operational provision with data on the dynamics of Crimea coastal zone MHI RAS an unmanned aerial vehicle (drone) is used. After processing an image series obtained as a result of the flight task, digital models of coastal relief areas are created and compared with previous surveys. Assessment of the coordinates and heights errors received in the course of model generation is compared with the measurements obtained with use of geodetic class GPS receivers. The recommendation of software developers about of using of reference points is confirmed in practice and significantly increases accuracy of model relief. In general, it allows to reduce to a minimum the number of geodetic measurements with ensuring sufficient reliability.

Keywords: digital relief model, drone, Crimea

Метод фотограмметрии, широко использующийся в картографии и геодезии, сейчас получил «второе дыхание» благодаря развитию компьютерных технологий и применению недорогих беспилотных летательных аппаратов (дронов) [1, 2]. Для исследования динамики береговой зоны они имеют ряд серьезных преимуществ, прежде всего, вследствие оперативности и подробности определения пространственных характеристик. В настоящее время существует ряд программ, позволяющих воспроизводить трехмерную структуру рельефа на базе серии перекрывающихся снимков камеры высокого разрешения. Одной из наиболее популярных программ этого класса является PhotoScan фирмы Agisoft (Россия). Программа выполняет анализ и пространственное выравнивание снимков, построение плотного облака точек, расчет сеточной модели на основе метода триангуляции, построение текстуры и ортофотоплана.

Ранее для исследований динамики береговой зоны в условиях Крымского побережья использовались выработанные практикой требования к точности геодезических измерений на местности, составляющие не менее 1 м по горизонтали и 0,05 – 0,1 м по вертикали. Такие требования определяются природой измеряемых объектов – шириной и профилем пляжей.

После начала широкого использования дрона в экспедиционной практике МГИ РАН встала задача проверить адекватность трехмерных моделей рельефа, генерируемых специализированными программами на основе перекрывающихся фотоснимков. В качестве района исследования был выбран участок побережья Западного Крыма к югу от пос. Кача (Севастопольский регион). Участок характеризуется наличием прислоненного песчано-галечного пляжа, клифа высотой около 28 м, прорезанного балкой естественного происхождения с крутыми склонами (рис. 1). Длина балки составляет около 250 м, ширина в зоне клифа около 70 м.

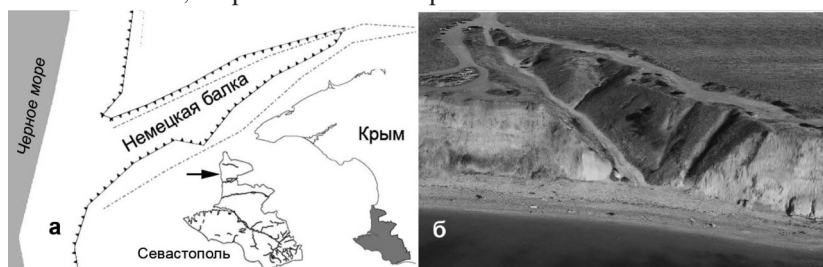


Рис. 1. Географическое положение (а) и внешний вид балки (б)

В процессе съемки использовались квадрокоптер Phantom-3D Pro, укомплектованный камерой с разрешением 4000×3000 пикселей и GNSS приемник EFT-M1, работающий в режиме RTK (real time kinematic). В этом режиме абсолютная погрешность опреде-

ления положения измеряемых точек местности составляет в плане 1 см и по высоте до 2 см.

Технологией фотограмметрии рекомендуется использование наземных опорных точек (опознаков) с известными координатами с целью увеличения точности построения модели рельефа и ее точным позиционированием по вертикали. Перед полетом дрона на полигоне размером 550×100 м было расставлено 16 опознаков в виде белых крестов размером 60×60 см и шириной 10 см. Их точные координаты и возвышение над уровнем моря определялись EFT-M1 с корректировкой от базовой станции, расположенной в районе г. Севастополь [3]. Опорные точки покрывали границы участка в плане и отмечали перепады высот пляжа и клифа. Для построения полетного задания и его автоматического выполнения использовалась бесплатная бета-версия программы Drone Harmony. В результате было получено 124 снимка с перекрытием в 60 % как вдоль, так и поперек маршрута полета дрона.

Обработка выполнялась с использованием тестовой версии Agisoft PhotoScan. Операция выравнивания снимков в координатной проекции WGS-84 без учета опознаков дала среднюю пространственную ошибку 2,33 м при максимальном значении 3,7 м. Для выполнения выравнивания снимков с учетом опознаков в программу вводились их точные координаты, после чего выполнялась операция «оптимизации камер». В результате опознаки автоматически размещались на всех снимках, где они были видны. С учетом указанных погрешностей в расположении снимков некоторые опознаки неточно совпадали с изображением, что требовало ручной корректировки их положения. После повторного выполнения оптимизации камер с уточненными точками расположения опознаков на снимках средняя ошибка в определении расположения опознаков составила 0,029 м при максимальном отклонении 0,048 м (рис. 2).

Однако, помимо горизонтальной погрешности построения модели, не меньший интерес представляют вертикальные отклонения. Для выполнения этой оценки на поверхности модели в точках расположения маркеров устанавливались специальные метки, позволяющие определять их расположение в трехмерном пространстве. На основании этих данных традиционно вычислялись разности между действительными значениями уровня и их модельными величинами. Абсолютные значения разностей также приведены на рис. 2 вместе со среднеквадратичным отклонением, которое составило 0,06 м. Достигаемая точность предоставляет широкие возможности использования данного типа моделей для исследования динамики береговой зоны и проведения мониторинговых работ.

Маркеры	Долгота	Широта	Высота (м)	Ошибка (м)	DeltaH (м)
☒ point 1	33.542290	44.751113	23.650000	0.048286	0.06
☒ point 2	33.542041	44.750718	24.700000	0.021395	0.05
☒ point 3	33.542550	44.749461	27.500000	0.021565	0.10
☒ point 4	33.543037	44.749372	27.920000	0.047585	0.01
☒ point 5	33.543051	44.751001	25.760000	0.015712	0.01
☒ point 6	33.542428	44.751765	24.500000	0.030895	0.24
☒ point 7	33.542694	44.753999	28.170000	0.014000	0.00
☒ point 9	33.543381	44.752475	25.960000	0.021471	0.08
☒ point 10	33.544009	44.752416	25.890000	0.007174	0.05
☒ point 11	33.544033	44.752109	25.320000	0.033279	0.05
☒ point 12	33.544030	44.751911	24.620000	0.026289	0.10
☒ point 13	33.542298	44.753766	1.920000	0.036735	0.03
☒ point 14	33.542188	44.753759	0.770000	0.041419	0.01
☒ point 15	33.542203	44.749437	1.760000	0.026108	0.03
☒ point 16	33.542113	44.749451	0.910000	0.010724	0.05
Общая ошибка расположения по горизонтали					0.029539
Среднеквадратичное отклонение					0.06

Рис. 2. Скриншот результатов статистической оценки погрешностей построения модели в горизонтальной плоскости и по вертикали

МГИ РАН, начиная с 2017 г., выполняет работы по созданию сети опознаков, соответствующих характерным особенностям природных и искусственных объектов, расположенных в береговой зоне Крыма, что позволит оперативно создавать 3D модели рельефа в различные моменты времени (например, сразу после шторма) и сопоставлять с предшествующими результатами. В настоящее время такая сеть уже развернута в Каламитском заливе (район Евпатории) [3].

Использование дронов в практике исследований динамики береговой зоны, на наш взгляд, предпочтительнее использования космических снимков, как по точности и оперативности получаемых данных, так и по экономическим соображениям. Кроме того, появилась возможность построения цифровых моделей для труднодоступных районов, где проведение контактных измерений невозможно. Вместе с тем, сейчас обозначилась проблема ограничения использования дронов из-за неопределенности решения правовых вопросов их эксплуатации.

Работа выполнена в рамках гос. задания по теме № 0827-2018-0004, а также частично при поддержке РФФИ, грант № 18-45-920021.

Список литературы

1. Goryachkin Y., Godin E., Kosyan R., Krylenko M., Kharitonova L. Monitoring of the West Crimean coast by drone // Innovations in Geology, Geophysics and Geography-2017. – Moscow, 2017. – P. 44–45.
2. Pikelj, K. Ocean and Coastal Management [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.ocescoaman.2017.11.019>.
3. Долотов В.В., Удовик В.Ф. Использование инновационных технологий для мониторинга прибрежной зоны Крыма. // Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря. – Севастополь, 2017. – Т. 4. – С. 67–77.