ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ МАЛОУСТОЙЧИВЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

В.В. Долотов, А.В. Долотов

Морской гидрофизический институт, г. Севастополь
vdolotov@mail.ru, avdolotov@mail.ru

Аннотация. В работе описываются результаты оцифровки текущего состояния и пространственного положения клифа одного из участков прибрежной зоны северо-западного Крыма. С целью уменьшения трудоемкости, значительного ускорения и повышения качества результатов мониторинга использовались самые современные приборы и методики: высокоточный GPS-прибор EFT-M1 в режиме RTK, квадрокоптер Phantom-3 Pro и программное обеспечение, позволяющее генерировать цифровые модели рельефа на основании этих данных. Показано, что существующая точность математического моделирования рельефа на основе аэрофотоснимков позволяет оперативно получать более подробные данные, по сравнению с получаемыми по результатам натурных наблюдений. Помимо этого, метод позволяет получить точные пространственные характеристики природных объектов, расположенных на опасных и недоступных участках местности, где выполнение натурных измерений просто невозможно.

Ключевые слова: Крым, прибрежная зона, натурные наблюдения, моделирование рельефа, фотограмметрия.

Большое значение работ по выполнению постоянного мониторинга положения высокодинамичных форм рельефа местности в прибрежной зоне моря отмечалось многократно, например, [1–3]. Естественные процессы обрушения клифа, играющие важную роль в формировании и подпитке пляжей, одновременно приводят к постепенному смещению береговой зоны вглубь суши, что, в свою очередь, ограничивает возможности хозяйственной деятельности вблизи морской границы. Заметные изменения пространственного положения береговой черты являются, в основном, следствием штормовых процессов, которые оказывают воздействие одновременно на значительные по размеру участки побережья. В тоже время выполнение мониторинга на протяженных участках побережья традиционными методами с использованием высокоточных GPS-приборов и необходимой пространственной дискретностью в единицы метров практически невозможно, что приводит лишь к периодическому обследованию береговой зоны, в основном, в соответствии с заранее утвержденными планами экспедиционных наблюдений. Понятно, что в этом случае выполнение анализа влияния отдельных штормов на структуру побережья представляется затруднительным, что, в свою очередь выражается в точностях оценочных и прогностических работ.

В настоящее время в решении обозначенной проблемы можно наблюдать заметный качественный скачок, вызванный бурным внедрением в исследования относительно недорогих средств аэрофотосъемки – квадрокоптеров (дронов). При использовании современного программного обеспечения последние

позволяют выполнять съемку в режиме фотограмметрии за короткое время, что впоследствии позволяет выполнить построение достаточно точных, а главное подробных, математических моделей рельефа местности. Оценки погрешностей получаемых при этом моделей [4, 5] вполне соответствуют требованиям поставленных задач.

Для полноты оценки указанных методов необходимо отметить, что достаточную адекватность моделей в плане пространственного расположения точек рельефа местности как по горизонтали, так и по вертикали можно получить лишь при выполнении пространственной привязки отдельных элементов рельефа на фотографиях к точкам их расположения на местности (опознакам). Однако, с учетом рекомендаций разработчиков программного обеспечения (в настоящее время в работах используется программа AgiSoft Photoscan [6]), количество таких опознаков относительно невелико. Последние могут быть выставлены как в виде временных меток, особенно в критических точках оценки рельефа, так и в форме фиксированных точек гарантированно неподвижных элементов местности. В качестве последних удобно использовать углы подпорных стенок, причалов и практически любых капитальных строений. Удобным оказалось также забивание металлических дюбелей в бетонные блоки различных конструкций.

С учетом районов многолетнего мониторинга, выделенных МГИ и простирающихся от границ г. Саки на севере до м. Толстый на юге, сотрудниками института с использованием GPS EFT-M1 в режиме RTK [7] создана большая база точек геопривязки, которая позволяет оперативно выпол-

нять съемку местности с использованием дрона Phantom-3 Pro, оборудованного камерой высокого разрешения. При этом все точки базы снабжены фотографиями и картой расположения точек съемки, а также измеренными координатами с учетом возвышения уровня.

Результаты работ. Использование описанного подхода к организации работ при построении цифровой модели рельефа на примере Немецкой балки (пос. Кача) описано ранее [4], в настоящей же работе основное внимание уделено сопутствующим возможностям оцифровки природных объектов на примере обвалоопасных участков побережья, расположенного севернее пос. Николаевка западного Крыма (рис. 1). Участок представляет собой пляж шириной от 4 до 20 м и длиной около 1,1 км, расположенный у подножья практически вертикального клифа, высотой около 10 м. В соответствии с основными представлениями о процессах этой геоморфологической структуры клиф периодически обрушается (следы обрушения видны на рис. 1, справа) и при этом в его верхней части наблюдается ряд сколов (врезка на рис. 1), что предполагает и дальнейшую подпитку пляжа этим источником.

Для обработки снимков использовалась ознакомительная версия программы Agisoft Photoscan [9]. После загрузки снимков было выполнено их пространственное выравнивание по 16 опознакам, шесть из которых расположены на поверхности пляжа, восемь – на высоте верхней границы клифа и 2 – на бетонной лестнице в южной части, ведущей к морю. В процессе традиционных измерений, помимо характеристик пляжа снимаются и координаты верхней кромки клифа, однако для подробного описания ее положения требуется выполнять измерения примерно через 2–5 м вдоль кромки, т.е. от 200 до 500 измерений. В реальной же съемке, с учетом необходимости измерений также и на пляже, на кромке клифа было снято лишь 48 точек, что примерно в 5–10 раз меньше необходимого.

Рис. 1. Карта (слева) и общий вид участка в районе пос. Николаевка; на врезке – один из участков с характерным сколом

С использованием вышеописанного подхода в процессе съемки было выполнено 2 полета дрона от центра пляжа в обе стороны, после чего в сумме было получено 87 снимков с перекрытием по 60 % как по направлению полета, так и поперек (рис. 2). При этом, как и прежде, маршруты рассчитывались бесплатной бета-версией программы Drone Harmony [8].

Рис. 2. Схема съемок участка квадрокоптером (а) и точки съемок отдельных изображений на каждом из участков (б, в)

В результате была построена модель со следующими характеристиками (рис. 3):

- снимков: 87;
- маркеров: 16;
- связующих точек: 94625;
- плотное облако: 53654822 точки;
- модель: 10604753 полигонов.

На основе этих данных построены карта высот размером 6508×35504 с разрешением 4,88 см/пк и ортофотоплан размером 8412×49350 с разрешением 2,44 см/пк.

Оцифровка бровки клифа также выполнялась средствами Photoscan традиционной прорисовкой ломаной линии. При этом первоначально выставлялся вид сверху, но в случае «проваливания» точки на пляж, ее положение корректировалось в сторону берега и контролировалось в вертикальном направлении переключением на вид спереди.

Всего на бровке клифа было проставлено 468 точек, т.е. в среднем с дистанцией около 2,3 м. Понятно, что в случае более извилистого участка расстояние между точками сокращалось до 1 м и менее (рис. 4), а при необходимости общее количество точек может быть значительно увеличено.

Так, на представленной модели длина линии, ограниченной точками, лежащими в горизонтальной плоскости, составила 7,4 м, а общий объем массива, ограниченного крайними точками – 18,4 м³.

Рис. 3. Визуализация модели программой Photocan с использованием текстуры снимков

Рис. 4. Фрагмент бровки клифа, оцифрованной средствами Photocan

Рис. 5. Схема оцифровки одного из сколов ломаной линией

Интересно отметить, что модель позволяет построить и отобразить профиль вертикального сечения, выполненного через оцифрованные точки (см. врезку на рис. 5), который, в данном случае позволяет предположить, что первоначально многие из точек могли «провалиться» в образовавшийся ров. Этот эксперимент подтверждает, что для выполнения точных измерений геометрических размеров объектов необходимо выполнять предварительное выравнивание точек оцифровки в вертикальной плоскости.

В процессе выполнения работ показалось интересным дополнительно получить некоторые линейные и объемные характеристики обнаруженных сколов, в отличие от кромки клифа не лежащих в горизонтальной плоскости. Естественно, что в процессе натурных измерений такие особенности рельефа измерить совершенно невозможно. Оцифровка восьми обнаруженных сколов выполнялась подоб-

ным же образом, т.е. прорисовкой линии по контуру отошедшего от основного массива материала (рис. 5).

Выводы. Результаты работы показывают, что современные технологии съемок обеспечивают значительный прогресс в выполнении работ по определению пространственного положения отдельных геоморфологических структур, включая недоступные для непосредственных измерений, участки. В процессе выполнения работ получен большой объем высококачественных фото и видеоматериалов, позволяющих более точно, чем на местности определять особенности геоморфологической структуры природных объектов.

Основными преимуществами метода являются скорость съемки с последующим получением высокоточных результатов оцифровки и измерения пространственного положения отдельных природных объектов, в том числе не поддающихся измерению в условиях реальных измерений. Результаты виде-

осъемки, не представленные в настоящей работе, позволяют также оценить вертикальную толщину слоя гравийных включений, что в совокупности с результатами измерения объемов существующих сколов позволяет количественно оценить и объем материала, ожидаемого к подпитке пляжа в ближайшее время.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827–2014-0010 «Комплексные междисциплинарные исследования океанологических процессов, определяющих функционирование и эволюцию экосистем Черного и Азовского морей на основе современных методов контроля состояния морской среды и гритехнологий»

Список литературы

1. Ю.Н. Горячкин, Л.В. Харитонова, В.В. Долотов. Изменчивость береговой линии северо-западного Крыма. Сб. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа», вып.20, МГИ НАН Украины, 2009, г. Севастополь, с.18–26.
2. В.В. Долотов, Ю.Н. Горячкин, А.В. Долотов. Статистический анализ изменений береговой линии пляжа поселка Любимовка. Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря. – 2017. Вып 1, с.40–47.
3. В.Ф. Удовик, В.В. Долотов. Современные тенденции динамики береговой зоны в районе пляжа пос. Любимовка. Сб. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа», вып.20, МГИ НАН Украины, 2009, г. Севастополь, с.92–99.
4. В.В. Долотов, В.Ф. Удовик. Использование инновационных технологий для мониторинга прибрежной зоны Крыма. Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон моря. – 2017 – Т.4. – С. 67–77.
5. Pikelj, K. Ocean and Coastal Management (2017). [Электронный ресурс]. <https://doi.org/10.1016/j.ocescoaman.2017.11.019>. Дата доступа 16.05.2018.
6. Agisoft PhotoScan [Электронный ресурс]. <http://www.agisoft.com/>. Дата доступа 16.05.2018.
7. Геодезическое оборудование для решения производственных задач. [Электронный ресурс]. <http://eftgroup.ru>. Дата доступа 16.05.2018.
8. Flight planner for DJI drones. [Электронный ресурс] www.droneharmony.com. Дата доступа 16.05.2018.

THE POSSIBILITIES OF MODERN SURVEY TECHNIQUES FOR ANALYSIS OF CURRENT STATE OF UNSTABLE GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURES

V.V. Dolotov, A.V. Dolotov

Marine Hydrophysical Institute
vdolotov@mail.ru, avdolotov@mail.ru

Abstract. The paper describes the results of the digitization of the current state and spatial position of one of the cliff located in the north-western Crimea coastal zone. In order to reduce the complexity and significant acceleration and additionally improve the quality of monitoring results, the most modern devices and techniques were used: high-precision GPS-device EFT-M1 in RTK mode, Phantom-3 Pro copter and software that allows to generate digital elevation models based on these data. It is shown that the existing accuracy of mathematical modeling of the relief based on the aerial photographs allows to operatively obtain more detailed data, in comparison with those obtained from the results of traditional field observations. In addition, the method allows to calculate some spatial characteristics of natural objects located in dangerous and inaccessible areas where the performance of full-scale measurements is simply impossible.

Keywords: Crimea, coastal zone, natural surveys, relief modelling, photogrammetry.

References:

1. Yu. N. Goryachkin, L. V. Kharitonova, V. V. Dolotov. North-Western Crimea coastline variability. *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources], vol. 20, 2009, pp. 18–26. (In Russian).
2. V. V. Dolotov, Yu. N. Goryachkin, A. V. Dolotov. Statistical analysis of changes in the shoreline of the beach in the village of Lyubimovka. *Ekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnykh i shel'fovykh zon morya* [Ecological safety of coastal and shelf zones of the sea], vol. 1, 2017, pp. 40–47. (In Russian).
3. V. F. Udovik, V. V. Dolotov. Modern trends in the dynamics of the coastal zone in the area of the beach in the village of Lyubimovka. *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources], vol. 20, 2009, pp. 92–99. (In Russian).
4. V. V. Dolotov, V. F. Udovik. Use of innovative technologies for monitoring of Crimea coastal zone. *Ekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnykh i shel'fovykh zon morya* [Ecological safety of coastal and shelf zones of the sea], vol. 4, 2017, pp. 67–77. (In Russian).
5. Pikelj, K. Ocean and Coastal Management (2017). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.11.019>.
6. Agisoft PhotoScan. <http://www.agisoft.com/>
7. Surveying equipment to solve production problems. <http://eftgroup.ru>
8. Flight planner for DJI drones. www.droneharmony.com