

В.В.Долотов, В.Ф.Удовик

*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КРЫМА**

Описывается методика проведения мониторинговых исследований литодинамических процессов в береговой зоне с использованием инновационных технологий. Проанализированы преимущества и особенности проведения инструментальных измерений морфометрических характеристик надводной части береговой зоны с использованием комплекта спутникового геодезического оборудования в различных режимах. Кратко описана разработанная методика совмещенного измерения плано-высотных отметок на профиле при проведении полевых работ в неблагоприятных условиях для эксплуатации GNSS-приемников. Рассмотрен тестовый пример построения цифровой 3D модели рельефа участка прибрежной зоны Западного Крыма с использованием методов аэрофотограмметрии. Описана используемая методика создания топографической основы и получения серии аэрофотоснимков с использованием беспилотного летательного аппарата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *береговая зона, мониторинг, инновационные технологии, цифровая 3D модель рельефа, GNSS-приемник, аэрофотограмметрия, Западный Крым*

Получение данных натуральных наблюдений, характеризующих переформирование рельефа в береговой зоне морей под воздействием различных природных и антропогенных факторов, позволяет развивать общие теоретические концепции динамики берегов и решать практические задачи на локальных участках побережья [1]. Особую ценность представляют собой базы данных, включающие результаты мониторинговых наблюдений, проводимых с определенной дискретностью на опорных полигонах, охватывающих достаточно короткие участки береговой зоны, протекание литодинамических процессов в пределах которых характерно для более протяженных районов побережья.

Современные математические модели, предназначенные для воспроизведения и прогноза развития литодинамических процессов в береговой зоне моря, требуют наличия массива натуральных данных для их адаптации к конкретному району и валидации с целью получения достоверных количественных оценок характеристик движения наносов и соответствующих изменений рельефа берегов.

Точность измерений, объем получаемой информации и скорость проведения полевых работ во многом определяются используемой приборной базой. В связи с этим становится актуальным внедрение современных приборов и технологий в практику проведения экспедиционных исследований, что дополнительно предполагает разработку соответствующих методик и подготовку специалистов.

Мониторинг динамики береговой зоны Крыма. Основные результаты исследований динамики надводной части береговой зоны Крыма [2 – 6] базируются на натуральных данных, полученных при проведении маршрутных

экспедиционных работ и наблюдений на стационарных створах. В большинстве случаев измерения морфометрических характеристик пляжей и положения линии уреза воды проводились различными организациями и без должной координации работ по времени и пространству. По причинам экономического характера в 90-е гг. прошлого века наблюдения были практически полностью прекращены.

Вследствие этого имеются существенные расхождения в оценках такой важной характеристики, как современная скорость отступления берегов на различных участках побережья Крыма, которая во многом определяет перспективы дальнейшего развития и освоения этих районов. В данной ситуации возникла настоятельная необходимость создания наблюдательной системы и проведения мониторинговых работ с использованием современной приборной базы и инновационных технологий.

Морской гидрофизический институт (МГИ) приступил к организации и проведению мониторинговых наблюдений в береговой зоне Крымского п-ова в 2005 г. Целью мониторинга является получение достоверных натуральных данных о пространственном распределении и временной изменчивости морфометрических характеристик береговой зоны на современном этапе ее развития.

К настоящему времени проведено более 50 береговых экспедиций, охватывающих преимущественно побережье Западного Крыма. Основные усилия направлены на осуществление повторных наблюдений на опорных полигонах, расположенных на участках береговой зоны с естественным развитием берегов, и на участках, подверженных антропогенной нагрузке, которая, в основном, выражается в строительстве берегозащитных сооружений без учета особенностей динамики песчано-гравийных наносов в данном районе. Проводимые мониторинговые наблюдения на побережье Западного Крыма дополнительно направлены на получение натуральных данных, необходимых для адаптации и валидации математических моделей и расчетных методик к условиям локальных участков данного региона.

Во время экспедиций производятся следующие работы: съемка положения береговой линии; измерения профилей и ширины пляжей; геоморфологическое описание берегов; панорамное и масштабное фотографирование; отбор проб грунта для гранулометрического анализа. При проведении наблюдений используются стандартные методики и их усовершенствованные варианты, разработанные с учетом появления новых приборов и оборудования. Особое внимание уделяется точности измерений морфометрических характеристик и положения линии уреза воды. Принимается, что для корректного сопоставления результатов мониторинговых наблюдений в береговой зоне необходимо производить инструментальные измерения с дециметровой точностью.

Использование GNSS-приемников геодезического класса. Существенное изменение в инструментальном обеспечении мониторинговых наблюдений произошло с появлением спутниковых систем (*GPS*, ГЛОНАСС, *COMPASS* и др.) и массовом производстве высокоточных измерительных приборов с соответствующим программным обеспечением. Первым прибором, который использовался авторами статьи при проведении натуральных наблюдений в прибрежной зоне в рамках сотрудничества МГИ с филиалом

МГУ им. М.В.Ломоносова в г.Севастополе, был комплект *GNSS*-приемников *TRIMBLE 4600 LS* производства США [7]. Заявленная паспортная точность измерений данного комплекта составляет: в плане 10 мм + 2 мм/км при удалении подвижного приемника (ровера) от базовой станции и по высоте 15 мм + 2 мм/км соответственно. Однако указанные характеристики точности измерений в режиме «*Stop-And-Go*» с постобработкой могут быть обеспечены только при условии введения в проект точных координат базовой станции.

Таким образом, без точной привязки базовой станции абсолютная погрешность измерения плановых координат на маршруте, произведенных в различное время и особенно при первичной установке базы, могла при неблагоприятных условиях достигать 2 – 3 м. Однако, как показало сравнение получаемых координат базовой станции, наиболее часто устанавливавшейся на опорном полигоне в пос.Любимовка (Севастопольский регион) в одной точке в разное время, наибольший разброс значений относительно первого измерения в серии не превышал 0,96 м.

При этом смещение получаемых координат всех точек съемки происходило практически без разворота и линейных искажений. В связи с этим, для корректного сравнения результатов съемки одного участка в различное время на всех полигонах дополнительно производились измерения координат в заранее определенных 4 – 5 контрольных точек, что позволяло вычислить величины смещения и привести результаты съемок к одному базису. Таким образом, получаемые деформации рельефа и особенно смещения береговой черты относительно данного базиса являются истинными с учетом указанных погрешностей. Данное обстоятельство позволило получить достоверные количественные оценки пространственной и временной изменчивости рельефа береговой зоны на участках длиной до 2 – 3 км.

Некоторые неудобства возникали в связи с достаточно длительным промежутком времени (около 40 минут), необходимым для инициализации базовой станции, и возможностью потери сигнала подвижным приемником, особенно при работе вблизи калифов. Восстановление сигнала ровера при движении по маршруту требовало от 20 до 40 минут. Однако, несмотря на вышесказанное, применение *GPS* приемников при проведении мониторинговых наблюдений в береговой зоне существенно повысило точность, эффективность и оперативность измерений.

С 2016 г. в МГИ при проведении исследований береговой зоны используется комплект оборудования геодезического класса российского производства *EFT-M1 GNSS* [8, 9]. При близких к *TRIMBLE 4600 LS* характеристиках точности измерений, инициализация данного прибора производится в течение нескольких минут, что позволило существенно повысить эффективность проведения работ (рис.1).



Р и с . 1 . Установка базовой станции и инициализация комплекта *GNSS*-приемников *EFT M1* для работы в режиме «*Stop-And-Go*» на пересыпи оз.Богайлы.

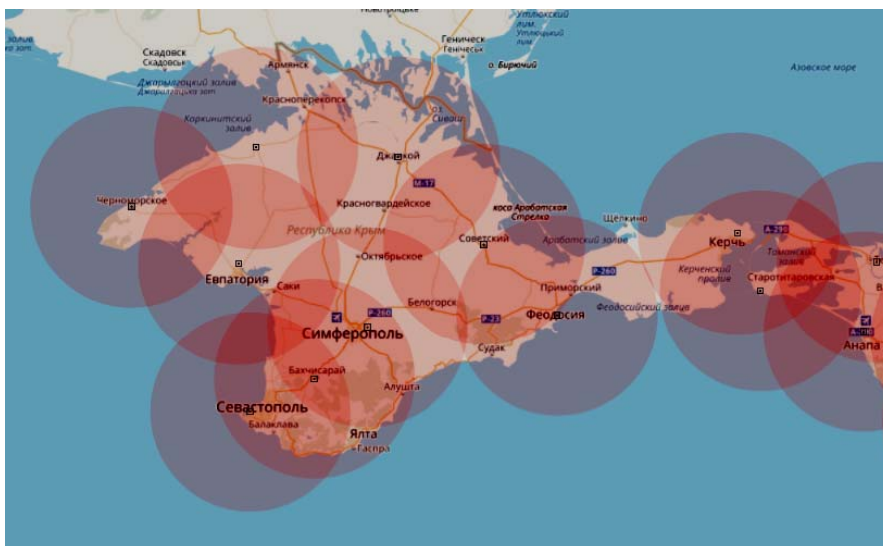


Рис. 2. Сеть постоянно действующих базовых станций *EFT CORS* в Крыму (красными кругами обозначены зоны покрытия для работы в режиме *RTK*).

Следующий значительный скачок в повышении эффективности и особенно оперативности проведения мониторинговых работ произошел после подключения приемника *EFT M1* к сети постоянно действующих базовых станций в Крыму (рис.2) через сервер *EFT CORS* [10], что позволяет производить измерения в режиме *RTK (Real Time Kinematic)* [11]. К настоящему времени в рамках программы по развитию сети постоянно действующих *GNSS*-станций на территории Российской Федерации, компанией *EFT CORS* в Республике Крым установлено 10 базовых станций, полностью покрывающих прибрежную зону полуострова.

Преимущество работы в режиме *RTK* очевидно: полностью отпала необходимость установки и настройки собственной базовой станции, подключение передвижного приемника к одной из постоянно действующих базовых станций занимает всего 1 – 2 минуты и лимитируется исключительно скоростью трафика, предоставляемого оператором связи, а измерение и запись координат в одной точке (рис.3) выполняется всего за несколько секунд. При этом абсолютное положение точек на местности, как в плане, так и по высоте, определяется с той же точностью (1 – 2 см), что и при установке собственной базы. Дополнительно имеется возможность постоянно контролировать ошибки проводимых измерений и выбирать используемую базовую станцию в зависимости от расположения района исследований.

Методика построения совмещенных профилей. При измерении профиля пляжа в его тыловой части, примыкающей к подножию высокого клифа, в большинстве случаев резко падает точность измерения пространственных координат, получаемых с использованием спутниковых приемников. Вызвано это, в первую очередь, отсутствием возможности приема сигналов от части спутниковой группировки, располагающейся на момент наблюдений в полусфере со стороны клифа. В частности, фиксированное решение, получаемое при проведении измерений приемником *EFT M1* в ре-



Р и с . 3 . Измерения в режиме *RTK* положения линии уреза воды в южной части пляжа «Учкуевка» (а) и границы верхней кромки клифа на м.Маргопуло (б).

жиме *RTK* и отображающееся на экране контроллера, показывает в среднем увеличение ошибки для высотных отметок с 1 – 2 до 28 – 32 см, что уже не соответствует необходимой точности проведения измерений.

Для минимизации подобных ошибок, обусловленных неблагоприятными условиями для эксплуатации *GNSS*-приемников, авторами разработана методика совмещенного измерения и дополнения профиля пляжа с использованием угломера, встроенного в смартфоны и планшеты массового производства. Согласно данной методике, измерив величину угла наклона и зная длину используемой базы, можно рассчитать все линейные размеры соответствующего отрезка профиля (длина по профилю, проекция на горизонталь, изменение высоты) на основе простейших геометрических соотношений. Тестирование методики путем сравнения получаемых результатов с данными прямых измерений спутниковым приемником *EFT M1* на открытых участках местности показало, что отклонение абсолютных значений линейных координат не превышает 5 – 8 см даже при длине профиля достигающей 60 м, что полностью удовлетворяет точности измерений, требующейся при проведении мониторинговых работ.

Внедрение инновационных технологий. Процесс внедрения инновационных технологий в практику мониторинговых работ в береговой зоне, проводимых МГИ, получил дальнейшее развитие с началом использования методов фотограмметрии для построения цифровых 3D моделей рельефа. В настоящее время данное направление активно развивается и внедряется в практику проведения исследований динамических процессов в прибрежной зоне [12 – 14].

Для этих целей был приобретен беспилотный летательный аппарат (БПЛА), представляющий собой квадрокоптер *Phantom-3 Professional* [15], хорошо зарекомендовавший себя и широко используемый для проведения аэрофотосъемки в производственных целях [16]. Далее была получена пробная лицензия, позволяющая использовать программное обеспечение *Agisoft PhotoScan Professional* [17] в некоммерческих целях и протестировать его в полнофункциональном режиме.

Объект наблюдений и методика построения 3D модели. Отработка методики выполнения полного комплекса работ, имеющего конечной целью построение цифровой модели участка надводной части береговой зоны, проводилась в районе Немецкой балки, расположенной на побережье Западного Крыма к югу от пос. Кача (Севастопольский регион). Выбор района работ во многом был обусловлен существованием 3D моделей, построенных в предыдущие годы в результате проведения практических занятий для студентов геологического факультета МГУ и во время полевой школы «Engineering geological methods of sea coastal area researches», организованной в 2017 г. Это предполагает в дальнейшем возможность сравнения данных цифровых моделей и получения количественных оценок временной изменчивости рельефа берегов на данном участке побережья.

В общем случае комплекс работ, необходимых для построения 3D модели с использованием современного оборудования и инновационных технологий, включает следующие основные этапы [18, 19]:

- осуществление расстановки на местности по заранее определенной схеме опорных знаков, представляющих собой точки объекта фотограмметрической съемки с известными пространственными координатами и хорошо распознаваемые на аэрофотоснимках;
- получение комплекта аэрофотоснимков в результате проведения аэрофотосъемки по запланированному маршруту с использованием БПЛА;
- обработка результатов и построение цифровой 3D модели с использованием программного обеспечения.

Установка и координатная привязка опорных точек. Специфика мониторинговых работ в береговой зоне предполагает расстановку на местности как постоянных, так и временных опорных знаков, отчетливо различимых на получаемых аэрофотограмметрических снимках и позволяющих наиболее точно идентифицировать точку измерения пространственных координат. Постоянные знаки, используемые при повторных съемках, наносятся белой краской или известью, либо используются координаты центров хорошо различаемых на аэрофотоснимках стационарных объектов. Временные знаки, используемые при проведении одной съемки, обычно выставляются на поверхности пляжей и клифов в виде крестов из белой бумаги. Как показал опыт полевых работ, при этом должно соблюдаться следующее основное правило: необходимо обязательно располагать опорные точки на обширных квазигоризонтальных плоскостях и увеличивать их количество в местах значительного перепада высот. При проведении экспедиции координатная привязка опорных точек может проводиться либо как отдельная процедура, либо одновременно с работами по измерению планово-высотных отметок рельефа береговой зоны.

Перед выполнением аэрофотограмметрической съемки в районе Немецкой балки на местности с площадью около 23 га было установлено 20 временных опорных знаков в виде крестов из белой бумаги размером около 50 × 50 см по специально разработанной схеме. Координатная привязка положения центров этих меток проводилась с использованием приемника *EFT M1* в режиме *RTK* путем записи координат в предварительно созданный проект, что заняло около 2 часов. Впоследствии эти метки позволили скорректировать простран-

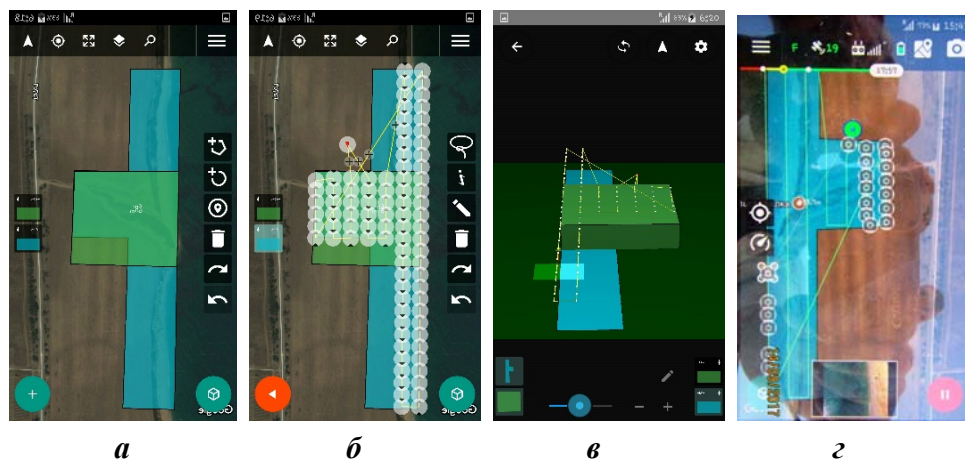
ственное положение аэрофотоснимков с сантиметровой точностью.

Проведение аэрофотосъемки по запланированному маршруту. На этапе подготовки к проведению аэрофотосъемки в первую очередь необходимо составить полетное задание, позволяющее осуществить съемку с требуемым разрешением фотоснимков и областью их перекрытия. До недавнего времени эта процедура и само успешное осуществление полетов в режиме ручного управления требовали значительных трудозатрат и привлечения узких специалистов высокой квалификации. В настоящее время интенсивное развитие робототехники и массовое использование БПЛА, особенно квадрокоптеров, в бытовых, коммерческих, промышленных и научных целях привело к успешной разработке специализированного программного обеспечения, позволяющего автоматизировать указанные процедуры.

Авторами проведено тестирование различных программ, позволяющих составлять полетное задание для квадрокоптера *Phantom-3 Pro*. С точки зрения затрачиваемого времени, а также практического удобства построения и редактирования полетных заданий для использования при проведении работ была выбрана программа *Drone Harmony*, бета-версия которой размещена разработчиками для открытого доступа [20].

Использование данной программы позволяет составить полетное задание еще на этапе подготовки экспедиции. Построение полетного задания выполняется поэтапно, и производятся следующие операции: нанесение контуров изучаемого района на карте местности, генерирование маршрута полета БПЛА и при необходимости его корректировка, проводимая в основном с целью удаления лишних точек съемки и «холостых» пролетов. Виды программного интерфейса *Drone Harmony* для перечисленных этапов, включая визуализацию выполнения разработанного маршрута полета, представлены на рис.4.

Программа позволяет подготовить несколько полетных заданий в рамках одного проекта (рис.4, а). После указания типа квадрокоптера и пара-



Р и с . 4 . Программный интерфейс *Drone Harmony* на различных этапах составления и выполнения полетного задания для БПЛА: выделение участка (а), построение маршрута (б), виртуальное прохождение маршрута (в), информация о выполнении полета (г).

метров его фотокамеры программа генерирует полетное задание с учетом точек взлета и приземления, а также необходимого перекрытия кадров на 60 % по направлению полета и между галсами (рис.4, б). На рис.4, в представлен интерфейс, на котором можно виртуально просмотреть не только порядок съемки кадров, но и площадь, охватываемую каждым из них в зависимости от высоты и угла положения камеры.

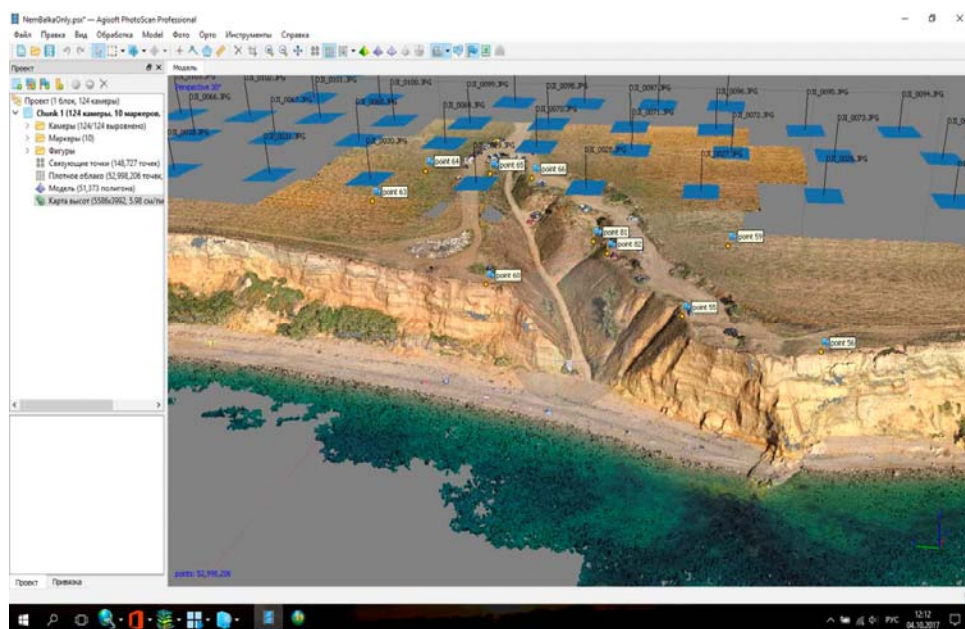
На рис.4, г представлен интерфейс, демонстрируемый в течение всего полета, на котором отображается: время полета, заряд аккумулятора, направление полета, направление камеры и точки съемки. Данный интерфейс программы *Drone Harmony* показал себя с наилучшей стороны. Он позволяет полностью контролировать ход полета, с учетом того, что при полете на высотах 60 – 80 м и значительном удалении от места старта, сам квадрокоптер визуально практически не наблюдается. В результате ориентироваться по его пространственному положению на маршруте и относительно точки приземления возможно только по интерфейсу компьютера.

Обработка результатов и построение 3D модели. Построение цифровой 3D модели проводилось с использованием программы *PhotoScan*, разработанной российской фирмы *Agisoft* и предоставляемой для использования в тестовом режиме [17]. В программе реализованы сложные алгоритмы обработки фотоснимков, требующие при решении задач в рамках масштабных проектов значительных вычислительных ресурсов и компьютерного времени. Минимальный набор операций, необходимых для построения 3D модели по фотоснимкам, выражается в последовательном выполнении трех операций: выравнивание снимков относительно друг друга, построение плотного облака точек и непосредственно генерирование модели. Помимо указанных операций, в программе доступны следующие дополнительные опции: построение текстуры, тайловой модели, карты высот, а также ортофотоплана. Все они могут использоваться в различных операциях экспорта данных, в том числе в такие форматы, как *XYZ Point Cloud*, *Autodesk DXF*, *Google KML*, *BIL*, *GeoTIFF* и др.

Построение цифровой модели для проекта «Немецкая балка» заняло приблизительно 2 часа времени расчета на компьютере с процессором *Intel Core I5-2400S* (тактовая частота 2,5 ГГц) и оперативной памятью 6 Гбайт. Примерно столько же времени потребовалось на привязку снимков по координатам установленных опознаков. Пользовательский интерфейс с загруженной частью рабочей области проекта «Немецкая балка» после выполнения трех обязательных операций, т.е. после построения цифровой 3D модели, изображен на рис.5. Синие прямоугольники соответствуют положению снимков, выполненных с БПЛА.

Статистика вычислений при обработке проекта «Немецкая балка» показывает следующие результаты. Обработано 124 снимка; количество общих точек, использованных в процессе выравнивания снимков, 148727; плотное облако, созданное после выполнения интерполяции данных, включает 52998206 точек; сеточная нерегулярная модель (*TIN*) состоит из 4120175 треугольников.

Проверка соответствия цифровой модели реальному объекту. После построения цифровой модели была осуществлена проверка ее соответствия реальному объекту. Для этого проведены измерения расстояний по горизон-



Р и с . 5 . Пользовательский интерфейс программы *PhotoScan* с загруженным проектом для участка побережья в районе Немецкой балки.

тали и вертикали для двух пар контрольных точек, не использовавшихся при построении модели (таблица).

Сравнение величин, полученных с использованием программы общего доступа *QGIS* [21] по координатам, измеренным приемником *EFT M1*, и соответствующих расстояний на цифровой модели, сгенерированной программой *PhotoScan*, показало следующее. Абсолютная погрешность по горизонтали составила 0,08 м, по вертикали 0,14 м, что для относительных ошибок дает значения 0,001 и 0,005 соответственно.

Таким образом, построение цифровой модели с координатной привязкой опорных точек позволяет достичь дециметровой точности представления реального объекта. Этого достаточно как для проведения детального анализа морфометрических характеристик прибрежной зоны на определенную дату, так и для сравнения цифровых моделей, построенных по результатам измерений в различных экспедициях, с целью получения количественных оценок изменений рельефа в линейных и объемных единицах.

Выводы. Использование инновационных технологий при проведении исследований литодинамических процессов в береговой зоне приводит к многократному увеличению производительности процесса выполнения натурных наблюдений, особенно при проведении мониторинговых работ.

Работа *GNSS*-приемников в режиме *RTK* позволяет оперативно получать данные инструментальных измерений планово-высотных отметок ре-

Т а б л и ц а . Результаты проверки соответствия цифровой модели реальному объекту.

программа обработки	расстояние, м	
	по горизонтали	по вертикали
<i>QGIS</i>	73,25	26,24
<i>PhotoScan</i>	73,17	26,38

льефа береговой зоны значительно большего объема и качества, а также осуществлять постоянный контроль точности получаемых результатов непосредственно во время проведения полевых работ.

Разработанная методика измерения дает возможность как проводить отдельные измерения профиля пляжей, так и оперативно дополнять измерения, осуществляемые высокоточными *GNSS* приемниками в случае неблагоприятных условий для их эксплуатации, и тем самым существенно уменьшить ошибки без внесения корректировок в планы полевых работ.

Построение цифровых 3D моделей рельефа является самым эффективным на современный момент методом мониторинга динамических процессов в береговой зоне моря с дециметровой точностью и должно активно внедряться в практику проведения экспедиционных исследований с разработкой соответствующих методик и их включения в руководящие документы и наставления.

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 гридтехнологий».

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам группы компаний EFT GROUP за помощь в освоении оборудования и подключении к сети постоянно действующих базовых станций в Крыму, а также коллегам из геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова и ООО "Современные ГеоТехнологии" за полезные практические советы по технике проведения полевых работ и выбору программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зенкович В.П.* Основы учения о развитии морских берегов.– М.: Изд-во АН СССР, 1962.– 710 с.
2. *Зенкович В.П.* Берега Черного и Азовского морей.– М.: Географиздат, 1958.– 371 с.
3. *Романюк О.С., Луцик А.В., Морозов В.И.* Условия формирования и динамика морского побережья в районе Сакской курортной зоны.– Симферополь: ИМР, 1992.– С.12-21.
4. *Шуйский Ю.Д.* Основные закономерности морфологии и динамики Западного берега Крымского полуострова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– вып.13.– С.62-72.
5. *Игнатов Е.И., Орлова М.С., Санин А.Ю.* Береговые морфосистемы Крыма.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014.– 265 с.
6. *Современное состояние береговой зоны Крыма / Под ред. Ю.Н.Горячкина.*– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2015.– 252 с.
7. *Компания Трейд-ин-Гео* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tigeo.ru/r29885110-komplekt-gps-priemnikov.html> (Дата обращения: 11.05.2016)
8. *Геодезическое оборудование для решения производственных задач* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eftgroup.ru> (Дата обращения: 23.07.2017)
9. *EFT M1 GNSS* Технические характеристики [Электронный ресурс]. Режим доступа [https:// http://eft-m1.ru/](https://http://eft-m1.ru/) (Дата обращения: 26.08.2017)

10. *Сеть GLONASS / GPS / COMPASS / GALILEO базовых станций на территории РФ* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eft-cors.ru> (Дата обращения: 28.10.2017)
11. *Евстафьев О.В.* Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / Под ред. В.В.Грошева.– М.: ООО «Издательство «Проспект», 2009.– 48 с.
12. *Faik Ahmet Sesli* Mapping and monitoring temporal changes for coastline and coastal area by using aerial data images and digital photogrammetry: A case study from Samsun, Turkey / Intern. J.Phys. Sci.– 2010.– v.5(10).– P.1567-1575.
13. *Gonçalves J.A., Henriques R.* UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.– 2015.– v.104.– P.101-111.
14. *Turner I.L., Harley M.D., Drummond C.D.* UAVs for coastal surveying // Coastal Engineering.– 2016.– v.114.– P.19-24. ISSN 0378-3839. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>.
15. *Официальный дистрибьютор DJI* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://4vision.ru/> (Дата обращения: 17.08.2015)
16. *Съемка карьера. 3D модель.* [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://thedrone.ru/semka-karera/> (Дата обращения: 22.09.2016)
17. *Agisoft PhotoScan* [Электронный ресурс].Режим доступа: <http://www.agisoft.com/> (Дата обращения: 03.11.2017)
18. *Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов ГКИНП (ГНТА)-02-036-02.*– М.: ЦНИИГАиК, 2002.
19. *Булавицкий В.Ф., Жукова Н.В.* Фотограмметрия и дистанционное зондирование территорий.– Хабаровск: Изд-во «ТОГУ», 2016.– 113 с.
20. *Flight planner for DJI drones* [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.droneharmony.com/ (Дата обращения: 04.09.2017)
21. *QGIS* [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.qgis.org/ru/site/> (Дата обращения: 03.11.2017)

Материал поступил в редакцию 28.10.2017 г.

V.V.Dolotov, V.F.Udovik

USE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR MONITORING THE COASTAL ZONE OF CRIMEA

The paper describes a methodology for conducting monitoring studies of lithodynamic processes in the coastal zone using innovative technologies. The advantages and peculiarities of instrumental measurements of the morphometric characteristics of the above-water part of the coastal zone with the use of a set of satellite geodetic equipment in various modes are analyzed. Briefly described is the developed methodology for the combined measurement of planned elevation marks on a profile when conducting field work under unfavorable conditions for the operation of GNSS receivers. A test example of constructing a digital 3D model of the relief of a coastal zone of the Western Crimea using aerial photogrammetry methods is considered. The method used to create a topographic basis and obtaining a series of aerial photographs using an unmanned aerial vehicle is described.

KEYWORDS: coastal zone, monitoring, innovative technologies, digital 3D model, GNSS receiver, aerial photogrammetry, the Western Crimea