

УДК 528.7; 528.711.1

## КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, АЭРОФОТОСЪЕМКА И ФОТОГРАММЕТРИЯ

### ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОРСКИХ И ОКЕАНСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Профессор, кандидат техн. наук **А.П. Михайлов**, аспирант **Эдгар Рубен Монтель Андраде**

*Московский государственный университет геодезии и картографии*

*al\_mikhailov@mail.ru*

**Аннотация.** Активное освоение морских и океанских побережий Мексики объектами туристического бизнеса и другими объектами хозяйственной деятельности приводит к необходимости мониторинга состояния прибрежной полосы, так как во многих случаях ее изменение может привести к серьезному ущербу объектов инфраструктуры, расположенных в прибрежной зоне. Предлагается относительно недорогой и оперативный фотограмметрический метод мониторинга состояния прибрежной полосы, основанный на использовании материалов аэрофотосъемки, получаемых любительскими цифровыми съемочными камерами, установленными на легкомоторном самолете.

**Ключевые слова:** мониторинг, морское побережье, береговая линия, аэрофотосъемка, фотограмметрия, цифровая модель рельефа

**Abstract.** Active exploitation of sea and ocean coast of Mexico by objects of tourism and other economic activities leads to the need of monitoring the state of the coastal strip, as in many cases, changing it can lead to serious damages of infrastructure facilities located in the coastal zone. The article offers a relatively inexpensive and rapid photogrammetric method for monitoring of the coastal strip, which is based on the use of aerial photographs, obtained by amateur digital imaging camera mounted on light airplanes.

**Keywords:** monitoring, sea coast, shoreline, aerial survey, photogrammetry, digital terrain model

Изучение состояния прибрежной полосы океанского побережья Мексики имеет важное практическое значение, в связи с тем что в прибрежной зоне океанов, омывающих побережье Мексики, расположено значительное количество объектов хозяйственной деятельности, таких как порты, туристические центры, сельскохозяйственные и рыбоперерабатывающие предприятия.

Мониторинг состояния прибрежной полосы позволяет выявить ее изменение, оценить влияние этих изменений на функционирование объектов хозяйственной деятельности, расположенных в прибрежной зоне, и принять своевременные меры для устранения негативных последствий таких изменений.

Для выполнения перечисленных задач необходимо определять не только изменение положения береговой линии, но и изменение рельефа прибрежной полосы [1]. Для оценки состояния прибрежной полосы океанских по-

бережий могут быть использованы картографический, геодезический и фотограмметрический методы.

В картографическом методе информацию о положении береговой линии и рельефе прибрежной полосы получают по картам различного масштаба, созданным на исследуемый район побережья. Точность полученных по картам данных зависит от масштаба используемой карты, а актуальность данных — от времени создания карты. Учитывая что в Мексике основной картой является карта масштаба 1:50 000 и в редких случаях на район побережья составляются карты масштаба 1:10 000, точность получаемой информации о состоянии прибрежной полосы является не очень высокой. Так как обновление карт в Мексике производится, в лучшем случае, через 7–10 лет, картографический метод нельзя применить для мониторинга состояния прибрежной полосы [2].

Геодезический метод, заключающийся в топографической съемке прибрежной полосы с использованием электронного тахеометра или спутниковых геодезических приемников, обладает высокой точностью. Однако большая трудоемкость этого способа и его достаточно высокая стоимость делает целесообразным его использование только для мониторинга небольших по площади участков побережья [3, 4].

Наиболее целесообразно для проведения мониторинга прибрежной полосы использовать фотограмметрический метод, позволяющий по стереопарам аэрофотоснимков или космических снимков определить положение береговой линии и рельеф прибрежной полосы. Следует сразу отметить, что используя космические снимки даже с самым высоким в настоящее время разрешением 0,4–0,5 м, невозможно с точностью выше 1–2 м построить цифровую модель рельефа прибрежной полосы побережья, поэтому для мониторинга прибрежной зоны морей и океанов целесообразно использовать материалы аэрофотосъемки [5]. Современные цифровые аэрофотосъемочные системы и авиационные носители позволяют выполнять с высоким качеством аэрофотосъемку как в крупных, так и в мелких масштабах.

Однако в связи с тем что мониторинг береговой линии обычно необходимо проводить на участках побережья протяженностью от одной–двух сотен метров до нескольких километров, выполнение комплекса аэрофотосъемочных работ с помощью специализированных аэрофотосъемочных комплексов экономически нецелесообразно из-за больших затрат на производство аэрофотосъемки. Представляется целесообразным с экономической точки зрения использование для аэрофотосъемки при проведении мониторинга состояния прибрежной полосы легкомоторных самолетов и профессиональных или любительских цифровых фотоаппаратов, предварительно подвергнув их процедуре фотограмметрической калибровки.

В качестве носителей аэрофотосъемочной аппаратуры можно использовать широко распространенные в Мексике самолеты «Cessna»,

например, «Cessna 150» или «Cessna 172» (рис. 1, 2). Стоимость их аренды в Мексике составляет 200–250 долл. в час. Эти самолеты позволяют выполнять аэрофотосъемку с самых малых высот со скоростью 70–150 км/ч. В качестве аэрофотосъемочной аппаратуры можно использовать как профессиональные, так и любительские цифровые фотоаппараты, желательно с центральным или электронным затворами. Использование широко распространенных, цифровых зеркальных фотоаппаратов с ламельным (шторно–щелевым) затвором требует выполнения предварительных расчетов для выяснения допустимости геометрических искажений снимка вносимых ламельным затвором для заданных параметров аэрофотосъемки, типа используемого носителя аэрофотоаппаратуры и параметров цифрового фотоаппарата.

При выполнении мониторинга состояния прибрежной полосы побережья необходимо определить изменение положения береговой линии. Учитывая что побережье Мексики подвержено приливам и отливам, обычно положение береговой линии определяют на мо-



Рис. 1. Самолет «Cessna 150»



Рис. 2. Самолет «Cessna 172»

мент минимального и максимального уровня океана (моря). Однако в ряде случаев необходимо определение положения береговой линии и в промежуточные моменты времени. Для обеспечения возможности определения положения береговой линии в различные моменты времени необходимо провести аэрофотосъемку береговой полосы при минимальном уровне моря, и построить по материалам аэрофотосъемки цифровую модель рельефа береговой полосы с точностью, обеспечивающей определение береговой линии с заданной точностью.

Очевидно, что точность построения цифровой модели рельефа будет определяться заданной величиной точности определения положения береговой линии и величиной угла наклона поверхности береговой полосы. Допустимое значение средней квадратической ошибки  $m_H$  определения высот точек поверхности береговой полосы, в зависимости от значения допустимой величины средней квадратической ошибки определения положения береговой линии  $m_S$  и значения угла наклона поверхности  $\alpha$ , можно определить по формуле

$$m_H = m_S \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Допустимые значения средних квадратических ошибок, определения высот точек поверхности береговой полосы в зависимости от значений углов наклона поверхности при заданном значении  $m_S = 0,5$  м:

$\alpha$ .....	5°	6°	7°	8°	9°	10°
$m_H$ , м.....	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09

Приведенные данные позволяют рассчитать максимальную высоту фотографирования, при которой обеспечивается заданная точность определения высот точек поверхности в результате фотограмметрической обработки аэрофотоснимков в зависимости от параметров используемой цифровой фотокамеры и точности измерения полученных снимков:

$$H_{\max} = m_H \frac{b}{m_p}, \quad (2)$$

где  $b$  — базис фотографирования в масштабе снимка;  $m_p$  — средняя квадратическая ошибка измерения величины продольного параллакса на стереопаре снимков.

При выполнении мониторинга береговой полосы по материалам аэрофотосъемки через заданные промежутки времени выполняются следующие виды работ: аэрофотосъемка; планово-высотная подготовка аэрофотоснимков; построение сети пространственной фототриангуляции; построение цифровой модели рельефа поверхности прибрежной полосы; построение береговой линии заданного уровня по цифровой модели рельефа поверхности береговой линии и данным гидрографических таблиц.

Целесообразно при выполнении работ использовать государственную систему координат и высот.

В результате сравнения цифровых моделей рельефа и положения береговых линий, построенных в каждом цикле наблюдений, определяют изменения положения береговых линий и изменение рельефа поверхности прибрежной полосы. Эти данные позволяют определить динамику процессов, происходящих в прибрежной зоне, и оценить их влияние на функционирование расположенных в этой зоне объектов хозяйственной деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев О.К. Основы учения о развитии морских берегов. М., 1962.
2. Берлянт А.М. Картографический метод исследования, в сборнике // Итоги науки. Картография 1967—1969.— В кн. 4., 1970.
3. Маслов А.В., Гордеев А.В., Батраков Ю.Г. Геодезия.— М.: Недра, 1993.
4. Ащеулов В.А. Применение спутниковых навигационных систем в геодезии: учебное пособие. — Новосибирск: НИИГАиК, 1993. — 82 с.
5. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. — М.: Картогеоцентр-Геодезиздат, 1997. — 378 с.

Принята к печати 6 декабря 2012 г.

Рекомендована кафедрой фотограмметрии МИИГАиК