

## Проект геодезической сети для осуществления геодезического мониторинга береговой линии Черного моря

*Е. И. Аврунев<sup>1\*</sup>, М. И. Коваленко<sup>1</sup>, В. Ю. Корбе<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: avrynev\_ei@ngs.ru

**Аннотация.** В статье обосновывается актуальность и необходимость проектирования специальной геодезической сети для выполнения деформационного мониторинга в зонах активной сейсмической активности и влияния неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений. В качестве территориального образования и зоны, подверженной активному влиянию неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений выбрана береговая линия Болгарии, где такие процессы проявляются наиболее ярко [1]. В качестве геодезического обоснования, необходимого для геодезического обеспечения деформационного мониторинга такой зоны территориального образования, предлагается использовать специальную спутниковую сеть, построенную в сетевом варианте построения с использованием GNSS-технологий. В такой сети предлагается часть определяемых пунктов разместить на береговой линии, движение которых будет определять параметры деформационного мониторинга, а другую – на относительно устойчивом геологическом основании. В результате выполненной оценки точности проекта спутниковой сети получены средние квадратические ошибки положения пунктов относительно начала системы координат и их взаимного положения. На основании этих результатов вычислены минимальные движения пунктов спутниковой сети, которые могут быть обнаружены в результате выполненной математической обработки между циклами геодезических наблюдений.

**Ключевые слова:** деформационный мониторинг, территориальное образование, береговая линия, спутниковая сеть, GNSS-технологии, береговая линия, геодезическое обоснование, стабильный пункт, мобильный пункт, характерная точка, средняя квадратическая ошибка

## The project of geodetic network for geodetic monitoring the Black Sea coastal line

*E. I. Avrunev<sup>1</sup>, M. I. Kovalenko<sup>1</sup>, V. Yu. Korbe<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: avrynev\_ei@ngs.ru

**Abstract.** The article substantiates the relevance and necessity of designing a special geodetic network to perform strain monitoring in zones of active seismic activity and the influence of adverse engineering and geological processes and phenomena. The coastline of Bulgaria, where such processes are most pronounced [1], was chosen as a territorial formation and a zone subject to the active influence of adverse engineering and geological processes and phenomena. It is proposed to use a special satellite network built in the network version of the construction using GNSS technology as a geodetic justification necessary for the geodetic support of deformation monitoring of such a zone of territorial formation. In such a network, it is proposed to place some of the designated points on the coastline, the movement of which will determine the parameters of deformation monitoring, and the other on a relatively stable geological basis. As a result of the assessment of the accuracy of the

satellite network project, the mean square errors of the position of the points relative to the origin of the coordinate system and their relative position were obtained. Based on these results, the minimum movements of the satellite network points that can be detected as a result of the mathematical processing between the cycles of geodetic observations are calculated.

**Keywords:** territorial entity, satellite network, GNSS technology, coastline, geodetic justification, stable point, mobile point, characteristic point, mean square error

Наличие в территориальных образованиях обширных зон неблагоприятного влияния инженерно-геологических процессов и явлений обуславливает целесообразность и настоятельную необходимость проведения деформационного мониторинга параметры которого позволят научно-обосновано проектировать и проводить соответствующие профилактические мероприятия, позволяющие государствам избежать катастрофических последствий, в том числе, с возможными человеческими жертвами [1–3].

При такой постановке вопроса большой интерес представляет территория Болгарии, поскольку, она, во-первых, находится в зоне сейсмической активности, а во-вторых, ее береговая линия является зоной в наибольшей степени подверженной влиянию неблагоприятных инженерно-геологических факторов [1]. Кроме этого береговая линия является государственной границей и границами муниципальных образований. Следовательно, информация о ее местоположении в виде координат характерных точек должна быть внесена в единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН).

Она постоянно изменяется под влиянием различных условий. Одними из основных процессов, воздействующих на береговую линию, является сейсмическая активность, абразия, эрозия, физико-химическое выветривание, а также процессы техногенного характера. Береговая линия видоизменяется вследствие изменения уровня воды в море. В связи с этим изменяются и условия использования прибрежной территории. Исходя из этого деформационный мониторинг за состоянием и изменением береговой линии, является актуальной задачей для всех стран, расположенных на морских и океанических побережьях.

Для выполнения деформационного мониторинга за береговой линией необходимо создание геодезической сети специального назначения по движению пунктов которой возможно оценить соответствующие параметры и запроектировать мероприятия, позволяющие минимизировать возможный ущерб от проявлений неблагоприятных физико-геологических процессов и явлений. Кроме этого такая специальная сеть может служить исходной основой для создания единого геоинформационного пространства такого территориального образования, с помощью которой возможно решать различные задачи землеустроительной, кадастровой и градостроительной деятельности [2, 3].

Для проектирования геодезической спутниковой сети была выбрана прибрежная часть территории Болгарии, расположенная на востоке страны. Проект построения этой сети приведен на (рис. 1).



Рис. 1. Схема запроектированной спутниковой сети

В качестве способов построения спутниковой сети выбрано использование GNSS-технологии, которая характеризуется следующими положительными аспектами:

- отсутствует зависимость точности спутниковых определений от погодных условий;
- нет необходимости обеспечивать взаимную оптическую видимость между пунктами сети;
- высокая точность определения векторов базовых линий;
- нет зависимости точности уравненных элементов спутниковой сети от конструкции геодезического построения;
- более высокая точность уравненных элементов спутниковой сети по сравнению с сетями, построенными с использованием традиционных наземных средств для выполнения геодезических построений [2].

При проектировании геодезических сетей с использованием GNSS-технологий используют два основных метода построения: лучевой и сетевой вариант.

Сетевой метод более трудоемкий по сравнению с лучевым, из-за большего числа производимых измерений, однако в данной схеме выполняется контроль измерений. Это отвечает главному принципу геодезических построений, который заключается в необходимости контроля всех выполняемых измерений. Контролем качества в таких построениях является выполнение координатных условий во всех образованных спутниковыми определениями геометрических фигурах.

В качестве исходной картографической основы для проектирования спутниковой геодезической сети использовались космоснимки масштаба 1:5000–1:500000. Выбор приведенных масштабов основывался на том, что более круп-

ные масштабы использовались для проектирования пунктов сети в локальных участках, тогда как более мелкий масштаб использовался как обзорный для всей сети. Данные космоснимки были загружены в программу «MapInfo 17» в качестве не редактируемой подложки. Они имеют координатную привязку в координатной системе WGS-84, поэтому весь проект выполнен в этой системе координат.

В спутниковой сети запроектировано два типа определяемых пунктов. Первый тип – это пункты, расположенные на условно устойчивом геологическом основании, которое не подвержено влиянию изменения береговой линии. Всего запроектировано 10 пунктов данного вида, которые расположены по всей длине береговой линии Болгарии. Среднее расстояние между этими пунктами составляет 27 км.

Второй тип – это пункты, которые будут использоваться для мониторинга движения береговой линии. Они расположены примерно в 100 метрах от береговой линии. Всего запроектировано 30 пунктов. Среднее расстояние между этими пунктами составляет 9 км.

Для уменьшения длины определяемых векторов в спутниковой сети и повышения точности определения координат определяемых пунктов были выбраны два локальных участка, в которых прогнозируется наиболее вероятное изменение береговой линии [1]. В данных локальных участках была повышена плотность пунктов, с которых будет выполняться мониторинг береговой линии. Среднее удаление пунктов друг от друга в этих локальных участках составило примерно 4 км.

Первый локальный участок, располагается в Бургасском заливе, рядом с крупным городом Бургасс. Второй участок, возле города Варна. За пределами выбранных локальных участков расстояние между пунктами достигает около 30 км.

Оценка точности проекта сети выполнялась в программе «LOGOS», которая заключалась в вычислении средних квадратических ошибок (СКО) определения положения пунктов и средних квадратических ошибок их взаимного положения. Оценка точности проекта спутниковой сети выполнялась исходя из применения высокоточной спутниковой системы Leica GS18T, которая обеспечивает точность определения базовых векторов для запроектированной сети  $m_{GNSS} = 4\text{мм}$ .

Результаты оценки выполненного проекта в виде СКО положения пунктов относительно начала системы координат и взаимного положения смежных пунктов представлены на (рис. 2).

Исходя из анализа полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее слабым пунктом в запроектированной сети является пункт 40, среднеквадратическая ошибка определения координат которого составляет  $m=0.65$  см;
2. Наибольшая средняя квадратическая ошибка взаимного положения смежных пунктов характерна для сторон 28–29, 30–31, 32–31, которая составляет 0.32 см.

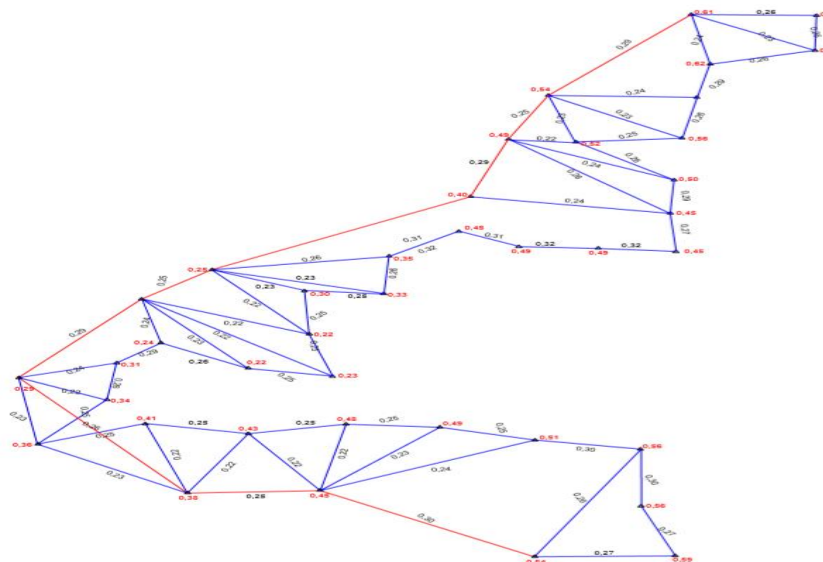


Рис. 2. Результаты оценки точности проекта геодезической сети

Для определения величины изменения береговой линии и последующего прогнозирования данного изменения, необходимо выполнение многократных геодезических наблюдений через определенные интервалы времени. При этом наиболее актуальным вопросом является определение минимального движения деформационного пункта геодезической сети, которое может быть обнаружено в результате математической обработки результатов геодезических наблюдений.

На основании работы [3], значение такого движения в формате 2D может быть вычислено на основании уравнения (1)

$$D_{\text{MINH}} = t \cdot m = t \cdot \sqrt{2} \cdot \mu \sqrt{\cos^2 \alpha \cdot Q_x + \sin^2 \alpha \cdot Q_y} = 2 \cdot 0,65 \text{ см} = 1,3 \text{ см}, \quad (1)$$

где  $t$  – статистический коэффициент перехода от средней квадратической ошибки к предельным значениям (при доверительной вероятности  $\beta=0.95$  –  $t=2$ );  $\mu$  – средняя квадратическая ошибка единицы веса, которая на этапе оценки точности проекта сети принимается равной точности спутниковых определений  $\mu=m_{\text{GNSS}}$ ;  $\alpha$ -дирекционный угол среднего движения мобильных пунктов который на этапе оценки точности проекта принимается равным вектору направления с суши на Черное море;

$Q_x, Q_y$  – весовые коэффициенты, определяющие точность положения на местности определяемого мобильного или стабильного пункта.

Следовательно, запроектированная сеть может обеспечить минимальное движение определяемого пункта относительно исходного пункта и, следовательно, начала местной системы координат, в наиболее слабом месте сети величину, равную 1,3см.

СКО взаимного движения определяемых пунктов друг относительно друга, также определяются по формуле (1) и составляют для наиболее слабого места сети следующую величину (2)

$$D_{\text{МИН}} = t * m = 2 \cdot 0,32 = 0,6 \text{ см}, \quad (2)$$

Полученные значения оценки точности проекта целесообразно учесть при обозначении научно обоснованного интервала времени  $\Delta t$  для получения значимых результатов, определяющих реальные движения участков береговой линии.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Glavcheva, R., and Matova, M. 2014. 120th anniversary of seismology in Bulgaria: milestones, development and achievements. *Boletín de Geología*, 36 (2): 125-158.
2. Аврунев Е. И. Геодезическое обеспечение государственного кадастра недвижимости: монография. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 143 с.
3. Гиниятов И. А., Аврунев Е. И., Ильиных А. Л. Мониторинг земель и объектов недвижимости. Моделирование и оценивание параметров движений локального участка земной поверхности при ведении мониторинга земель [Текст] : метод. указания по выполнению лабораторной работы / И. А. Гиниятов, Е. И. Аврунев, А. Л. Ильиных. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 28 с.

© Е. И. Аврунев, М. И. Коваленко, В. Ю. Корбе, 2022