

География

УДК 528.48

ЕЖЕГОДНОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ
ГОСУДАРСТВЕННОГО МАСШТАБНОГО РЯДА РА
ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

О. С. ПЕТРОСЯН^{1*}, П. С. ЭФЕНДЯН^{2**}, Ф. Ф. АХОЯН^{2***},
В. М. МАНУКЯН^{3****}, В. А. АЛЕКСАНЯН^{4*****}

¹ Национальный университет архитектуры
и строительства Армении (НУАСА), Армения

² Кафедра картографии и геоморфологии ЕГУ, Армения

³ Кафедра региональной геологии и разведки полезных
ископаемых ЕГУ, Армения

⁴ Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Армения

Работа посвящена ежегодному обновлению топографических карт государственного масштабного ряда Республики Армения по космическим снимкам высокого разрешения для фотограмметрической обработки космических снимков, создания планово-высотных опорных точек опознавателей и привязки их к Национальной геодезической сети РА. Рассмотрены методы создания планово-высотных опорных точек спутниковых, полигонометрических 2-го разряда или теодолитных ходов высокой точности, а также создание высотной основы методом тригонометрического нивелирования. Оценивалась степень точности определения координат и высот точек опознавателей, созданных указанными геодезическими методами. Разработан примерный формат обработки данных точек наблюдения опознавательных точек, который делает процесс камеральных работ проще и доступнее. Представлен перечень материалов, которые необходимо предоставлять после завершения работы.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.1.001>

Keywords: digital topographic map, aerospace image, planimetric and elevation reference points, decoding of space images, photogrammetric processing, orthophotoplan, classifier.

Введение. Цифровые топографические карты государственного масштабного ряда 1 : 25 000 территории Республики Армения были созданы в 2012–2018 гг. с использованием программного пакета Microstation на основе космических снимков 2010–2011 гг. с разрешением 1 м. Для их ежегодного обновления необходимо:

* E-mail: hovsep-petrosyan@mail.ru
** E-mail: armgeoinform@mail.ru
*** E-mail: fred.akhoian@gmail.com

**** E-mail: v.manukyan@ysu.am
***** E-mail: valerialeksanyan49@mail.ru

- обновлять цифровые топографические карты масштаба 1 : 25 000 с использованием космических снимков с разрешением 0,5–0,8 м и давностью не более 12 месяцев. Цифровые карты соседних номенклатур должны быть согласованы друг с другом, каждая карта должна сопровождаться утвержденным печатным формуляром, в котором указаны параметры и даты съемки использованных космических снимков;
- составить список номенклатур требуемых территорий и перечень координат геодезических опорных пунктов, необходимых для привязки;
- оцифровывать карты с использованием цифрового картографического классификатора, который позволяет методом обобщения (генерализации) последовательно создавать топографические карты остальных масштабов.

Цель и задачи работы. Снабдить государственные органы управления РА, органы местного самоуправления и пользователей информационными данными дистанционного зондирования Земли, ортофотопланами и актуальными топографическими картами государственного масштабного ряда РА для развития экономики, обороны и безопасности страны.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) обработка материалов космической съемки высокого разрешения;
- 2) составление схемы геодезической привязки космических снимков;
- 3) создание базы планово-высотных точек опознавания в соответствии с разработанной схемой;
- 4) выполнение уравнивания планово-высотных точек фотограмметрическими методами;
- 5) создание ортофотопланов и мозаики территории;
- 6) проведение камеральных и полевых дешифрований космических снимков, создание цифровых топографических карт в требуемых масштабах в соответствии с классификатором.

Материалы и методы. Метод ежегодного обновления топографических карт государственного масштабного ряда РА с использованием космических снимков высокого разрешения разработан на основе действующих нормативно-технических документов [1–7], а также требований к геодезическим и картографическим работам, выполняемым с использованием современных технологий, изложенных в научных работах [8–10].

Результаты и обсуждения. Точки опознавания для геодезической привязки опираются на сеть из 12 постоянно действующих референц-станций национальной геодезической сети РА, работающих в реальном времени, на опорные пункты национальной и государственной геодезической сети, реперы и марки государственной высотной геодезической сети, а также на пункты сгущения сети и закрепления границ общин и областей.

Схема основы планово-высотных точек опознавания составлена на основе самых последних космических снимков территории РА.

С учетом сложной ситуации на территории республики, особенностей рельефа, отсутствия сотовой связи в некоторых районах и невозможности определения координат опознавательных точек с помощью GPS-приемников в лесных зонах определение координат 1500 опознавательных точек было выполнено с помощью программного обеспечения следующих геодезических методов:

- координаты 1000 опознавательных точек были определены с использованием постоянно действующей референц-станции и ровер-приемников;
- в районах без сотовой связи и приграничных зонах координаты опознавательных точек определялись с использованием базовой станции GNSS и ровер-приемников;
- в лесных и приграничных районах координаты опознавательных точек определялись полигонометрическими методами, полярным способом, угловыми прямыми засечками и линейными обратными засечками, а также высокоточными теодолитными ходами.

Плановое положение новых планово-высотных точек опознавания представлено на общем космическом снимке всей территории РА (см. рисунок). К схемам областей прилагаются таблицы с порядковыми номерами точек опознавания (пятизначные числа для идентификации и исключения повторов) и плановыми координатами, взятыми из космических снимков.

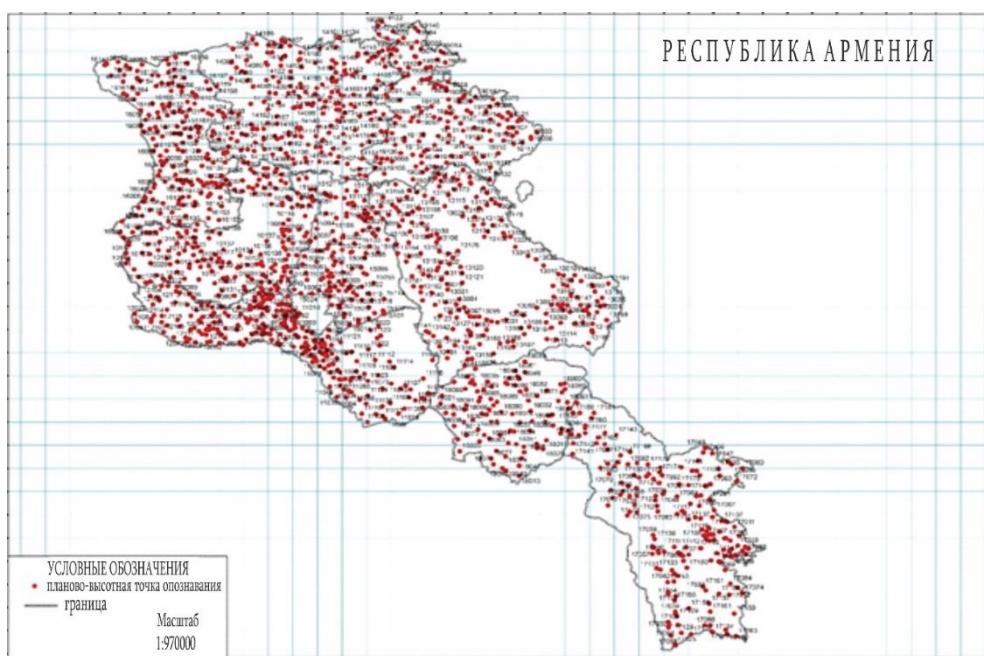


Схема создания точек опознавания на космических снимках территории РА.

Создание планово-высотных точек опознавания спутниковыми методами. Спутниковые методы представляют собой современные системы измерений. Метод построения и развития вспомогательных инженерно-геодезических сетей на основе спутниковых технологий является наиболее востребованным и распространенным.

При создании основы планово-высотных точек опознавания использовался приемник Leica GS18. После завершения полевых работ обрабатывались данные спутниковых наблюдений. К полевым наблюдениям добавлялась камеральная обработка:

- 1) проверка полевых журналов и составление подробной схемы привязки;
- 2) подготовка каталога координат и высотных отметок всех опознавательных точек.

Помимо наблюдения основной опознавательной точки на местности с помощью GPS-приемника, также определялась и наблюдалась вторая характерная опознавательная точка в радиусе до 100 м от основной. Это необходимо для тех случаев, когда основная опознавательная точка неразличима или не обеспечивает точной привязки при фотограмметрической обработке. В таких случаях используется вторая точка, которая также может служить контрольной.

Учитывая высокую точность модернизированной модели квазигеоида территории Республики Армения, которая соответствует требованиям нивелирования III и IV классов, а также технического нивелирования, высотные отметки планово-высотных опознавательных точек определяются методом перехода от геодезических высот к нормальным высотам с использованием уточненной модели квазигеоида с точностью до ± 8 см [8].

Создание планово-высотных точек опознавания полигонометрическими методами или теодолитными ходами. Был рассмотрен вариант определения координат планово-высотных опознавательных точек методом полигонометрии 2-го разряда или высокоточными теодолитными ходами с использованием электронного тахеометра Leica TS10 (точность 1").

При оценке степени точности полигонометрических ходов были приняты следующие параметры: средняя длина полигонометрических ходов равна $L = 5$ км, длина отдельных сторон около 500 м, количество сторон в ходе $n = 10$.

Расчет точности сети выполнен по техническим характеристикам полигонометрии 2-го разряда с использованием формулы:

$$M^2 = m_s^2 n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}, \quad (1)$$

где m_s – среднеквадратическая ошибка измерения линий, m_β – среднеквадратическая ошибка измерения углов, n – число сторон, L – длина хода, ρ – радианская мера в секундах.

При измерении электронными тахеометрами погрешность измерения длин сторон полигонометрического хода может составлять 5 мм на расстояниях до 500 м. При правильном учете влияния метеорологических факторов максимальная погрешность измерения расстояний составит 10 мм, а погрешность угловых измерений при полигонометрии 2-го разряда – 5".

С учетом того, что маршруты спутниковой съемки в основном следуют строго удлиненным траекториям, первый член уравнения (1) можно интерпретировать как продольный сдвиг полигонометрического хода (продольное смещение конечной точки t , а второй член – как поперечный сдвиг (поперечное смещение конечной точки u).

Исходя из принятых обозначений, можно записать:

$$t^2 = m_s^2 n; \quad u^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}. \quad (2)$$

Подставляя вышеуказанные числовые значения, получаем: $t = 32$ мм, $u = 126$ мм. Совокупное влияние ошибок угловых и линейных измерений составляет 131 мм.

Обеспечение высотных отметок планово-высотных опознавательных точек. В целом тригонометрическое нивелирование используется для определения высот пунктов геодезической сети съемки при горизонталях рельефа с сечением 2 и 5 м, а в горной и холмистой местности – при сечении 1 м. В качестве исходных пунктов для тригонометрического нивелирования использовались опорные пункты, высоты которых определялись методом геометрического нивелирования. Длина ходов тригонометрического нивелирования для топографических съемок не превышала 2, 6 и 12 км соответственно для рельефа с горизонталями через 1, 2 и 5 м.

Допустимые погрешности в ходах тригонометрического нивелирования и замкнутых полигонах определялись согласно формуле:

$$f_h = \frac{0,04L}{d\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где L – длина хода, м; n – количество линий хода или полигона.

При выполнении проектных работ для определения высотных отметок планово-высотных опознавательных точек полностью удовлетворял метод тригонометрического нивелирования, так как горизонтали цифровой топографической съемки масштаба 1:25 000 проводятся через 5 м.

Разработан стандартный формат обработки данных наблюдений опознавательных точек, в котором указываются марка прибора, период наблюдений, координаты и точность их определения в 3D-формате.

Пример стандартного формата. Опознавательная точка № 10001.

Наблюдения выполнены ровер-станцией Leica GS18 02.06.2024 в 11:35, высота антенны $h = 2$ м.

Координаты опознавательной точки: $x = 8457951,899$; $y = 4452868,775$; $h = 1153,304$.

Точность наблюдений: 3D = 0,027 м.

Предлагаемый метод, включающий наблюдения опознавательных точек с координатами, фотографиями и эскизами, позволяет выполнять фотограмметрические работы в камеральных условиях без необходимости дополнительных уточнений со стороны исполнителей, что значительно упрощает процесс выполнения фототриангуляции.

После завершения работ по определению координат планово-высотных опознавательных точек указанными геодезическими методами оформляется отчет о выполненных работах, который включает следующие материалы:

1) схемы и чертежи, содержащие типы закрепления планово-высотных опознавательных точек с привязкой к ситуации местности;

- 2) каталоги высотных отметок и координат планово-высотных опознавательных точек, определенных спутниковыми методами;
- 3) схемы полигонометрических и теодолитных ходов;
- 4) каталоги координат планово-высотных опознавательных точек, определенных полигонометрическими методами и теодолитными ходами;
- 5) каталоги высотных отметок планово-высотных опознавательных точек, определенных полигонометрическими методами и теодолитными ходами.

Заключение. Разработанный метод позволяет использовать данные планово-высотных опознавательных точек для фотограмметрической привязки спутниковых снимков и создания высокоточных ортофотопланов. В результате их цифровой обработки получаются обновленные топографические карты государственной масштабной серии Республики Армения. Применение современных спутниковых технологий, полигонометрических методов и тригонометрического нивелирования обеспечивает высокую точность определения координат и высот, что особенно важно для сложного рельефа и приграничных территорий страны. Это способствует повышению актуальности картографических данных, необходимых для эффективного управления государственными органами, укрепления обороны и развития экономики.

Поступила 04.04.2025

Получена с рецензии 28.04.2025

Утверждена 30.04.2025

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по построению геодезической сети в государственной спутниковой системе координат WGS-84. Ереван (1984) (на арм. языке).
2. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. Ереван (2007), 76 (на арм. языке).
3. Инструкция по топографическим съемкам масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000. Ереван (2002) (на арм. языке).
4. Инструкция по составлению, подготовке к изданию и оцифрованию топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000. Ереван (2007) (на арм. языке).
5. Условные знаки для топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000. Ереван (2007) (на арм. языке).
6. Центры геодезических пунктов и наружные металлические знаки. Основные параметры и размеры. Технические требования АСТ 226. Ереван (2002) (на арм. языке).
7. Материалы космической съемки для создания и обновления государственных топографических карт. Оценка качества, Основные требования. ГОСТ Р 70077–2022. Москва, Российский институт стандартизации (2022), 17.
8. Петросян О.С. Спутниковые и электронные технологии в геодезии. Монография. Ереван (2022), 360 (на арм. языке).
9. Авакян В.В. Прикладная геодезия: теория и практика инженерно геодезических работ. Монография. Москва (2018), 948.
10. Инженерная геодезия (под ред. Д. Ш. Михелева). Москва, Академия (2008), 342.

Հ. Ս. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Պ. Ս. ԷՖԵՆԴՅԱՆ, Ֆ. Ֆ. ԱԽՈՅԱՆ,
Վ. Մ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Վ. Ա. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ

**ԲԱՐՁՐ ԼՈՒԾԱԳԱՓԻ ՏԻԵԶԵՐԱՆԿԱՐՆԵՐՈՎ
ՀՀ ՊԵՏԱԿԱՆ ՄԱՍՉՏԱՐԱԿԱՑԻՆ ՇԱՐՔԻ ՏԵՂԱԳՐԱԿԱՆ
ՔԱՐՏԵԶՆԵՐԻ ԱՄԵՆԱՍՅԱՎԱՐ ԹԱՐՄԱԿԱՆ**

Ամփոփում

Աշխատանքում ներկայացված է բարձր լուծաչափի տիեզերանկարներով պետական մասշտարային շարքի տեղագրական քարտեզների ամենամյա թարմացման համար տիեզերանկարների ֆունդումենտրիալական եղանակով մշակման համար ճանաչման կետերի պլանաբարձունքային հիմք ստեղծումը և դրանց կապակցումը ՀՀ ազգային գեոդեզիական ցանցին: Դիտարկվել են ճանաչման կետերի պլանային հիմքի ստեղծման արբանյակային, պոլիգոնումետրիալական 2-րդ կարգի կամ բարձր ճշտության թեոդոլիտային ընթացքների ստեղծման եղանակները, ինչպես նաև բարձունքային հիմքի ստեղծման եղանակունաշափական նիվելիրացման եղանակը: Գնահատվել են նշված գեոդեզիական եղանակներով ստեղծվող ճանաչման կետերի կոռորդինատների և բարձրությունների որոշման ճշտության աստիճանը: Մշակվել է ճանաչման կետերի դիտարկման տվյալների մշակման օրինակելի ձևաչափ, որով ավելի հեշտ և մատչելի է դառնում կամերալ աշխատանքների կատարման գործընթացը: Տրված են աշխատանքների ավարտից հետո ներկայացվող նյութերի ցանկը:

H. S. PETROSYAN, P. S. EFENDYAN, F. F. AKHOYAN,
V. M. MANUKYAN, V. A. ALEKSANYAN

**ANNUAL UPDATE OF TOPOGRAPHICAL MAPS
OF THE STATE SCALE SERIES OF THE RA BASED
ON HIGH-RESOLUTION SATELLITE IMAGES**

Summary

This study focuses on the annual updating of the state scale series topographic maps of the Republic of Armenia using high-resolution satellite imagery for photogrammetric processing. It outlines methods for creating planimetric and elevation reference points for ground control, ensuring their alignment with the National Geodetic System of Armenia. The research explores various geodetic techniques, including satellite-based positioning, second-order polygonometry, high-precision theodolite traverses, and trigonometric leveling for elevation determination. The accuracy of coordinate and elevation measurements obtained through these methods is assessed. Additionally, a standardized data processing format for control points is proposed to streamline and enhance the efficiency of office-based photogrammetric work. A list of materials that must be submitted upon completion of the work is provided.