

*Е. Л. Касьянова¹, Д. Ш. Бахтиярова², Э. Р. Мирмахмудов^{2✉}, Р. М. Наврузов²,
Д. А. Абжапарова³*

О топографо - геодезическом обеспечении окрестности андижанского водохранилища

¹Сибирский Государственный Университет Геосистем и Технологий,
Новосибирск, Российская Федерация

²Национальный Университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

³Ошский Государственный Университет, г. Ош, Кыргызстан
e-mail: erkin_mir@mail.ru

Аннотация. В данной работе приведены графические и топографические данные окрестности Андижанского водохранилища для инженерно-строительных работ. Описаны климатические и антропогенные процессы в весенние и осенние периоды. Описываются первые геодезические работы по созданию планово-высотного обоснования исследуемого района. Произведен расчет координат углов рамок трапеций крупномасштабных топографических карт изучаемого региона. Выполнено геометрическое нивелирование I и II разряда вдоль трассы плотины с цифровым нивелиром. Для уточнения координат пунктов ГГС были выполнены полевые ГНСС измерения. Предлагается использовать CORS сеть для привязки к международной геодезической системе координат WGS84. Составлены рекомендации для улучшения координат пунктов ГГС окрестности водохранилища, привлекая современные цифровые технологии.

Ключевые слова: топографические карты, система координат, геодезические работы, нивелирование, ГНСС съемка

*E. L. Kasyanova¹, D. Sh. Bakhtiyarova², E. R. Mirmakhmudov^{2✉}, R. M. Navruzov²,
D. A. Abzhaparova³*

About topographical and geodetic support of the terrain near the andijan reservoir

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

³Osh State University of Uzbekistan, Osh, Ryrrgyzstan

Abstract. Graphic and topographic data of the vicinity of the Andijan reservoir are given in this article for geodetic support. Emergencies and phenomena associated with climatic and anthropogenic processes are noted. The first geodetic works on the creation of rectangular and vertical coordinates of the studied area are described. The coordinates of trapezoids of large-scale topographic maps of the studied area were calculated. Geometric leveling of the 1st and 2nd categories was carried out along the dam route using a digital level. GNSS measurements were performed in static mode to refine the coordinates of the SGN. Use the CORS network for referencing to the international geodetic system WGS84 is proposed here. Recommendations have been developed to improve the rectangular and vertical coordinates of the reservoir's vicinity using modern digital technologies.

Keywords: topographic maps, coordinate system, geodetic works, leveling, GNSS survey

Введение

Андижанское водохранилище (рис.1) является основным гидротехническим сооружением Ферганской долины и имеет важное значение для ирригации, мелиорации, водоснабжения населенных пунктов и орошения сельскохозяйственных угодий Республики Узбекистан и Кыргызстан. Оно построено на реке Карадарья между Андижанской и Ошской областями [1]. Питание реки снегово-ледниковое: максимальные расходы ее приурочены к летним, а минимальные, к зимним месяцам. Начиная с марта расходы быстро возрастают, так как поступают воды преимущественно снегового питания. В мае, во время таяния ледников, продолжается увеличение расходов, которые достигают максимума в июне. В этот период прибрежные участки реки подвержены селевым потокам, оползням и обвалам, создавая сложную обстановку в регионе.



Рис. 1. Андижанское водохранилище

Известно, что основную площадь окрестности водохранилища составляют предгорные массивы [5], отроги Ферганского и Алайского хребтов, где сосредоточены разнообразные формы рельефа, сформировавшиеся в результате длительных геофизических и геологических процессов. Значительный перепад абсолютных высот в сочетании с широтным простиранием горных хребтов и расчленённостью рельефа обуславливают высотную климатическую поясность данного района. По своему рельефу окрестность имеет предгорный и равнинный характер с неровной поверхностью (рис. 2). Активные тектонические процессы определяют высокую сейсмичность Ферганской депрессии [7]. До сих пор в этом районе происходят землетрясения, возникают оползни, обвалы и селевые потоки [10]. Основные проблемы, которые возникли в последнее время – это климатические и антропогенные процессы, непредсказуемые изменения уровня водной поверхности, отсутствие уточненных топографических и батиметрических карт.



Рис 2. Обзорная схема района Андижанского водохранилища

Первые геодезические работы исследуемой территории были выполнены специалистами аэрогеодезического предприятия №12 главного управления геодезии и картографии в 1960-1970 годы. Основная задача заключалась в создании государственной геодезической сети (ГГС) и сетей сгущения для инженерно-изыскательских работ [3].

В настоящее время топографо-геодезическое обеспечение включает несколько взаимосвязанных компонентов: традиционную геодезическую сеть, топографические карты различных масштабов, данные дистанционного зондирования Земли [13], результаты GPS-наблюдений и батиметрические материалы. Геодезическая сеть содержит пункты триангуляции I–III класса, нивелировочные репера I–IV класса и опорные точки съёмочного обоснования [2]. Следует отметить, что в течение почти 40 лет геодезическая сеть не подвергалась повторному измерению и обновлению. С тех пор рельеф прибрежной зоны, береговая линия и состояние пунктов геодезической сети претерпели существенные изменения. Если рассматривать систему координат на территории Средней Азии [9], то становится очевидным о необходимости уточнения планово-высотной основы и редактирования топографических карт [4].

В начале XX века на территории Средней Азии была введена система координат СК32, редуцированная на поверхность референц-эллипсоида Бесселя (1841). Позднее, был разработан более точный референц-эллипсоид Красовского, параметры которого легли в основу системы координат СК42, а также при составлении топографических карт. СК42 использовалась на протяжении 60 лет и по настоящее время используется во многих организациях. Что касается топографических карт различного масштаба, то они были составлены в проекции Гаусса-Крюгера с шестиградусной картографической зоной. Высоты были вычислены относительно Кронштадтского футштока в Балтийской системе высот.

С внедрением глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) возникла необходимость трансформации координат из системы координат СК42 в международную геодезическую систему WGS-84, что потребовало уточнения параметров математической основы топографических карт.

Целью данного исследования является анализ топографо-геодезического обеспечения и выявление оптимальных путей повышения точности планово-высотного обоснования с использованием цифровых технологий.

Для реализации поставленной цели необходимо произвести анализ физико-географических характеристик и топографических данных исследуемой территории.

Методика и материалы

Исходными данными для выполнения геодезических работ являются топографические карты масштаба 1:500 000 и 1:100 000, а также графические материалы для исследуемой территории [6].

Территория Андижанского водохранилища расположена между географическими широтами $40^{\circ}42' - 40^{\circ}50'$ и долготами $73^{\circ}00' - 73^{\circ}14'$. Исходной номенклатурой топографических карт данной территории является лист миллионного масштаба К-43. В масштабе 1 : 100 000 окрестность покрывает пять листов трапечей: К-43-099, К-43-110, К-43-111, К-43-112 и К-43-123, при этом основной лист К-43-111 полностью охватывает акваторию водохранилища (рис. 3).

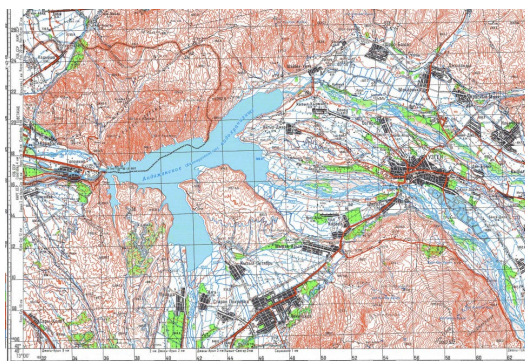


Рис. 3. Фрагмент топографической карты масштаба 1:100 000 К-43-111

Исследуемая территория на топографической карте масштаба 1 : 50 000 имеет номенклатуру К-43-111-В. Однако в открытом доступе такие материалы еще не доступны (рис. 4), а геодезические и прямоугольные координаты, дирекционные углы, азимуты и ориентирные направления пунктов ГГС приводятся в специальном каталоге.

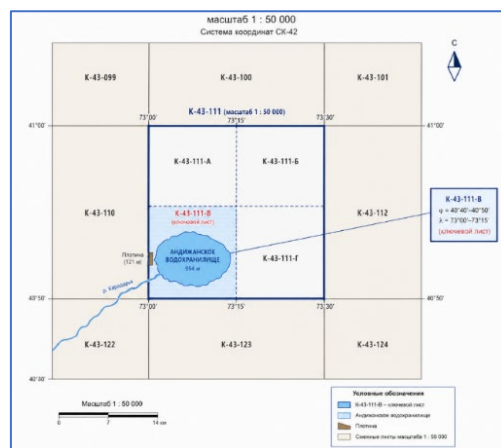


Рис. 4. Расположение Андижанского вдхр. 1 : 50 000

Ниже приведена (Таб.1) сводка номенклатурных листов топографических карт водохранилища от миллионного до 1 : 50 000 масштаба.

Таблица 1. Сводка номенклатурных листов

Масштаб	Номенклатура листов	Листов	Охват территории
1 : 1 000 000	К-43	1	Ферганская долина
1 : 500 000	К-43-В	1	Восточная часть долины
1 : 200 000	К-43-XXXV К-43-XXXVI	2	Район водохранилища
1 : 100 000	К-43-099, К-43-110, К-4111, К-43-112, К-43-123	5	Окрестности водохранилища
1 : 50 000	К-43-111-А, К-43-111-Б, К-43-111-В, К-43-111-Г	4	Прибрежная зона
1 : 25 000	Отдельные листы	16	Зона гидроузла

Рекогносцировка геодезических пунктов производилась с применением электронных крупномасштабных топографических карт, мобильных навигаторов и космических снимков Google Earth Map.

Для высотной составляющей было использовано геометрическое нивелирование I и II разряда [14] с цифровым нивелиром Trimble DiNi 03 (№ 738966, Германия) и парой геодезических инварных реек. Порядок наблюдений на нечётных станциях – BFFB, на чётных – FBFB. Нивелирование I разряда выполнялось одним замкнутым ходом между фундаментальными реперами по гребню верхнего бьефа плотины; нивелирование II разряда – двумя замкнутыми ходами по маркам нижнего бьефа. Схема нивелирных ходов приведена на рис. 5.



Рис. 5. Схема нивелирования

Для уточнения координат пунктов ГГС в 2024 году были выполнены полевые измерения с использованием двухчастотного многоканального GNSS-приёмника. Измерения проводились в режиме статики не менее 60 минут на каждом пункте. В качестве исходных данных использовались координаты действующих референционных станций CORS сети Узбекистана (рис.6).



Рис.6. Схема мониторинга водохранилища со станциями CORS

Результаты

Обработка полевых материалов выполнялась в Microsoft Excel и CREDO-DAT, которая включала введение поправок за температурные деформации инварных реек, составление ведомостей высот пунктов и оценку точности по результатам измерений.

Выполнение ГНСС съёмки в предгорных районах сопряжено со значительными техническими трудностями и финансовыми затратами. Особую сложность

представляет поиск и рекогносцировка пунктов, расположенных в труднодоступных районах. Тем не менее, полевые геодезические работы в этих местах, где расположены особо ответственные гидротехнические сооружения, выполняются с соблюдением всех нормативных требований и инструкций. Поскольку по данной территории проходят межгосударственные границы, ирригационные каналы и установлены гидротехнические сооружения, роль спутниковых геодезических измерений приобретает особый статус. Такие работы являются важными и актуальными для уточнения координат пунктов геодезической сети и математической основы топографических карт.

Обработка результатов ГНСС измерений выполнялась в программном комплексе Leica Geo Office [11]. Пересчёт координат из системы WGS-84 [12] в СК42 производился по параметрам трансформирования методом Гельмерта. Ниже в таблице 2 приведены значения разности геоцентрических координат между системами координат СК42 и WGS84 для трех пунктов, расположенных на территории Республики Узбекистан. Были использованы классические пункты ГГС (вблизи водохранилища), репера Центрально-Азиатской Геодинамической сети (CATS, MADA, гора Майданак) и международную IGS станцию KIT3 в Китабе.

Таблица 2. Разность между двумя системами координат по методу Гельмерта

DATUM	$\Delta X(\text{м})$	$\Delta Y(\text{м})$	$\Delta Z(\text{м})$	Пункт	Территория
СК42- WGS84	+22	-125	-88	IGS KIT3	Узбекистан
СК42- WGS84	+23	-124	-89	ГГС, вдхр	Узбекистан
СК42- WGS84	+25	-123	-80	CATS, MADA	Узбекистан

Обсуждение

Плотина является единственным гидросооружением в Узбекистане, которая требует непрерывного высокоточного геодезического мониторинга за деформацией. Значительная часть пунктов геодезической сети утрачена или не проверялась десятилетиями. Таким образом, возникает необходимость в комплексном обследовании и обновлении всего топографо-геодезического обеспечения данного района с применением современных спутниковых систем.

В перспективе целесообразно разработать комплексную программу геодезического мониторинга водохранилища, учитывая наземные геодезические измерения, данные спутниковой навигации и результаты ДЗЗ.

Заключение

Приведённые данные об окрестности водохранилища предъявляет принципиально особые требования к точности и периодичности геодезического контроля. Береговая линия, рельеф прибрежной зоны и состояние пунктов ГГС претерпели существенных изменений, которые не отражены в действующих картографических материалах. Выполненные в 2024 году контрольные ГНСС-измерения подтвердили, что

координаты ряда опорных пунктов в системе СК42 не соответствуют современным требованиям точности и нуждаются в переопределении. Имеющиеся пункты ГГС, данные ДЗЗ и результаты ГНСС-наблюдений не приведены к единой актуальной системе координат, что создаёт серьёзные трудности при построении пространственной цифровой модели местности для района водохранилища.

Естественно, такое состояние привело к тому, что возникает необходимость в реализации следующих рекомендаций:

- провести рекогносцировку пунктов ГГС окрестности водохранилища с применением ГНСС-технологий и восстановление утраченных знаков;
- выполнить новую крупномасштабную топографическую съёмку прибрежной зоны в масштабе 1 : 5 000 с применением аэрофотосъёмки с БПЛА;
- создать единую цифровую модель рельефа (ЦМР) в системе WGS-84 с трансформацией в национальную систему СК42 на основе совместной обработки данных SRTM, нивелировочных ходов и ГНСС измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вишневский Н. Водохранилище на Кара-Дарье. “Гидротехника и мелиорация”, 1975, №8.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990.
3. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1 : 5 000 – 1 : 500 (ГКИНП-02-033-82). – М.: Недра, 1982.
4. Куштаров Б.А. Оценка точности геодезических сетей Ферганской долины. – Ташкент: ТГТУ, 2005. – 180 с.
5. Медведев В.Д. Андижанское водохранилище (краткий очерк строительства). Ташкент:- Узбекистан, 1981. – 124с.
6. ООО «Гидротехмониторинг». Технический отчёт № I MG-1-25 о результатах инженерно-геодезических наблюдений на плотине Андижанского водохранилища. – Ташкент, 2025.
7. Сейсмичность районов строительства Киргизии. Фрунзе. “Ил”. 1967.
8. ШНҚ 1.02.18-09. Геодезическая опорная сеть. Свод правил.–Ташкент: Узгеодезкадастр, 2009.
9. Mirmakhmudov E. Modification of the reference frame of Uzbekistan topographic maps based on the GNSS. Coordinates.V. XIII, № 04, April 2017.P.32-37.
10. Mirmakhmudov E., Abzhaparova D., Tashbaltaeva Sh., Mamadaminova B., Hakimova M. Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan. E3S Web of Conferences 590, 03007 (2024) GI 2024. Pp 1-8.
11. Leica Geo Office Software. User Manual. Version 8.4.– Heerbrugg: Leica Geosystems, 2018.
12. Reigber C. et al. GPS constraints on the distribution of deformation in Central Asia // Terra Nostra. – 1999. – № 127.
13. Shukina O. et al. Using digital photogrammetry to create large-scale topographic maps in Uzbekistan // International Journal of Geoinformatics. 2022. Vol. 18. № 1.
14. Trimble DiNi 03 Digital Level. User Guide. – Sunnyvale: Trimble Navigation, 2012.

*© Е. Л. Касьянова, Д. Ш. Бахтиярова, Э. Р. Мирмахмудов, Р. М. Наврузов,
Д. А. Абжапарова, 2026*