

Романюк Юлия Анатольевна  
Доцент, Ташкентского архитектурно-строительного университета.  
Хамраев Зиёуддин Аброр ўғли  
Студент, Ташкентского архитектурно-строительного университета.

## МОНИТОРИНГ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АХАНГАРАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация:** В статье проведён мониторинг динамики площади Ахангаранского водохранилища (Ташкентская область, Узбекистан) с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) спутниковой миссии Sentinel-2 (Multi-Spectral Instrument, MSI) и нормализованного индекса разности воды  $NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)$ . Исследование охватывает ежемесячные данные за 2021 и 2025 годы, полученные через платформу Copernicus Data Space Browser.

**Ключевые слова:** водные объекты, Sentinel-2, спектральные каналы, NDWI, дистанционное зондирование, мультиспектральный мониторинг, ретроспективный анализ, Ахангаранское водохранилище, цифровые технологии.

Romanyuk Yulia Anatolevna  
Associate professor, Tashkent University of Architecture and Civil  
Engineering.  
Hamrayev Ziyouddin Abror o'g'li  
Student, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering.

## REMOTE SENSING MONITORING OF THE OHANGARON RESERVOIR IN TASHKENT REGION

**Abstract:** The article presents a monitoring study of the area dynamics of the Akhangaran Reservoir using remote sensing (RS) data. The research is based on satellite imagery from the Sentinel-2 mission (Multi-Spectral Instrument, MSI) and the normalized difference water index  $NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)$ . The study covers monthly data for the years 2021 and 2025 obtained via the Copernicus Data Space Browser platform.

**Keywords:** water bodies, Sentinel-2, spectral channel, NDWI, remote sensing, multispectral monitoring, retrospective analysis, Akhangaran reservoir, digital technologies.

**Введение.** Водные ресурсы играют ключевую роль в социально-экономическом развитии регионов, особенно в условиях нарастающих

климатических изменений и антропогенного воздействия. Эффективное управление водными объектами требует регулярного мониторинга их состояния и динамики. Одним из таких водных объектов является Ахангаранское водохранилище, расположенное в северо-восточной части Узбекистана, которое обеспечивает водоснабжение, ирригацию и гидроэнергетику. Ахангаранское водохранилище расположено у восточной окраины г. Ангрен, имеет треугольную форму, глухую каменно-земляную плотину высотой 100 м, длиной 1350 м и общий объём 260 млн м<sup>3</sup>. Водоём обеспечивает орошение Ахангаранского, Уртачирчикского, Пскентского и Букинского районов, а также гидроэнергетику региона.

В Республике Узбекистане в последние годы осуществляются ряд реформ по эффективному использованию земельных и водных ресурсов, совершенствованию системы управления водными ресурсами, модернизации и развитию объектов водного хозяйства.

Вместе с тем из года в год усиливается дефицит водных ресурсов в связи с глобальным изменением климата, ростом численности населения и отраслей экономики, их растущей потребностью в воде.

Среднегодовое потребление воды составило от 51 до 53 млрд кубометров, в том числе 97,2% из рек и саев, 1,9% из коллекторных сетей и 0,9% из подземных источников, что сократилось на 20% по сравнению с выделенным лимитом водозабора [1].

В целях обеспечения устойчивого водоснабжения населения и всех отраслей экономики республики в 2020 - 2030 годах, улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель, широкого внедрения рыночных принципов и механизмов, а также цифровых технологий в водное хозяйство, обеспечения надежной работы водохозяйственных объектов и повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов: в соответствии с Указом Президента Республики Узбекистан от

10.07.2020 г. № УП-6024 "Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 - 2030 годы" одним из приоритетных направлений определено "совершенствование и обеспечение прозрачности системы прогнозирования, учета и формирования базы данных водных ресурсов"[1].

Учитывая это, в данной статье проведен мониторинг на основе данных дистанционного зондирования водных объектов, расположенных в Ахангаранского районе.

Актуальность темы исследования. На фоне глобальных климатических изменений, роста потребления водных ресурсов и увеличения антропогенной нагрузки, обеспечение устойчивого управления водными объектами становится одной из приоритетных задач для многих стран, включая Узбекистан. Ахангаранское водохранилище играет ключевую роль в водоснабжении, ирригации и энергетике региона, и любые изменения его площади могут существенно повлиять на социально-экономическое развитие прилегающих территорий.

В этих условиях необходимы современные, точные и оперативные методы наблюдения за состоянием водоёмов. Одним из наиболее эффективных инструментов мониторинга является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), позволяющее с высокой точностью отслеживать изменения водной поверхности во времени.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью внедрения инновационных технологий в практику водного мониторинга Узбекистана, что также соответствует целям национальных стратегий в сфере устойчивого водопользования и цифровизации.

Цели и задачи. При мониторинге водных объектов мы используем данные спутника Sentinel-2, работающего на системе пассивной съёмки.

Sentinel-2 – это миссия по наблюдению за Землей в рамках программы Copernicus, которая получает оптические изображения с

высоким пространственным разрешением (от 10 м до 60 м) над сушей и прибрежными водами (Рисунок 1). Миссии Sentinel-2А и Sentinel-2В присоединятся к третьему спутнику Sentinel-2С в 2024 году и Sentinel-2D в будущем, в конечном итоге заменив спутники А и В соответственно.

Миссия поддерживает такие сервисы и приложения, как сельскохозяйственный мониторинг, управление чрезвычайными ситуациями, классификация земельного покрова и качество воды.

Sentinel-2 разработан и эксплуатируется Европейским космическим агентством. Спутники были произведены в Фридрихсхафене, Германия, консорциумом под руководством Airbus Defence and Space [5].

Sentinel-2 bands	Central wavelength ( $\mu\text{m}$ )	Resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Vegetation red edge	0.705	20
Band 6 – Vegetation red edge	0.740	20
Band 7 – Vegetation red edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Vegetation red edge	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

**Рисунок 1. Список спутниковых спектральных каналов Sentinel-2 [10].**

Каждый спутник Sentinel-2 имеет один прибор, Multi-Spectral Instrument (MSI), который имеет 13 спектральных каналов в видимом/ближайшем инфракрасном (VNIR) и коротковолновом инфракрасном спектральном диапазоне (SWIR). Пространственный доступ 10 м (33 фута) в пределах 13 диапазонов позволяет продолжить

сотрудничество с миссиями SPOT-5 и Landsat-8, при этом основное внимание уделяется классификации земель.

Разработанный и построенный во Франции Airbus Defense and Space, MSI использует концепцию push-брона, и его конструкция была обусловлена высокими требованиями к 290 км (180 миль) полосы зрения, наряду с высокими геометрическими и спектральными характеристиками, необходимыми для измерений. Он имеет апертуру 150 мм (6 дюймов) и трехзеркальную анастигматическую конструкцию с фокусным расстоянием около 600 мм (24 дюйма); поле зрения составляет примерно 21° на 3,5°. Зеркала имеют прямоугольную форму и изготовлены из карбида кремния по аналогичной технологии [5].

На основе данных спутника Sentinel-2 создаются индексные карты, с помощью которых анализируются водные объекты. Для определения водных объектов по космическим мультиспектральным снимкам мы будем использовать индекс NDWI.

Нормализованный индекс разности воды (Normalized Water Difference Index, NDWI) – это индекс, используемый для идентификации водных объектов на спутниковых или аэрокосмических снимках. NDWI основан на разнице в поглощении света в ближнем инфракрасном (NIR) и видимом зеленом (Green) диапазонах электромагнитного спектра [8].

**Таблица 1.**

***Формула и индекс, используемый при определении водных объектов***

<b>Индекс</b>	<b>Формула</b>	<b>Диапазон значение</b>
Normalized Difference Water Index	$NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)$	Вода имеет положительный знак

Данные спутника Sentinel-2 можно скачать по ссылке <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>. В целях выявления и мониторинга водных объектов на исследуемой территории мы будем собирать данные ежемесячно за 2021 и 2025 год. Для определения водных объектов в

спектральных каналах спутниковых данных используем формулы, приведенные в таблице 1.

Метод дистанционного зондирования на основе открытых и бесплатных данных Sentinel-2 (программа Copernicus) позволяет полностью отказаться от дорогостоящих наземных экспедиций, аэрофотосъёмки и установки стационарных датчиков. Экономия достигается за счёт:

- нулевой стоимости исходных спутниковых данных и минимальных затрат на обработку (программное обеспечение с открытым кодом);
- ежемесячного мониторинга без выезда специалистов на местность (экономия на транспорте, топливе, командировочных расходах и рабочем времени);
- оперативного получения объективных данных о площади и динамике водоёма, что снижает риски перерасхода или недоиспользования воды.

В условиях дефицита водных ресурсов Узбекистана (среднегодовое потребление 51–53 млрд м<sup>3</sup> при сокращении на 20 % от лимита) точный мониторинг даёт возможность оптимизировать ирригацию в четырёх туманах, повысить эффективность гидроэнергетики и предотвратить потери воды. По оценкам аналогичных исследований, внедрение ДЗЗ сокращает затраты на мониторинг водохранилищ на 70–90 % по сравнению с традиционными методами и косвенно увеличивает доходы сельского хозяйства за счёт более точного планирования полива (рост урожайности на 10–15 % при экономии воды).

Результаты и их обсуждение.

В результате мы собрали данные за 2021 и 2025 год в исследуемом нами регионе.

*Таблица 2.*

**Определение площади Ахангаранского водохранилища индексе NDWI  
(в разрезе месяцев 2021 и 2025 года)**

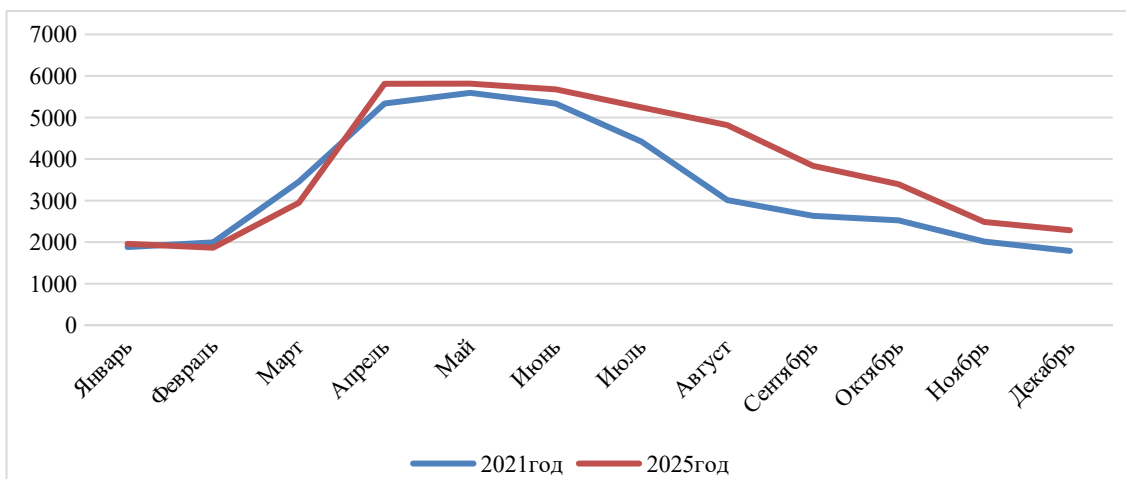
№	Дата съёмки	Площадь 2021года	Площадь 2025года	Разница	Примечание
1	Январь	1882.738	1958.377	-75.639	2021<2025
2	Февраль	1996.766	1865.685	131.081	2021>2025
3	Март	3454.044	2946.484	507.56	2021>2025
4	Апрель	5338.125	5812.192	-474.067	2021<2025
5	Май	5592.551	5814.191	-221.64	2021<2025
6	Июнь	5334.424	5678.530	-344.106	2021<2025
7	Июль	4419.400	5243.800	-824.4	2021<2025
8	Август	3012.765	4816.168	-1803.403	2021<2025
9	Сентябрь	2633.471	3837.039	-1203.568	2021<2025
10	Октябрь	2525.900	3394.560	-868.63	2021<2025
11	Ноябрь	2014.643	2486.813	-472.17	2021<2025
12	Декабрь	1788.285	2288.169	-499.884	2021<2025

Ахангаранского водохранилище — Водохранилище на Ахангаране расположено у восточной окраины города Ангрен, выше угольного разреза. Водоём имеет приблизительно треугольную, узкую вытянутую форму с расширением к плотине. Высота уреза воды при заполнении составляет около 1080 м [3].

В юго-восточной части водохранилища располагается глухая каменно-земляная плотина с наклонным ядром длиной 1350 м, шириной (по верху) 12 м [3] и максимальной высотой 100 м. Общий объём резервуара составляет 260 млн м [3].

За водохранилищем река Ахангаран канализирована и до Джигиристана течёт под землёй. Подземный участок Ахангарана отходит вбок от юго-западного берега водоёма [3].

Накапливаемые в резервуаре воды служат для орошения в Ахангаранском, Уртачирчикском, Пскентском и Букинском туманах.



**Рисунок 2. Диаграмма площади Ахангаранского водохранилища, определенная по индексу NDWI за 2021 и 2025год.  
(Рисунок сделано автором)**

**17.01.2021**



**21.04.2021**



**30.07.2021**



**18.10.2021**



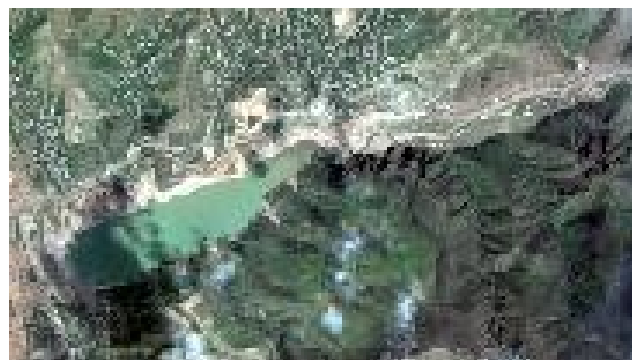
**Рисунок 3. Карта Ахангаранского водохранилища, созданная путем синтеза RGB каналов на основе данных спутника Sentinel-2, по состоянию на 2021 год. (Рисунок сделано автором)**

**01.01.2025**

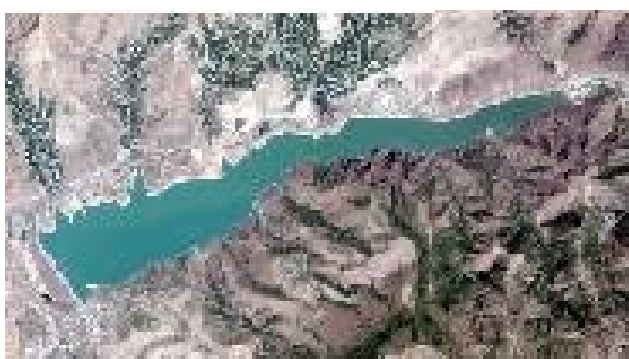
**05.04.2025**



**29.07.2025**



**17.10.2025**



**Рисунок 4. Карта Аханганского водохранилища, созданная путем синтеза RGB каналов на основе данных спутника Sentinel-2, по состоянию на 2025 год. (Рисунок сделано автором)**



**17.01.2021**



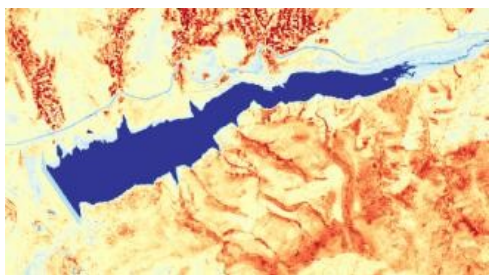
**01.01.2025**



**21.04.2021**



**05.04.2025**



**30.07.2021**



**29.07.2025**



**18.10.2021**



**17.10.2025**

**Рисунок 5. Карты индекса NDWI, используемый для определения площади Ахангаранского водохранилища по состоянию на июнь. (Рисунок сделано автором)**

Анализ данных показал, что площадь Ахангаранского водохранилища в январе 2021 года составила 18.86 км [2], а в январе 2025 года составила 19.57 км [2], самый высокий показатель за 2021 года можно увидеть в мае - 55.98 км [2], а за 2025 года самый высокий показатель можно увидеть в месяце апреле – 58.15 км [2]. В 2021 году площадь не сократился. В 2025 году с января до февраля показатель 18.61 км [2].

Увеличение площади водной поверхности в отдельные месяцы, особенно в весенний период (март–май), может быть обусловлено несколькими факторами. Один из ключевых — сезонное таяние снегов в горах, питающих реку Ахангаран, которые являются основными источниками водоснабжения водохранилища. Весной и в начале лета объём притока значительно возрастает, что приводит к увеличению объема воды и, соответственно, расширению площади водохранилища. А также рост площади поверхности Ахангаранского водохранилища в 2025 году по сравнению с 2021 годом может быть обусловлен совокупностью

природных и антропогенных факторов.

1. Климатические условия:

В 2025 году могли наблюдаться повышенные осадки в зимне-весенний период, приводящие к более интенсивному снеготаянию в горах Заалайского хребта. Это увеличивает приток воды в водохранилище за счет реки Ахангаран.

2. Оптимизация водного режима:

Проведение мероприятий по улучшению управления водными ресурсами и режимом эксплуатации гидросооружений также могло повлиять на увеличение объема и площади водной поверхности.

Метод имеет высокое социальное значение, поскольку обеспечивает устойчивость водоснабжения населения, сельского хозяйства и энергетики региона. Он напрямую способствует выполнению национальных стратегий по цифровизации водного хозяйства, повышению прозрачности учёта водных ресурсов и адаптации к климатическим изменениям. Для жителей Ахангаранского района, города Ангрен и прилегающих территорий это означает стабильное орошение сельхозугодий, надёжную работу ГЭС, снижение рисков засухи и наводнений, а также улучшение экологической обстановки. Внедрение таких технологий укрепляет продовольственную и энергетическую безопасность страны, повышает качество жизни населения и соответствует целям устойчивого развития Республики Узбекистан.

Методика может быть рекомендована для систематического мониторинга всех крупных водохранилищ Узбекистана, что позволит своевременно выявлять изменения, прогнозировать водный баланс и принимать обоснованные управленческие решения.

**Вывод.** Проведённый мониторинг на основе данных Sentinel-2 и индекса NDWI показал, что площадь Ахангаранского водохранилища в 2025 году в целом превышает показатели 2021 года. Максимальная площадь в 2021 году зафиксирована в мае (5592,551 га  $\approx$  55,93 км<sup>2</sup>), в

2025 году — в апреле (5812,192 га  $\approx$  58,12 км<sup>2</sup>). В январе 2025 года площадь составила 1958,377 га против 1882,738 га в 2021 году (прирост 75,639 га). Наибольшее увеличение отмечено в августе 2025 года (+1803,403 га).

Увеличение водной поверхности обусловлено сочетанием природных и антропогенных факторов: повышенными зимне-весенними осадками и более интенсивным снеготаянием в горах Заалайского хребта, а также оптимизацией режима эксплуатации гидросооружений и улучшением управления водными ресурсами в рамках государственных программ.

### **Список использованной литературы**

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 10.07.2020 № УП-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы».

2. Постановление Президента Республики Узбекистан от 24.02.2021 № ПП-5005 «Об утверждении Стратегии управления водными ресурсами и развития сектора ирригации в Республике Узбекистан на 2021–2023 годы».

3. Катаев М. Ю., Бекеров А. А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады ТУСУР. — 2017. — № 4.

4. Романюк Ю. А. Применение данных космических съемок для ведения мониторинга водохранилищ в Республике Узбекистан // Теория и практика современной науки. — 2024. — № 12 (114).

5. Sentinel-2 // Wikipedia : свободная энциклопедия. — URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>

6. Sentinel-2 // European Space Agency. — URL: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2)

7. Виды водных индексов и их применение. — URL:  
<https://innoter.com/articles/vidy-vodnykh-indeksov-i-ikh-primenenie/>
8. Copernicus Data Space Browser. — URL:  
<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
9. Ахангаранское водохранилище // Wikipedia : свободная энциклопедия. — URL:  
[https://ru.wikipedia.org/wiki/ахангаранское\\_водохранилище](https://ru.wikipedia.org/wiki/ахангаранское_водохранилище)
10. Sentinel-2 band characteristics. — URL:  
[https://www.researchgate.net/figure/Sentinel-2-band-characteristics\\_tbl1\\_314119510](https://www.researchgate.net/figure/Sentinel-2-band-characteristics_tbl1_314119510)