



**BUXORO VILOYATI TO'DAKO'L SUV OMBORINI MASOFADAN
ZONDLASH ORQALI MONITORING QILISH**

Xalilov Doniyor Baxtiyor o'g'li

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti assistenti.

E-mail: xdb260894@gmail.com

+998 (99) 873-99-96

Mirzabaev Xusan Ikromovich

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti talabasi.

E-mail: khusanmirzabaev@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada 2020 va 2024 yillardagi masofadan zondlash ma'lumotlaridan foydalangan holda To'dako'l suv ombori maydonini kuzatish ko'rib chiqiladi. Sentinel-2 sun'iy yo'ldosh tasvirlari asosiy ma'lumot manbai sifatida ishlatilgan va suv yuzasini ajratish uchun normallashtirilgan farq suv indeksi (NDWI) ishlatilgan. O'tkazilgan qiyosiy tahlil suv omborining belgilangan davrdagi o'zgarishini aniqlashga imkon berdi. Natijalar suv resurslarini baholash, suv omborini boshqarish va iqlim va antropogen omillarning ta'sirini o'rganish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: suv obyektlari, Sentinel-2, spektr kanallari, NDWI.

**МОНИТОРИНГ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ТУДАКУЛЬСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА БУХАРИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Xalilov Doniyor Baxtiyor o'g'li

Ассистент, Ташкентского архитектурно-строительного

университета. E-mail: xdb260894@gmail.com

+998 (99) 873-99-96

Студент Ташкентского архитектурно-строительного университета



Мирзабаев Хусан Икрамович

E-mail: khusanmirzabaev@gmail.com

+998(93) 371-26-04

Аннотация: В данной статье рассматривается мониторинг площади Тудакуль водохранилища с использованием данных дистанционного зондирования за 2020 и 2024 годы. В качестве основного источника данных использовались спутниковые изображения Sentinel-2, а для выделения водной поверхности применялся нормализованный разностный водный индекс (NDWI). Проведённый сравнительный анализ позволил определить изменения в площади водохранилища за указанный период. Полученные результаты имеют практическую значимость для оценки водных ресурсов, управления водохранилищем и изучения влияния климатических и антропогенных факторов.

Ключевые слова: водные объекты, Sentinel-2, спектральные каналы, NDWI.

REMOTE SENSING MONITORING OF THE TUDAKULSKY RESERVOIR IN BUKHARA REGION

Khalilov Doniyor Bakhtiyor ugli

Assistant, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering.

Email: xdb260894@gmail.com

+998 (99) 873-99-96

Mirzabaev Xusan Ikromovich

Student, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering.

E-mail: khusanmirzabaev@gmail.com

+998(93) 371-26-04

Abstract: This article examines the monitoring of the Tudakul reservoir area using remote sensing data for 2020 and 2024. Sentinel-2 satellite images were used as the main data source, and the normalized difference water index (NDWI) was used to



isolate the water surface. The comparative analysis made it possible to determine the changes in the reservoir area over the specified period. The results obtained are of practical importance for assessing water resources, reservoir management, and studying the effects of climatic and anthropogenic factors.

Keywords: water bodies, Sentinel-2, spectral channel, NDWI.

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 Тудакуль водохранилище, расположенное в юго-восточной части Узбекистана, которое обеспечивает водоснабжение, ирригацию и гидроэнергетику.

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 Кашкадарьинской области.

Актуальность темы исследования.

В условиях глобальных климатических изменений, роста потребления воды и усиления антропогенного воздействия обеспечение устойчивого управления водными ресурсами становится критически важной задачей для многих государств, включая Узбекистан. Тудакульское водохранилище имеет стратегическое значение для региона — оно обеспечивает водоснабжение, ирригацию, производство электроэнергии, а также поддерживает природные экосистемы. Изменения площади его водной поверхности могут оказывать существенное влияние на сельское хозяйство и водные ресурсы, что требует регулярного и точного мониторинга.

В связи с этим возрастает необходимость применения современных технологий, позволяющих эффективно отслеживать состояние водных объектов. Одним из наиболее результативных методов является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), которое предоставляет возможность наблюдать за изменениями водной поверхности в динамике и с высокой точностью.

Актуальность данного исследования определяется потребностью во внедрении инновационных подходов к мониторингу водоёмов в Узбекистане. Это полностью соответствует приоритетам национальных стратегий, направленных на устойчивое водопользование и цифровую трансформацию, а также способствует более эффективному управлению водными ресурсами на региональном уровне.

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 (μm)	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

(источник: https://www.researchgate.net/figure/Sentinel-2-band-characteristics_tbl1_314119510)

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-брома, 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 $3,5^\circ$. 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

Индекс	Формула	Диапазон значение
--------	---------	----------------------



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 2020 и 2024 год. Для определения водных объектов в спектральных каналах спутниковых данных используем формулы, приведенные в таблице 1.

Результаты и их обсуждение.

В результате мы собрали данные за 2020 и 2024 год в исследуемом нами регионе.

Таблица 2. Определение площади Тудакульского водохранилища индексе NDWI

(в разрезе месяцев 2020 и 2024 года)

№	Дата съёмки	Площадь 2020года	Площадь 2024года	Разница	Примечани е
1	Январь	1978,081	1831,711	-146,37	2020<2024
2	Февраль	1994,186	1831,711	-162,475	2020>2024
3	Март	1945,234	1967,998	22,764	2020>2024
4	Апрель	2045,722	1989,048	-56,674	2020<2024
5	Май	2041,141	2004,061	-37,08	2020<2024
6	Июнь	2029,689	1811,546	-218,143	2020<2024
7	Июль	1849,730	1811,546	-38,184	2020<2024
8	Август	1644,800	1695,543	50,743	2020<2024
9	Сентябрь	1603,846	1695,543	91,697	2020<2024
10	Октябрь	1720,027	1666,291	-53,736	2020<2024
11	Ноябрь	1816,258	1893,456	77,198	2020<2024
12	Декабрь	1968,552	1893,456	-75,096	2020<2024



Тудакульское водохранилище ([узб. To'dako'l suv ombori](#)) — русловое водохранилище, сооружённое в 1960 году. [Узбекистан](#), [Бухаринская область](#). Расположено в русле реки Бухара . Максимальная ее площадь — 49,2 км², объём — 0,5 км³, глубина — 28 м. При минимальном наполнении площадь сокращается до 11 км², объём — до 10 млн м³, глубина не превышает 12 м. Водохранилище тепловодно. Максимальная температура воды, 29,5 °С, была зафиксирована в июне.

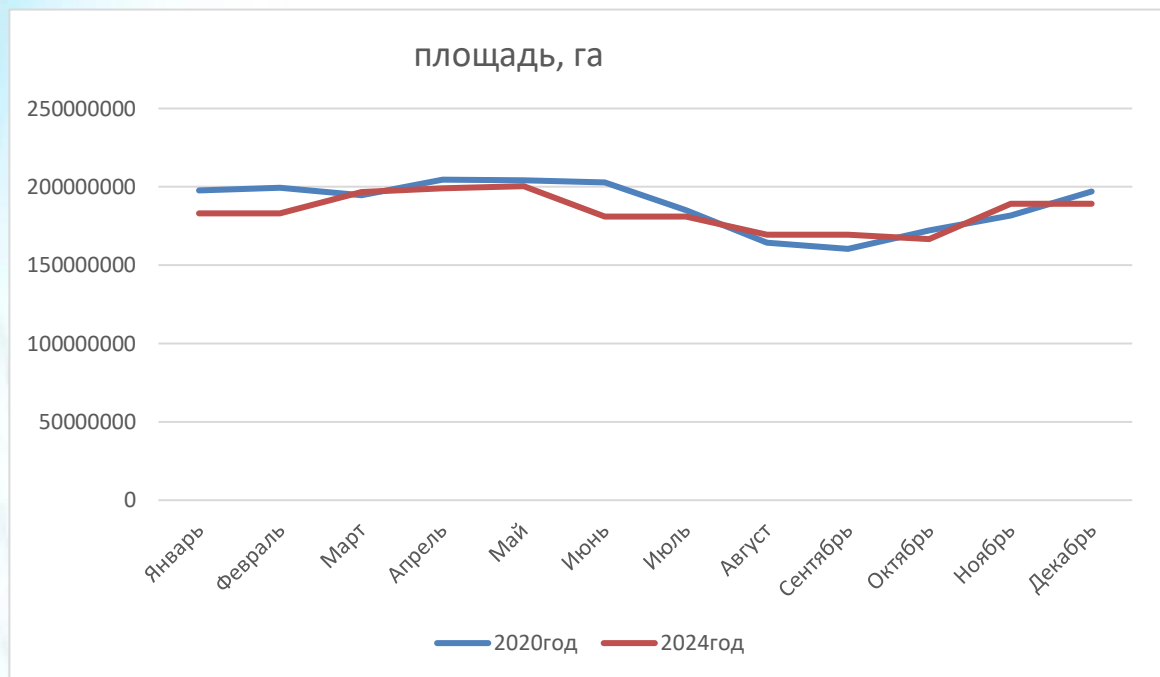
Исследование направлено на изучение временных рядов изменения водной поверхности **Тудакульского водохранилища** в бассейне реки Бухары. Это помогает отслеживать имеющиеся водные ресурсы и их изменения за прошедший период для более эффективного управления существующими ресурсами и лучшего планирования, которое играет важную роль для орошаемого земледелия, средств к существованию людей и эко системных услуг. Площадь зеркала за последние пять лет менялась по-разному, которое свидетельствует о том, что в некоторые годы наблюдался дефицит воды, в итоге привело к почти высыханию водоемов. Это связано с изменчивостью климата и его изменением из-за глобального потепления с высокой температурой и меньшим количеством осадков. Ожидается, что периодичность интенсивных изменений температуры воздуха и количества осадков, а также их изменчивость окажут негативное влияние на водные ресурсы и урожайность . Данные для этой цели были получены в результате дистанционного зондирования, в частности, из данных Sentinel, которые предоставляют в свободном доступе изображения Земли с высоким разрешением. Изображения дистанционного зондирования были подготовлены за пять разных лет, и по этим изображениям водная поверхность извлечена с использованием широко используемой методологии контролируемой классификации, в которой различные объекты на Земле распределяются по соответствующим классам. На основе классифицированных изображений можно провести анализ

изменений водохранилища с 2020 по 2024 год за последние пять лет. Результаты данного исследования показывают, как менялась поверхность **Тудакульского** водохранилища в разные периоды времени. В целом за последнюю пятилетку с 2020 по 2024 год площадь зеркала водохранилища менялась по-разному. Результаты этого исследования могут оказаться очень полезными для лиц, принимающих решения, или ученых, занимающихся управлением водными ресурсами и планированием будущего при наличии водных ресурсов.

[10]

Рисунок 2. Диаграмма площади Чимкорганского водохранилища, определенная по индексу NDWI за 2020 и 2024 год.

(Рисунок сделан автором).



01.01.2024

27.01.2020



07.04.2024



19.07.2024



22.11.2024



16.04.2020



23.07.2020

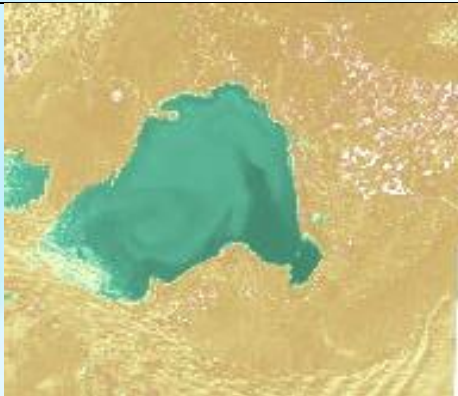
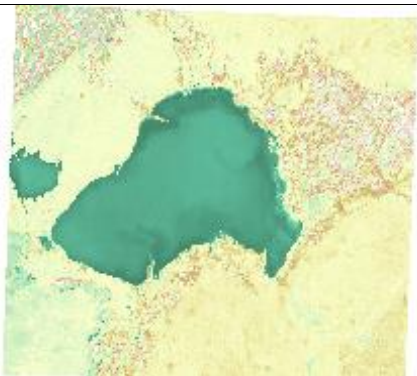
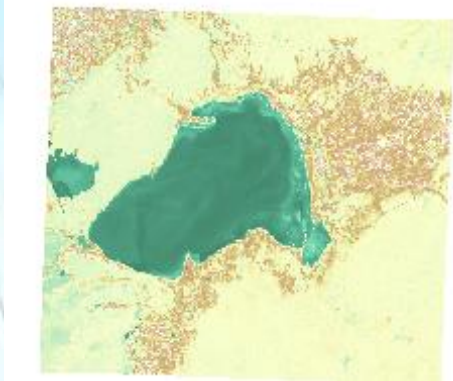


19.11.2020



Рисунок 3. Карта Тудакульского водохранилища, созданная путем синтеза RGB каналов на основе данных спутника Sentinel-2, по состоянию на 2024 год.
(Рисунок сделано автором)

Рисунок 4. Карта **Тудакульского** водохранилища, созданная путем синтеза RGB каналов на основе данных спутника Sentinel-2, по состоянию на 2020 год.
(Рисунок сделано автором)

	
01.01.2024	27.01.2020
	
07.04.2024	16.04.2020
	
19.07.2024	23.07.2020

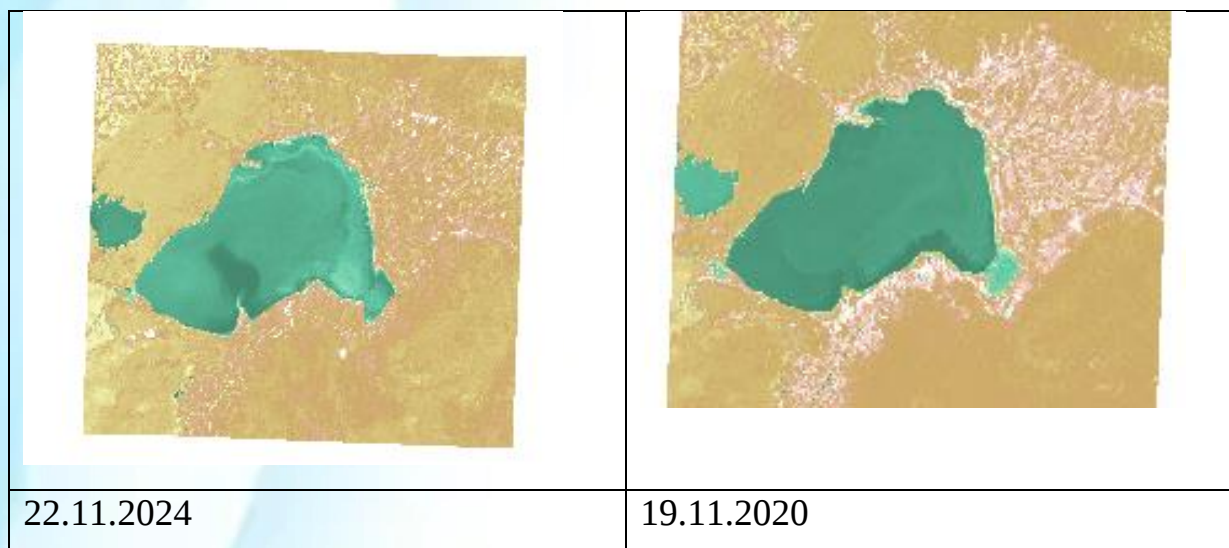


Рисунок 5. Карты индекса NDWI, используемый для определения площади Тудакульского водохранилища по состоянию на июнь. (Рисунок сделано автором)

Анализ данных показал, что площадь Чарвакского водохранилища в январе 2020 года составила 57,66 км², а в январе 2024 года составила 134,15 км², самый высокий показатель за 2020 года можно увидеть в мае - 260,36 км², а за 2024 года самый высокий показатель можно увидеть в месяце июне – 385,80 км². В 2020 году с января до марта площадь возрасло до 101,7 км².

Увеличение площади водной поверхности анализ:

Рост с Января по Июнь, особенно в Апреле и Мае.

Резкое падение в Июле и Августе, затем неустойчивый рост.

Пик в Июне (31693.69), минимум в Январе (57,66км²).

Общий прирост за год (декабрь - январь):

$19505.436 - 5766.234 = +13739.202$ кв.м

В 2024 году с января до марта показатель вырос 54,3 км². Анализ:

Резкий рост с Января по Май, пик в Мае (41519.183 кв.м).

Сильное падение с Июня по Декабрь, особенно после Июля.

Общий прирост/убыль за год (декабрь - январь):

$10358.653 - 13414.777 = -3056.124$ кв.м(убыль) Тудакульское водохранилище расположено на реке Бухара и само не питает другие крупные реки или озёра.

Его основная функция — регулирование стока реки Бухара для:



- орошения сельскохозяйственных земель в Бухаринской области;
- водоснабжения населённых пунктов;
- поддержания водного баланса в засушливые периоды.

После водохранилища вода продолжает течь по руслу Бухары, которая, в свою очередь, теряется в пустыне Каракумы, не достигая морей или других крупных водоёмов.

1. Климатические условия:

Тудакульское водохранилище расположено в зоне аридного (засушливого) климата, характерного для юга Узбекистана, в частности — Бухаринской области. Вот основные климатические условия этой местности:

1. Температура воздуха

Лето: очень жаркое, средняя температура июля — $+30...+38^{\circ}\text{C}$, иногда доходит до $+45^{\circ}\text{C}$.

Зима: умеренно холодная, в январе температура может опускаться до $-5...-10^{\circ}\text{C}$, но часто держится около 0°C .

2. Осадки

Низкий уровень осадков — в среднем 200–400 мм в год, причём основная их часть выпадает весной и зимой.

Лето — практически без осадков, с высокой испаряемостью воды.

3. Испарение

Очень высокое: до 1 000–1 500 мм в год, что превышает количество осадков и требует аккуратного водохозяйственного управления.

4. Ветровые условия

Часты сухие ветры и пыльные бури, особенно в конце весны и летом, что может ускорять испарение и вызывать эрозию.

5. Гидрологический режим

Основной приток воды — весной за счёт таяния снегов в горах, питающих реку Бухары.

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.

Заключение.

Применение методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) продемонстрировало высокую эффективность в экологическом мониторинге. Использование спутниковых данных, такие как Sentinel-2, позволяет проводить регулярный анализ состояния водных объектов, не выходя на местность. Это особенно актуально для труднодоступных или охраняемых территорий, а также в условиях ограниченных ресурсов на проведение полевых исследований.

Таким образом, технологии ДЗЗ являются важным инструментом устойчивого водопользования и принятия управленческих решений, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов. В дальнейшем целесообразно расширить анализ за счет интеграции метеорологических данных и создания прогностических моделей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 10.07.2020 г. No УП-6024 "Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 - 2030 годы."
2. Постановление Президента Республики Узбекистан от 24.02.2021 г. No ПП-5005 "Об утверждении Стратегии управления водными ресурсами и развития сектора ирригации в Республике Узбекистан на 2021 - 2023 годы."
3. Катаев Михаил Юрьевич, Бекеров Артур Александрович Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады ТУСУР. 2017. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-obnaruzheniya-vodnyh-obektov-po-mnogospektralnym-sputnikovym-izmereniyam> (дата обращения: 11.03.2025).
4. Романюк Ю. А. ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК ДЛЯ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ВОДОХРАНИЛИЩ В РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН // Теория и практика современной науки. 2024.



№12 (114). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-dannykh-kosmicheskikh-semok-dlya-vedeniya-monitoringa-vodohranilishch-v-respublike-uzbekistan> (дата обращения: 11.03.2025).

5. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2>
6. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2
7. <https://innoter.com/articles/vidy-vodnykh-indeksov-i-ikh-primeniye/>
8. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Чарвакское_водохранилище