

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.  
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Анализ гидрологического режима Волгоградского водохранилища**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 421 группы

направления 05.03.02 География

географического факультета

Лебедевой Екатерины Николаевны

Научный руководитель

старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Морозова

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

к.с-х.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Гусев

инициалы, фамилия

Саратов 2024

**Введение.** Изучение водохранилищ был и остается актуальной темой в рамках комплексного анализа территории как в гидрологических, так и в смежных исследованиях. Водоохранилище является одним из крупнейших водохранилищ России и имеет большое значение в водохозяйственной системе Поволжья. Изучение гидрологического режима Волгоградского водохранилища позволит лучше понять процессы, происходящие в данном водоеме, и разработать рекомендации по эффективному управлению его ресурсами.

Методы Дистанционного Зондирования Земли (ДДЗ) предоставляют широкие возможности для анализа и мониторинга водных объектов на больших территориях. Современные спутниковые системы позволяют получать высококачественные изображения земной поверхности с регулярной периодичностью, что особенно полезно для динамичных объектов, таких как водохранилища. Одним из наиболее эффективных инструментов для выделения водных объектов на спутниковых изображениях являются водные индексы.

Целью работы является гидрографический и картометрический анализ Волгоградского водохранилища с помощью Данных Дистанционного Зондирования (ДДЗ).

Для достижения цели были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать физико-географические условия Волгоградского водохранилища
2. Оценить методы мониторинга водных объектов.
3. Расчет и анализ водных индексов для территории Волгоградского водохранилища
4. Оценка автоматизированного выделения водного объекта на примере водохранилища.

Предметом исследования является гидрологический режим Волгоградского водохранилищ.

Объект исследования: Волгоградское водохранилище и процессы, связанные с его функционированием.

## **Основное содержание работы.**

### **1 Общая характеристика Волгоградского водохранилища**

Волгоградское водохранилище, одно из крупнейших водохранилищ в России, расположено на реке Волге, на территории Волгоградской и Саратовской областей. Расположено на восточной окраине Восточно-Европейской равнины.

Протяженность водохранилища от Саратовского гидроузла до створа Волгоградского гидроузла составляет 524 км. Максимальная ширина водохранилища составляет 14 километров, и она находится в районе устья реки Еруслан. Наименьшая ширина, составляющая 2,5 км, расположена близ сёл Ахмат и Антиповка. Площадь водной поверхности водохранилища при нормальном подпорном уровне достигает 3120 км<sup>2</sup>, полный объем равен 31,4 км<sup>3</sup>, а полезный объем 8,2 км<sup>3</sup>. Отметка нормального подпорного уровня (НПУ) равна 15,0 м, а проектного – 13,0 м [1].

Во время весеннего половодья уровень воды в Волгоградском водохранилище значительно повышается. В районе Балакова уровень воды поднимается на 9,0–9,5 м выше НПУ, в районе Саратова — на 4,0–5,0 м, в районе Дубровки — около 2,0 м. Уровень предвесенней сработки водохранилища достигает 3,0 м. Колебания уровня воды в меженный период зависят от ветра: при северных ветрах скоростью до 25 м/с уровень воды повышается на 50–60 см в озерной и приплотинной частях, а в районе Саратова падает на 20–30 см. На устьевых участках боковых рек, заливах и убежищах колебания уровня достигают 20–30 см.

Преобладающими ветрами в навигационный период являются западные, северо-западные, северные и северо-восточные. Средняя скорость ветра на водохранилище составляет 3,0–5,0 м/с. Штормовые ветры со скоростью 21–24 м/с и более особенно часто наблюдаются в октябре.

Скорость течения уменьшается по направлению от Балаково к Волгоградскому гидроузлу и зависит от расхода воды. В период половодья скорость течения в верхней части водохранилища достигает 6,5–7,2 км/ч, в межень скорость падает до 2,0–4,5 км/ч. Когда Саратовская ГЭС не работает, скорость течения на расстоянии до 10 км ниже Балаковских шлюзов становится очень слабой [2].

Волгоградское водохранилище можно разделить на три участка, исходя из гидрологического режима и морфологической структуры ложе и берегов: озёрный участок (от Волжской ГЭС до поселка Ровное), озёрно-речной (от посёлка Ровное до города Маркс) и речной (от города Маркс до Саратовской ГЭС).

Между правым и левым берегами водохранилища существует о различие в геологическом строении и литологическом составе склонов. Правобережье состоит из древних и прочных пород, которые устойчивы к размыву. Это верхнемеловые породы, а также породы палеогенового периода. На левобережье склоны состоят из молодых и рыхлых отложений, которые неустойчивы к размыву. В основном, там можно найти суглинки, глины, местами - пески эолового и древнеаллювиального происхождения.

Берега Волгоградского водохранилища по генетической типизации относятся к абразионным и оползневым, значительно реже встречаются аккумулятивный и нейтральный типы. В первой группе основными являются типы переработки, такие как обвальные, осыпные и обвально-осыпные [3,4].

## **2 Методы исследования водных объектов с помощью Данных Дистанционного Зондирования**

Процесс дистанционного зондирования Земли можно представить в семи этапах.

1. Для данного процесса необходим источник электромагнитной энергии. В основном этим источником является Солнце, однако также им может являться тепловое излучение Земли или микроволновое излучение спутника.

2. Прохождение электромагнитной энергии сквозь слой атмосферы. В процессе прохождения электромагнитной энергии через атмосферу, она рассеивается, поглощается и видоизменяется.

3. Взаимодействие с объектом исследования, а именно происходит поглощение или отражение электромагнитных волн. Далее опять производится второй шаг.

4. Производится сбор полученной информации о электромагнитной энергии. Данное действие производится датчиком, который установлен на платформе, в данном случае платформой является спутник.

5. Отправление данных дистанционного зондирования на приемную станцию. На приемной станции производится первичная обработка полученных данных.

6. Выполняется интерполяция и анализ данных, которые производятся в специализированном программном обеспечении.

7. Результаты анализа могут быть применены для решения задач для которых было выполнено дистанционное зондирование Земли [5,6,7].

Существует несколько методов дистанционного зондирования Земли, в зависимости от используемой съемочной аппаратуры: фотосъемки, тепловые съемки, сканерные съемки, радарные съемки:

1. Метод фотосъемки.
2. Метод тепловой съемки.
3. Метод сканирования.
4. Метод радарной съемки. [8,9].

Для выявления и анализа водных объектов в основном используются следующие каналы космических снимков:

Красный канал используется для выделения на снимке снежного покрова.

Зеленый канал используется для выделения не только наземной, но и подводной, в связи с тем, что данный спектр охватывает максимум отражательной способности поверхностей растительного покрова.

Синий канал используется для выделения облаков от снежного покрова, также для выделения почвы без растительности.

Инфракрасное излучение или тепловое излучение используется для выделения водных объектов, разделения влажных почв от сухих. Также с помощью инфракрасного излучения можно проследить изменение содержания воды в растительности и выявления динамики влагозапаса в растительном и почвенном покровах.

Для выявления и анализа характеристик водных объектов используются следующие основные расчетные индексы.

1. Водный индекс WRI. Основным назначением WRI (Water Ratio Index) является оценка содержания влаги в растительном покрове. Водный индекс рассчитывается по следующей формуле 1:

$$WRI = (Green + Red) / (NIR + SWIR2), \quad (1)$$

2. Нормализованный разностный водный индекс NDWI (Normalized Difference Water Index). NDWI используется для отображения влагозапаса в листовом покрове. Также благодаря данному индексу есть возможность определения качественного признака увлажнения растительности. Индекс NDWI вычисляется по формуле 2:

$$NDWI = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2), \quad (2)$$

3. Модифицированный нормализованный разностный водный индекс (MNDWI). При вычислении индекса MNDWI (Modification of Normalized Difference Water Index) результат выделения водных объектов будет более точным, в отличие от других индексов, в связи с подавлением, в некоторых случаях полным удалением, шумовых эффектов с растительного, водного и почвенного покровов. Индекс MNDWI рассчитывается по формуле 3:

$$MNDWI = (Green - SWIR2) / (Green + SWIR2), \quad (3)$$

4. Нормализованный разностный индекс мутности NDTI. Индекс NDTI (Normalized Difference Turbidity Index) является показателем мутности воды.

Благодаря вычислению нормализованного разностного индекса мутности можно рассчитать показатель мутности воды. NDTI рассчитывается по формуле 4:

$$\text{NDTI} = (\text{Red} - \text{Green}) / (\text{Red} + \text{Green}), \quad (4) [10]$$

Развитие гражданских ресурсных космических систем началось с запуска программы Landsat в 1972 году под руководством USGS и NASA. Программа создала глобальный архив космических снимков среднего разрешения (30-60 м), запустив 8 спутников, из которых на орбиту вышли 7.

В 1997 году стартовала программа «Система наблюдения за Землей» (EOS), запустившая 30 спутников, включая функционирующие сейчас Landsat 7 и 8.

Активно вопросами глобального мониторинга окружающей среды с использованием искусственных спутников занимается Европейское космическое агентство в рамках программы «Коперник» («Copernicus»), которая выступает ключевым элементом программы «Глобального мониторинга безопасности окружающей среды» (GMES). В рамках программы были созданы спутники семейства Sentinel 1, 2 и 3.

Получение информации со спутника Landsat 8 осуществляется при помощи сенсоров OLI (Operational Land Imager) и TIRS (Thermal InfraRed Sensor), которые собирают информацию по 11 спектральным каналам, включая видимую, инфракрасную и тепловую зоны.

Спутники Sentinel 2, получают данные по 13 спектральным каналам при помощи сенсора MSI (Multispectral Instrument) [11].

Работа выполнена с помощью программного обеспечения QGIS, которое является бесплатной и открытой геоинформационной системой.

QGIS состоит из двух частей. Первая часть-QGIS Desktop, в которой выполняются все основные задачи по работе с геопространственными данными, такие как создание, редактирование, анализ и публикация геопространственной информации. Далее идут QGIS Server и QGIS Web

Client, которые позволяют публиковать в сети проекты, созданные в QGIS Desktop [12].

### **3 Анализ гидрологического режима Волгоградского водохранилища**

Анализ гидрологического режима Волгоградского водохранилища произведен с использованием разновременных мультиспектральных космических снимков, полученных при дистанционном зондировании методом сканерных съемок, которые выполнялись с использованием оптико–электронного спутника Landsat 8 поколения, пространственное разрешение которого составляет 30 м. Данные космические снимки датируются 2023 годом

С помощью полученных данных дан анализ, насколько близко оцениваемые площади водохранилища, рассчитанные с помощью индексов WRI, NDWI, MNDWI и NDTI, соответствуют реальным площадям НПУ (3120 км<sup>2</sup>) и УМО (2426 км<sup>2</sup>).

#### **Water Ratio Index (WRI):**

1. Полученное значение индекса за апрель (2956.1839) ближе к реальной площади зеркала НПУ (3120).
2. Показатели июля и октября (2613.2329 и 2615.1) ближе к реальной площади зеркала УМО (2426).
3. Показатель расчетного индекса за январь (2610.1293) также ближе к реальной площади зеркала УМО (2426).

#### **Normalized Difference Water Index (NDWI)**

1. Полученное значение индекса за апрель (3014.01799) ближе к реальной площади зеркала НПУ (3120).
2. Показатель июля (2496.9509) ближе к реальной площади зеркала УМО (2426).
3. Значения расчетного индекса за октябрь и январь (2608.5539 и 2618.5539) слегка ближе к реальной площади зеркала УМО (2426), но незначительно отличаются.

#### **Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)**



1. Показатель расчетного индекса за апрель (2962.3919) ближе к реальной площади зеркала НПУ (3120).

2. Показатель июля (2748.0159) ближе соответствует реальным значениям в этом периоде, но не сильно отличается от других.

3. Показатели октября и января (2658.596 и 2634.7328) вновь ближе к реальной площади зеркала УМО (2426).

#### Normalized Difference Turbidity Index (NDTI)

1. Полученное значение индекса за апрель (3012.01799) ближе к реальной площади зеркала НПУ (3120).

2. Показатель июля (2495.9509) ближе к реальной площади зеркала УМО (2426).

3. Полученные показатели октября и января (2606.5539 и 2616.5539) также слегка ближе к реальной площади зеркала УМО (2426), но незначительно отличаются.

Индексы WRI, NDWI, MNDWI и NDTI дают достаточно близкие результаты в апреле, соответственно указывая на большую площадь водохранилища в этот период. Индексы WRI, NDWI, MNDWI и NDTI в летние, осенние и зимние месяцы оценивают площади ближе к значению площади зеркала УМО, особенно летние значения NDWI и NDTI значительно ближе к площади зеркала УМО.

#### **Заключение**

Бакалаврская работа была посвящена исследованию и анализу водных индексов с целью определения площади Волгоградского водохранилища с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ).

В ходе выполнения работы были выполнены следующие задачи и сделаны следующие выводы:

1. Сбор и обработка данных. Были собраны и обработаны спутниковые изображения необходимого разрешения.

2. Выбор подходящих водных индексов. В процессе исследования были изучены различные водные индексы такие как NDWI MNDWI, WRI, NDWI

3. Расчеты водных индексов. Для каждого космоснимка были рассчитаны водные индексы. Эти расчеты позволили детально выявить границы водных объектов на территории Волгоградского водохранилища.

4. Анализ полученных данных. В ходе анализа данных было выявлено, что значения площади водохранилища, полученные с использованием индексов WRI, NDWI, MNDWI, NDTI, отличаются друг от друга.

Значение индекса WRI за апрель наиболее близки к реальной площади зеркала водохранилища при НПУ. Летние, осенние и зимние показатели ближе к значению реальной площади зеркала УМО. Индекс WRI (Water Ratio Index) оказался менее чувствителен к наличию воды стабильным в условиях наличия шумов и посторонних объектов.

Индекс NDWI за апрель также показал наибольшую точность, приближаясь к значению реальной площади зеркала НПУ. Летние значения NDWI ближе всего к реальной площади зеркала УМО.

Данный индекс показал наилучшие результаты в условиях Волгоградского водохранилища, обеспечивая высокую точность распознавания водных границ благодаря своей чувствительности к влаге.

Индекс MNDWI наиболее точно оценил площадь в осенне-зимний период и продемонстрировал высокую точность, особенно в зонах с наличием множества посторонних объектов. Полученные значения данного индекса за апрель также приближались к реальной площади зеркала НПУ.

Индекс NDTI за апрель показал значения, близко соответствующие значению площади зеркала НПУ, при этом летние и зимние значения индекса ближе к площади зеркала УМО. Данный индекс полезен для анализа мутности воды, но не дал значительных преимуществ в контексте определения точных границ водоемов.

Таким образом, если целью является отображение контуров водохранилища в течение года, рекомендуется:

1. Использовать NDWI в весенний период;
2. Использовать NDTI в летний период;
3. Использовать MNDWI в осенне-зимний период.

Такой подход позволяет учитывать сезонные изменения и использовать наилучшие индексы для каждого периода года.

Объединение результатов различных индексов применение методов дистанционного зондирования водных объектов позволило получить более точные результаты площади Волгоградского водохранилища. Данное исследование демонстрирует важность выбора правильных методик и инструментов для анализа спутниковых снимков в зависимости от конкретных условий и задач.

#### **Список использованных источников**

1 Специальная лоция ЕГС. Ч. V. Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское водохранилища : учеб. пособие для студ. и курсан. оч. и заоч. обуч. высш. и сред. спец. учеб. завед. : специальность 180402 «Судовождение» / А.А. Сазонов, В.С. Добровольский. – Н. Новгород : Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2015. С. 92.

3 Знаменского, В.А. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Волгоградское водохранилище / В.А. Знаменского, Б.И. Ушакова – Л. : Гидрометеиздат, 1976. С. 84

4 Зубенко, Ф.С. Берега Волгоградского водохранилища / Ф.С. Зубенко // Материалы к изучению переформирования берегов Волгоградского водохранилища. – М.; Л.: Наука, 1964. С. 78–124.

5 Дистанционное зондирование из космоса [Электронный ресурс]: Paititi Research. - URL: <https://paititi.info/ru/tehnologijapoiskov/distancionnoe-zondirovanie-iz-kosmosa/> (дата обращения 12.11.2023). – Загл. с экрана. – Яз.рус.

6 Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Часть 1. М / Р.А. Шовенгерд - Техносфера, 2010. С. 560.

7 Панасюк, М.В. Картография, фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли / М.В Панасюк, Ф.Н. Сафиоллин, Н.А. Логинов, Е.М. Пудовик - Казань: Казанский федеральный университет, 2018. С. 121

8 Методы дистанционного зондирования Земли [Электронный ресурс]: Лекции.Ком - URL: <https://lektsii.com/1-58988.html/> (дата обращения 15.11.2023). – Загл. с экрана. – Яз.рус.

9 Измestьев, А.Г. Дистанционные методы зондирования Земли / А.Г. Измestьев. - Кемерово: КузГТУ, 2016. С. 58.

10 Морозова, В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования / В. А. Морозова // Современные проблемы территориального развития : электрон. журн. – 2019. – № 2. [Электронный ресурс]: Terjourna – URL: <https://terjournal.ru/2019/id85/> (дата обращения 15.11.2023). – Загл. с экрана. – Яз.рус.

11 Космическая съемка // Пространственные данные [Электронный ресурс]: Пространственные данные - URL: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (дата обращения 15.11.2023). – Загл. с экрана. – Яз.рус.

12 QGIS Desktop testing User Guide [Электронный ресурс]: docs.qgis – URL: <https://docs.qgis.org/testing/pdf/en/QGIS-testing-DesktopUserGuide-en.pdf> (дата обращения 11.03.2024). – Загл. с экрана. – Яз.рус.

