

С. А. Рылов^{1✉}, А. С. Лапушинский²

Геоинформационная система для автоматизированного мониторинга площадей водных объектов

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский государственный университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: RylovS@mail.ru

Аннотация. В работе представлена геоинформационная система, позволяющая проводить автоматизированный мониторинг изменения площадей и границ выбранных водоемов по спутниковым снимкам. Система состоит из трех основных компонент: серверная часть, веб-интерфейс и база данных на основе PostGIS. В системе реализована возможность автоматического поиска и загрузки подходящих спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat. Реализовано три алгоритма выделения водной поверхности (NDWI, MNDWI и K-means) и необходимые методы предобработки спутниковых данных и постобработки получаемых результатов. В результате работы системы пользователь через веб-интерфейс может посмотреть как результаты выделения границ водного объекта по отдельным снимкам, так и графики изменения площади водоема, полученные различными алгоритмами. Таким образом, разработанная система позволяет автоматизировать процесс наблюдения за изменениями границ и площадей водоемов.

Ключевые слова: ГИС, мониторинг, водоемы, озеро, площадь, автоматизация, спутниковые снимки, Sentinel-2, Landsat, выделение водной поверхности

S. A. Rylov^{1✉}, A. S. Lapushinskii²

Geoinformation system for automated monitoring of water body surface areas

¹Federal Research Center for Information and Computational Technologies,
Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: RylovS@mail.ru

Abstract. The paper presents a geoinformation system that allows automated monitoring of area and boundary changes of the selected water bodies using satellite images. The system consists of three main components: a server part, a web interface, and a PostGIS-based database. The system can automatically search and download suitable Sentinel-2 and Landsat satellite images for a selected water body. Three algorithms for water surface segmentation (NDWI, MNDWI, and K-means) were implemented, so as the methods for preprocessing satellite data and postprocessing the segmentation results. As a result, the user can view both the results of water boundary extraction on individual images and also charts of water body area changes obtained using various algorithms via the web interface. Thus, the developed system allows significant automation of the process of monitoring of water bodies area and boundary changes.

Keywords: monitoring, water body, lake, area, automation, satellite images, Sentinel-2, Landsat, water surface segmentation

Введение

Мониторинг состояния водных объектов, таких как озера, может быть важен для задач гидрологии, экологии, сельского и рыбного хозяйства. Проведение регулярного мониторинга большого числа водных объектов с помощью полевых исследований даже в рамках отдельных регионов является практически невозможным ввиду больших трудозатрат и труднодоступности многих озер. Эта проблема может быть в значительной степени решена с помощью дистанционного зондирования Земли [1]. Спутниковые снимки позволяют получать объективную информацию о большей части поверхности Земли с достаточно регулярной периодичностью.

Однако, даже для оценки изменения площади отдельных озер с помощью спутниковых данных за несколько лет или десятилетий, требуется провести достаточно большой объем работ: необходимо выбрать подходящие снимки, скачать их, провести необходимую обработку, сегментировать интересующий объект и оценить результаты. Поэтому такие работы зачастую проводятся только по отдельным озерам, например: озеро Убинское [2], озеро Кулундинское [3], озеро Саргамыш [4], озеро Гарда [5] и другие. Автоматизация процесса решения таких задач может позволить существенно ускорить подобные исследования, охватить большее число озер, а также стандартизировать получаемые результаты [6].

Существуют доступные сервисы, предоставляющие функционал наблюдения за водными объектами, например: NASA Worldview, Global Surface Water Explorer, Aqua Monitor. Они имеют глобальный охват и позволяют визуализировать изменения водных поверхностей, но они неудобны при оценке конкретных водоемов, нельзя оценить, исправить или добавить полученные результаты.

В данной работе представлена геоинформационная система (ГИС), позволяющая проводить автоматизированный мониторинг изменения площадей и границ выбранных водоемов по спутниковым снимкам.

Процесс обработки спутниковых данных

На данный момент предлагаемая геоинформационная система работает с оптическими мультиспектральными данными спутниковой съемки. Наиболее подходящими для задачи мониторинга озер являются данные со спутников серий Sentinel-2 и Landsat ввиду их доступности, достаточно высокого пространственного разрешения (10 и 30 м) и периодичности съемки (5-10 дней), а также больших объемов данных, накопленных за время работы. Помимо спутниковых данных в системе также используются данные сервиса OpenStreetMap для поиска координат и названий водных объектов.

После того, как пользователь системы задает водоем и интересующий период для наблюдения, из доступных снимков выбираются те, которые полностью покрывают объект интереса, и оценка облачности снимка составляет менее 10%. В систему загружаются фрагменты снимков, захватывающие исследуемый водный объект с запасом 25% с каждой стороны от крайних координат водоема, из-

вестных по данным OpenStreetMap. Из множества спектральных каналов берутся только пять: Red, Green, Blue, NIR, SWIR.

Для выделения водной поверхности на полученных изображениях в системе одновременно используется три метода: спектральные разностные индексы NDWI и MNDWI [7], а также алгоритм кластеризации K-means. Индексы рассчитываются попиксельно, выделение водных пикселей происходит по фиксированному порогу. А при кластеризации для каждого кластера считается среднее значение индекса NDWI, и уже весь кластер по порогу относится к водному или нет.

На многих снимках присутствует не один, а множество водных объектов, которые могут и соприкасаться. Поэтому после выделения водных пикселей на изображении необходимо установить, какие из них относятся к исследуемому объекту. Для этого в системе выполняется специальная процедура, позволяющая отделить водоем от других водных объектов.

Архитектура и основные компоненты геоинформационной системы

Разрабатываемая геоинформационная система состоит из трех основных составляющих: сервер, веб-клиент и база данных.

Сервер выполняет связующую роль между всеми составляющими, а также занимается задачами обработки и получения изображений. Он состоит из двух компонент. Первая написана на языке Go и контролирует непосредственную работу сервера, взаимодействует с базой данных и обрабатывает запросы клиентской части. Для поддержания очереди задач используются встроенные методы языка Go. Вторая компонента написана на языке Python и представлена в виде скриптов, вызываемых первой компонентой. Скрипты отвечают за работу со снимками и векторными картами. Осуществляют поиск и загрузку изображений с внешних сервисов Sentinel Hub и Google Earth Engine с помощью соответствующих API и содержат методы взаимодействия с сервисом OpenStreetMap. Для работы с растровыми и векторными данными используется библиотека GDAL. Также в этой компоненте реализуются алгоритмы выделения воды на снимках: NDWI, MNDWI и K-Means.

База данных построена на основе PostgreSQL. Она хранит всю необходимую строковую и численную информацию, а также векторные полигоны, благодаря расширению PostGIS. Однако хранение самих снимков было реализовано иначе. В базе данных хранятся только ссылки, а сами файлы снимков хранятся в объектном хранилище MinIO.

Клиентская часть системы была реализована с использованием JavaScript фреймворка Vue.js. Основной элемент пользовательского интерфейса – интерактивная карта, на которой отображаются растровые и векторные данные и результаты их обработки (спутниковые снимки и границы водоемов). Для ее реализации была выбрана библиотека OpenLayers.

Работа пользователя с геоинформационной системой

Главная страница веб-интерфейса геоинформационной системы содержит интерактивную карту, на которой отображаются все водоемы. У пользователя

есть возможность выбрать интересующий его водоем и перейти на страницу с информацией о выбранном водоеме. Если интересующего водоема нету на основной карте, то имеется возможность для его добавления.

На странице с информацией о выбранном водоеме (рис. 1) пользователь может посмотреть загруженные в систему снимки этого водоема и результаты их обработки – границу и площадь водоема. Также на этой странице отображаются графики изменения площади водного объекта по данным спутниковых снимков, разными цветами отображаются результаты разных методов выделения воды. Все результаты определения площади водоема можно скачать в табличном виде.

Авторизованные пользователи могут задавать системе задания по загрузке и обработке снимков для выбранных им водоемов, указывая требуемый период времени наблюдений. После чего система загрузит подходящие снимки, проведет необходимую обработку и вышлет уведомление о готовности результатов.

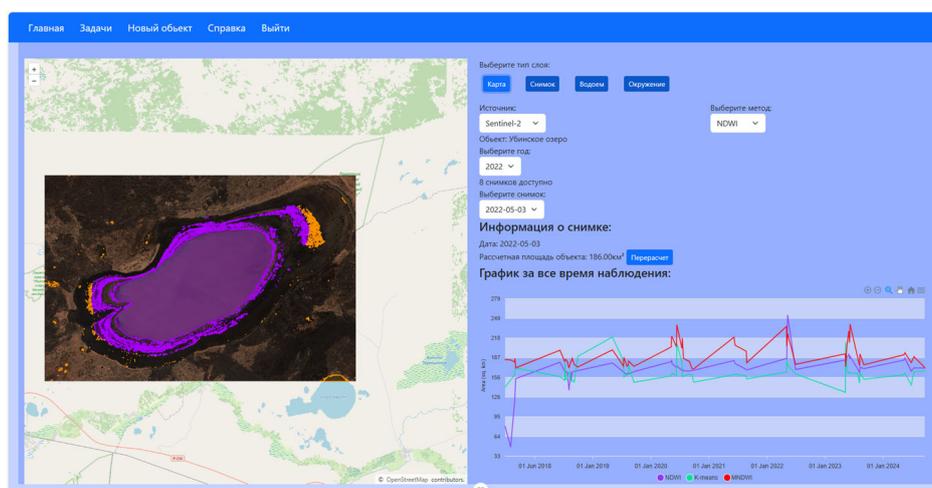


Рис. 1. Скриншот страницы разрабатываемой геоинформационной системы

Заключение

В данной работе представлена геоинформационная система, позволяющая проводить автоматизированный мониторинг изменения площадей и границ выбранных водоемов по спутниковым снимкам. Система состоит из трех основных компонент: серверная часть, веб-интерфейс и база данных, устройство которых описано в данной статье. В системе реализована возможность автоматического поиска и загрузки подходящих спутниковых снимков Sentinel-2 и Landsat для выбранного водоема за указанный период времени. Реализовано три алгоритма выделения водной поверхности (NDWI, MNDWI и K-means) и необходимые методы предобработки спутниковых данных и постобработки получаемых результатов. В результате работы системы пользователь через веб-интерфейс может посмотреть как результаты выделения границ водного объекта по отдельным снимкам, так и графики изменения площади водоема, полученные различными алгоритмами.

Таким образом, разработанная геоинформационная система позволяет автоматизировать процесс наблюдения за изменениями границ и площадей водоемов, что может сильно сократить время решения подобных задач и вместе с тем увеличить число исследуемых водоемов.

В дальнейшем планируется внедрение более эффективных методов выделения водной поверхности на мультиспектральных изображениях [8], расширение списка используемых источников данных и создание алгоритмов автоматического обнаружения ошибочных результатов сегментации и их коррекции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лямина В.А., Глушкова Н.В., Смоленцева Е.Н., Зольников И.Д. Использование методов ГИС и ДЗ для мониторинга площади озер и солончаков на территории юга Западной Сибири // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2010. – Т. 4. – №. 2. – С. 3-7.
2. Рылов С.А. Многолетний мониторинг усыхания озера Убинское по спутниковым данным Landsat 4,5,7,8 с помощью специализированных алгоритмов сегментации // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2018. – Т. 1. – № 4. – С. 102-108.
3. Лукерина Г.В., Лукерин А.Ю. Динамика площади озера Кулундинское Алтайского края по спутниковым данным // *Современное состояние водных биоресурсов и аквакультуры: Материалы научно-практической VII международной конференции, Новосибирск, 06–07 ноября 2024 года*. – Новосибирск: ИЦ НГАУ "Золотой колос", 2024. – С. 87-93.
4. Пыгамов Ш.О., Аразгелдиева С. Мониторинг водных объектов с использованием ГИС-технологий на примере озера Сарыгамыш // *Современные проблемы рационального природообустройства и водопользования: Материалы III Международной научной конференции, Красноярск, 19 ноября 2024 года*. – Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 81-84.
5. Ghirardi N. et al. Evaluation of macrophyte community dynamics (2015–2020) in southern Lake Garda (Italy) from Sentinel-2 data // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – No. 5. – P. 2693.
6. Донцов А.А., Суторихин И.А. Специализированная геоинформационная система автоматизированного мониторинга рек и водоемов // *Вычислительные технологии*. – 2017. – Т. 22, № 5. – С. 39-46.
7. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // *International journal of remote sensing*. – 2006. – Vol. 27. – No. 14. – P. 3025-3033.
8. Рылов С.А. Использование активного обучения для выделения водных объектов на спутниковых изображениях // *Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы VII Международной научной конференции, Красноярск, 29 сентября – 02 октября 2020 года / Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий*. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 122-126.

© С. А. Рылов, А. С. Лапушинский, 2025