



УДК 528

**МОНИТОРИНГ КРУПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ
ВОДОХРАНИЛИЩ РЕКИ ВОЛГА С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ И ИНСТРУМЕНТОВ
СПУТНИКОВОГО СЕРВИСА «ВЕГА-ГИДРО»**

Врублевский Михаил Вячеславович, инженер, аспирант
Институт космических исследований РАН
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Кобец Дмитрий Александрович, к.т.н., н.с.
Институт космических исследований РАН
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Бурцев Михаил Александрович, к.т.н., с.н.с., заведующий лабораторией
Институт космических исследований РАН
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

Лупян Евгений Аркадьевич, д.т.н., заведующий отделом
Институт космических исследований РАН
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32

*Работа выполнена с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» при поддержке Минобрнауки в рамках темы «Мониторинг»
(госрегистрация № 122042500031-8)*

Аннотация. Разработан программный комплекс наблюдения крупных водных объектов, таких как водохранилища. В состав комплекса вошли программные модули, позволяющие получать интегральные характеристики объектов в пределах их границ по различным спутниковым гидрологическим продуктам. Источником спутниковых продуктов выступают данные сервиса «Вега-Гидро», разрабатываемого для решения задач гидрологии спутниковыми методами.

Ключевые слова: спутниковый сервис, информационная система, Вега-Гидро, альтиметрия, спутниковый мониторинг, дистанционное зондирование Земли.

Введение

Достигнутые к настоящему времени высокие качество и пространственное разрешение спутниковых данных существенно расширили возможности гидрологических исследований благодаря развитию космической гидрологии. В настоящий момент стало возможно, например: проводить мониторинг уровня воды, площади водного зеркала

внутренних водоемов и их участков, применять различные алгоритмы к данным спутниковой съемки для восстановления полей мутности, концентрации взвешенных веществ, хлорофилла а, температуры поверхности, индекса трофического состояния и т.д., определять время вскрытия ото льда, оценивать риски и последствия опасных явлений, таких как засухи или половодья.

Для решения ряда описанных задач совместными усилиями специалистов института водных проблем РАН и института космических исследований РАН был разработан с использованием ресурсов Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг»[1] спутниковый сервис «Вега-Гидро»[2] для решения задач космической гидрологии. В настоящий момент сервис позволяет работать с архивами спутниковой съемки различных диапазонов, разрешений по времени и пространству, продуктами, полученными на их основе, и со специальными инструментами для их анализа.

Среди таких инструментов есть, например:

- инструменты поиска и отображения данных спутниковой съемки и продуктов на их основе с помощью технологии web-интерфейсов GEOSMIS[3];
- инструменты мониторинга площади водного зеркала участков водоемов с помощью технологии космических гидропостов[4];
- инструменты мониторинга уровня воды на гидропостах альтиметрии (АГП)[5], расположенных в местах пересечения водоемов проекцией орбиты спутника;
- инструменты VI-технологии для анализа изменчивости метеоданных и характеристик подстилающей поверхности в границах водосборов[6].

При том, что предложенный инструментарий охватывает гидрологические объекты разного масштаба от водосборов до отдельных участков водоемов, а также предлагает возможности изучения пространственного распределения различных характеристик наземных (в т.ч. водных) объектов как в локальном (от десятков м), так и в масштабе всей страны, инструмента для анализа интегральных характеристик объектов, таких как озера или водохранилища, сервис в полной мере пока не предоставляет, хотя такая возможность является востребованной у гидрологов-исследователей.

Таким образом, задача разработки инструмента объектного мониторинга в составе сервиса «Вега-Гидро» для работы с интегральными характеристиками объектов типа озер и водохранилищ является актуальной и выступает целью настоящей работы.

Материалы и методы

В качестве данных для анализа состояния водохранилищ использованы различные тематические продукты, накопленные в архивах ЦКП «ИКИ-Мониторинг», ведение и поддержание которых осуществляется технологией UNISAT[7]. В качестве таких продуктов выступают данные о температуре поверхности озер, мутности, площади и уровне воды, концентрации хлорофилла а и взвешенного вещества, маски воды и льда, различные индексы (в т.ч. водные), вычисляемые по данным спутниковой съемки и пр.

Вычисление интегральных характеристик на объектах типа озера и водохранилища реализуется в пределах границ этих водоемов, полученных из базы данных HydroSHEDS (<https://www.hydrosheds.org/>), с помощью специально разработанного программного комплекса.

В состав программного комплекса входят два основных программных блока (ПБ), нацеленных на работу с данными разного типа:

- ПБ № 1 работы с данными на регулярной сетке.
- ПБ № 2 работы с нерегулярными данными, такими как уровни воды, измеренные на гидропостах альтиметрии.

Схема работы каждого из модулей следующая:

1. Для выбранного водоема и спутникового продукта растеризуется векторная геометрия, определяющая границы объекта, характеристики сетки задаются соответственно сетке анализируемого продукта.

2. Созданная растровая маска водоема выступает в качестве фильтра для выбора данных спутникового продукта для вычисления дальнейших характеристик в зависимости от цели работы алгоритма: статистических характеристик, например, среднего по пространству, доли площади от общей и т.п.
3. Применение п. 2 для формирования временного ряда вычисляемой характеристики по всему имеющемуся архиву.

Принципиальное отличие ПБ №2 от ПБ №1 состоит в том, что происходит не вычисление величин за даты наблюдений для формирования временного ряда, а объединение временных рядов измерений уровня воды в один ряд с учетом того, что между участками расположения гидропостов альтиметрии существует уклон водной поверхности и отсутствует калибровка между треками.

Результаты и обсуждение

Разработанный программный комплекс позволяет получить интегральные характеристики различных параметров водных объектов, таких как озера или водохранилища, для проведения мониторинга их состояния. В качестве демонстрации возможностей разработанного программного комплекса получены интегральные величины различных параметров для водохранилищ реки Волга.

Например, средний по всем АГП водоема уровень воды Рыбинского водохранилища приведен на рис. 1. Получение среднего уровня по всем АГП позволяет существенно участить измерения уровня воды водоема относительно измерений на отдельных АГП.

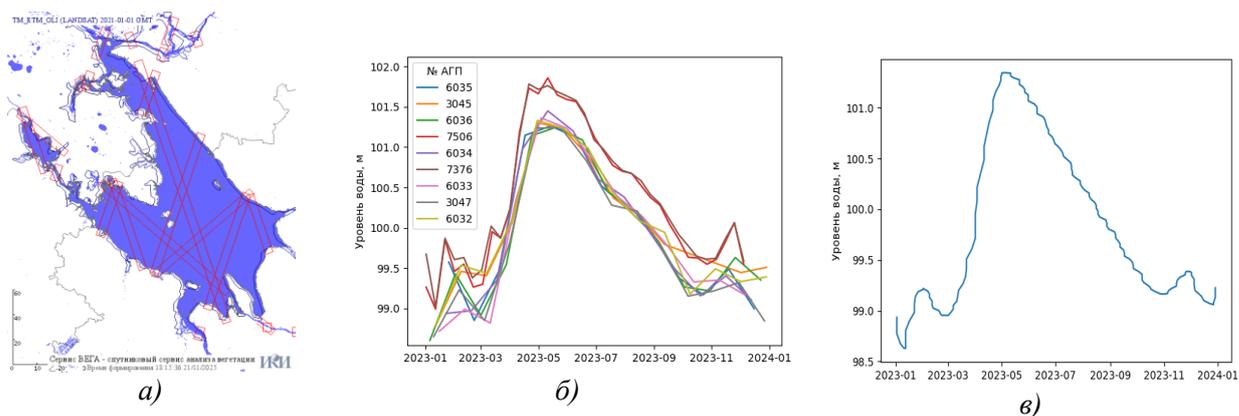


Рис.1. Измерение уровня воды Рыбинского водохранилища: а) положение АГП (обозначены красными полигонами), б) измерения уровня воды на всех АГП в) средний уровень воды

Кроме уровня воды, получение интегральных характеристик реализуется для набора тематических продуктов, предоставляемых различными центрами обработки спутниковых данных на регулярной сетке. В качестве иллюстрирующего примера показан результат работы с данными о температуре поверхности за каждые 10 дней с 2016 по настоящее время (см. рис.2).

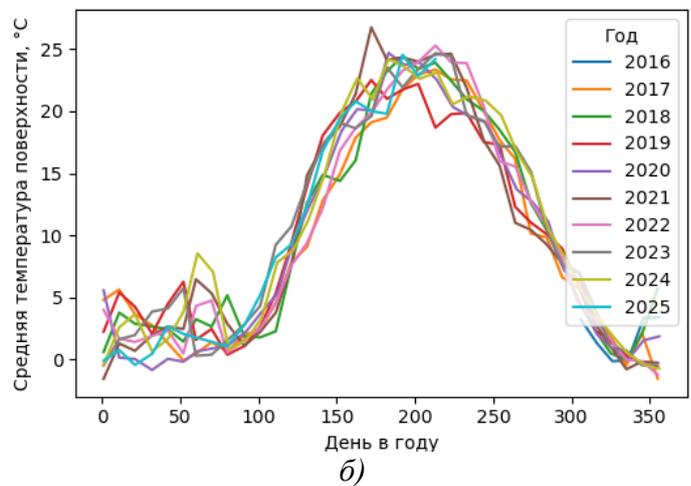
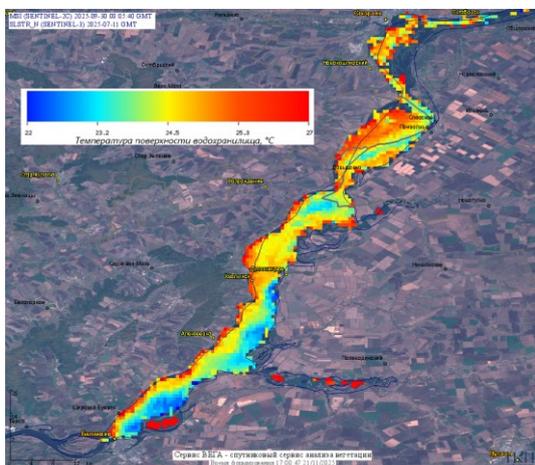


Рис. 2. Температура поверхности Саратовского водохранилища а) за 10 дней на 11.07.2025, б) средняя по водоему за разные года.

В дальнейшем планируется обновлять временные ряды полученных характеристик по мере поступления оперативных данных, а также разработать инструментарий для предоставления этих данных пользователям сервиса «Вега-Гидро».

Выводы

Разработанный программный комплекс позволяет обрабатывать архивы различных спутниковых продуктов для формирования временных рядов интегральных характеристик в границах водных объектов типа озер и водохранилищ для проведения их мониторинга и оценки их состояния. В настоящий момент получены временные ряды для 7 из 9 водохранилищ реки Волга, в дальнейшем планируется сформировать подобные временные ряды для всех возможных водоемов такого типа. Для отображения полученных данных планируется подготовить специальный инструментарий в сервисе «Вега-Гидро» для обеспечения пользователей системы данными полученных интегральных характеристик для применения этой информации в дальнейших исследованиях средствами сервиса «Вега-Гидро».

Список литературы:

1. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16 № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
2. Бурцев М.А., Уваров И.А., Лупян Е.А., Врублевский М.В., Захарова Е.А., Крыленко И.Н., Полянин В.О. «Вега-Гидро» - спутниковый сервис для задач гидрологии // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2024. С. 354. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
3. Толпин В.А., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Прошин А.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. Создание интерфейсов для работы с данными современных систем дистанционного мониторинга (система GEOSMIS) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 93-108.
4. Мухамеджанов И.Д., Врублевский М.В., Лупян Е.А. Возможности спутникового мониторинга рек с помощью данных альтиметрии и космических гидропостов на примере р. Амударья // XII Международная научная «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». 9-12 сентября. Красноярск, 2025.
5. Врублевский М.В., Константинова А.М., Бурцев М.А. Интерфейс для работы с данными альтиметрии для мониторинга внутренних водоёмов // Материалы 21-й Международной

конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2023. С. 76. DOI 10.21046/21DZZconf-2023a.

6. Кобец Д. А., Балашов И. В., Данилов И. Д., Лупян Е. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А. Использование VI-технологий для создания инструментов для анализа данных спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 17–27.

7. Прошин А.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Бурцев М.А. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т.13. № 3. С. 9-27.

MONITORING LARGE WATER BODIES USING THE EXAMPLE OF RESERVOIRS ON THE VOLGA RIVER WITH DATA AND TOOLS FROM THE VEGA-HYDRO SATELLITE SERVICE

Mikhail V. Vrublevsky, Dmitry A. Kobets, Mikhail A. Burtsev, Evgeny A. Loupian

Abstract. A software package has been developed for monitoring large water bodies, such as reservoirs. The package includes software modules that enable users to obtain integrated characteristics of objects within their boundaries using various satellite hydrological products. The source of satellite products is data from the Vega-Hydro service, developed to solve hydrological problems using satellite methods.

Keywords: satellite service, information system, Vega-Hydro, altimetry, satellite monitoring, remote sensing of the Earth.