Веб-ориентированная информационная система для комплексного мониторинга поверхностного слоя озера Байкал на основе спутниковых и натурных данных

Пестунов И.А., Дубровская О.А., Жирнов А.А., Мамаш Е.А., Синявский Ю.Н.

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий

ИКИ РАН -2026

Спутниковый мониторинг Байкала: возможности и преимущества

В последние годы для оценки состояния и изучения внутриконтинентальных водоёмов всё активнее применяются методы **спутникового дистанционного зондирования (СДЗ).** Это связано с тем, что традиционные измерения *in situ* носят точечный характер и часто не дают репрезентативных данных о таких сложных и динамических экосистемах, как озёра, а также требуют значительных логистических, финансовых и временных ресурсов.

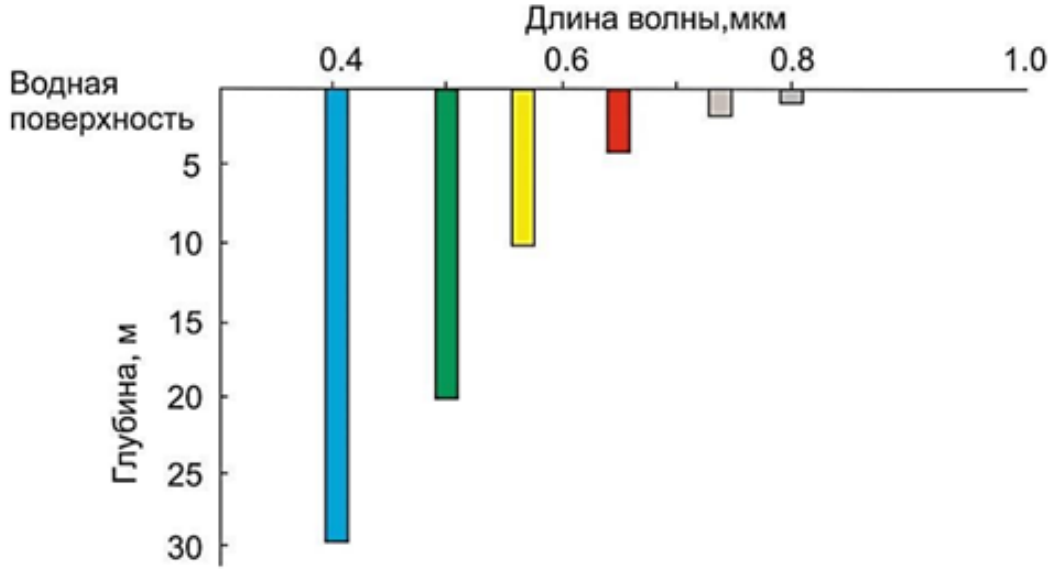
СДЗ становится практически незаменимым инструментом изучения крупных внутренних водоёмов, к которым относится и озеро Байкал (площадь акватории — 31,7 тыс. км²). Спутниковые данные позволяют одновременно наблюдать за состоянием всей акватории и оперативно получать пространственно-временную информацию о происходящих в озере процессах — что невозможно обеспечить только судовыми и станционными наблюдениями.



Снимок со спутника
Suomi NPP/VIIRS
от 13 сентября 2026 г.

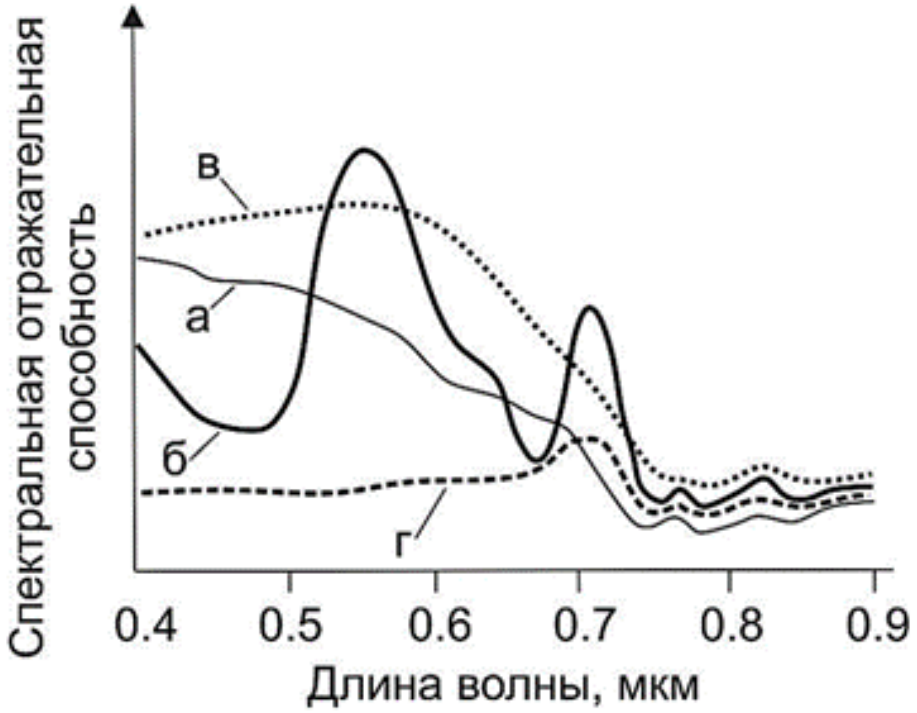
Эффективная толщина поверхностного слоя для спутникового дистанционного зондирования

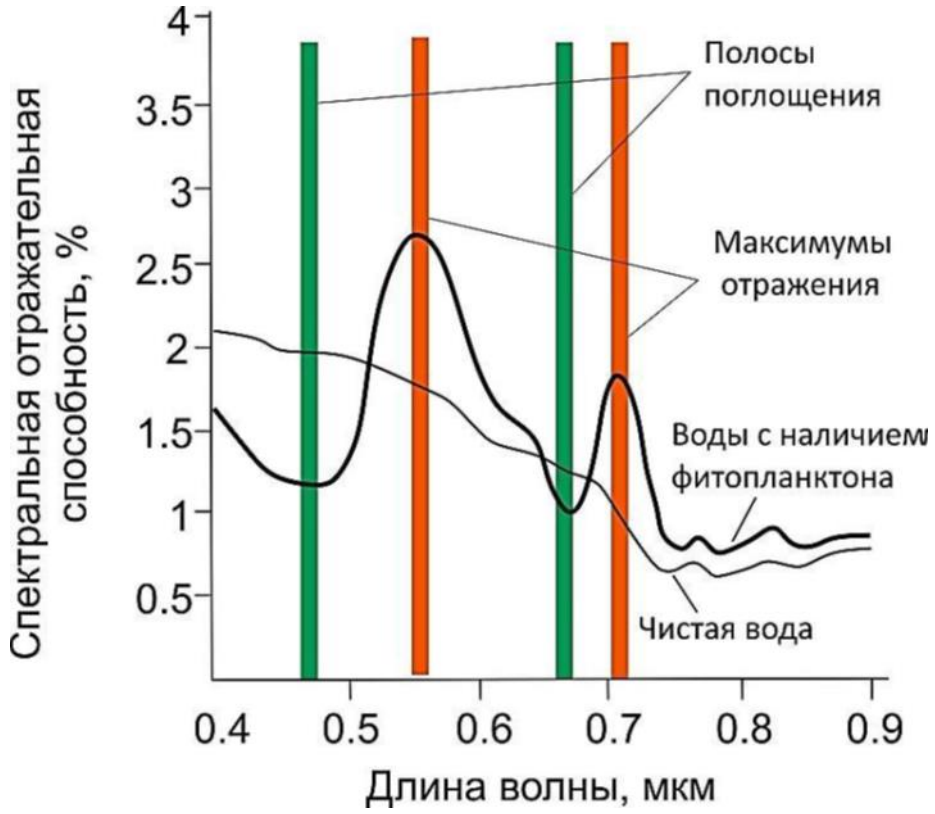
Для **СДЗ** эффективным считается проникновеннее электромагнитных волн в воду на глубину до 30 м – в синей части спектра, до 15–20 м – в зеленой части спектра, до 5 м – в красной части спектра (Green, 2000), хотя отдельные фотоны способны проникать на глубины в несколько сотен метров.



Глубина проникновения солнечного света в водную толщу

Примеры кривых спектральной отражательной способности различных вод

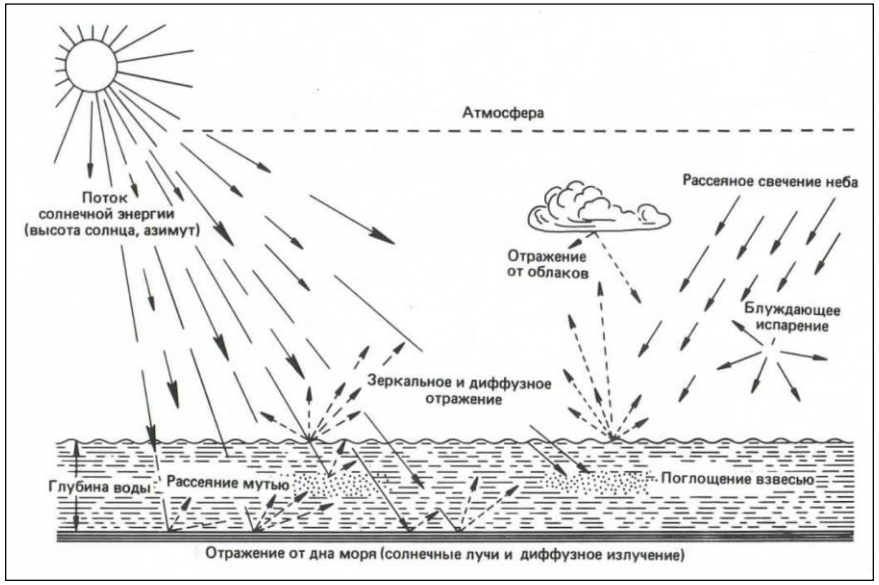




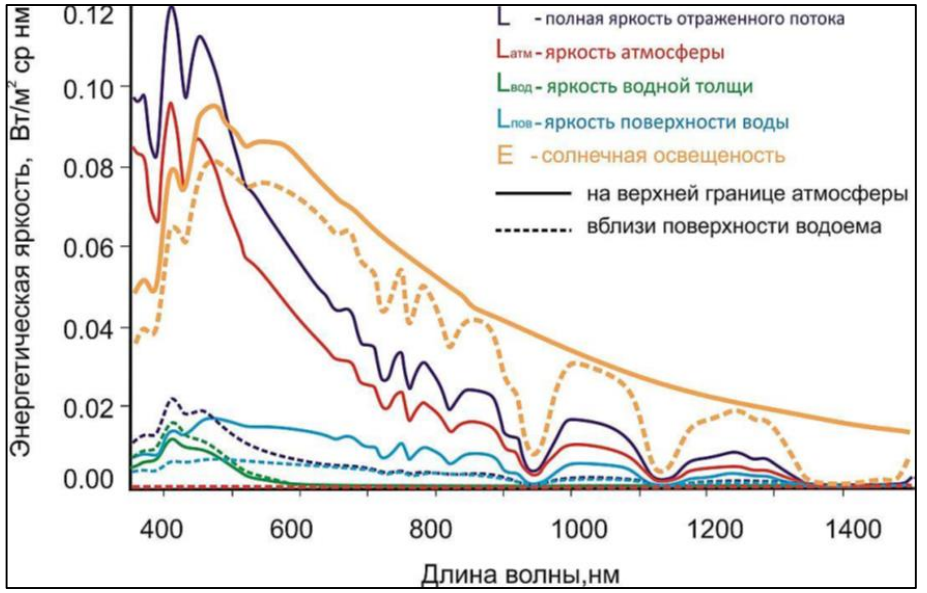
а – чистые прозрачные воды; б – воды с повышенным содержанием хлорофилла; в – воды с повышенным содержанием взвешенных веществ; г – воды с повышенным содержанием растворенных органических веществ (Бочаров, 2021)

Спутниковый мониторинг поверхностных вод Байкала: проблемы достоверности и верификации

Сложность методов СДЗ, а также оптическая неоднородность и изменчивость водных масс Байкала обусловливают необходимость верификации получаемых параметров. Однако верифицированные методы СДЗ для оценки концентрации хлорофилла-а, прозрачности и других параметров поверхностных вод озера Байкал в настоящее время отсутствуют.



Схематическое представление процессов отражения, поглощения и рассеяния на границе вода–воздух и в воде (Кронберг,1988)



Солнечная освещённость и компоненты отраженного от водоема излучения (Curtis, 2019)

Единая платформа для Байкала: назревшая необходимость

В настоящее время отсутствует единая платформа, объединяющая многолетние спутниковые архивы, адаптированные алгоритмы оценки ключевых параметров и синхронные *in situ* измерения для Байкала.

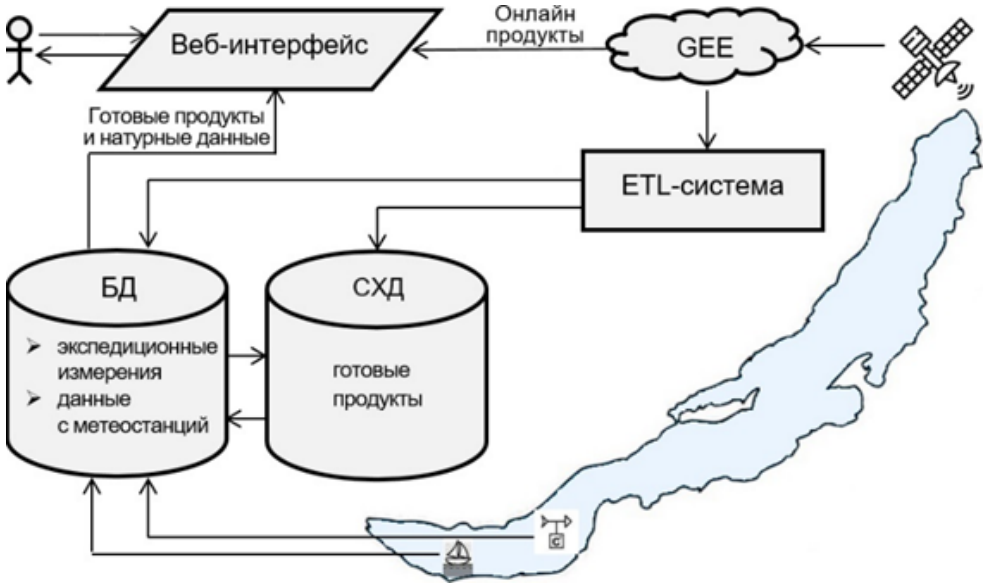
Отечественные системы (геопортал ИДСТУ СО РАН, веб-ресурс ЛИН СО РАН, «Байкальский Центр», «ВЕГА Science» ИКИ РАН) не предоставляют комплексного доступа к спутниковым данным в динамике (более 25 лет) и не позволяют совмещать их с измерениями метеостанций и экспедиций.

Зарубежные проекты (HydroSHEDS, HydroLAKES, GloLakes, LakeTEMP, ESA CCI, GLWD, ILEC, HydroATLAS и др.) либо не имеют специализированных продуктов для Байкала, либо используют стандартные алгоритмы. Кроме того, доступ к ним на территории РФ ограничен или полностью заблокирован.

Вывод: Актуальной задачей является разработка единой платформы с многолетними спутниковыми архивами, адаптированными алгоритмами расчёта ключевых параметров, регулярно обновляемыми натурными данными и удобным веб-интерфейсом для исследователей и практиков.

Сервис на базе GEE для комплексного мониторинга ключевых параметров поверхностного слоя озера Байкал

В ФИЦ ИВТ разработана веб-ориентированная ИС «Байкал» (https://baikal.ict.nsc.ru) для визуализации и анализа спутниковых и натурных данных акватории озера. Система предоставляет пользователям без навыков программирования доступ к готовым архивным продуктам и оперативным расчётам через облачную платформу Google Earth Engine (GEE) в едином веб-интерфейсе.



Общая схема функционирования ИС «Байкал»

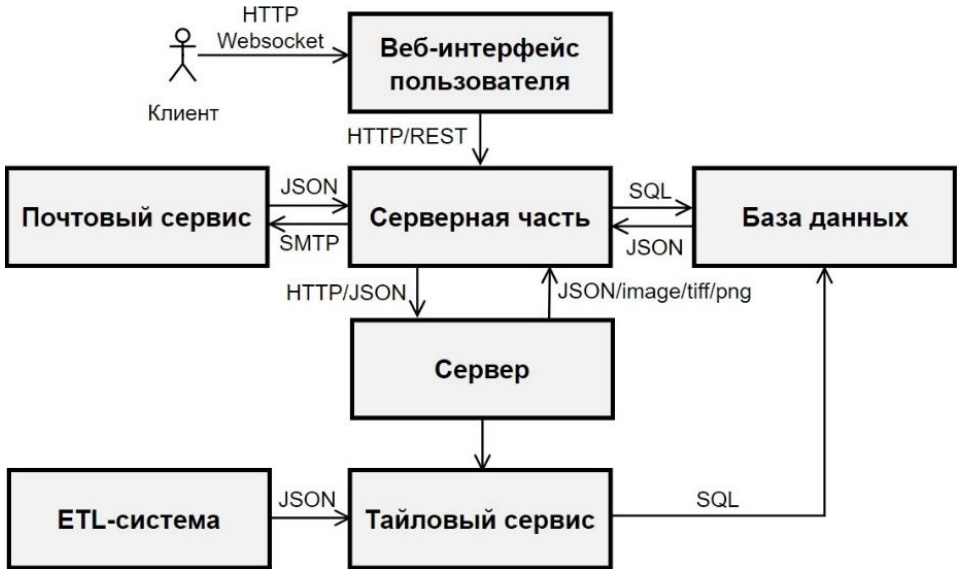
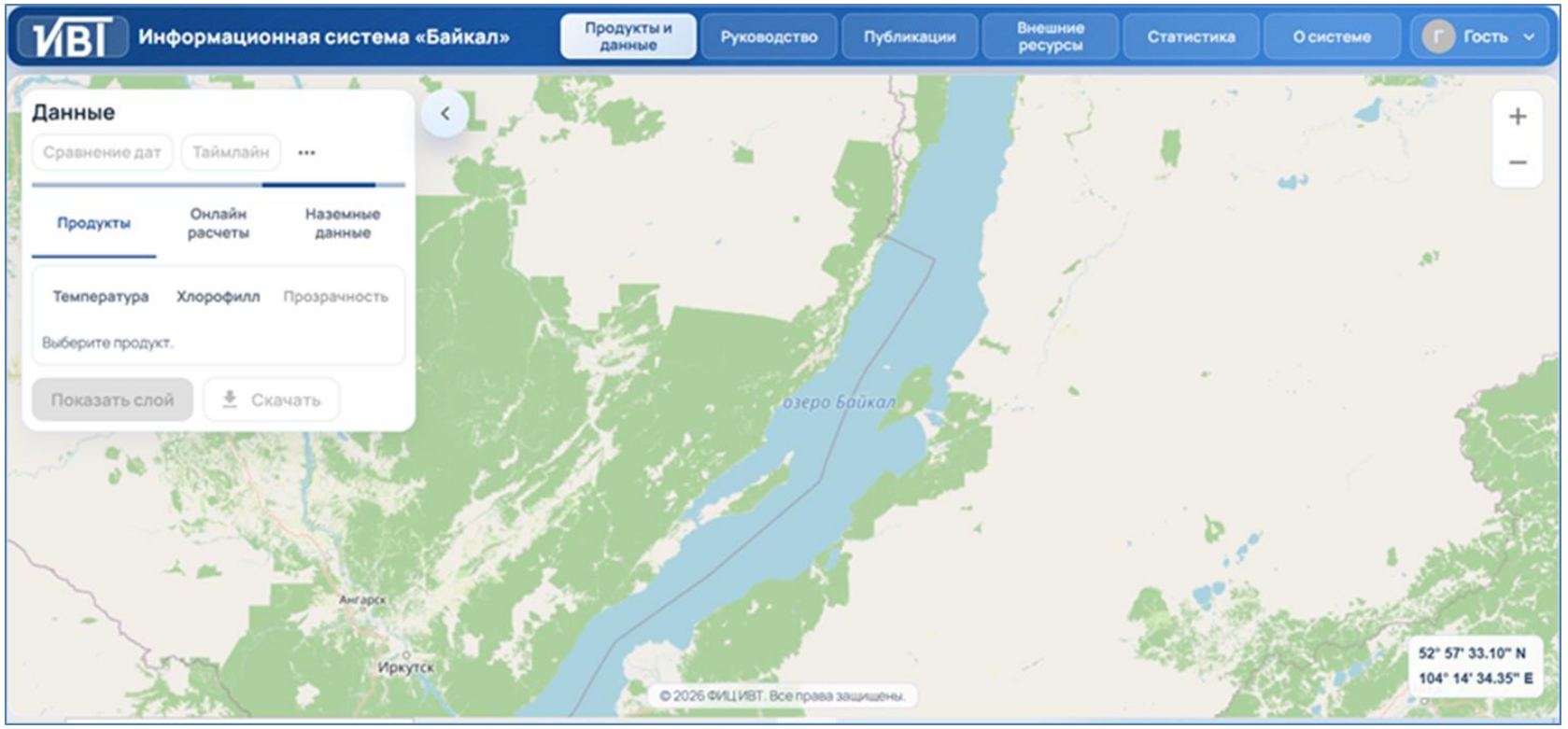


Диаграмма взаимодействия клиентской и серверной частей ИС «Байкал»

Стартовая страница веб-ориентированной информационной системы «Байкал»

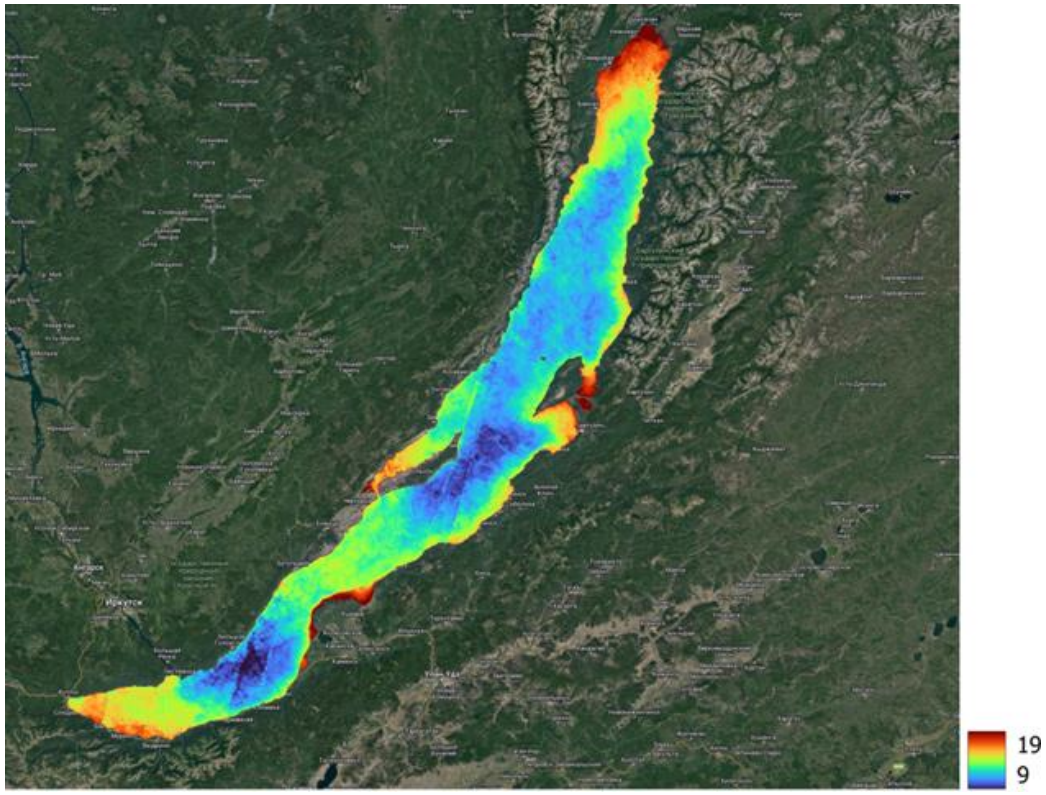


Пестунов И.А., Дубровская О.А., Жирнов А.А., Мамаш Е.А., Синявский Ю.Н. Информационная система “Байкал”: оперативный мониторинг акватории по спутниковым и натурным данным на базе облачных вычислений // Вычислительные технологии. 2026. Т. 31. № 5. С. 128-144.

Примеры картограмм, построенных с использованием веб-ориентированной ИС «Байкал»

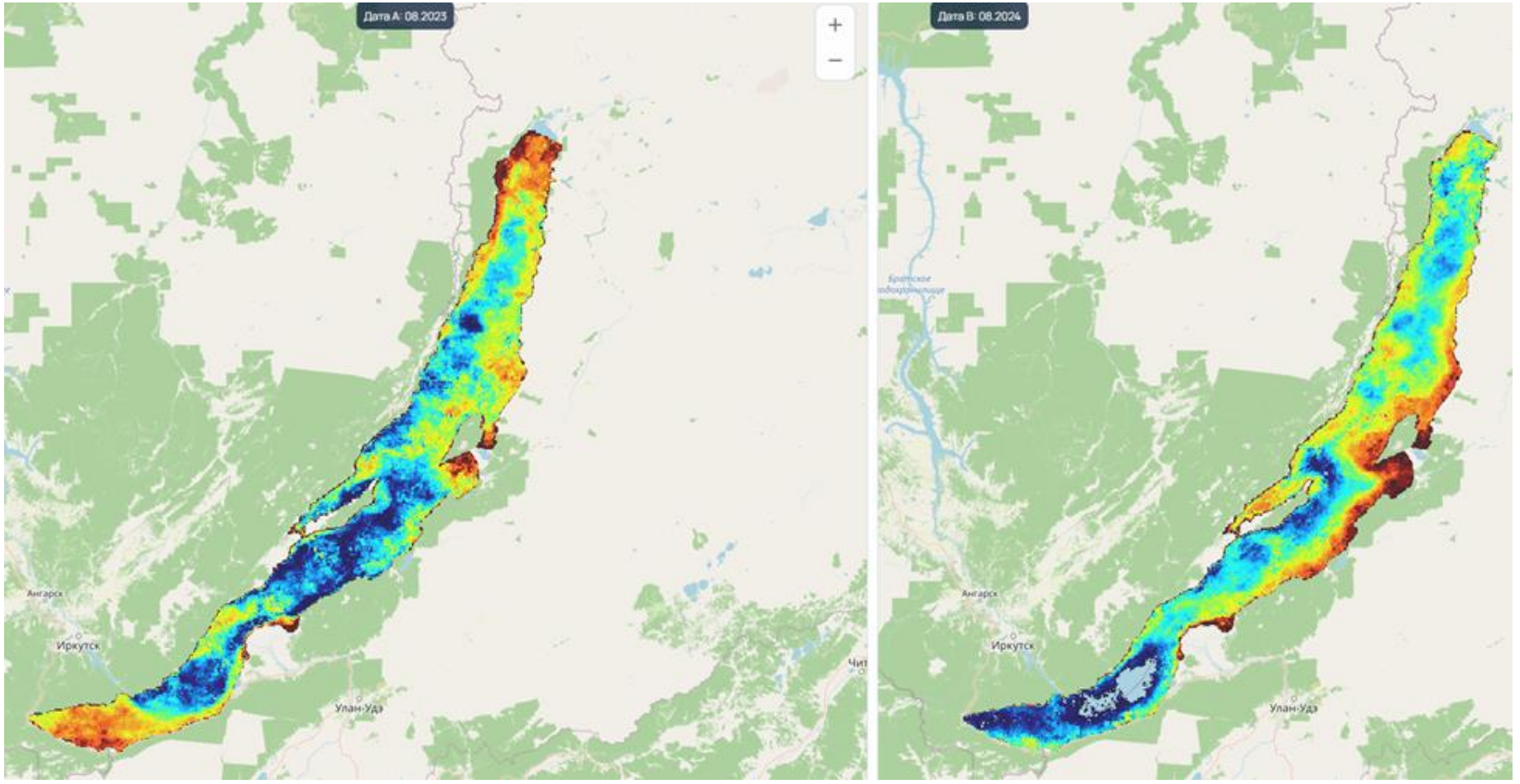


Картограмма концентрации хлорофилла-а в поверхностном слое озера Байкал по данным со спутника Sentinel-2 за 25 июня 2025 г.



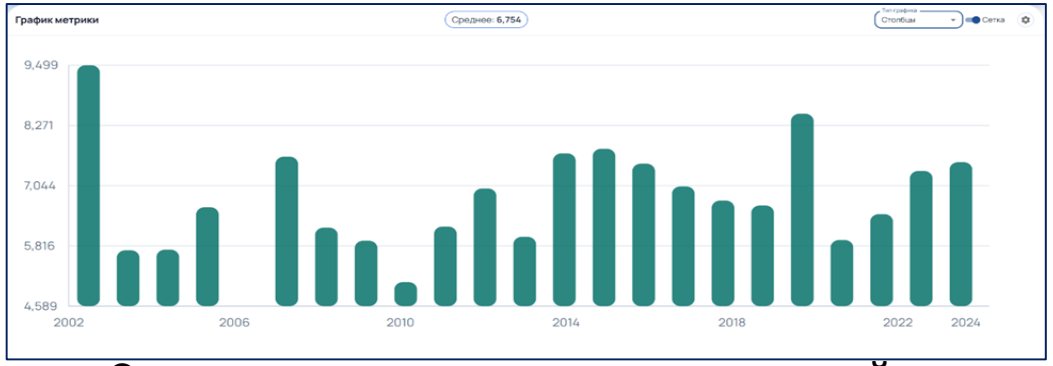
Распределение среднемесячной температуры поверхностного слоя озера Байкал за июль 2024 г. по данным MODIS/Terra.

Визуализация данных в веб-ориентированной ИС «Байкал»: сравнение температурных картограмм

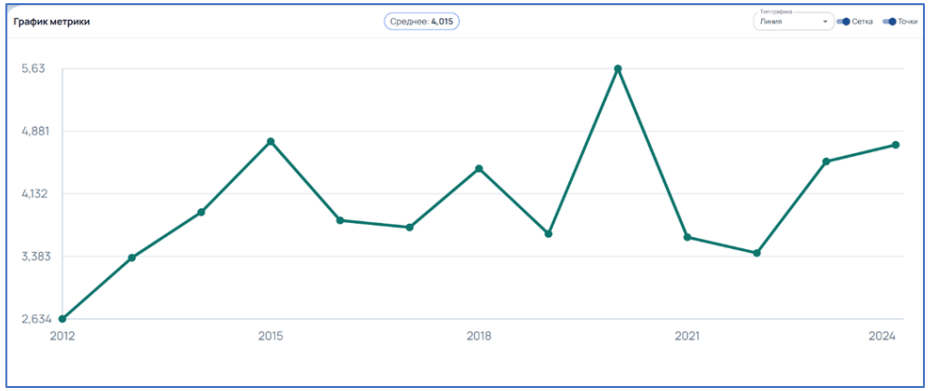


Сравнение картограмм, полученных в разные периоды времени (август 2023 и 2024 гг.)

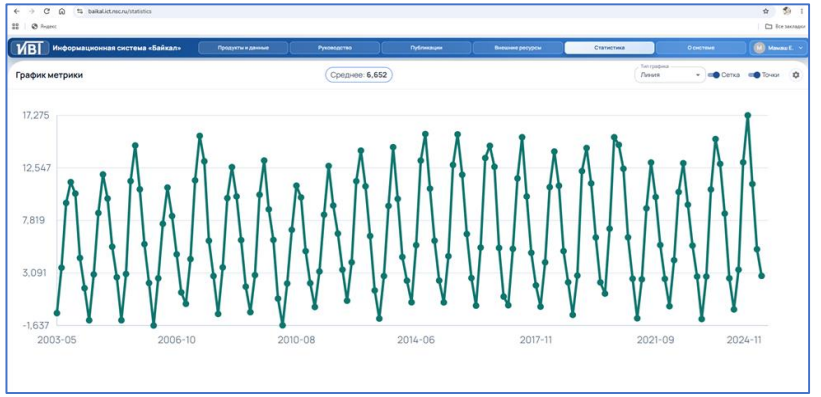
Примеры статистического анализа в веб-ориентированной информационной системе «Байкал»



Среднегодовая температура открытой воды
по данным Modis/Aqua, с 07.2002 по 11.2024 г.

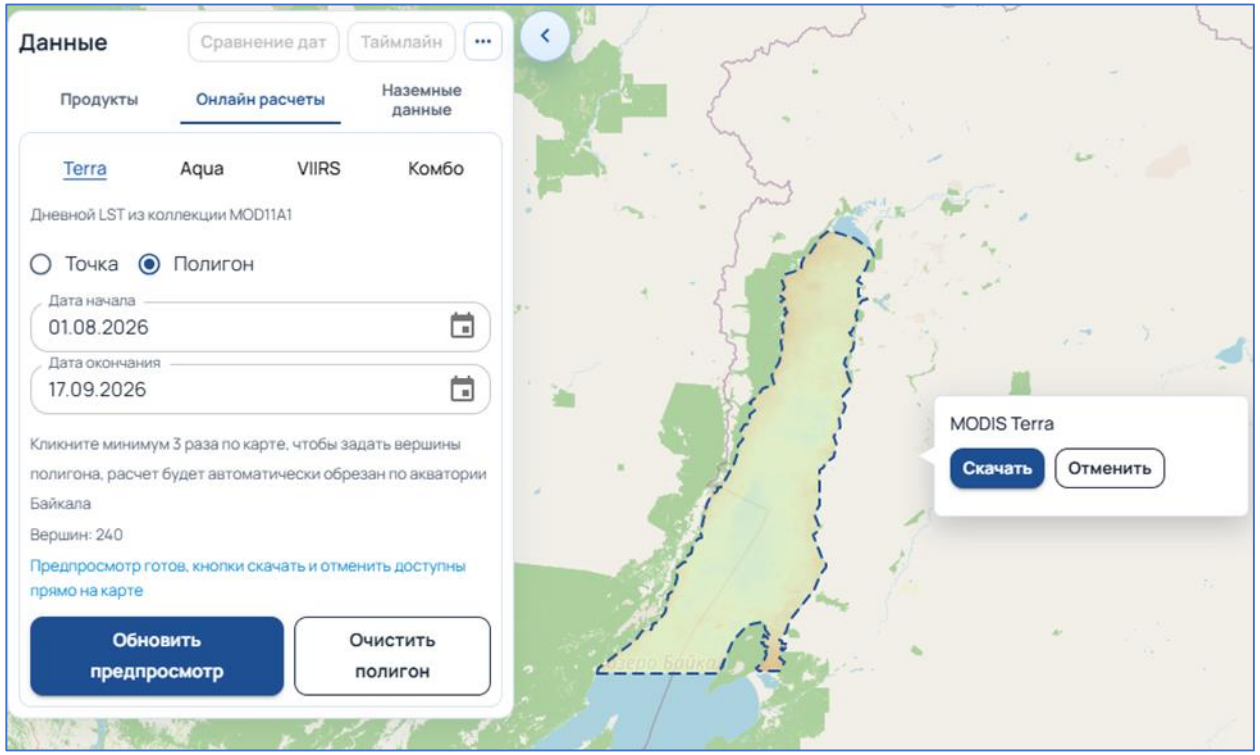


Среднемесячная температура открытой воды
по данным радиометра VIIRS (Suomi NPP),
май 2012 г. — ноябрь 2024 г.

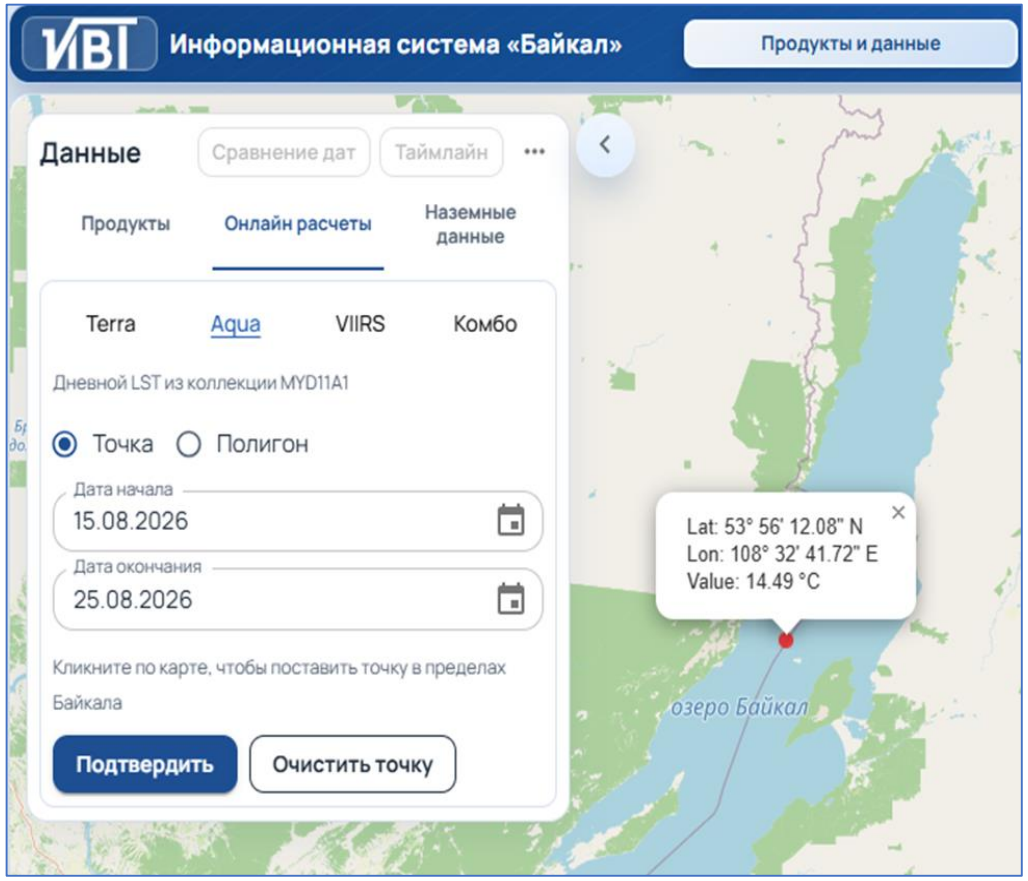


Среднегодовая температура открытой воды по данным
Modis/Aqua, с 05.2003 по 11.2024 г.

Возможности веб-ориентированной ИС «Байкал»



Расчёт средней температуры воды для выделенного полигона в online-режиме (01.08.2026–17.09.2026); результат сохранён в формате TIFF



Визуализация и просмотр натурных данных