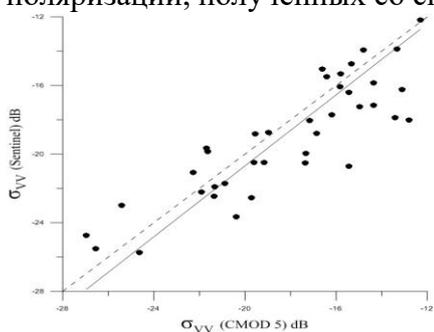
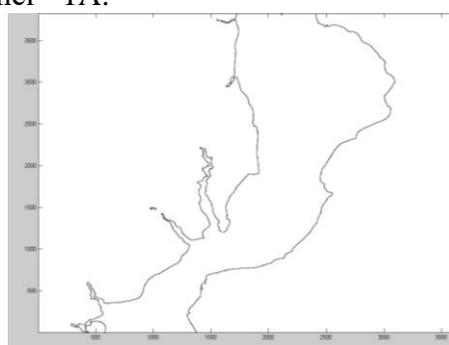


**Важнейшие результаты, полученные при реализации Проекта 17-05-41117
(материал, в научно-популярной форме иллюстрирующий основные результаты проекта)
Оценка современного гидрологического состояния крупных озер и водохранилищ
Восточно-Европейской равнины на основе численного моделирования и новых
алгоритмов обработки данных спутникового микроволнового зондирования.**

Даны оценки применимости алгоритма CMOD5 для восстановления данных о скорости ветра на внутренних водоемах по спутниковым РСА изображениям на VV поляризации, полученным Sentinel-1A/B, на примере Горьковского водохранилища. Для валидации использовались наземные измерения скорости и направления ветра на метеорологической станции, расположенной на узком моле. На основе более 30 снимков показано, что этот алгоритм может быть использован для восстановления скорости ветра на внутренних водоемах. Также, разработаны новые алгоритмы и реализованы программные коды в рамках программного комплекса «Sputnik» для нахождения береговой линии внутренних водоемов на основе анализа спутниковых РСА изображений на VH поляризации, полученных со спутника Sentinel - 1A.

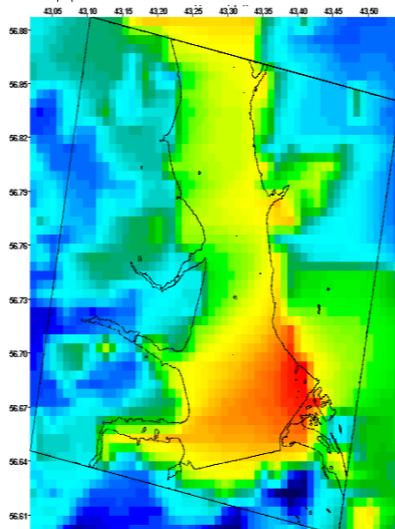


Сопоставление расчетных данных по УЭПР CMOD5 и по данным со снимков Sentinel. Пунктирная линия – биссектриса угла, сплошная линия – наилучшая аппроксимация линейной функцией

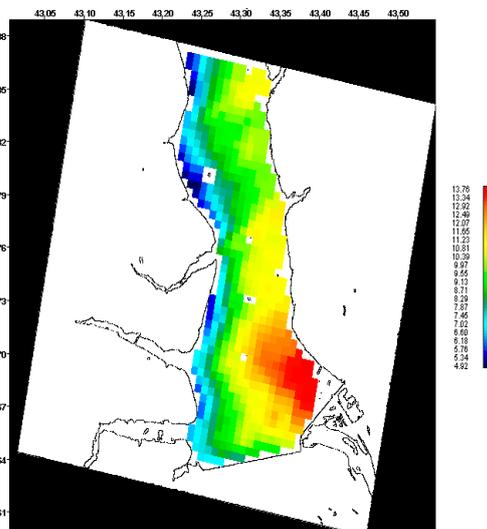


Пример определения береговой линии части средней Горьковского водохранилища по результатам обработки снимка Sentinel-1A

Для восстановления поля скоростей ветра был реализован т.н. «обратный» алгоритм CMOD5. Результаты были сопоставлены с расчетами, полученными с использованием численной модели прогноза погоды WRF (Weather Research and Forecasting). Получено хорошее согласие между полями скоростей, полученными данной моделью и при помощи «обратного» алгоритма CMOD5. Таким образом, приведенный алгоритм может быть использован для восстановления скоростей ветра над акваториями внутренних водоемов.



а



б

Поле скоростей ветра над Горьковским водохранилищем 28.09.2018 в 6:00 часов, полученное с использованием модели WRF (а) и обратного алгоритма CMOD5 (б) по данным спутника

На основе данных спутниковой альтиметрии предложен и реализован алгоритм определения динамической топографии для крупных водоемов. При построении средней динамической топографии учитывались высоты геоида относительно расчетного эллипсоида и сезонный ход уровня водохранилища. Показано, что в северо-восточной части Рыбинского водохранилища видно куполообразное понижение уровня, указывающее на существование устойчивого циклонического вихря.

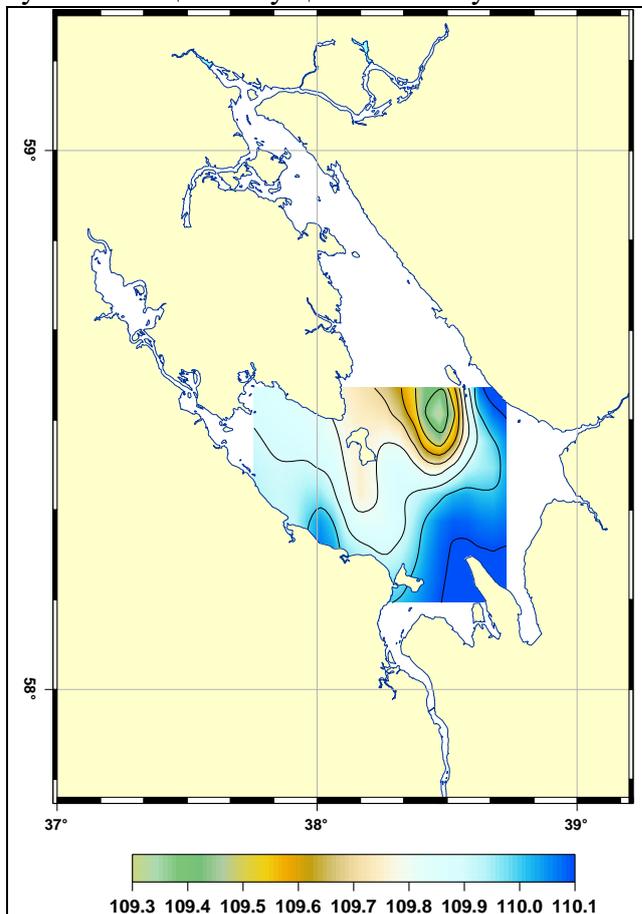
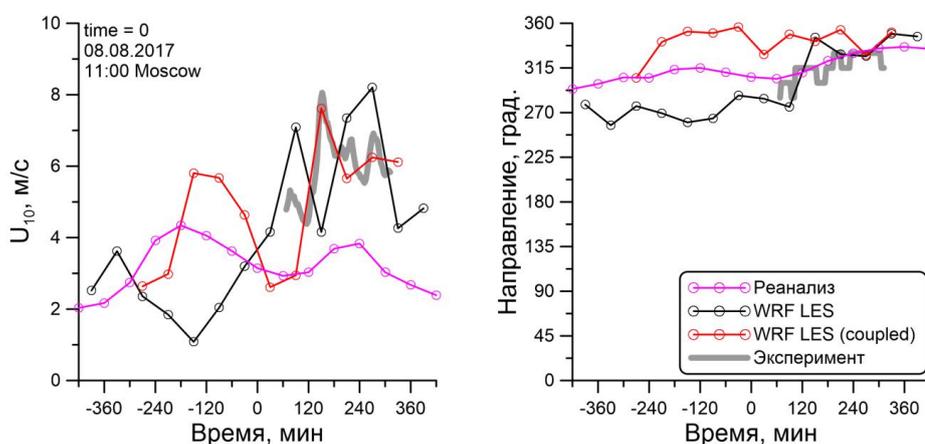
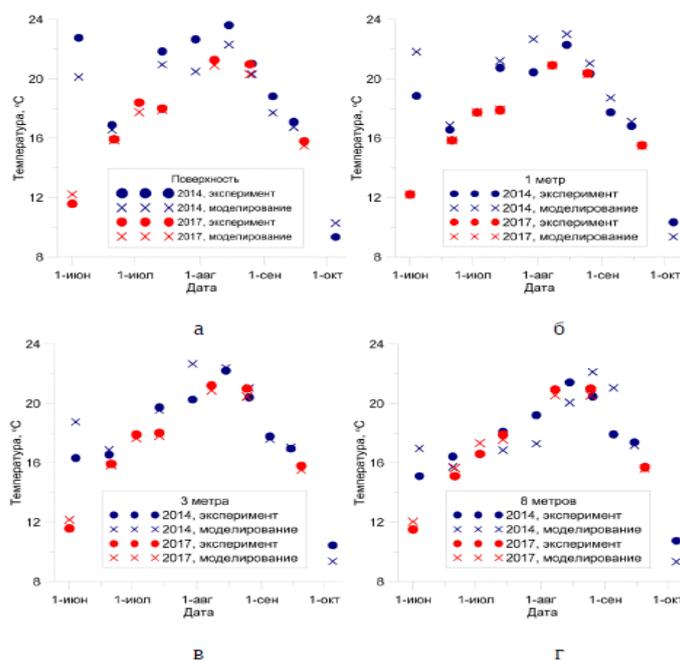


Рис. 5 Карта средней динамической топографии за 2002 год (май–сентябрь) по данным альтиметрических измерений спутника Jason-1 вдоль 059 и 066 треков.

Разработана комплексная гидрометеорологическая численная модель внутреннего водоема и ее произведена ее верификация основе данных натуральных измерений. Она основана на использовании современных моделей циркуляции атмосферы WRF-ARW и поверхностного волнения WAVEWATCHIII, а также на модели гидротермодинамики внутреннего водоема LAKE. В нее входит программный комплекс, состоящий из прогностических моделей состояния атмосферы (WRF) и волнения (WAVEWATCH III), а также связующей модели OASIS, адаптированных к условиям внутреннего водоема. Все модели обладают открытым программным кодом. Выполнена комплексная верификация модифицированного программного комплекса LAKE, основанного на одномерной модели внутреннего водоема и предназначенного для расчета термического режима озер и водохранилищ. В качестве данных сопутствующей метеорологической обстановки рассматривались данные глобального метеорологического реанализа. Для настройки модели использовались также данные, полученные в ходе натуральных измерений, проводимых на экспериментальном полигоне Горьковского водохранилища. Результаты расчетов продемонстрировали хорошее качественное и количественное согласие с реальными сезонными изменениями термического режима водохранилища.

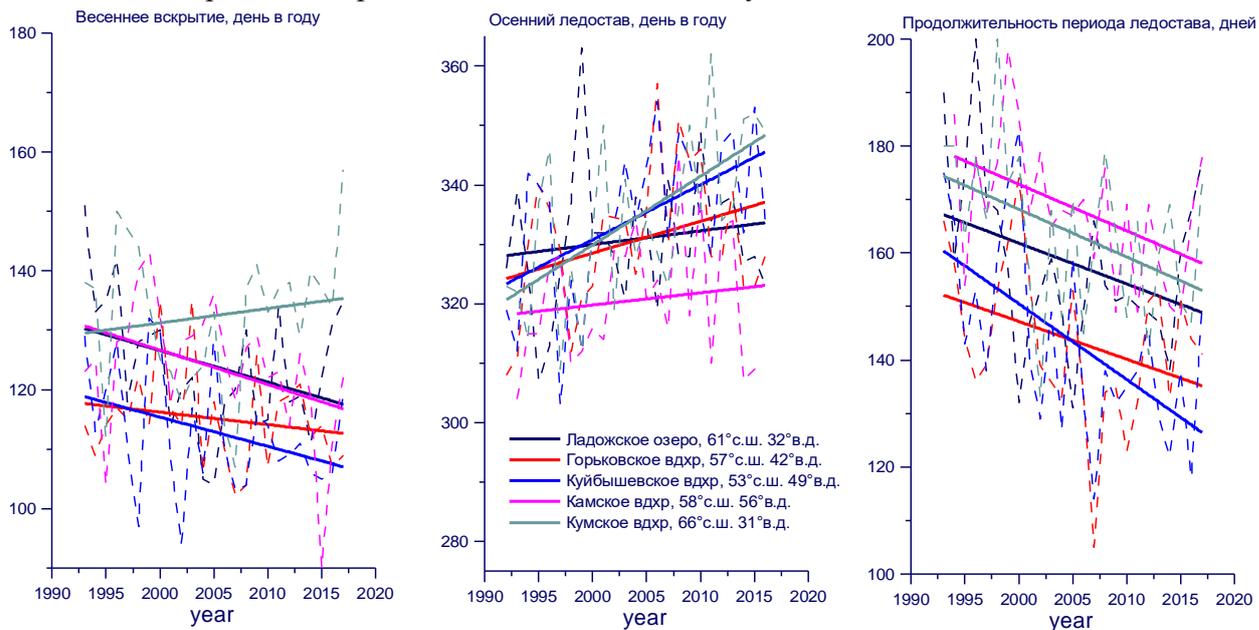


Результаты расчета моделью WRF модуля скорости ветра (а) и направления ветра (б) с подключением разных параметризаций ППС и приповерхностного слоя атмосферы: WRF LES, WRF LES (сопряженная с волновой моделью), данные реанализа в сравнении с данными измерений in-situ в тестовый день 08.08.2017.



Сравнение измеренных и рассчитанных значений температуры, °С, на различных горизонтах глубины: а) поверхность, б) 1 м, в) 3 м, г) 8 м.

Разработан и реализован в программном коде алгоритм, позволяющий производить оценку разностей радиоярких температур между открытой водой и твердой поверхностью (почва, лед). С помощью данного алгоритма и данных спутников Jason 1,2,3 и Torex/Poseidon произведен анализ ледового режима крупнейших водоемов Российской Федерации, построены временные ряды замерзания и вскрытия льда с 1992 года. Результаты расчетов были сопоставлены с данными наземных наблюдений (уровнемерных постов - gis.vodinfo.ru). Подтверждена высокая точность метода. Зависимости времен замерзания и вскрытия льда, полученные за 25 лет, показали наличие климатического тренда к более позднему замерзанию и более раннему вскрытию, и, как следствие, сокращению времени ледостава до 10-15 суток за 25 лет.



Климатические тренды ледового режима водоемов ЕТР (1992-2017)

На портале проекта hydroiar.ru создан пополняемый архив, содержащий данные дистанционного зондирования и наземных измерений гидрологического состояния крупных озер и водохранилищ Русской равнины. Для озер и водохранилищ представлены данные натуральных измерений, дистанционного зондирования и численного моделирования в виде доступных для скачивания файлов, таблиц и графиков.

