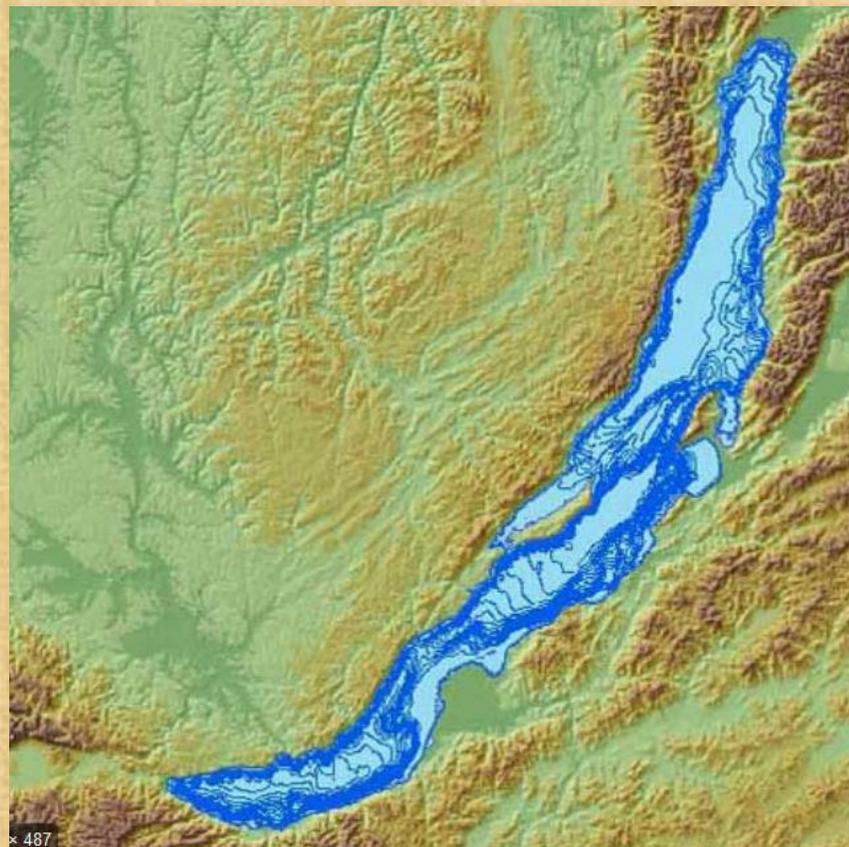
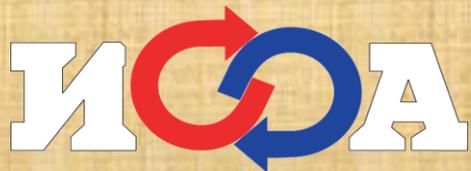


# Мезомасштабные метеорологические явления над озером Байкал по данным дистанционного зондирования, реанализов и математического моделирования

Репина И.А., Шестакова А.А., Медведев А.И., Ганбат Г.



При поддержке РФФИ 19-55-44028

Озера являются важным элементом земной климатической системы, покрывая около 3% поверхности суши. Они могут служить значимым источником поступления в атмосферу тепла, влаги, а также парниковых газов, в особенности, углекислого газа и метана. Контраст между температурой озера и суши приводит к формированию озерного бриза, который меняет местное поле ветра. Озерный бриз может взаимодействовать с топографией и фоновым ветром и вызывать конвективные процессы. При наличии горного рельефа возможно формирование кatabатических ветров, в том числе и сильных

Ветровые условия над оз. Байкал отличаются сложностью и многообразием. Сложный рельеф высоких горных хребтов, обрамляющих Байкал, само расположение огромной массы воды на материке с резко континентальным климатом, вытянутость котловины озера в меридиональном направлении более чем на 600 км способствуют возникновению над озером местных воздушных циркуляций. Исследование и прогноз штормов (скорость  $> 20$  м/с) на Байкале представляет наибольший практический интерес, поскольку скорость, направление и продолжительность ветра относятся к числу основных факторов, определяющих волнение на акватории озера.

Возможность оперативного, качественного и заблаговременного прогноза ветра в значительной степени способствует планированию и проведению различных работ, осуществляемых на озере (судоходство и рыбный промысел), а также при научных исследованиях течений, переформирования берегов, влияния промышленных сточных вод на загрязнение озера и пр.

# Мезомасштабные циркуляции для озера Байкал по анализу спутниковых данных в ИК и видимом диапазоне

14 ноября 2017



10 декабря 2017



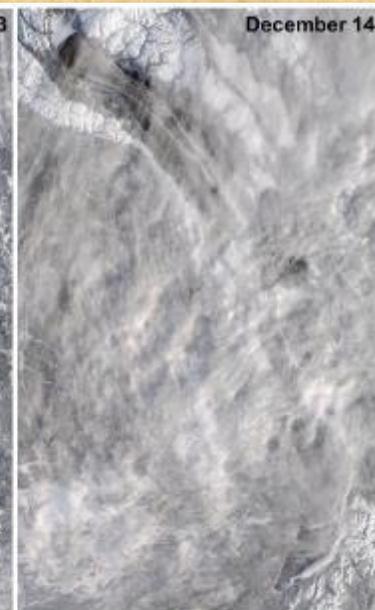
08 декабря 2018



December 13



December 14



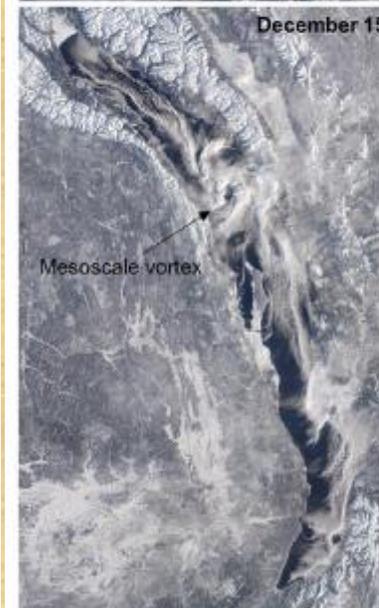
17 ноября 2019



03 декабря 2019



December 15

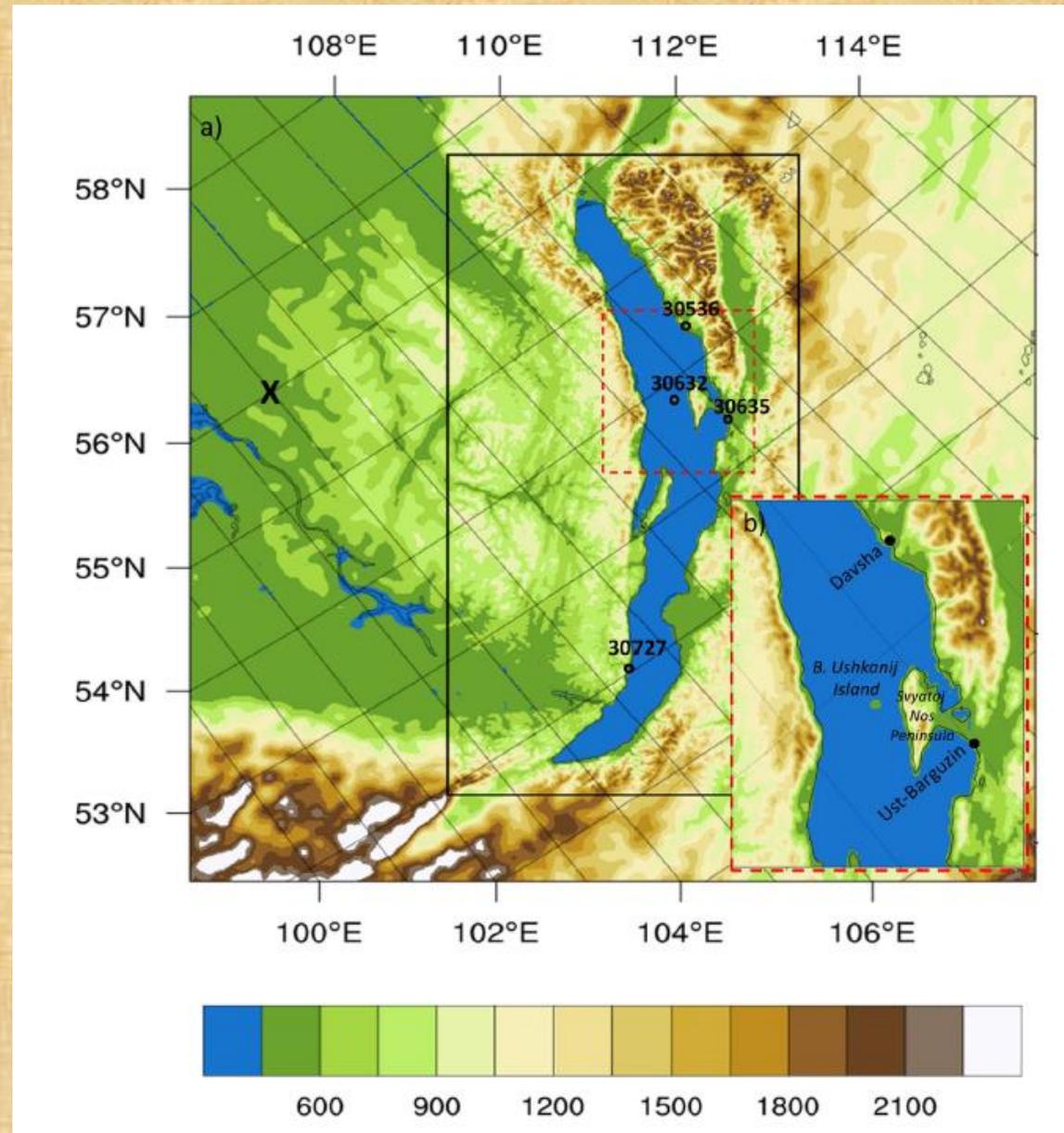


December 16

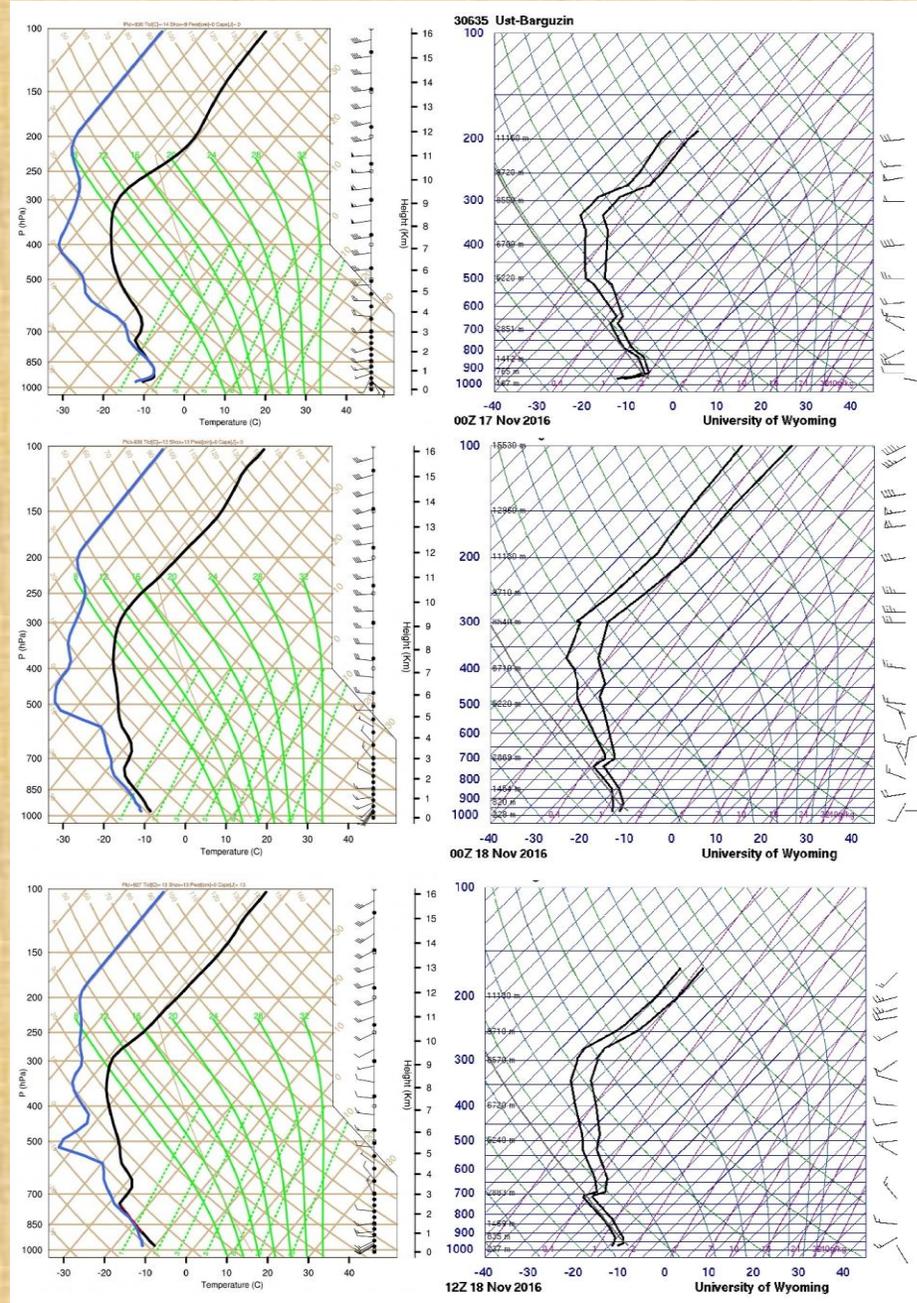


Используется атмосферная модель WRF (Weather Research and Forecasting) версии 4.1.1 с исследовательским ядром ARW (Advanced WRF). Основным преимуществом WRF-ARW перед остальными продуктами подобного типа является возможность выбора подходящей схемы параметризации для различных подсеточных физических процессов.

Тип проекции карты	Lambert
Шаг сетки	9 000 м (9 км) / 3000 м (3 км) / 1000 м (1 км)
Количество шагов сетки в направлении север-юг	60/73/151
Количество шагов сетки в направлении восток-запад	60/73/151
Количество вертикальных уровней	40
Шаг по времени для первой области	15 с
Радиация	Rapid Radiative Transfer Model New Version
Поверхностный слой	Nakanishi and Niino PBL's surface layer scheme
Модель поверхности земли	Noah land-surface model
Атмосферный пограничный слой	Mellor-Yamada Nakanishi and Niino Level 2.5 PBL
Микрофизика	WRF Single-Moment 6-class scheme
Параметризация облачности	Kain-Fritsch scheme/none/none

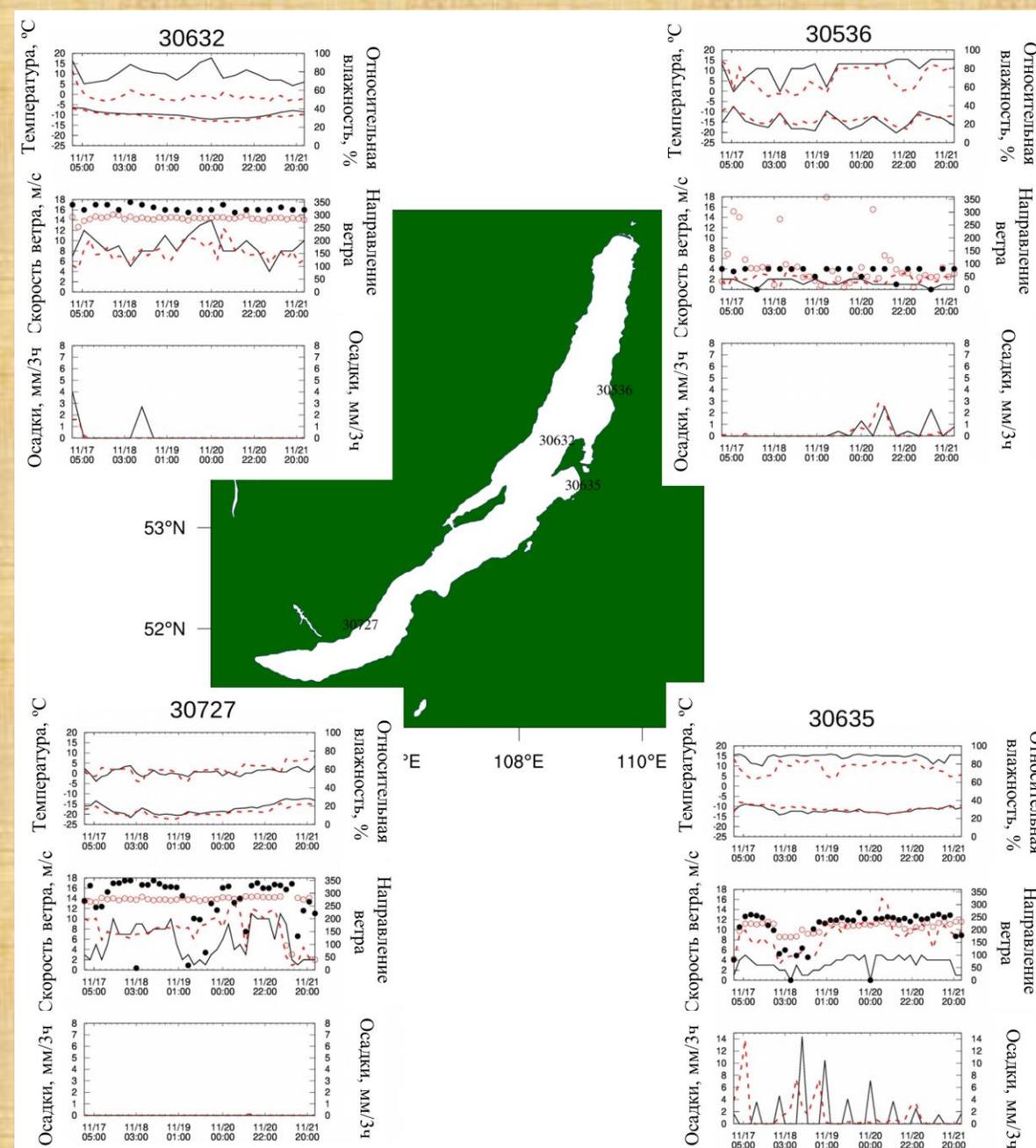


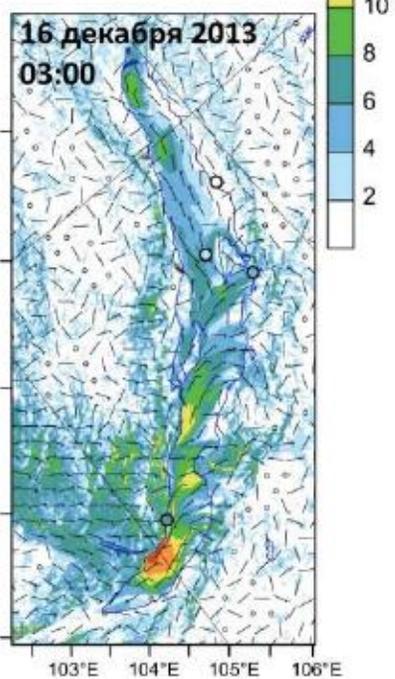
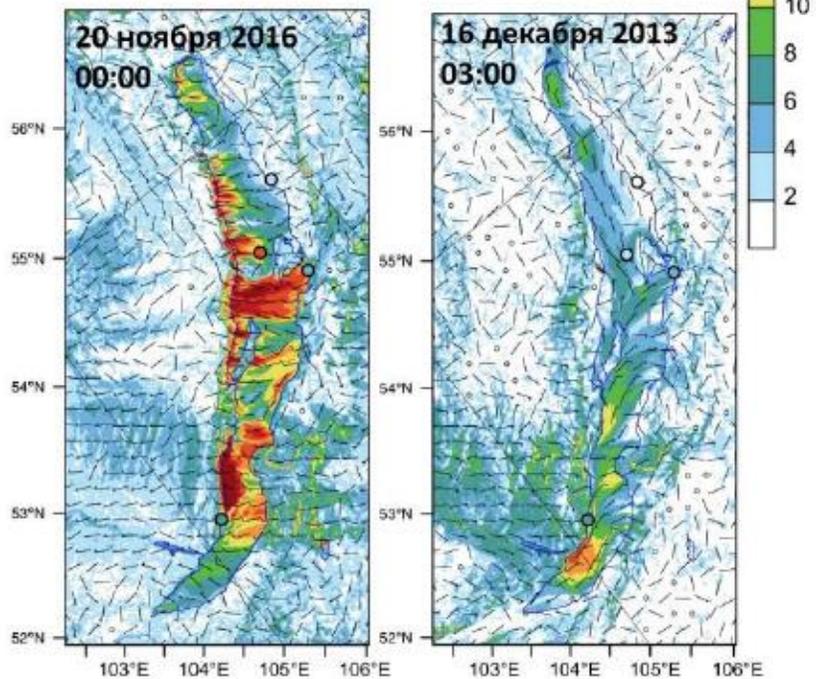
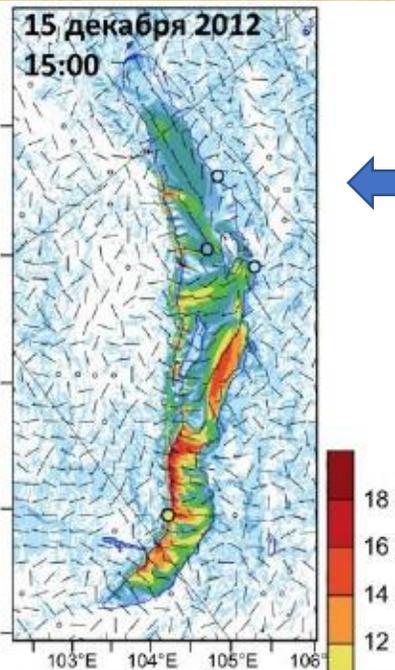
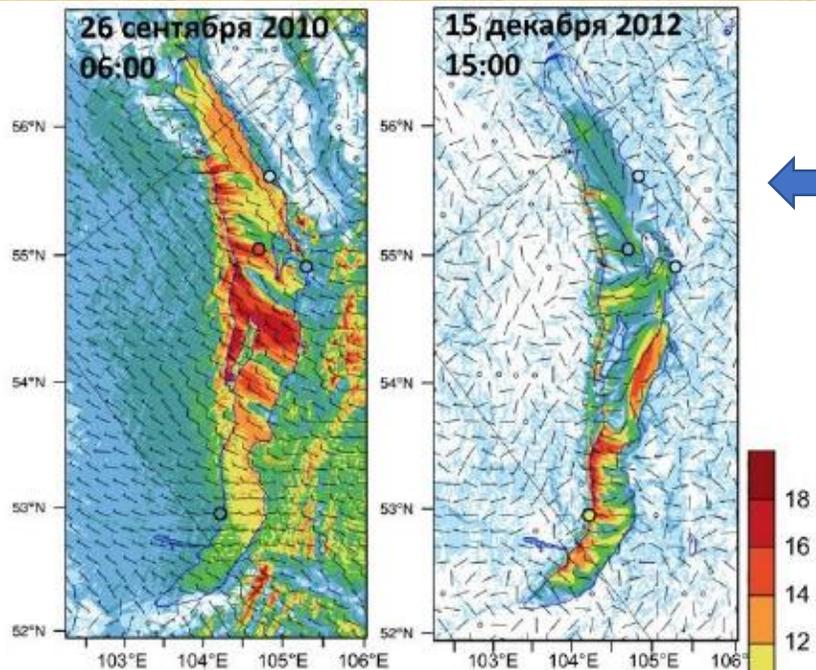
Домен модели



*Сравнение результатов моделирования (слева) с данными радиозондирования (справа) на станции Усть-Баргузин*

*Сравнение результатов моделирования (красные линии и пунсоны) с данными приземных наблюдений температуры, относительной влажности, скорости и направления ветра и осадков на станциях (черные линии и пунсоны). Положение станций показано на схеме в центре*

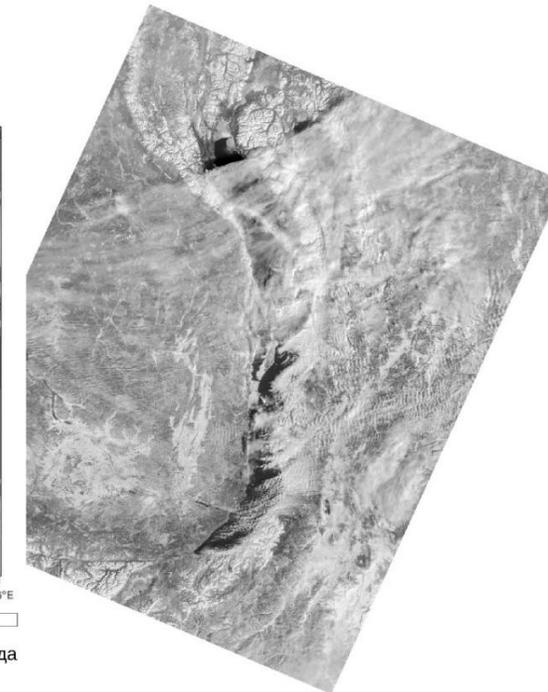
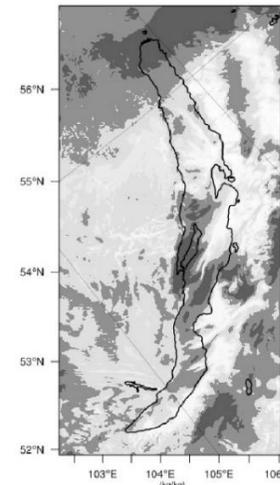




Скорость ветра на уровне 10 м (цветом и перьями) по данным моделирования и наблюдений (пунксами) для разных эпизодов местных ветров на Байкале

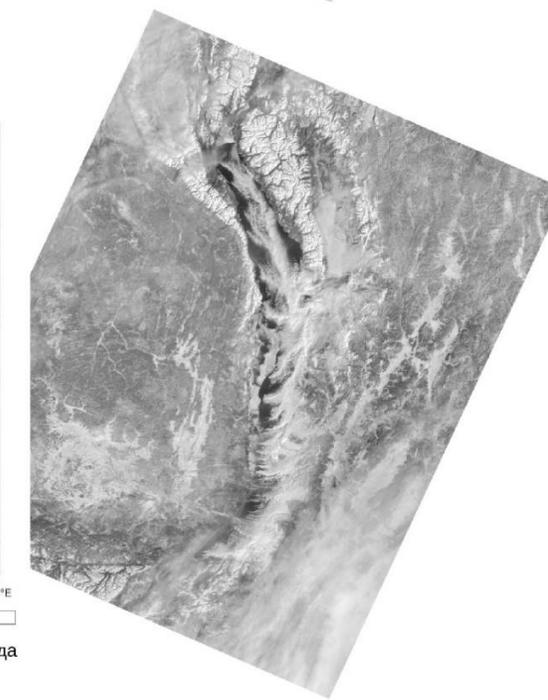
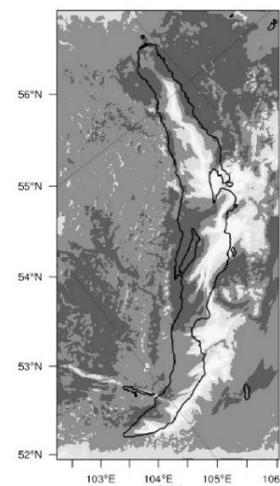
Сравнение результатов моделирования облачности (слева) со спутниковыми снимками Terra в видимом диапазоне (справа)

17 ноября 2016



Отношение смеси воды и льда в облачном воздухе

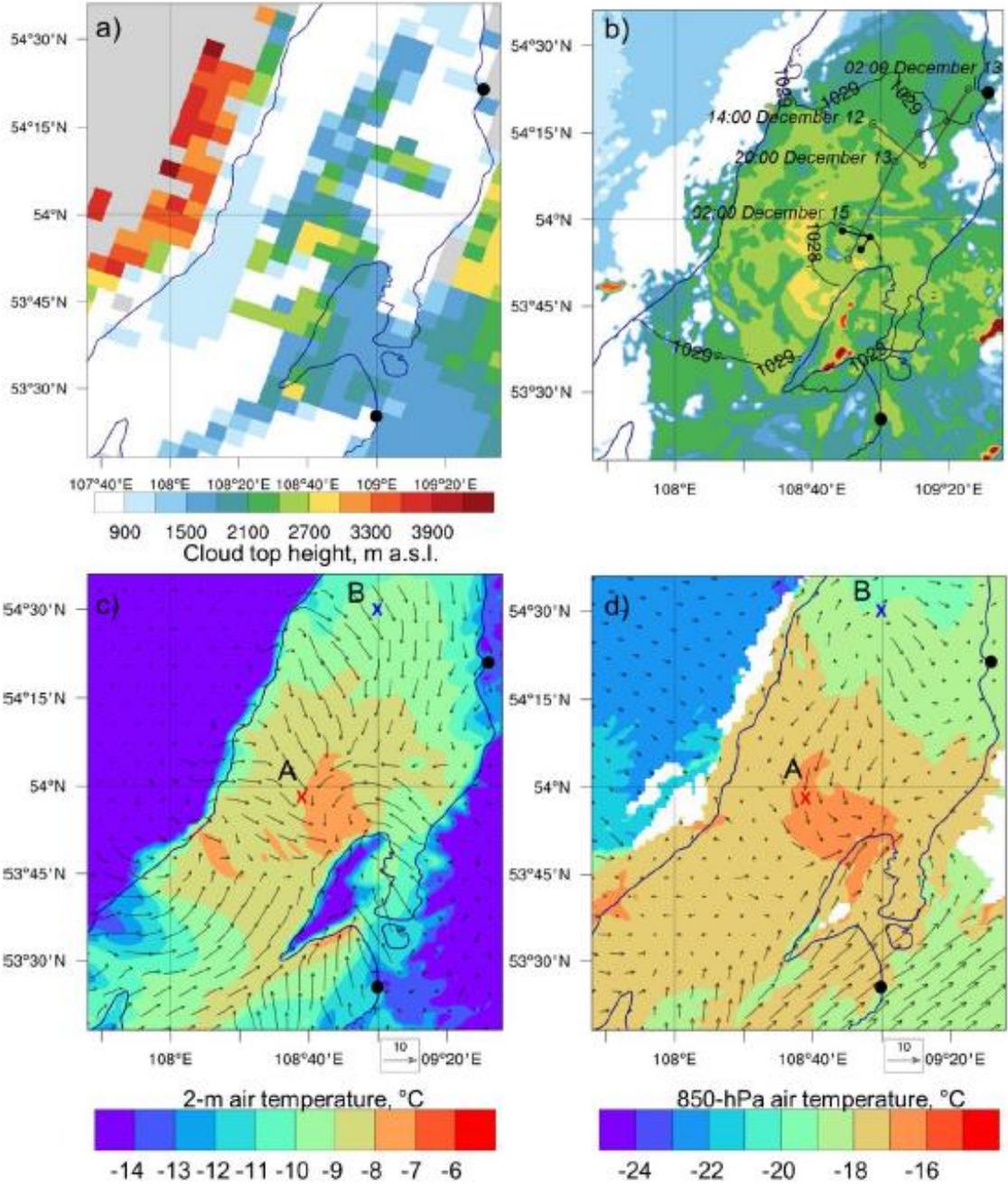
18 ноября 2016



Отношение смеси воды и льда в облачном воздухе

# Моделирование мезомасштабного вихря 13-16 декабря 2012

Высота облаков в мезомасштабном вихре по данным MODIS 5 км (a) и моделирования (b) (at 12:00). На Рис. 5b также показано давление на уровне моря и траектория движения вихря с 12 по 14 сентября. Температура и ветер с) у поверхности d) На уровне атмосферного давления 850-гПа



Shestakova, Repina, 2021

## Выводы

Влияние орографии Байкала проявляется в первую очередь в конвергенции потоков над озером. Особенности рельефа северного Байкала таковы, что при северо-западном и западном фоновом потоке вдоль главной оси озера в его северной части чаще всего дует северный ветер («верховик», или «ангара»). Южнее, где высота рельефа постепенно понижается, в этом эпизоде дул западный ветер «горная», который относится к типу подветренных бурь. Анализ данных показал, что мезомасштабный вихрь формируется в районе столкновения двух орографических ветров разного направления (верховик и горная) вблизи полуострова Святой Нос.

В численном эксперименте модель успешно воспроизвела местоположение вихря, его облачные структуры и ход метеорологических величин на тех метеостанциях, через которые этот вихрь проходил. Но из-за небольшого смещения модельного вихря относительно наблюдаемого в момент его выхода на сушу количество и время выпадения осадков на метеостанциях воспроизвелось хуже. Согласно результатам моделирования, интенсивность осадков над озером в момент кульминации мезоциклона достигала 20 мм за 3 ч.

Также был проведен дополнительный эксперимент, в котором задавался плоский рельеф, направленный на выявление роли орографии в формировании вихря. В отличие от Великих Американских озер, над Байкалом роль орографии в формировании данного мезоциклона оказалась первична (в эксперименте без рельефа вихрь не образуется).

Рельеф способствовал не только конвергенции потоков вблизи центра озера, но также в значительной мере обусловил необходимую для формирования глубокой конвекции неустойчивую стратификацию температуры (из-за блокирования устойчиво-стратифицированного натекающего потока). Анализ компонент уравнения вихря показал, что источниками завихренности для данного мезоциклона послужили мезомасштабная адвекция теплого воздуха, нагретого за счет турбулентного теплообмена с поверхностью озера, а также увеличение нисходящей длинноволновой радиации в подоблачном слое и выделение теплоты конденсации в облаках.