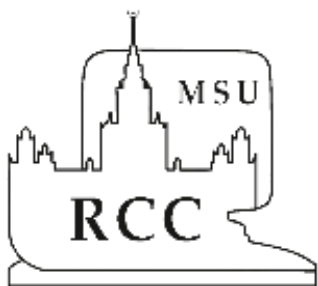


Мезомасштабное и вихреразрешающее моделирование процессов обмена над термически неоднородной поверхностью на примере полигона Мухрино

В.И. Суязова, А.В. Дебольский, Е.В. Мортиков



**Всероссийская конференция
«Турбулентность, динамика атмосферы и климата»,
Москва, 2024**

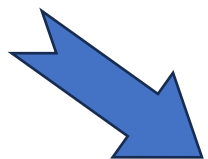




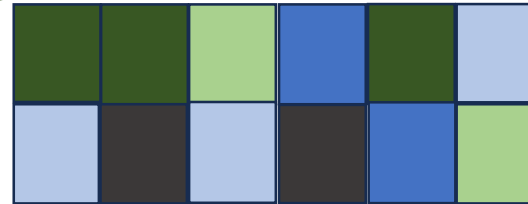
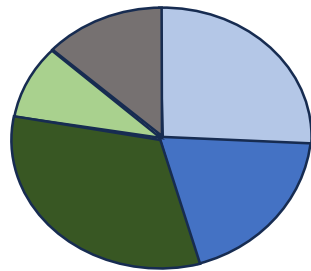
Яркими примерами неоднородности поверхности может служить Западная Сибирь. Болота занимают около 30% территории Западной Сибири.

Полевой стационар Мухрино (Ханты-Мансийский автономный округ) расположен в средней таежной зоне Западно-Сибирской низменности и представляет собой типичное олиготрофное верховое болото. Для Мухринского полигона выделяются три типичные вида ландшафта: грядово-мочажинный комплекс, заболоченная ложбина и рям

В ходе **измерительной кампании «Мухрино-2022»** [Chechin D. G. et al, 2022] установлены измерительные приборы на каждом типе ландшафта, получены данные наблюдений о пространственной неоднородности турбулентных потоков, проведено вертикальное профилирование до высоты до 500 м



- Неоднородность поверхности важна при описании пограничного и приземного слоев атмосферы
- При расчете энергетического баланса по данным измерений существует проблема не замкнутости теплового баланса на поверхности. В не замкнутость баланса связывают в том числе с влиянием неоднородной поверхности.
- Существуют различия в механизме теплообмена. Типы поверхности могут сильно различаться по значениям альбедо, шероховатости, индексу листовой поверхности, теплоемкости и т.д.
- В моделях используют два подхода к описанию неоднородности: плиточный и мозаичный



Основной целью данного исследования является количественная оценка влияния пространственной микромасштабной неоднородности на процессы обмена в атмосферном пограничном слое для болотного комплекса «Мухрино»

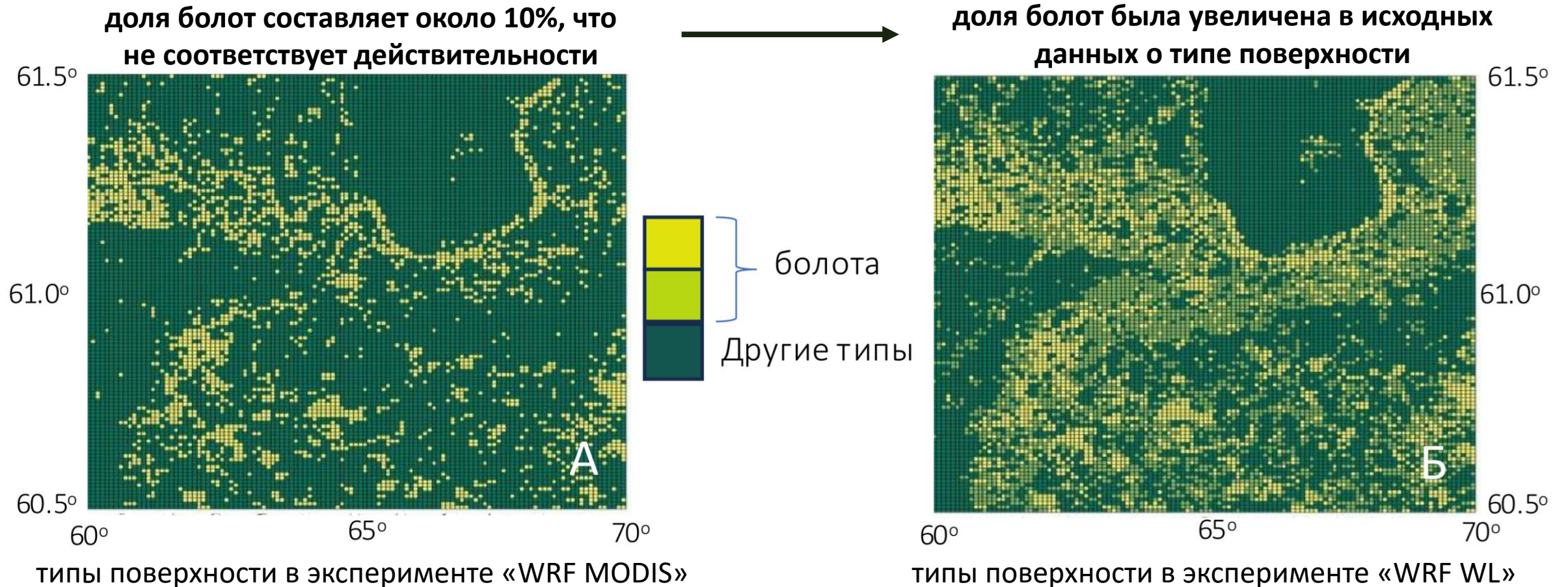
Мезомасштабное
моделирование - модель WRF

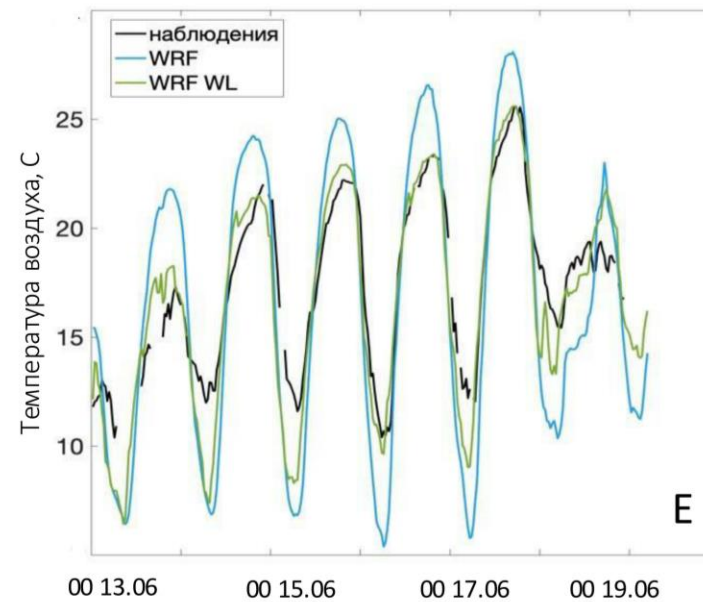
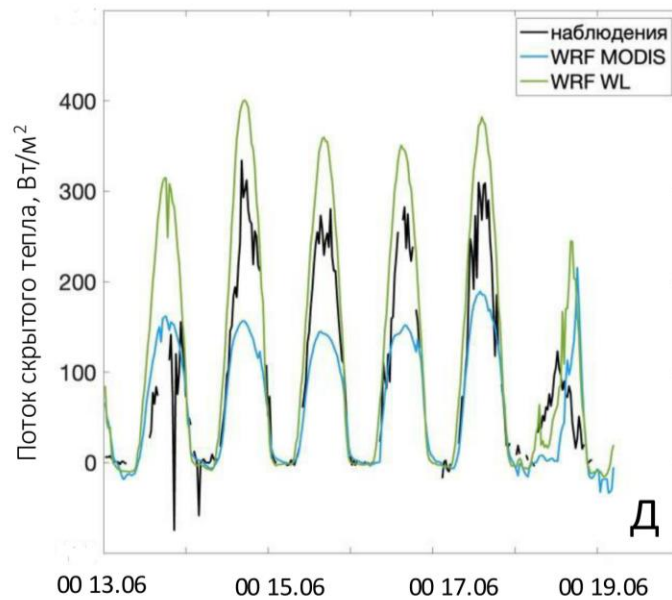
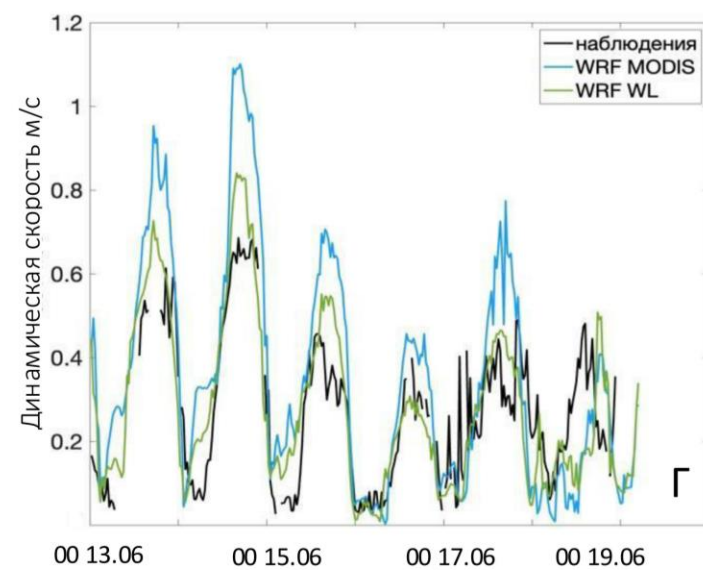
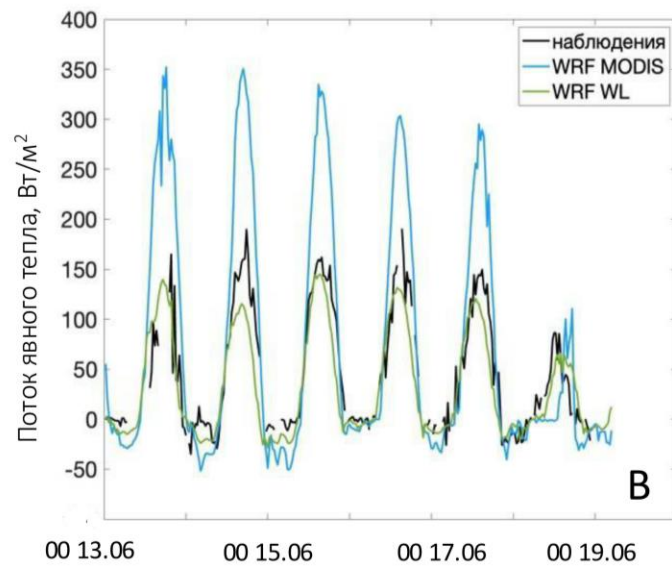
Вихреразрешающее моделирование –
модель НИВЦ МГУ и ИВМ РАН

Результаты экспериментов с использованием модели WRF

Расчеты проводились для временного периода с 12 по 21 июля 2022 года, запись результатов происходила с дискретностью 30 минут, что соответствует периоду осреднения в наблюдениях. Пространственный шаг сетки из 140x120 узлов составил 1000 метров, с центром области в точке с координатами 61° с.ш. 68° в.д.

На первом этапе работы была определена наилучшая конфигурация модели WRF, с набором параметризацией: Revised MM5 (пограничный слой), CAM5 (приземный слой) и Noah (деятельный слой).





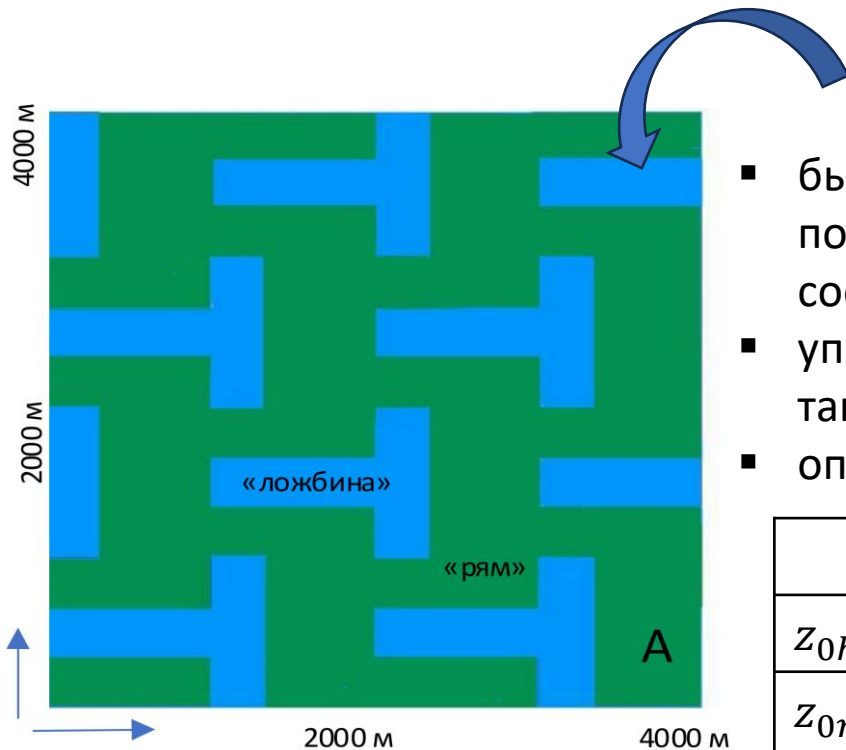
✓ увеличение площади болот в рассматриваемой области позволило приблизить рассчитанные значения к данным наблюдений

Постановка экспериментов с вихреразрешающей моделью в НИВЦ МГУ и ИВМ РАН

эксперимент, учитывающий
неоднородность поверхности «LES HET»

эксперимент с однородной поверхностью
«LES HOM»

- Начальные значения скорости ветра, температуры и влаги задавались по данным из реанализа ERA5.
- Эксперименты проводились для двух временных периодов: с 00 часов 15 июня 2022 по 00 часов 17 июня и с 17 июня 00 часов по 19 июня (по локальному времени).
- Для двух серий расчетов высота, ширина и длина расчетной области составили 4000 м при пространственном разрешении 32 м.

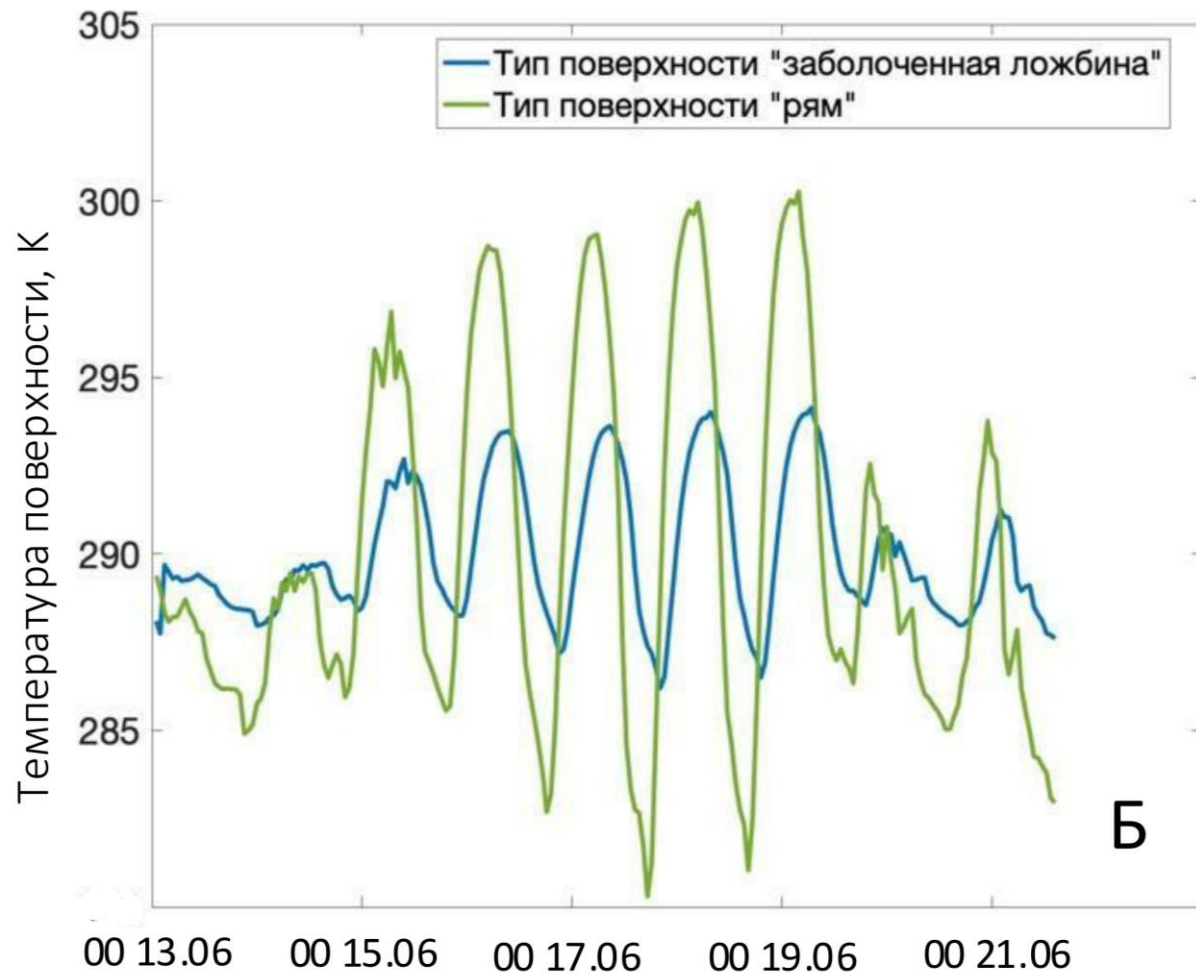


типы поверхности в эксперименте «LES HET»

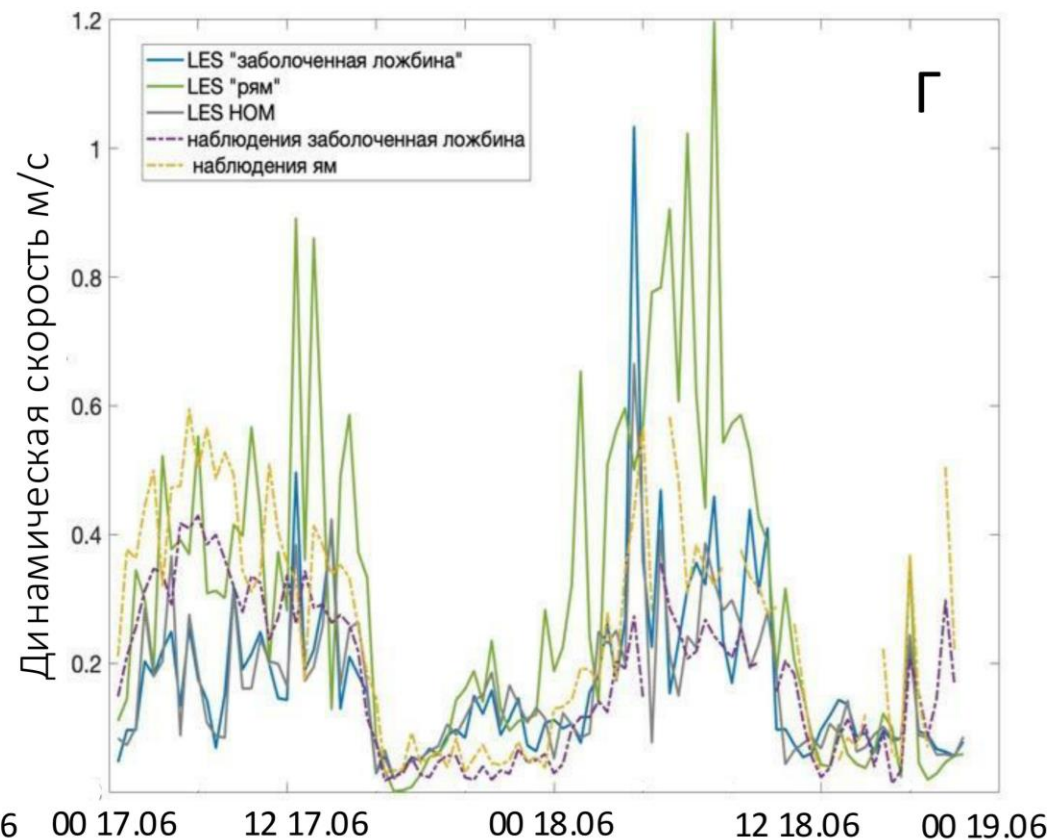
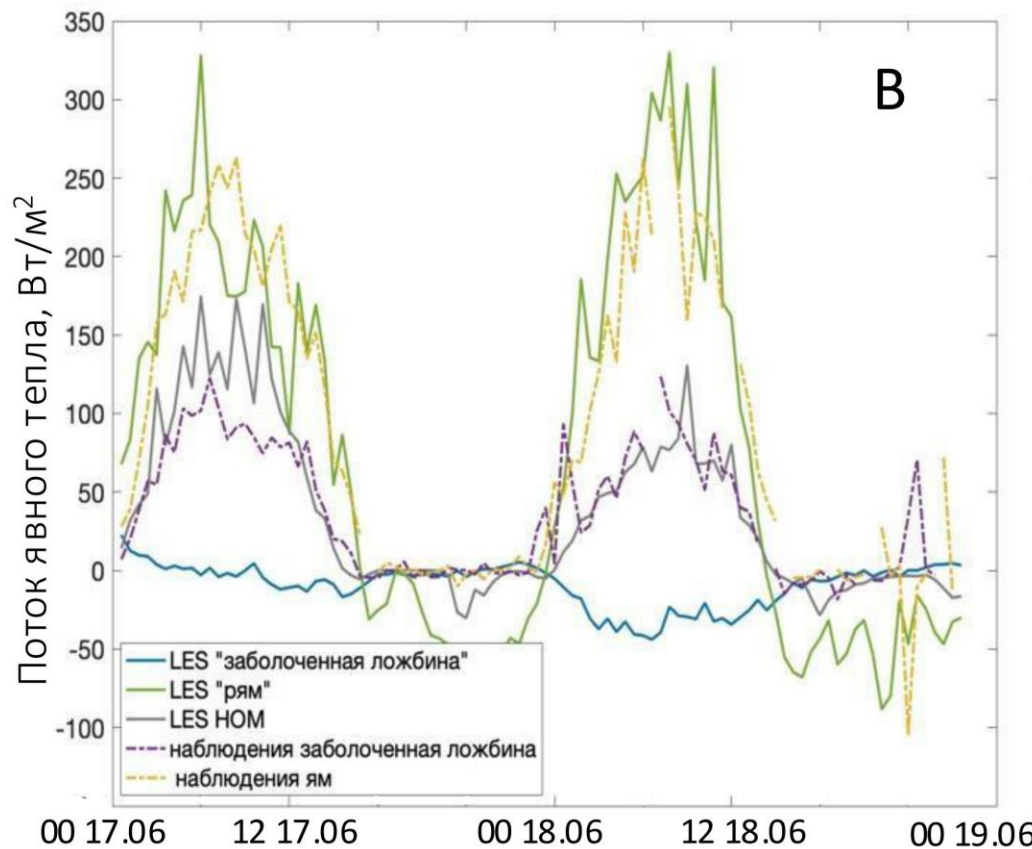
- было создано два типа поверхности: поверхность, условно приближенная к типу поверхности «заболоченная ложбина» (голубой цвет) и поверхность соответствующая типу «рям» (зеленый цвет)
- упрощенная форма неоднородностей и размеры неоднородностей выбиралась таким образом, чтобы она напоминала форму ИК снимка полигона Мухрино
- определение аэродинамической (z_{0m}) и термической (z_{0h}) шероховатости:

	«LES HET» ложбина	«LES HET» рям	«LES HOM»
z_{0h} (м)	0.08	0.5	0.37
z_{0m} (м)	$\sim 10^{-5}$ [Kazakov A.L, 1982]	0.026	0.001

Определение температуры для двух типов поверхности в эксперименте «LES HET»

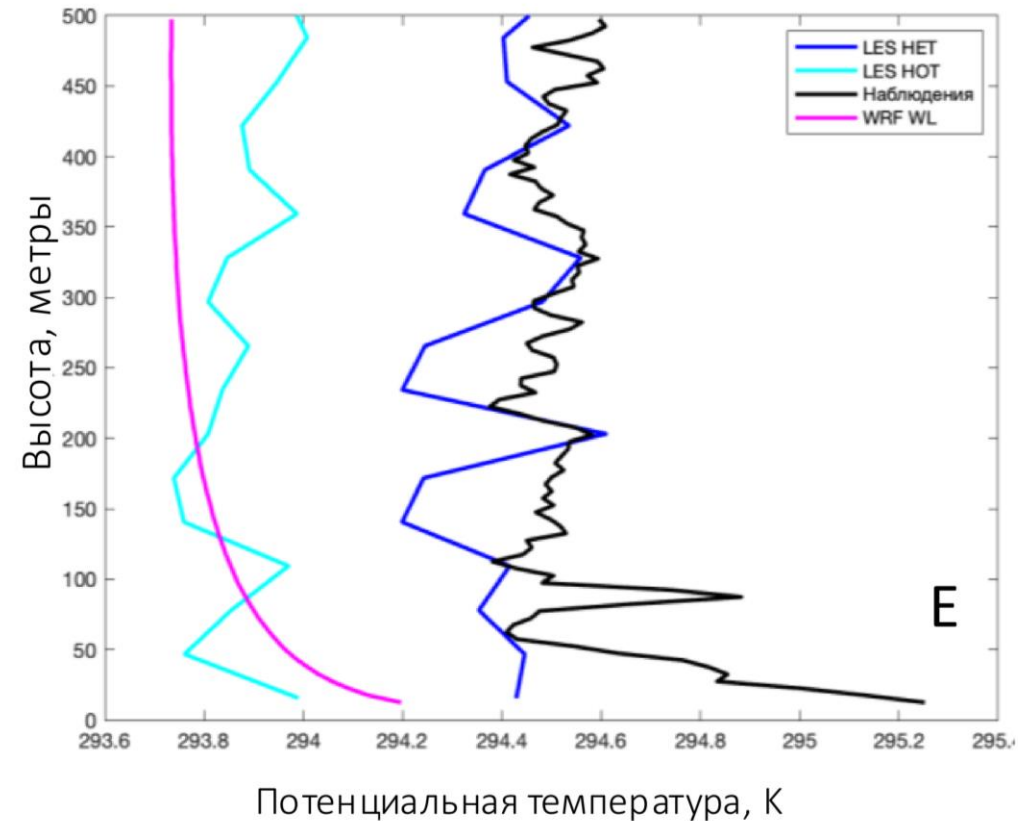
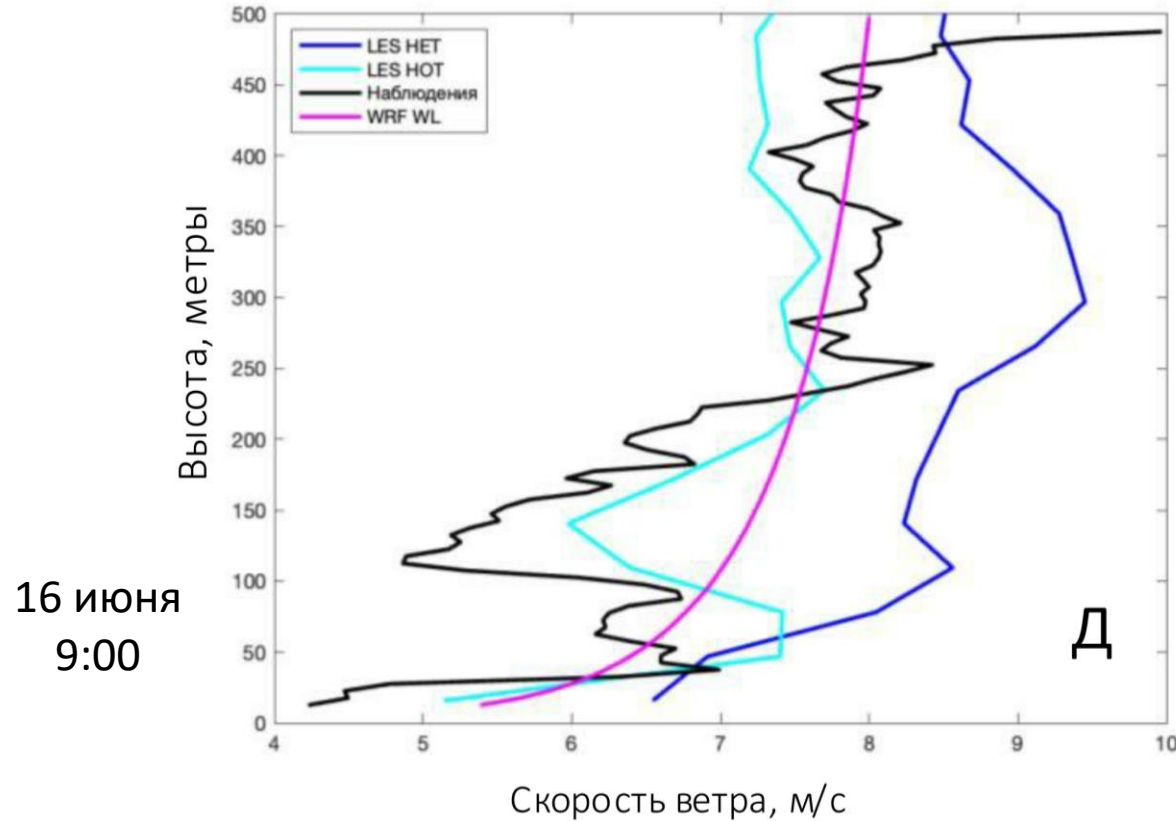


- Из реанализа ERA5 выбраны данные соответствующие интересующему временному интервалу
- Затопленная поверхность имеет большую теплоемкость, по сравнению с менее влажной почвой. Температура будет отличаться меньшей амплитудой и температурным «запаздыванием». Уменьшение амплитуды выражено в соотношении **«Т затопленная ложбина» = 0.5 «Т ERA»**.
Временной шаг «запаздывания» составил 3 часа.
- Определение температуры второго типа поверхности – «Т рябь». Определялась так, чтобы сумма температур (с учетом доли площади занимаемой каждым типом поверхности) была равна «Т ERA».



- По данным вихреразрешающего моделирования эксперимента «LES HET» неоднородность поверхности выражена в отличиях потоков тепла и импульса.
- Для точки «рям» наблюдается повышенный уровень турбулентности в дневные часы. По сравнению с однородной поверхностью (эксперимент «LES HOM») увеличение потока явного тепла достигает 250 Вт/м². Данные оценки хорошо согласуются с отличиями в потоке между типами поверхности по измерениям.
- Уменьшение турбулентности над водной поверхностью выражено в уменьшении динамической скорости для точки «заболоченная ложбина» в эксперименте «LES HET».

Анализ данных о вертикальном профиле скорости ветра и потенциальной температуры: наблюдения, результаты WRF и вихреразрешающей модели



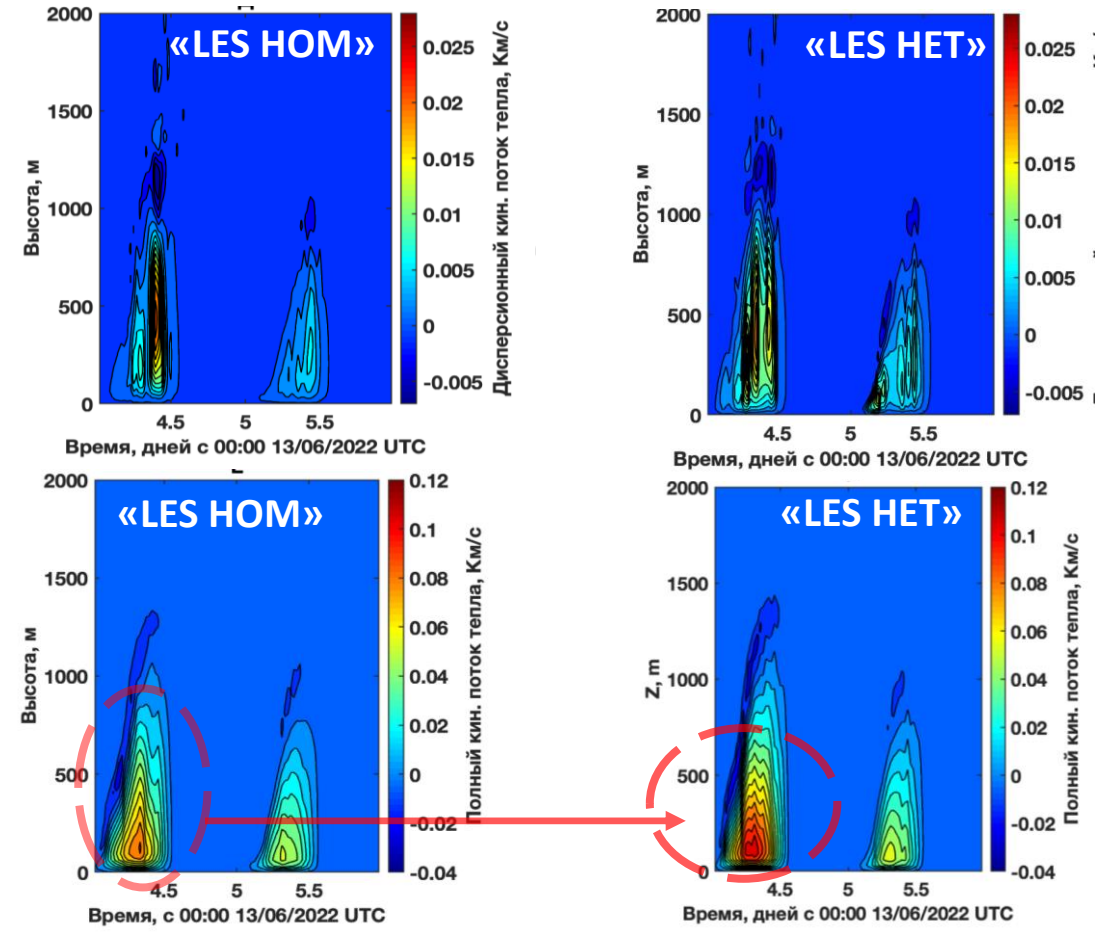
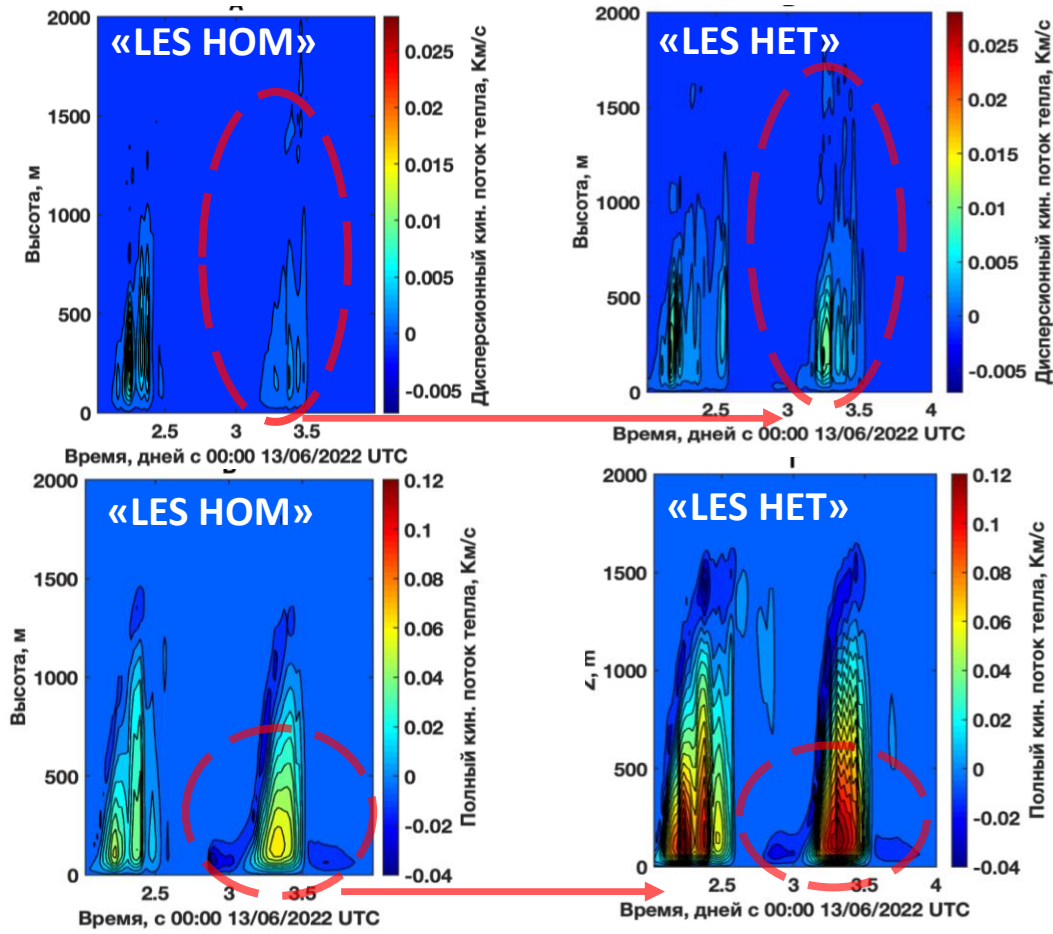
- Всего было проанализировано более 20 случаев полетов квадрокоптера
- Использование вихреразрешающего моделирования с учетом влияния неоднородности поверхности позволяет более детально описать изменение температуры и ветра с высотой
- Качество воспроизведения вертикальных полей у модели WRF значительно хуже, чем поверхностных

Анализ влияния неоднородности поверхности на пограничный слой атмосферы

низкая (15-16 июня) скорость геострофического ветра.
Уменьшение интегрального сдвига ветра способствует
большему влиянию неоднородности на весь АПС.

высокая (17-19 июня) скорость геострофического ветра.
Увеличение интегрального сдвига увеличивает перемешивание
и уменьшает влияние неоднородностей поверхности.

Дисперсионный поток $\langle (w - \langle \underline{w} \rangle) (\theta - \langle \underline{\theta} \rangle) \rangle$ w вертикальная компонента, θ потенциальная температура
 $\langle _ \rangle$ операторы осреднения



- ✓ Оценена возможность применения мезомасштабной модели к воспроизведению турбулентных характеристик неоднородной поверхности.
- ✓ Создана конфигурация вихреразрешающей модели для описания неоднородной поверхности с двумя ее типами. Различие в характеристиках турбулентного обмена, обусловленное неоднородностью поверхности, рассчитанное вихреразрешающей моделью хорошо согласуется с наблюдаемыми различиями в точке «рям» и «заболоченная ложбина» на полигоне Мухрино.
- ✓ Влияние неоднородности на структуру АПС в целом, оценено с использованием дисперсионного потока тепла. Доля дисперсионного потока в суточном ходе для однородной поверхности может быть сопоставима с вкладом термической неоднородности при характерном для данных измерений осреднении по времени
- ✓ При наличии неоднородности поверхности, замечается увеличение дисперсионного потока. Наличие неоднородности поверхности увеличивает абсолютное значение потока днем и уменьшает ночью, при этом различия увеличиваются при уменьшении скорости геострофического ветра.
- ✓ Описанную в работе конфигурацию вихреразрешающей модели можно использовать для изучения взаимодействия атмосферы и подстилающей поверхности с учетом ее неоднородности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-47-04408 и проектом темы ФНТП № 124042700008-6 «Исследование процессов в геофизических пограничных слоях и создание новых подходов для их параметризации в моделях Земной системы»

Результаты работы поданы в редакцию журнала «Метеорология и Гидрология»



Благодарим за внимание!