

## **Отзыв**

официального оппонента **Сергеева Даниила Александровича**  
на диссертационную работу **Барскова Кирилла Владиславовича**  
**СТРУКТУРА АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НАД**  
**НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ,**

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «физика атмосферы и гидросферы».

Диссертационная работа Барскова К.В. посвящена важнейшей области физики атмосферы - исследованию структуры атмосферного пограничного слоя и механизмам генерации турбулентных потоков над неоднородными поверхностями. Основной целью работы, являлась идентификация факторов, влияющих на структуру и динамику приземного слоя атмосферы над неоднородной поверхностью при различных условиях стратификации атмосферы. Для достижения поставленной цели им был последовательно успешно решен ряд задач экспериментальных исследований и теоретического анализа. Характеризуя работу в целом можно отметить гармоничный баланс между экспериментальной и теоретической частью. Фактически часть, связанная с описанием проведения измерений и обработкой данных, представляет собой практически готовый материал для издания методического пособия для проведения прецизионных микрометеорологических исследований атмосферного пограничного слоя (в подобных работах на сегодняшний день наблюдается недостаток). С другой стороны, в теоретической части автор продемонстрировал глубокие знания теории турбулентности атмосферного пограничного слоя и смог внести существенный вклад в ее развитие.

### **Актуальность диссертационной работы.**

Актуальность работы не представляет сомнения. Исследуемые потоки импульса, энергии и массы на подстилающей поверхности атмосферного пограничного слоя являются граничными условиями в гидродинамических моделях атмосферы, которые используются при прогнозировании погодной и климатической обстановки. При этом современные методы определения характеристик турбулентного обмена между поверхностью Земли и атмосферой основаны на выводах теории подобия Монина-Обухова (ТПМО). В основе ТПМО лежит предположение об однородности подстилающей поверхности, однако реальный ландшафт, как правило, обладает сложной геометрической структурой, что может приводить к ошибкам расчетов с использованием ТПМО, величина которых к настоящему времени изучена недостаточно. Отсутствие детальных знаний о структуре пограничного слоя атмосферы и его обмена импульсом, теплом и влагой с неоднородной поверхностью является в настоящее время одним из существенных препятствий для повышения точности оперативных, глобальных и региональных моделей прогноза погоды, моделей климата и его изменений. Это обуславливает необходимость проведения специализированных экспериментов в условиях неоднородного ландшафта, для изучения как вертикальной, так и горизонтальной структуры турбулентности в атмосферном пограничном слое.

### **Научная новизна**

В первую очередь новизна заключается в комплексности проведенных экспериментов (применяемых приборов, конфигурации их расположения и процедур обработки данных)



по исследованию структуры атмосферной турбулентности в условиях неоднородного ландшафта. Он позволил одновременно исследовать, профиль температуры, скорости, пространственное распределение турбулентных характеристик, радиационный баланс и поток тепла на поверхности почвы, профиль. Это впервые позволило досконально проанализировать обмен энергией подстилающей поверхности с атмосферой.

Введение нового базового эмпирического масштаба длины позволило учесть влияние гладкой топографической неоднородности ландшафта, не меняя сами универсальные функции ТПМО, в отличие от предыдущих методов учета поправок.

Подход, связанный с параметризацией турбулентных потоков через третьи моменты, который ранее использовалась в основном для конвективного атмосферного пограничного слоя (характеризующегося интенсивными вихревыми потоками), был впервые успешно применен и для устойчивого погранслоя, когда крупные вихри образуются за счет взаимодействия набегающего потока с сильно неоднородным ландшафтом.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием сертифицированной измерительной аппаратуры и комплексным подходом при выполнении измерений. Комплексность заключается в комбинировании различных типов измерительной аппаратуры в специализированных экспериментах. Также контролируется качество экспериментальных данных, при предварительной обработке, происходит анализ и фильтрация на предмет ошибок измерений. При расчете статистических моментов турбулентности выполняются оценки точности.

Также достоверность обеспечивается использованием фундаментальных уравнений баланса статистических моментов турбулентности при обработке результатов измерений. Полученные результаты соответствуют данным натурных измерений, лабораторных экспериментов и численного моделирования ранее выполненных работ.

### **Практическая ценность работы**

Практическая ценность работы определяется важностью результатов с точки зрения развития: 1) методов численного моделирования гидродинамических процессов в атмосфере в интересах прогноза погодной и климатической обстановки 2) новых методов и систем, включая аппаратные и программные средства, для детального исследования структуры атмосферного, повышения точности измерений, расширения диапазона измеряемых величин и т.д.

### **Содержание диссертации и автореферата**

По теме диссертации опубликованы 9 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для представления основных результатов диссертации, а также получено 1 свидетельство о регистрации базы данных.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка основных работ автора по теме диссертации и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 119 страниц.

Во введении содержится обоснование актуальности темы исследования, сформулированы цель диссертационной работы и решаемые задачи, научная новизна и практическая значимость проведенных исследований, а также основные положения, выносимые на



защиту. Представлены обоснования достоверности результатов исследований апробация работы, выделен личный вклад автора.

В первой главе описываются параметры исследуемых подстилающих поверхностей и дается их подробная классификация, а также приведен обзор и детальный сравнительный анализ основных современных методов экспериментального изучения процессов турбулентного обмена между атмосферой и подстилающей поверхностью: метод турбулентных пульсаций (Eddy Covariance или *EC*, также иногда называемый прямым методом), потоково-градиентный метод, основанный на теории подобия Мони́на-Обухова, а также метод теплового баланса. Описаны основные принципы, на которых строятся представленные методы.

Вторая глава посвящена исследованиям атмосферного пограничного слоя над ландшафтом с гладкой топографической неоднородностью. В качестве такого выступила холмистая местность покрытая однородным лесом в области расположения научно-исследовательской станции SMEAR II (Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations) Университета Хельсинки. Представлены результаты обработки данных пульсационных измерений над лесом на метеорологической мачте, выполненных в зимний период. Проверялась применимость стандартных подходов к построению универсальных зависимостей ТПМО при устойчивой и нейтральной стратификации. Основной результат здесь заключается в предложении нового эмпирического базового масштаба длины, зависящего от индивидуальных особенностей топографии и типа подстилающей поверхности в месте измерений. Использование этого эмпирического масштаба позволяет ввести коррекцию универсальных функций ТПМО в устойчиво-стратифицированном приземном слое без их существенной модификации по сравнению с универсальными функциями над однородными поверхностями с малыми элементами шероховатости

Третья глава посвящена особенностям атмосферного пограничного слоя над ландшафтом с разрывной топографической неоднородностью на примере озер, полностью или частично окруженных лесом. Описаны результаты специализированных натуральных экспериментов, выполненных на зимних лесных озерах на базе Беломорской биологической станции МГУ (ББС МГУ) по данным измерений трех экспедиций 2015, 2017 и 2018 годов. По данным измерений сделан вывод о том, что существует два сценария формирования турбулентного теплового потока в поверхностном слое над поверхностью с разрывной топографической неоднородностью. В одном из сценариев поверхностный поток явного тепла не так сильно связан с процессами на средних и верхних уровнях пограничного слоя и скорее определяется балковыми скоростью ветра и температурной разницей между поверхностью и приповерхностным слоем атмосферы. В таких случаях поток явного тепла незначителен, и расчеты на основе ТПМО хорошо коррелируют с методом ковариации пульсаций. Противоположная ситуация когда формирование потока тепла определяется крупными вихрями, образующимися в течении за уступом при срыве набегающего потока на высоте верхушек деревьев. Здесь уже ТПМО не может воспроизвести этот механизм и её результаты не согласуются с измерениями теплового потока методом *EC*.

В Заключение сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Автореферат хорошо отражает содержание всей диссертации и оформлен в соответствии со всеми существующими правилами.



## **Замечания**

В качестве основных замечаний к диссертационной работе можно выделить следующие:

1) Во-первых, название представляется, на мой взгляд, слишком общим. В диссертационной работе речь идет об исследовании процессов в атмосферном пограничном слое в первую очередь в условиях природных ландшафтов, однако антропогенные ландшафты, которые, вне всякого сомнения, являются ярким примером неоднородных ландшафтов, упоминаются лишь вскользь в начале первой главы. Также в работе все внимание уделяется исследованию над твердой поверхностью. Исследования в условиях ландшафтов, включающих природные водоемы, проводились исключительно в зимнее время, т.е. когда их поверхность была покрыта льдом. Известно, что турбулентный обмен в погранслое над открытой водной поверхностью в прибрежной зоне характеризуется весьма сильной изменчивостью в очень широком диапазоне временных масштабов.

2) Второе замечание связано с тем, что развитый во второй главе подход, с введением нового эмпирический базового масштаба турбулентности вместо обычного связанного с уровнем измерений  $z$ , реализован для условий нейтральной и устойчивой стратификации, что существенно сужает область его применения. Необходима верификация аналогичного подхода для конвективно-неустойчивого приземного слоя.

3) Замечание к третьей главе состоит в том, что проведенные натурные измерения позволяют исследовать пространственное горизонтальное распределение турбулентных характеристик над лесным озером, однако в работе в основном уделено внимание данным мачтовых измерений. Выделение когерентных структур производится из третьих моментов по данным точечных измерений, хотя полученные выводы можно было бы подкрепить анализом данных анемометров, расположенных в разных частях озера.

Также в тексте присутствует некоторое количество ошибок и опечаток.

Следует отметить, что высказанные замечания не умаляют научной и практической значимости работы. Диссертация выполнена на очень высоком уровне. Полученные результаты имеют большое значение для научных исследований и практических применений. Основные результаты диссертации опубликованы в ряде работ (в том числе в высокорейтинговых изданиях), включая 3 из перечня ВАК, а также докладывались и обсуждались на научных мероприятиях.

Автореферат в полной мере отражает наиболее существенные положения и выводы диссертации.

## **Общее заключение**

Диссертационная работа Барскова Кирилла Владиславовича на тему «Структура атмосферного пограничного слоя над неоднородной поверхностью» является законченным научным исследованием, результаты которого представляют интерес в областях физики атмосферы, метеорологии и теории турбулентных течений.

Диссертация полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (ред. 01.10.2018 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Барсков К. В. несомненно заслуживает присуждения ученой степени физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

**Официальный оппонент:**

Кандидат физико-математических наук

Заведующий лабораторией Экспериментальных методов в геофизической и технической гидродинамике

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»  
Сергеев Даниил Александрович

03.11.2020

Подпись сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» Сергеева Д. А. удостоверяю

Ученый секретарь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» к.ф.-м.н. Корюкин И.В.



Я, Сергеев Даниил Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку.

**Контактный телефон:** +79103830248

**Email:** daniil@ipfran.ru

**Адрес места работы:** 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46.