

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
мониторинга климатических и
экологических систем Сибирского отделения
Российской академии наук
профессор РАН, д. б. н., Головацкая Е. А.



«30» октября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Барскова Кирилла Владиславовича «Структура атмосферного пограничного слоя над неоднородной поверхностью», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы»

1. Актуальность работы

В настоящее время на фоне стремительного развития технологий численного моделирования и прогноза динамики атмосферы вопросы описания и параметризации процессов в атмосферном пограничном слое (АПС) остаются недостаточно разработанными. В современных методах определения характеристик турбулентного обмена между поверхностью Земли и АПС используются параметризации, основанные на выводах теории подобия Монина-Обухова, предполагающей однородную подстилающую поверхность и горизонтальное распределение аэродинамической и температурной шероховатости и турбулентных потоков. Однако реальный ландшафт зачастую не удовлетворяет условиям горизонтальной однородности. Поэтому недостаточное знание структуры АПС и его обмена количеством движения, теплом и влагой с неоднородной поверхностью является в настоящее время одним из основных препятствий для правильного функционирования моделей прогноза погоды и климата. Большое разнообразие и многомасштабность структур в турбулентном АПС требуют больших объемов данных натурных измерений для получения адекватных эмпирических или полуэмпирических соотношений для параметризации процессов в современных моделях атмосферы, а также корректировки имеющихся параметризаций для неоднородной подстилающей поверхности. В этой связи тема диссертационной работы Барскова К.В. безусловно актуальна. В ней экспериментально исследуется структура АПС над различными типами неоднородной поверхности, вводятся коррекции универсальных функций в теории подобия Монина-Обухова для устойчиво-стратифицированного приземного слоя, изучается вклад в турбулентные потоки когерентных структур в условиях сильно неоднородного ландшафта.

2. Краткий обзор содержания работы

Диссертационная работа Барскова К.В. объемом 119 страниц, включая 21 рисунок, состоит из введения, трех глав, заключения, списка основных работ автора по теме диссертации и списка использованной литературы.

Во введении изложена актуальность работы, объект и предмет исследования, цели и задачи, основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость, достоверность результатов, апробация работы, указаны исходные данные и личный вклад автора.

В Главе 1 приведены характеристики исследуемых подстилающих поверхностей и обзор современных методов экспериментального изучения энергообмена атмосферы с подстилающей поверхностью. Показаны основные допущения, принятые в представленных методах, в том числе связанные с однородностью подстилающей поверхности, а также границы применимости методов.

Глава 2 посвящена особенностям АПС над ландшафтом с гладкой топографической неоднородностью, при которой элементы шероховатости распределены равномерно, а огибающая кривая имеет непрерывную производную, на примере однородного леса в холмистой местности в зимний период. Приведены результаты обработки данных пульсационных измерений над лесом на 127-метровой метеорологической мачте, расположенной на исследовательской станции SMEAR II (Station for Measuring Ecosystem-Atmosphere Relations) Университета Хельсинки (Хьютиала, Финляндия, 24°17'13" в.д., 61°51'5" с.ш.) в период с 05 ноября 2015 года по 03 марта 2016 года. Проверялась применимость стандартных подходов к построению универсальных зависимостей теории подобия Монино-Обухова при устойчивой и нейтральной стратификации.

Глава 3 посвящена особенностям АПС над ландшафтом с разрывной топографической неоднородностью, при которой разные участки ландшафта имеют различные значения альбедо, теплоемкости и шероховатости, при этом огибающая функция имеет разрывы или разрывы производной 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.

В Заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации. В конце работы представлен список литературы и список работ автора по теме диссертации.

3. Научная новизна полученных результатов

В рамках работы Барскова К.В. были проведены комплексные экспериментальные исследования структуры атмосферного пограничного слоя в условиях неоднородного ландшафта, позволяющие одновременно исследовать пространственное распределение турбулентных характеристик, радиационный баланс и поток тепла на поверхности почвы, профиль температуры в АПС, благодаря чему появляется возможность детального анализа энергообмена подстилающей поверхности с атмосферой. Такой комплексный эксперимент был проведен впервые.

Основные, ранее опубликованные работы, в которых разрабатывается теория турбулентного переноса внутри и над лесом, сфокусированы на однородном покрове на ровной поверхности и не учитывают особенности рельефа. Для исследования влияния неоднородности растительного покрова на турбулентный обмен и турбулентные движения в основном используются подходы, основанные на аналитическом и численном моделировании. В работе Барскова К.В. впервые предлагается идея введения поправки, учитывающей гладкую топографическую неоднородность ландшафта в виде эмпирического базового масштаба длины. В отличие от других способов учета неоднородности, такой подход позволяет не менять сами универсальные функции теории подобия.

Впервые, на основе данных натуральных измерений, найден механизм переноса к поверхности потока тепла, генерируемого в верхних и средних частях атмосферного пограничного слоя при адвекции теплого или холодного воздуха, за счет турбулентного переноса, вызванного неоднородностью подстилающей поверхности.

Идея параметризации турбулентных потоков через третьи моменты ранее использовалась для конвективного АПС, для которого характерны чередующиеся восходящие и нисходящие потоки. В данной работе впервые показано, что такая параметризация может быть справедлива и для устойчивого АПС в том случае, когда крупные вихри генерируются за счет взаимодействия набегающего потока с сильно неоднородным ландшафтом.

4. Научная и практическая ценность работы

Результаты, представленные в данной работе, могут быть использованы в моделях прогноза и климата, для поправки к параметризациям турбулентного обмена неоднородной подстилающей поверхности и АПС. Так, зная распределение предложенного полуэмпирического масштаба длины по поверхности Земли, либо задавая этот масштаб в соответствии с типами поверхностей наряду с параметром шероховатости z_0 , можно ввести соответствующую коррекцию при вычислении приповерхностных турбулентных потоков в моделях атмосферной циркуляции.

Выявление различных режимов формирования турбулентных потоков над неоднородной поверхностью открывает возможность учета вклада когерентных структур и организованной турбулентности в общий поток тепла или импульса.

Данные комплексных натуральных наблюдений, освещенные в работе, могут быть использованы для валидации результатов численного моделирования турбулентных течений в АПС.

5. Обоснованность и достоверность полученных результатов и сделанных выводов

Достоверность результатов диссертационной работы определяется использованием хорошо отработанной в Институте физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН методики натуральных измерений атмосферной турбулентности с применением сертифицированной измерительной аппаратуры, контролем качества используемых экспериментальных данных и детальным анализом ошибок измерений. Для интерпретации данных измерений использовались и анализировались фундаментальные уравнения баланса статистических моментов турбулентности и универсальных соотношений теории подобия приземного слоя. Кроме того, достоверность полученных результатов подтверждается их соответствием современным представлениям о природе атмосферного пограничного слоя и результатам опубликованных работ по теме диссертации отечественных и зарубежных авторов, опирающихся на данные натуральных наблюдений, лабораторных экспериментов и вихреразрешающего моделирования.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованными к использованию в учреждениях РАН, университетах и других учреждениях Российской Федерации, в которых проводятся исследования пограничных слоев атмосферы и численное моделирование атмосферных процессов. Кроме того, результаты, представленные в данной

работе, могут быть использованы в моделях прогноза и климата, для поправки к параметризациям турбулентного обмена неоднородной подстилающей поверхности и АПС.

7. Замечания по работе

К тексту диссертационной работы имеется ряд замечаний.

1. При введении терминов «гладкая топографическая неоднородность» и «разрывная топографическая неоднородность» в Главе 1.1. используется понятие огибающей и ее производной, при этом не указано пространственное разрешение данных, от которого должна зависеть непрерывность производной.
2. При анализе измерений на озере Кисло-сладкое (рис. 6) не обоснована возможность вывода о линейном профиле потока импульса в приземном слое на основе измерений на трёх высотах.
3. В главе 2 выдвигается гипотеза, что эффект гладкой неоднородности поверхности может быть учтён за счёт модификации масштаба длины, которая в свою очередь, может быть получена по данным наблюдений в безразличной стратификации; гипотеза подтверждается на данных измерений в устойчивой стратификации, но не проверена в случае неустойчивой стратификации.
4. Автор делает вывод о ведущей роли когерентных структур в формировании потока тепла над озером, окружённым лесом, при определённых направлениях ветра; заключение делается на основе отношения вторых и третьих моментов; этот подход является новым, однако существуют и классические методы выделения когерентных структур, например, вэйвлет-анализ; подкрепление выводов автора на основе вэйвлет-анализа усилило бы защищаемое положение 2.
5. При анализе двух механизмов формирования потока явного тепла над неоднородной поверхностью в Главе 3.4. анализируются турбулентные характеристики в зависимости от направления набегающего потока, что является свойствами конкретного ландшафта. Для обобщения полученных результатов полезно было бы ввести безразмерный численный параметр, такой как расстояние до границы лес-озеро в относительных единицах высот деревьев.
6. Вывод 4 сформулирован достаточно громоздко и многословно, его можно значительно сократить.
7. В работе многие выводы о пространственной структуре турбулентности делаются на основе анализа временных рядов, при этом используется гипотеза "замороженной турбулентности" Тэйлора; возникает вопрос, на каких временных масштабах это гипотеза справедлива для изученных в работе течений?
8. В работе приведен ряд таблиц, при этом они не пронумерованы, а поясняющие подписи к ним отсутствуют.
9. Ряд замечаний относится к стилю изложения и носит редакторский характер.

8. Общая характеристика работы

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации Барскова К.В. Диссертация написана автором единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты. Все представленные в диссертации результаты получены и обработаны автором лично, кроме того, автор принимал участие в организации и проведении всех представленных в диссертации полевых экспериментов. Работа имеет внутреннее единство и четкую структуру, она написана хорошим научным языком. Полученные результаты и выводы оформлены структурно-содержательно и соответствуют поставленным в работе целям.

Автореферат диссертации полностью соответствует ее содержанию. Положения, выносимые на защиту, соответствуют основным результатам работы, опубликованным соискателем в рецензируемых научных изданиях и материалах конференций. Общее количество печатных работ по теме диссертации 9, из которых 3 статьи изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ для представления основных результатов диссертации. Кроме того, получено 1 свидетельство о регистрации базы данных. Таким образом, результаты работы прошли апробацию и процесс рецензирования экспертами в данной научной области. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой и отвечает требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Ее автор Барсков Кирилл Владиславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.29 – «Физика атмосферы и гидросферы».

Отзыв составили главный научный сотрудник профессор, доктор физико-математических наук Гордов Евгений Петрович e-mail: gordov@scert.ru, телефон +7(3822) 492187 и научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Богомолов Василий Юрьевич, e-mail: verminrus@mail.ru, телефон: +7(913)8095945, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, 634055 Россия, г. Томск, пр. Академический, 10 / 3.

Я, Гордов Евгений Петрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Я, Богомолов Василий Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

г.н.с ФГБУН ИМКЭС СО РАН,
проф., д.ф.-м.н.

Гордов Е.П.

н.с. МИЦ КЭИ ФГБУН ИМКЭС
СО РАН, к.ф.-м.н.

Богомолов В.Ю.

Подписи Е.П. Гордова и В.Ю. Богомолова заверяю.

Ученый секретарь ИМКЭС СО РАН



О.В. Яблокова