

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физ.-мат. наук Курганского М.В. на диссертацию **Шестаковой А.А.** «Подветренные бури при боре и фёне в различных регионах России», представленную на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

Диссертационная работа А.А. Шестаковой посвящена актуальному и практически важному исследованию трех очень сильных ветров орографического происхождения на территории Российской Федерации: новороссийской бory, бory на Новой Земле и певекского «южака». Автор, опираясь на существующий в англоязычной научной литературе термин “downslope windstorm” (или даже “severe downslope windstorm”), называет эти сильные ветра «подветренными бурями», вводя, по сути, новый метеорологический термин в русский язык. В данном случае надо оговориться, что близкий по смыслу англоязычный термин “downslope wind” имеет в русском языке устоявшийся аналог: «склоновый ветер»; поэтому возможно, что более точным был бы термин «склоновые бури», но это, конечно, дело договоренности и удобства терминологии. Для сведения всех трех указанных сильных ветров в одну категорию есть все основания. Это и близость максимальных высот всех трех горных хребтов (порядка 500 метров), и их в основном двумерная (вытянутая в направлении поперек ветра) структура. Это и сходная трехслойная структура натекающего на горы воздушного потока во все трех местах (когда при этом на подветренном склоне возникают сильные ветра): нижний перемешанный слой, слой температурной инверсии примерно на высоте гор и обычным образом стратифицированная атмосфера наверху.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, краткого заключения, где сформулированы основные выводы работы, и списка литературы из 139 наименований. Основные содержательные главы диссертации (главы 3,4) снабжены отдельным заключительным разделом, где обсуждаются и резюмируются полученные в главе результаты.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации; сформулированы цели, задачи, объекты и предмет исследования; указывается, в чем именно заключена научная новизна работы и ее практическая значимость; сформулированы выносимые на защиту основные научные положения; приведены сведения о публикациях автора по теме диссертации и о личном вкладе автора; охарактеризована структура и объем диссертации.

В первой главе диссертации, имеющей обзорный и вводный характер, дается изложение современного состояния исследований по теме диссертации, приводятся основные гипотезы возникновения сильных и порывистых ветров орографического происхождения, которые называются в работе «подветренными бурями», и дается представление об основных моделях этого явления. В этой же главе говорится о методах, применяемых при изучении и прогнозе рассматриваемого в работе явления, а также описываются те явления на территории России, что могут быть отнесены к классу подветренных бурь. К тексту Главы 1 можно высказать редакционное замечание (к стр. 13): в моделях внутренних

гравитационных волн (ВГВ) поток расслоен по плотности (в поле силы тяжести), но может быть в принципе несжимаемым.

Вторая, достаточно краткая, глава диссертации предваряет первую из двух основных глав диссертации – Главу 3. Эта глава 2 посвящена методам изучения «подветренных бурь» на основе данных прямых наблюдений (в том числе экспедиционных исследований кафедры метеорологии и климатологии в районе новороссийской ботанической боры, в которых принимала активное участие автор диссертации) и реанализа. Глава 2 также излагает существующие методы изучения структуры натекающего на горы потока и его характеристик в подветренной области. В этой же главе вводятся основные безразмерные критерии, которые далее в работе используются при анализе исследуемого явления. Это, во-первых, обратное внутреннее число Фруда, определенное по высоте гор, скорости натекающего потока и частоте Брента–Вейселя (частоте плавучести). Во-вторых, это число Бургера, которое заимствовано из крупномасштабной динамики атмосферы (там обычно фигурирует квадрат используемой в диссертации величины) и характеризует соотношение эффектов стратификации и вращения Земли при обтекании горного хребта. Привлекается к рассмотрению и внутренний радиус влияния (деформации) Россби, который определяется по высоте гор и используется в работе для оценки горизонтальной дальности возможного влияния гор на натекающий поток воздуха.

Глава 3 диссертации описывает все три случая подветренных бурь, причем это делается в едином систематическом стиле, который позволяет выявить общие генетические черты, а также и различия в этих трех явлениях. Основной результат здесь – продемонстрированная схожесть характеристик натекающего потока и обнаруженная хорошая корреляционная связь во все трех случаях между силой подветренных бурь и скоростью натекающего потока. Заключительный параграф главы посвящен оценке применимости гидравлической и волновой модели для описания подветренных бурь. Мне понравилось то, как применяется гидравлическая модель к этой задаче. Особенно – итоговая диаграмма режимов обтекания хребтов (Рис. 30), на которую нанесены данные для все трех подветренных бурь. Эта диаграмма четко показывает физику явления: формирование сверхкритического потока на подветренном склоне с образованием затем «прыжка воды» как перемещающегося, так и стационарного. Излагается также применение альтернативной, волновой модели явления (здесь, в частности, приведены соображения в пользу возникновения нелинейных эффектов и обрушения орографических волн). Но это, на мой взгляд, делается более схематичным образом и по сути является введением в численный (на основе мезомасштабной модели WRF-ARW) анализ явления в Главе 4. Глава 3 завершается краткими выводами, следующими из ее содержания.

Глава 4 посвящена численному моделированию всех трех проявлений подветренных бурь с помощью модели WRF-ARW. В начале главы дается обзор численного моделирования этого явления; описывается и обосновывается конфигурация используемой в работе версии модели. Затем в главе дается подробный и содержательный анализ полученных в итоге численных экспериментов результатов. Он включает анализ структуры натекающего потока, а также общей пространственной структуры поля ветра (в том числе структуры потока над хребтами и на подветренной стороне гор). Получен тот важный результат, что во все трех случаях подветренных бурь возмущения скорости ветра распространяются в

подветренную сторону на расстояние, сравнимое с одинарной – двойной шириной хребта. Отдельный важный параграф главы посвящен методике и результатам расчета волнового сопротивления при обтекании горных хребтов. Основные результаты этого параграфа сведены в Табл. 12. Сделан интересный вывод о том, что несмотря на различные поперечные размеры горных хребтов, суммарная сила, создаваемая препятствием за счет генерации внутренних волн в атмосфере, имеет один и тот же порядок величины и, более того, близкие абсолютные значения для всех трех случаев. Оценена также доля волнового сопротивления в полном (орографическом) сопротивлении, которая для всех трех случаев составляет от 25 до 40%. В завершение Главы 4 даны выводы, следующие из ее содержания, и приведена полезная концептуальная схема обтекания горного хребта во время подветренных бурь (Рис. 48).

К тексту главы 4 у меня имеются два замечания. Во-первых, модель WRF-ARW, по всей видимости, включает учет силы Кориолиса, и это (с методической точки зрения) следовало бы специально отметить, поскольку на с. 5 диссертации прямо сказано, что в диссертации рассматривается обтекание относительно узких горных хребтов, при котором эффектами, связанными с силой Кориолиса, можно пренебречь. Во-вторых, я бы относился к интерпретации некоторых из полученных результатов в терминах «самоиндуцированного критического слоя» с большей осторожностью, поскольку (как это, например, следует из Рис. 40) можно лишь говорить о границах областей, где локальное число Ричардсона опускается ниже $\frac{1}{4}$.

В заключительном разделе диссертации перечислены основные выводы работы.

Диссертация во многом проливает свет на исследуемое экстремальное природное явление, написана хорошим языком и легко читается. Но поскольку моя обязанность как оппонента на основании внимательного ознакомления с диссертацией высказать возникшие при этом замечания, то хочу (кроме сказанного ранее) отметить следующие:

(1) Имеется комментарий к названию диссертации. Во-первых, «бора», как экстремальное метеорологическое явление, включает в себя очень сильный и порывистый ветер, т.е. практически то, что понимается под бурей. Поэтому, на мой взгляд, в названии есть определенный повтор. Во-вторых, в диссертации практически ничего не говорится о фёновых явлениях, и они в работе не исследуются, хотя соответствующий термин вынесен в заглавие.

(2) И в тексте диссертации, и в автореферате написано, что рассматривается обтекание относительно узких горных хребтов, при котором эффектами, связанными с силой Кориолиса, можно пренебречь. Действительно, это пренебрежение полностью оправдано для горных хребтов с поперечным размером 10-20 км (возле гг. Новороссийска и Певека) и остается удовлетворительным, когда горный хребет имеем ширину в 100 км, как на Новой Земле. С другой стороны, для классификации режимов обтекания гор в диссертации используются два безразмерных числа, содержащих параметр Кориолиса: число Россби, определенное по максимальной высоте гор, и число Бургера (“Burger number”; в диссертации оно не совсем точно называется «числом Бюргера»). Внешне это выглядит как некоторое логическое несоответствие, которое желательно прояснить.

(3) В нескольких местах в диссертации сказано, что температура в верхнем слое натекающего потока падает с высотой по влажной адиабате. На мой взгляд, это – неточность. Влажноадиабатический температурный градиент не может поддерживаться в достаточно протяженном по высоте верхнем слое атмосферы. Величина вертикального температурного градиента (~ 6.5 К/км) в тропосфере средних и высоких широт определяется не только и не столько влажностью и конденсацией водяного пара, но, в том числе, крупномасштабными процессами бароклинной неустойчивости. Тепло переносится бароклиными вихрями от экватора к полюсу и одновременно вверх, уменьшая тем самым вертикальный градиент температуры по сравнению с сухоадиабатическим. Поэтому лучше было просто написать, что в верхнем слое имеется стандартная (обычная) устойчивая температурная стратификация.

В качестве общего замечания к оформлению диссертации отмечу желательность начинать новую главу диссертации с новой страницы, что облегчает чтение и восприятие текста. Подписи к рисункам в диссертации зачастую оказываются на другой странице или даже на другом развороте, что в принципе не очень удобно.

Высказанные в отзыве замечания и пожелания ни в коей мере не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и касаются в основном чисто методологических аспектов и интерпретации полученных результатов. Сами же результаты представляются надежными, достоверными и никаких сомнений не вызывают. Они согласуются с результатами предыдущих исследований данного атмосферного явления в других районах Земли и с общими физическими принципами. Эти результаты имеют не только чисто научное значение для метеорологии, но и важны практически, поскольку в том числе позволяют оценивать возможный эффект усиления ветра на различных удалениях от горного хребта, а также поскольку вносят вклад в развитие методов прогнозирования исследуемого экстремального метеорологического явления.

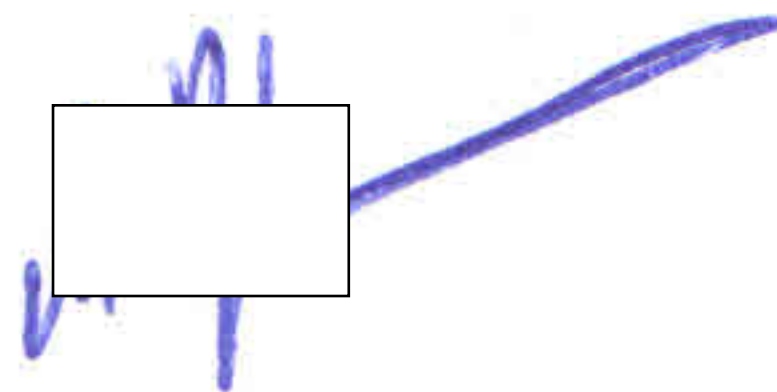
В целом, представленная диссертационная работа, несомненно, является законченным научным исследованием. Автором получены новые, интересные и содержательные результаты по актуальной научной тематике, имеющей важное практическое значение и направленной на изучение и, в конечном счете, успешное прогнозирование сильных ветров орографического происхождения на территории нашей страны. Результаты и выводы диссертационной работы представляют интерес для научных учреждений Российской академии наук (в том числе Института физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН) и Роскомгидромета (Гидрометцентр России, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт и др.).

По теме диссертации автором опубликовано 6 работ, в их числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, определенных п. 2.3 Положения о присуждении ученых степеней Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. В статье, опубликованной в журнале «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», А.А. Шестакова является первым автором. Результаты работы докладывались на научных конференциях. Все это говорит о достаточной апробации диссертационной работы.

Текст автореферата достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации.

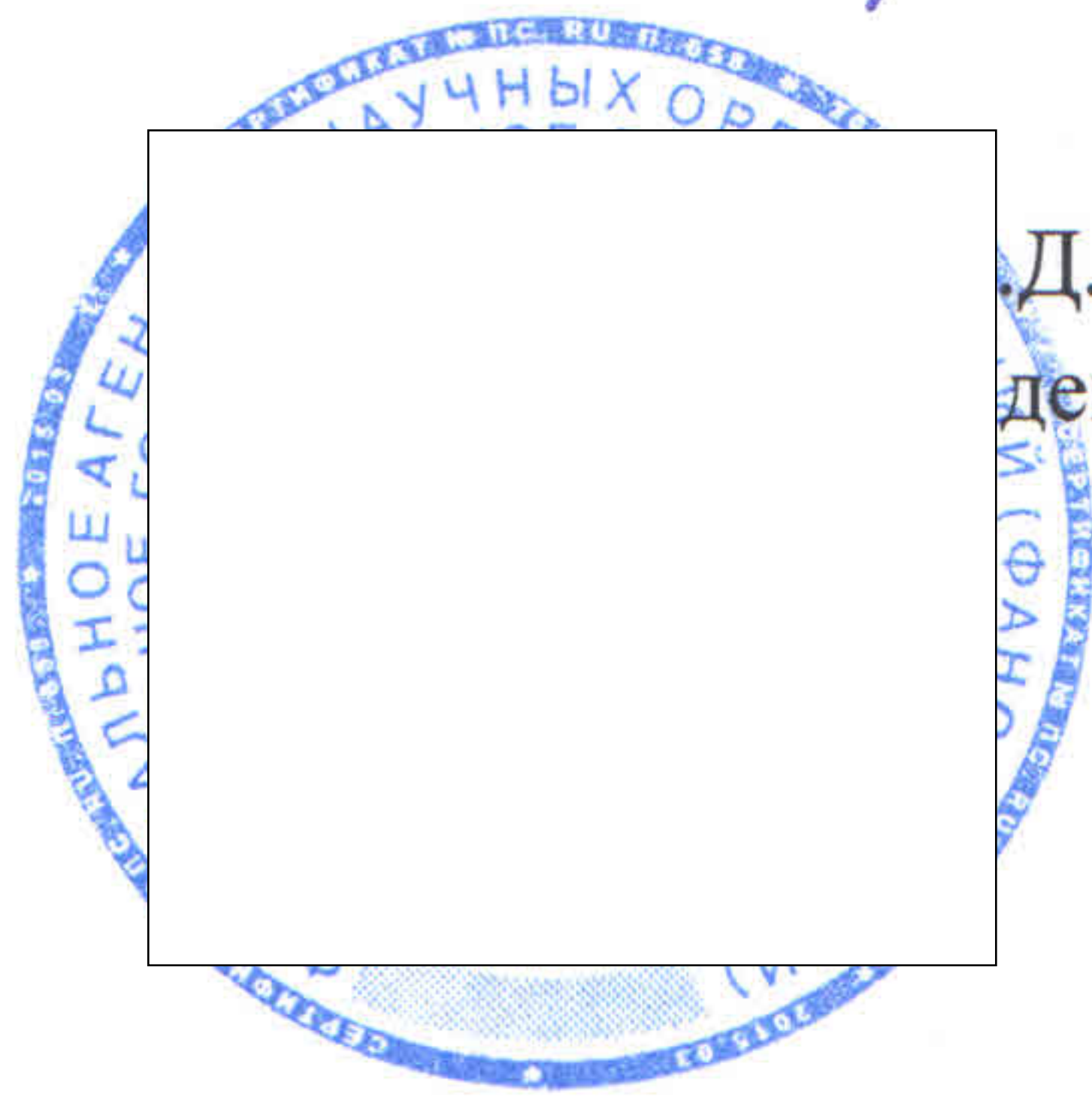
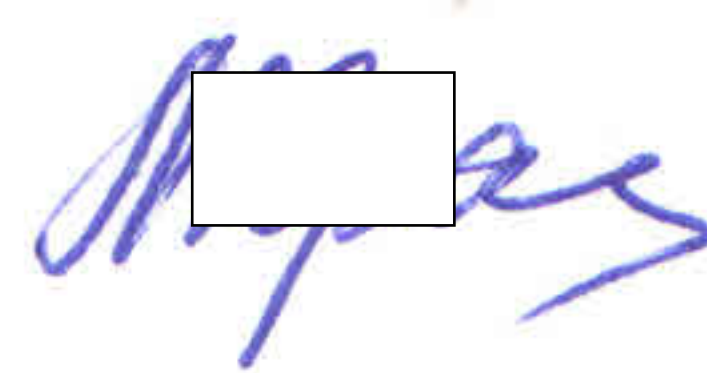
Представленная работа, без всякого сомнения, соответствует требованиям п. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации – А.А. Шестакова – безусловно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология.

Главный научный сотрудник Лаборатории геофизической
гидродинамики Института физики атмосферы им. А.М. Обухова
Российской академии наук



Д.ф.-м.н М.В. Курганский

«Подпись руки М.В. Курганского заверяю»
Ученый секретарь Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Институт физики атмосферы им. А.М.
Обухова Российской академии наук»



Д. Краснокутская
декабря 2017 года