

**Отзыв****официального оппонента на диссертационную работу****Калмыковой Ольги Вячеславовны****«Оценка смерчопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым», представленную в диссертационный совет Д 327.003.01 на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.****Актуальность темы диссертации**

Диссертационная работа Калмыковой Ольги Вячеславовны посвящена исследованию черноморских смерчей и, в частности, вопросам анализа и прогноза смерчопасных ситуаций. Водяные смерчи регулярно в теплый период года наблюдаются над акваторией Черного моря, у Черноморского побережья Кавказа и у Крыма, и поэтому их, строго говоря, лишь условно можно относить к редким опасным метеорологическим явлениям. Основную опасность несут смерчи, подходящие близко к берегу и в особенности выходы смерчей на сушу. При этом водяные смерчи могут приводить, как это случилось 26 сентября 2001 года в г. Сочи (Адлер), 8 августа 2002 года в г. Новороссийске и в ночь с 15 на 16 октября 2010 года недалеко от г. Туапсе, к катастрофическим последствиям, вызывая обильные осадки и наводнения, помимо разрушений от ветра. Несмотря на то, что в большинстве случаев водяные смерчи не выходят на сушу, риск реализации этого события диктует необходимость своевременного оповещения об их возможном формировании. Это определяет основную актуальность темы диссертации, особенно в плане происходящих климатических изменений, в целом благоприятствующих образованию смерчей над акваторией Черного моря.

Точные механизмы образования смерчей не вполне ясны и надо еще учитывать то, что водяные смерчи отличаются от сухопутных и имеют свою специфику. В отношении сухопутных смерчей первопроходцами в вопросах прогноза состояния атмосферы, благоприятного для их формирования, стали американские ученые, для которых задача прогноза смерчей имеет огромное значение, в связи с их высокой повторяемостью на территории США. Американский опыт, видимо, в первую очередь целесообразно переносить на самые сильные, мезоциклонные (суперячейковые) водяные смерчи на Черном море. Однако остается подавляющая масса относительно слабых, немезоциклонных черноморских смерчей, к которым надо подходить по-особому. Здесь также имеется зарубежный опыт, в том числе основанный на методе номограммы Силадьи (Szilagyí), который пришло время переносить, дополняя этот опыт творчески, на черноморские смерчи. Это сделано в диссертации и также определяет ее актуальность.

В настоящее время задача использования различных методов диагноза и прогноза смерчей в оперативной практике в России все еще останется нерешенной, а в качестве базового метода прогноза смерчей, в том числе и над Черным морем, как правило, используется классический метод синоптического анализа. Поэтому несомненную актуальность имеет данная диссертационная работа, где реализована автоматизированная технология мониторинга смерчеопасных ситуаций в черноморском регионе, и в конечном итоге сформулирована новая методика оценки смерчеопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым, которая подкреплена результатами непрерывного тестирования в течение двух сезонов смерчей, а также за период без смерчей.

### **Структура и основное содержание работы**

Работа состоит из четырех глав, введения и заключения, списка сокращений, списка литературы из 150 наименований, а также пяти приложений. Основное содержание диссертации представлено на 188 страницах, включая 98 рисунков и 49 таблиц.

Во введении раскрывается актуальность диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования, обосновывается научная новизна работы, приводятся основные положения, выносимые на защиту, указывается теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе диссертации описывается современное состояние проблемы прогнозирования смерчей, даются общие сведения о смерчах, как сухопутных, так и водяных, и об их основных характеристиках и механизмах формирования. Рассматриваются известные методологические и технологические подходы к диагностированию смерчей и прогнозированию смерчеопасных ситуаций. Подчеркивается эмпирический и во многом вероятностный, обусловленный неполнотой знаний о смерчах, характер этих подходов, базирующихся на обработке больших объемов данных.

Вторая глава посвящена исследованию собственно черноморских смерчей. В ней приводятся сведения об имеющейся в черноморском регионе России наблюдательной сети, рассматриваются вопросы организации автоматизированного мониторинга смерчеопасных ситуаций, создания архива смерчей и его верификации. Анализируются пространственно-временные характеристики смерчей за период 2014-2016 гг., характеристики материнских облачных ячеек смерчей, а также температурные и синоптические условия их формирования. В частности, отмечено шестикратное превышение повторяемости черноморских смерчей в условиях горизонтально однородной воздушной массы (30%) – условно говоря, смерчей «хорошей погоды» – по сравнению с данными по России в целом (5%).

В третьей главе диссертации анализируется возможность и целесообразность применения известных в литературе методов для диагностирования смерчей и прогнозирования смерчеопасных ситуаций на прибрежной акватории Черного моря. Даются оценки качества прогноза черноморских смерчей за период 2014-2016 гг. по выбранным методам и по новому, предложенному в работе, региональному индексу смерчеопасности WRI. Описывается конфигурация модели WRF-ARW, которая использовалась для получения исходных метеоданных для работы выбранных методов и расчета индекса WRI. В качестве дополнения на базе реализованных методов анализируется эффективность прогноза смерчеопасных ситуаций, связанных с образованием ряда более интенсивных сухопутных смерчей на Европейской территории России, случившихся в тот же временной отрезок. Описываются этапы работы предлагаемой методики оценки смерчеопасности над Черным морем и схема функционирования оперативной технологии расчета по данной методике.

В четвертой главе приводятся результаты непрерывного тестирования развитой в Главе 3 методики оценки смерчеопасности как в сезон смерчей 2017 и 2018 гг., так и в период без смерчей, в том числе с усовершенствованием методики за счет модификации индекса WRI на учет глубины конвекции при смерчеобразовании. Тестирование осуществлялось на выходных данных двух мезомасштабных моделей атмосферы, WRF и COSMO-Ru2. Дается комплексная оценка эффективности работы методики в сравнении с предупреждениями о смерчах, выпущенными синоптиками.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

#### **Наиболее важные результаты диссертации**

1) Созданы архив смерчей у Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым за период 2014-2018 гг., позволивший пересмотреть в сторону существенного увеличения ранее имевшееся представление о ежегодной повторяемости смерчей, а также архив данных наблюдательной сети, на базе которого предложен алгоритм верификации сообщений о смерчах.

2) По результатам анализа событий из созданного архива смерчей получены количественные оценки условий возникновения смерчей, а также по спутниковым данным оценки характеристик материнских облаков смерчей, позволившие расширить знания о водяных смерчах.

3) Предложен и протестирован алгоритм распознавания смерчеопасных областей вблизи Черноморского побережья Краснодарского края с использованием радиолокационных данных.

4) Предложен и протестирован индекс смерчеопасности для прибрежной акватории Черного моря, учитывающий региональные особенности образования смерчей немезоциклонного характера.

5) Разработана методика оценки смерчеопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым, позволяющая формировать предупреждения о смерчах с заблаговременностью до 30 ч, сводя к минимуму вероятность их пропуска, а также выявлять смерчевые облака в среднем за час до момента появления смерча.

#### **Достоверность результатов и обоснованность выводов**

Автором проведена большая работа по подготовке обзора известных подходов к диагностированию смерчей и прогнозу смерчеопасных ситуаций, что подтверждается списком использованных литературных источников. Тем самым обеспечена хорошая основа для выполнения исследований, корректное использование которой в совокупности с анализом большого объема данных о смерчах свидетельствуют об обоснованности научных положений и выводов, приведенных в диссертационной работе. Достоверность результатов подтверждена сравнением с ранее известными данными о смерчах над Черным морем, а также с предупреждениями об их возможном формировании, составленными синоптиками.

#### **Практическая значимость полученных результатов**

Диссертационная работа имеет несомненное практическое значение, в первую очередь для учреждений, обеспечивающих выпуск предупреждений об угрозах формирования смерчей над Черным морем. При этом готовая программная реализация разработанной методики оценки смерчеопасности обеспечивает возможность прямого внедрения результатов исследования.

#### **Замечания по диссертационной работе**

Мне работа понравилась, и приведенный ниже список замечаний свидетельствует во многом не о ее недостатках, а скорее о моем интересе к ней и желании высказать пожелания диссертанту для дальнейших исследований.

1. Диссертация написана хорошим языком, но читается местами с определенным напряжением из-за широкого использования аббревиатур, которые приходится держать в памяти. Хотя допускаю, что это во многом вынуждено, особенно когда касается многочисленных индексов смерчегенеза.

2. При чтении диссертации мне местами не хватало изложения физики исследуемого явления, в частности сведений о физических параметрах черноморских водяных смерчей, хотя я понимаю, что для вихрей над водой это сделать много труднее, чем для сухопутных вихрей, поскольку они не оставляют на воде следов. В приведенном в работе каталоге

водяных смерчей за 2014-2018 гг., кроме общего указания в тексте, что все смерчи принадлежат категории EF0 (см. однако ниже), к сожалению, нет данных, хотя бы приблизительных, о длительности существования смерча, о пройденном смерчем пути и о его размерах. Я не говорю о скорости ветра в вихре. Но и тут существуют косвенные методы, которые по характеру разбрызгивания воды смерчем позволяют определить достигает ли тангенциальная скорость в вихре критического значения, порядка 20-22 м/с.

3. На стр. 17 диссертации в Таблице 1.1. содержится маленькая неточность. Для очень слабых вихрей, категории F0 по шкале Фуджиты, указан диапазон скоростей просто как меньших 32 м/с. Однако для вихрей этой категории существует минимальное пороговое значение скорости в 18 м/с. Первоначальная и «улучшенная» шкалы Фуджиты различаются сильнее всего для слабых и для крайне сильных вихрей. В этой связи у меня есть методический комментарий. Автор относит все водяные смерчи, зарегистрированные в 2014-2018 гг. к категории EF0 по «улучшенной» шкале Фуджиты. Эта категория характеризуется интервалом значений 29-38 м/с, но нет уверенности, что максимальный ветер во всех смерчах таких значений достигает (см. ниже). Заведомо только, что эти смерчи принадлежат категории F0. Заметим в этой связи, что в той части Главы 3 диссертации, где анализируются интенсивные сухопутные смерчи, автором используется исходная шкала Фуджиты. В диссертации приведено достаточно много ссылок на работы, посвященные водяным смерчам. Но не упомянуты такие работы, как: Levenson V.H., Sinclair P.C., Golden J.H. Waterspout wind, temperature and pressure structure deduced from aircraft measurements // *Mon. Wea. Rev.* 1977. V. 105. P. 725-733; Schwiesow R.L., Cupp R.E., Sinclair P.C., Abbey, Jr. R.F. Waterspout velocity measurements by airborne Doppler lidar // *J. Appl. Meteor.* 1981. V. 20. P. 341-348; Schwiesow R.L. Horizontal velocity structure in waterspouts // *J. Appl. Meteor.* 1981. V. 20. P. 349-360. Согласно проведенным в первой работе прямым самолетным измерениям поля скорости в водяных смерчах у Флориды характерными значениями являются 25 м/с для максимальной тангенциальной скорости и 8 м/с для вертикальной скорости, т.е. закрутка потока (вращательное отношение) там велики. Во второй и третьей работе использовались не прямое проникновение в вихрь, а дистанционные измерения с помощью установленного на самолете доплеровского лидара. Максимальная, измеренная с помощью лидара, тангенциальная скорость в водяном смерче составляла 29.6 м/с, а у остальных смерчей эта скорость была ниже, иногда существенно. Эти работы дают ясную картину физических параметров водяных смерчей у Флориды и были бы методически полезны при исследовании черноморских водяных смерчей. Сказанное подтверждает и то, что немезоциклонные водяные смерчи на Черном море, в их основной массе, скорее всего, относятся к категории F0, а не к EF0.

4. Водяные смерчи, как правило, менее интенсивны, нежели смерчи над сушей. Этому надо искать объяснения. К сожалению, в диссертации приведена единственная в этой связи ссылка на книгу В.В. Кушина, именно, что «малая интенсивность смерчей, возникающих над водной поверхностью, объясняется невозможностью транспортировки большого объема воды на высоту, достаточную для выделения теплоты перехода вода-лед, которая необходима для их поддержания». Однако имеются альтернативные объяснения, на мой взгляд, более реалистичные. Так, по мнению Дж. Голдена (J.H. Golden) это связано, прежде всего, с тем, что смерчи над сушей (торнадо) обязаны своим генезисом интенсивным, бароклинным возмущениям с сильным вертикальным сдвигом ветра, в то время как водяные смерчи связаны со слабыми квази-баротропными возмущениями и небольшими вертикальными сдвигами скорости. Еще одно возможное, предложенное в литературе, объяснение заключается в более низком коэффициенте трения над водной поверхностью, поскольку именно трение ведет к сильной радиальной конвергенции воздуха в приземном слое и, как следствие, образованию ядра быстро поднимающегося воздуха и выделению скрытого тепла конденсации.

5. Еще одним полезным источником информации о водяных смерчах (средством их мониторинга), неотмеченным в диссертации, могут служить судовые локаторы кругового обзора. Об этом говорится в статье: Телегин В.А., Баханов В.В., Ермошкин А.В., Курганский М.В., Рождественская В.И., Трубицын А.В. Наблюдения смерча некогерентным радиолокатором X-диапазона // Научные технологии. 2017. Т. 18. №2. С. 28-36.

6. В Главе 1 при обсуждении простейших моделей смерчей приводится громоздкая аналитическая формулировка двух ячейкового вихревого решения Сэлливана (Sullivan). Это решение, насколько мне известно, ввиду его сложности используется практически крайне редко и, возможно, было бы полезнее упомянуть «термофизическую» модель водяного смерча, развитую в работе: Renno N.O., Bluestein H.B. A simple theory for waterspouts // J. Atmos. Sci. 2001. V. 58. P. 927-932.

7. В диссертации, как полезное дополнение к номограммам Силады, SWN, введен новый региональный индекс для прогнозирования немезоциклонных водяных смерчей, WRI, который, особенно при его модификации  $WRI_m$ , показал хорошую прогностическую эффективность. Этот индекс определяется произведением нескольких сомножителей (предикторов). Одним из таких предикторов является «потенциал вертикальной завихренности» (DD). Данный потенциал определяется как сумма модулей разности направлений ветра в смежных узлах сетки в двух ортогональных направлениях, причем эти модули отнесены к расстояниям между узлами. Введенный потенциал апеллирует к

гидродинамической интуиции и отражает наличие локальной завихренности в поле скорости. Однако более внимательное рассмотрение показывает, что поля локальной завихренности и локальной чистой деформации, соответственно, отражаются в этом потенциале практически одинаковым образом. Это обстоятельство заслуживает комментария со стороны диссертанта. Вторым моментом, теоретически ограничивающим применение понятия «потенциала вертикальной завихренности» является требование отсутствия особых точек поля скорости (где вектор поля скорости обращается в нуль), поскольку при этом понятие направления скорости ветра теряет смысл. Это также можно было бы прокомментировать в диссертации.

8. Глава 4, стр. 143: из текста диссертации не очень понятно, как именно пересечение смерчеопасных областей, оцененных по индексам WRI и NSP, определило выделенную в конечном счете зону максимального риска и как эта зона выглядит.

9. Глава 4: на рисунке 4.4 не очень понятно, как различить две цветные шкалы.

10. Глава 4, таблица 4.10: вызывает вопрос не прокомментированное в диссертации рассогласование в отдельных случаях (для модели COSMO-Ru) высоких значений критерия Пирси–Обухова (0.805 и 0.632) и низких значений критерия Багрова (0.086 и 0.038, соответственно).

### **Заключение**

Высказанные замечания во многом носят характер комментариев и пожеланий и не снижают общего хорошего впечатления о диссертационной работе, в которой получены результаты, во многом проливающие новый свет, как на само метеорологическое явление черноморских водяных смерчей, так и на возможность его эффективного заблаговременного прогнозирования, что, безусловно, является актуальной научной задачей.


Научные результаты диссертации соответствуют пункту 5 «Опасные и особо опасные явления погоды – тропические циклоны, тромбы (торнадо), засухи, наводнения» паспорта специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология. Материалы исследования детально изложены в 15 опубликованных работах, из которых 7 статей входят в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК. Основные результаты доложены на научных конференциях и семинарах разного уровня. Автореферат адекватно передает содержание диссертации.

Как по объему, так и по содержанию диссертационное исследование «Оценка смерчеопасности вблизи Черноморского побережья Краснодарского края и Республики Крым» полностью отвечает критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения ученых степеней и предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том

числе пункту 9 этого Положения, а ее автор, Калмыкова Ольга Вячеславовна, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология.

Я, Курганский Михаил Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник,  
главный научный сотрудник  
Лаборатории геофизической  
гидродинамики Отдела динамики  
атмосферы  
ИФА им. А.М. Обухова РАН

  
Курганский Михаил Васильевич  
«10» января 2020 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук»

Почтовый адрес: 119017, г. Москва, Пыжевский пер. 3

Официальный сайт: <http://ifaran.ru>

E-mail: [kurgansk@ifaran.ru](mailto:kurgansk@ifaran.ru)

Рабочий телефон: +7(495)959-41-03

Подпись Курганского М.В. заверяю  
ученый секретарь  
ИФА им. А.М. Обухова РАН,  
кандидат географических наук



Л.Д. Краснокутская