

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертацию на соискание ученой степени

кандидата географических наук Калинской Дарьи Владимировны

на тему: «Влияние атмосферного аэрозоля на биооптические характеристики черного моря по данным наземных и спутниковых измерений»

по специальности 1.6.17. Океанология

Диссертационная работа Д.В.Калинской посвящена анализу влияния различных типов атмосферных аэрозолей на пространственно-временное распределение биооптических характеристик верхнего слоя вод Чёрного моря.

Актуальность работы обусловлена важностью атмосферных аэрозолей в задачах как изменения климата, так и влияния на различные экосистемы, в том числе и океанов. Так, в последние десятилетия остро встает вопрос о возможных причинах наблюдаемых изменений климата и их вероятных будущих последствиях. Изучению данного вопроса посвящено множество работ, результаты которых обобщаются в докладах МГЭИК (IPCC) (Stocker et al., 2013, Masson-Delmotte et al., 2021). В отчетах предоставляются оценки влияния естественных и антропогенных факторов на земную систему, среди которых особое внимание уделяется оценкам пространственно-временных вариаций характеристик аэрозоля и их влиянию на климат и экосистему Земли. Однако, из-за многообразия естественных и антропогенных источников аэрозолей их химического состава и особенностей их взаимодействия с радиацией, облачностью и экосистемами земли оценки влияния аэрозолей в настоящее время имеют большие погрешности (Myhre et al., 2013, Seinfeld et al., 2016). При этом за последнее время был достигнут определенный прогресс в понимании процессов эмиссии и эволюции аэрозолей, прежде всего из-за организации наземных сетей наблюдения, появления спутниковых измерений и новых методов анализа трендов аэрозолей, например, по данным ледниковых кернов и путей распространения.

Диссертационная работа состоит из введения, 3-х глав, заключения, списка сокращений и литературы из 185 наименований. Материал диссертации изложен на 140 страницах, содержит 40 рисунков и 8 таблиц.

Во **Введении** обозначена цель и дано обоснование актуальности диссертационной работы; определен круг решаемых задач; сформулированы выносимые на защиту научные положения; отмечены научная новизна и практическая значимость результатов; приведены сведения об апробации результатов, структуре и объему диссертации.

В **первой главе** рассматриваются методы и инструменты исследования, дается описание основных оптических характеристик атмосферного аэрозоля. Представлены характерные типы атмосферного аэрозоля над Чёрным морем и методы их идентификации. Кроме того, описаны используемые в работе инструменты и исходные данные, среди них и наземные измерения AERONET, измерения ручным фотометром SPM, и различные спутниковые данные, а также программные комплексы модели SILAM и расчета обратных траекторий HYSPLIT и AERONET. Множество используемых в работе современных инструментов показывает широкую научную эрудицию автора

Во **второй главе** приведен анализ основных оптических характеристик трех типов аэрозолей над Черным морем. Предложен и описан алгоритм определения источников

приземного аэрозоля по данным анализа обратных траекторий воздушных масс. По результатам этого алгоритма представлена статистика источников генерации аэрозоля над Черным морем по сезонам и географическому положению. Выявлены основные высоты переноса аридного аэрозоля. Также проанализированы расхождения работы алгоритмов обратных траекторий AERONET и HYSPLIT. Результаты этой части представляются весьма значимыми для понимания эмиссий, распространения и эволюции аэрозолей над Черным морем.

Далее рассматриваются оптические характеристики трех типов аэрозоля над акваторией Черного моря: фоновый, пылевой и дымовый аэрозолей. Кроме того, в этой главе также анализируется химический состав осадков и приводятся обратные траектории для дней с наибольшим содержанием биогенных веществ в пробах. Также большое внимание уделено анализу данных о пожарах по различным спутниковым данным. В данной главе приведены коэффициенты корреляции между повышенными значениями аэрозольной оптической толщины и содержанием фосфатов и силикатов в осадках.

Третья глава посвящена влиянию пылевого аэрозоля на биооптические характеристики верхнего слоя Черного моря. Рассмотрено четыре различных случая влияния. Первые три для 2010, 2016, 2018 годов с использованием только спутниковых данных. Последний еще и с привлечением результатов моделирования качества воздуха, предоставленным сервисом Ventusky и с использованием данных наземных измерений по интенсивности флуоресценции растворенного органического вещества. Для всех случаев проанализированы результаты измерений концентрации хлорофилла-а, скорректированных величин отношения коэффициента яркости моря в двух спектральных каналах и коэффициента $CI(412/443)$

В Заключении обобщены основные результаты исследования.

Научная новизна работы состоит в (1) исследовании основных оптических характеристики фоновый, пылевой и дымовый аэрозоля над Черным морем по натурным измерениям, (2) разработке алгоритма определения источников переносимого аэрозоля для региона Черного моря на основе интерпретации результатов моделирования обратных траекторий перемещения воздушных потоков по данным AERONET и HYSPLIT, (3) оценки количества случаев переноса пылевого аэрозоля из районов Сахары и Ближнего Востока в регион Черного моря на основе предложенного алгоритма и (4) оценка влияния пылевого аэрозоля и содержащих в нем фосфатов и силикатов на экосистемы открытой части Черного моря.

Помимо новых интересных и значимых научных результатов, безусловным достоинством диссертационной работы Калинской Д.В. является комплексность выбранного автором подхода для решения задач исследования. Используется большое множество как наземных измерений, так и спутниковых данных, подкрепляя исследования результатами модельных комплексов по обратным траекториям. Это обеспечивает достаточную **степень обоснованности и достоверности полученных результатов и сформулированных выводов**. Кроме того, все полученные выводы и положения, выносимые на защиту, находят подтверждение в тексте работа, а также опубликованы в 16 рецензируемых научных журналах. Особенно стоит отметить, что соискатель является и первым автором большинства статей, в том числе и из списка топ25. Результаты неоднократно докладывались на российских и международных конференциях по профилю диссертации.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Тем не менее, к работе можно высказать ряд замечаний:

1. К первому положению: из текста не совсем ясно для каких «регионов акватории Черного моря приведены оптические характеристики», в частности статистически обоснованное распределение частиц по размерам в среднем для выбранного периода приведено только по данным AERONET для Севастополя.
2. Ко второму положению: в тексте не приведено ни одного случая применения предлагаемого алгоритма к дымовому аэрозолю.
3. К третьему положению: из текста можно сделать вывод что корреляция была посчитана для 13 дней с высокими концентрациями фосфатов и для 17 дней с высокими концентрациями силикатов. Для азота корреляции не приведены.
4. К четвертому положению: не рассмотрено влияние азотистых соединений на биооптические характеристики вод.

Замечания по главе 1:

5. Ряд формул требуют явного указания размерностей величин.
6. Нет описания какими функциями можно аппроксимировать распределение частиц по размерам.
7. В пункте 1.2.1 Фоновый аэрозоль – *«В нашем случае это типичный аэрозоль морского происхождения.»* – Какая доля морского аэрозоля в фоновом аэрозоле наблюдается в регионе Черного моря? И каков сравнительный вклад сульфатного аэрозоля? Ничего не сказано про эмиссию диметилсульфида из морской поверхности и сколько из него образуется аэрозолей.
8. Из текста в других главах не совсем ясно как использовались описанные данные MAIAC и модель SILAM.
9. Также необходимо привести описание моделирования обратных траекторий AERONET и HYSPLIT. Какие метеорологические данные используются?
10. Из дальнейшего текста не совсем ясно как использовались описанные данные MAIAC и модель SILAM.

Замечания по главе 2:

11. Из текста не совсем ясно почему для алгоритма были выбраны критерии $P > 700$ мбар, а например не более жесткий $P > 900$ мбар, чтобы учитывать траектории только из приземного слоя, а не из средней тропосферы.
12. Видимо опечатка, что $Pt'=20$ мбар/час соответствует вертикальной скорости 10 км/ч.
13. Учитывая, что в алгоритмах обратных траекторий AERONET и HYSPLIT используются данные метеорологических моделей с грубым пространственным разрешением, то некоторые случаи выпадения осадков могут не попадать на эту сетку и условие нисходящих потоков < -20 мбар/час кажется не совсем достаточным для полной отбраковки траекторий.
14. Можно ли Ваш алгоритм применять для дымового если горячий воздух от пожара может иметь собственную вертикальную скорость вне зависимости от крупномасштабной циркуляции, которая заложена в эти методы обратных траекторий?
15. Какие существуют в мире алгоритмы определения источников аэрозоля и насколько Ваш алгоритм соотносится с ними и чем лучше их?
16. Были ли случаи, когда алгоритм HYSPLIT давал перенос аридного аэрозоля, а AERONET нет? Выводы по двум дням кажутся не совсем достоверными.
17. По пункту 2.3.2. Как исключались из оценок фонового аэрозоля даты с пылевыми бурями или пожарами?

18. Общие замечания по всем типам аэрозолей: не представлено за какой период рассматривалось осреднение, сколько дней было выбрано для пылевого и дымового аэрозоля. Также, наверное, стоило привести сезонный ход величин.

19. В пункте 2.3.3 нет ни слова о днях с высокими АОТ, которые были представлены в пункте 2.2. При этом 13 мая 2016 года, как один из выбранных дней для рассмотрения, никак не представлен и выделяется на рисунке 2.7 и на рисунке 2.12. В тексте также не представлены обратные траектории для этого дня

20. Можно ли сделать вывод о переносе из Сахары 14.09.2010 если по данным ВТА траектории находились в средней и верхней тропосфере, по данным HYSPLIT только одна заходила ниже 3 км?

21. В тексте нигде не указывается как использовался разработанный алгоритм для дней с высокими концентрациями фосфатов, силикатов и азотистых соединений в осадках. Также обратные траектории представлены только для отдельных выбранных дней, это не совсем доказывает, что в остальные дни также осуществляется перенос аридного аэрозоля.

22. Нет описания метода как определялся химический состав осадков и какое временное окно до или после осадков было взято для определения АОТ, так как в день с осадками необходимых условий для измерения фотометрами могло не быть. Если были измерения АОТ после, то насколько влажное вымывание аэрозолей осадками могло уменьшить АОТ?

23. Для дымового аэрозоля представлены обратные траектории только для одного дня. Поэтому не совсем ясен вывод «По данному алгоритму для региона Черного моря выделены периоды и даты максимального воздействия на атмосферу пылевого и дымового аэрозоля, возникшие вследствие бурь или пожаров соответственно» - судя по тексту даты были определены по данным химического состава осадков.

Замечания по главе 3:

24. Почему для 14.09.2010 года был выбран регион западнее Севастополя, хотя, согласно обратным траекториям, ветер перемечался с востока, единственные траектории, которые проходили через выбранный регион, были на высоте более 4 км (по рисунку 2.17)? Также стоило привести цифровые значения температуры воды в выбранном регионе, так как на рисунке 3.3 разрешения цветовой шкалы недостаточно для определения температуры.

25. Какая погрешность восстановления концентрации хлорофилла по спутниковым данным?

26. В тексте к рисункам 3.4., 3.8 говорится о днях с максимальными величинами отношения $RRS(547)/RRS(488)$, а хотя на рисунках они минимальные или около минимальных значениях.

27. Какие данные использовались из сервиса Ventusky в пункте 3.2?

28. Какая точность восстановления интенсивности флюоресценции растворённого органического вещества?

Текст диссертации следовало бы вычитать более подробно перед представлением финальной версии. Есть ряд редакционных замечаний:

Несколько раз в тексте Севастополь написан латиницей.

Опечатки: в пункте 2.1 – ссылка на рисунок 3.2 в третьем абзаце; пробел на странице 62, надо поменять местами а и б на рисунке 2.15; дата на 95 странице 04.06.2016 г; твердый знак в подписи к рисунку 3.11.

Вывод по корреляциям приведен для главы 3, должен быть для главы 2.

Ряд рисунков не очень читабельные, плохо читаются данные, шкалы или географическое местоположение: рисунки 2.1, 2.9, 2.11, 2.16, 3.3. Тяжело определять даты на рисунках 3.4, 3.8, 3.11, 3.15.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. При выполнении диссертационной работы Калининская Д.В. продемонстрировала хорошее владение множеством разнообразных методов исследований.

Работа полностью соответствует специальности 1.6.17. Океанология и удовлетворяет всем предъявляемым к кандидатским диссертациями требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года №842, а ее автор, Калининская Дарья Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук.

Официальный оппонент

Кандидат географических наук (специальность 25.00.30 - Метеорология, климатология, агрометеорология)

Старший научный сотрудник

Кафедры метеорологии и климатологии

Географического факультета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ПОЛЮХОВ Алексей Андреевич

 /А.А. Полухов/

Адрес места работы:

119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1,

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,

Географический факультет

Моб. тел.: +7 (495) 939 29 42

E-mail: aeromsu@gmail.com

Подпись сотрудника географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова А.А.Полухова удостоверяю

Декан географического факультета

Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

академик, д.г.н.

 /Г.А. Добролюбов/

Дата: 15.01.2026

