

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского
центра «Морской гидрофизический
институт РАН»,
член-корреспондент РАН



Коновалов С.К.

«16» декабря 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Морской гидрофизический институт РАН»

Диссертация «Учет влияния пылевого аэрозоля на восстановление спектрального коэффициента яркости Черного моря по спутниковым данным» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – «океанология» выполнена в отделе оптики и биофизики моря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации соискатель Папкова Анна Станиславовна работала в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в должности младшего научного сотрудника отдела оптики и биофизики моря.

В 2017 г. соискатель окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» по специальности «физика».

Папкова А.С. окончила в 2020 г. очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано 12.09.2019 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Федеральным исследовательским центром «Морской гидрофизический институт РАН».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Шибанов Евгений Борисович работает ведущим научным сотрудником отдела оптики и биофизики моря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

По результатам рассмотрения диссертации Папковой А.С. «Учет влияния пылевого аэрозоля на восстановление спектрального коэффициента яркости Черного моря по спутниковым данным» принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Папковой А.С. посвящена исследованию влияния пылевого аэрозоля на определение коэффициента яркости Черного моря методами дистанционного зондирования.

Спутниковые измерения являются одним из главных источников данных о состоянии морской среды. При наличии пылевого аэрозоля над акваторией Черного моря зачастую методами дистанционного зондирования воспроизводятся физически некорректные величины коэффициента яркости моря в интервалах 412–443 нм, а именно появляются отрицательные значения. В настоящее время ни один из предложенных методов для автоматизированной атмосферной коррекции в присутствии пылевого аэрозоля не нашел широкого применения, поскольку они требуют дополнительной информации о стратификации аэрозоля. В диссертационной работе разработан простой алгоритм дополнительной коррекции

спутниковых значений коэффициента яркости моря при условии наличия пылевого аэрозоля над акваторией Черного моря. Для решения данной задачи использовались инструменты дистанционного зондирования (MODIS Aqua), источники натурных измерений спектрального коэффициента яркости моря для Черного моря (AERONET-OC), а также набор оптических характеристик атмосферы, таких как аэрозольная оптическая толщина, параметр Ангстрем, альbedo однократного рассеивания (AERONET).

В работе предложен метод для проверки достоверности измерений коэффициента яркости, предоставляемых AERONET-OC. С использованием трехпараметрической модели рассчитано, что часть рассмотренных данных не достоверна и они были исключены из дальнейшего анализа данных.

Исследованы закономерности изменения индекса цвета $CI(412/443)$ в Черном море. Найдено, что величина $CI(412/443)$ меняется слабо. Это было подтверждено не только данными со станций AERONET-OC, но и экспедиционными данными с 116-го рейса НИС «Профессор Водяницкий». Данная закономерность служит опорной информацией при разработке регионального алгоритма дополнительной коррекции при наличии пылевого аэрозоля.

В диссертационном исследовании проведены аналитические оценки эффектов стратификации поглощающего аэрозоля. При пылевом аэрозоле погрешность атмосферной коррекции выражается степенной функцией четвертой степени. При валидации спутниковых и натурных измерений с использованием метода главных компонент, который учитывает разницу между натурными и спутниковыми измерениями, аналитические выводы подтвердились.

В работе предложена простая модельная поправка для перерасчета спутниковых значений коэффициента яркости моря, основанная на предположении о малой вариативности индекса цвета (CI) на 412 и 443 нм.

Эффективность предложенной модельной поправки проверена на множестве примеров, включая сравнение результатов коррекции синхронных

спутниковых продуктов с независимыми *in situ* измерениями коэффициента яркости Черного моря.

Диссертация Папковой А.С. «Учет влияния пылевого аэрозоля на восстановление спектрального коэффициента яркости Черного моря по спутниковым данным» по объему выполненных исследований, новизне результатов, научному и практическому значению отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

Постановка ряда задач научного исследования проводилась под руководством научного руководителя Шибанова Е.Б., с которым обсуждались полученные результаты и формулировки выводов.

Автор принимала непосредственное участие в обработке данных дистанционного зондирования и натурных измерений коэффициента яркости Черного моря, предоставляемого с платформ AERONET-OC.

Был осуществлён визуальный анализ спутниковых снимков с сопутствующим анализом обратных траекторий движения аэрозолей. Автором был подготовлен массив данных с датами переноса пылевого аэрозоля над акваторией Черного моря. Данный массив содержал: коэффициенты яркости моря по *in situ* и спутниковым измерениям в анализируемые даты, а также оптические характеристики атмосферы.

Лично автором были написаны программные коды и получены результаты при кластеризации многолетнего массива натурных измерений коэффициента яркости моря с платформ AERONET-OC.

Автором выполнена основная часть работы по статистическому анализу, визуализации и описанию полученных результатов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность научных результатов обосновывается тем, что в работе были использованы стандартные методы и подходы оптики моря и атмосферы. При определении конкретных аэрозольных параметров наряду с

методами дистанционного зондирования применялись продукты, предоставляемые с платформ AERONET-OC, качество которых гарантировано NASA.

Научная новизна результатов проведенных исследований

1. Впервые предложена аналитическая формула, описывающая эффект влияния пылевого аэрозоля на измеряемую со спутника яркость на верхней границе атмосферы. Показано, что при наличии поглощающего аэрозоля, погрешность атмосферной коррекции близка к λ^{-4} .

2. На основании многолетнего сравнительного анализа натурных и спутниковых измерений коэффициента яркости моря в акватории Черного моря, получены статистические закономерности ошибки атмосферной коррекции при различных состояниях атмосферы. Для повышения качества натурных измерений AERONET-OC предложено использовать стандартную модель оптических свойств морской воды. Установлено, что в случаях наличия пыли, первый собственный вектор ошибки атмосферной коррекции пропорционален $\lambda^{-3,6}$.

3. Впервые разработан региональный алгоритм дополнительной коррекции спутниковых значений коэффициента яркости Черного моря при наличии пылевого аэрозоля. Метод основан на обнаруженной закономерности постоянства индекса цвета на длинах волн 412 и 443 нм для вод Черного моря. Проведен кластерный анализ многолетнего массива данных об изменчивости коэффициента яркости моря по данным с платформ AERONET-OC. Было показано, что для всех кластеров условие постоянства $CI(412/443)$ сохраняются.

Практическая значимость результатов проведенных исследований

Полученные в работе оценки ошибок атмосферной коррекции в присутствии пылевого аэрозоля могут быть использованы для широкого спектра задач оптики атмосферы. Поправки атмосферной коррекции улучшат надежность спутниковой информации о коэффициенте яркости моря. Разработанный алгоритм дополнительной атмосферной коррекции данных

существенно повысит точность спутниковой информации, которая в свою очередь повлияет на достоверность результатов экологических моделей, где входными параметрами является концентрация хлорофилла-а. Алгоритмы и математический аппарат, созданные на основе задач диссертационного исследования, могут быть использованы для решения задач оптики атмосферы и интерпретации данных спутникового зондирования.

Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ соискателя заключается в уточнении имеющихся и получении новых закономерностей изменения значений коэффициента яркости моря, измеряемых со спутника, при различных состояниях атмосферы.

Предложенная коррекция стандартного алгоритма показала положительные результаты работы, а именно в случаях наличия пылевого аэрозоля она повышает корреляцию между спутниковыми и натурными данными более чем в 2 раза в коротковолновой области спектра, в зеленом диапазоне изменения незначительны. Скорректированный алгоритм с большой достоверностью восстанавливает спутниковые значения в дни пылевого переноса над Черноморским регионом и не искажает качественные спутниковые данные. В работе показано, что значения индекса цвета с учетом предложенной коррекции также лучше согласуются с натурными наблюдениями. Это может быть использовано для пересчета концентрации хлорофилла-а в акватории Черного моря при условии неоднородности атмосферы.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.17 – «океанология», отрасль наук – физико-математические науки.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертации опубликовано в соавторстве 8 научных работ, удовлетворяющих требованиям ВАК при Минобрнауки Российской Федерации. В их числе 4 работы в рецензируемых научных изданиях,

входящих в наукометрическую базу Web of Science [3, 5, 7, 8] и 8 работ в изданиях, входящих в наукометрическую базу SCOPUS [1–8].

Статьи в рецензируемых журналах

1. Kalinskaya D.V., Varenik A.V., **Papkova A.S.** Phosphorus and silicon as markers of dust aerosol transfer over the Black Sea region // *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. – 2018. – V. 15, № 3. – P. 217-225. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-217-225.

2. **Papkova A.S.**, Papkov S.O., Shukalo D.M. CALIPSO stratification of atmospheric aerosols with environmental assessment of dust content over the Black Sea region // *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. – 2020. – V. 17, № 1. – P. 234-242. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-234-242.

3. Kalinskaya D.V., **Papkova A.S.**, Kabanov D.M. Research of the Aerosol Optical and Microphysical Characteristics of the Atmosphere over the Black Sea Region by the FIRMS System during the Forest Fires in 2018–2019 // *Physical Oceanography*. – 2020. – V. 27, № 5. – P. 514-524. DOI: 10.22449/1573-160X-2020-5-514-524.

4. Kalinskaya, D.V., **Papkova, A.S.**, Varenik, A.V. The case of absorbing aerosol anomalous transport over the Black Sea in the spring of 2020 // *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. – 2021. – V. 18, № 2. – P. 287-298. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-287-298.

5. **Papkova A.**, Papkov S., Shukalo D. Prediction of the Atmospheric Dustiness over the Black Sea Region Using the WRF-Chem Model // *Fluids*. – 2021. – V.6, № 6. – P. 201. DOI: 10.3390/fluids6060201.

6. **Papkova A.S.**, Shybanov E.B. Influence of dust aerosol on the results of atmospheric correction of remote sensing reflection of the Black and Mediterranean Seas from MODIS satellite data // *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. – 2021. – V. 18, № 6. – P. 46–56. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-46-56.

7. Kalinskaya D.V., **Papkova A.S.** Why Is It Important to Consider Dust Aerosol in the Sevastopol and Black Sea Region during Remote Sensing Tasks? A

Case Study // Remote Sensing. – 2022. – V.14, № 8. – P.№ 1890.
DOI: 10.3390/rs14081890.

8. Shybanov E.B. **Papkova A.S.** 2022. Algorithm for Additional Correction of Remote Sensing Reflectance in the Presence of Absorbing Aerosol: Case Study // Physical Oceanography. – 2022. – 29(6). – P. 688-706. DOI:10.22449/1573-160X-2022-6-688-706

Цитирования материалов и отдельных результатов других авторов в диссертации оформлены соответствующим образом.

Диссертация «Учет влияния пылевого аэрозоля на восстановление спектрального коэффициента яркости Черного моря по спутниковым данным» Папковой Анны Станиславовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.17 – «океанология».

Заключение принято на заседании Общеинститутского научного семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Морской гидрофизический институт РАН».

Присутствовало на заседании 28 членов Общеинститутского научного семинара. Результаты голосования: «за» – 28 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек, протокол №16 от 15 декабря 2022 года.

Заместитель председателя
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский
центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
доктор физико-математических наук

Демышев Сергей Германович

Ученый секретарь
Общеинститутского научного семинара
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский
центр «Морской гидрофизический институт РАН»,
кандидат физико-математических наук,
ученый секретарь

Алексеев Дмитрий Владимирович

