

Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы в Приморье и прилегающих морях в августе 2010 г.

С.М. Сакерин¹, С.В. Афонин^{1,2}, М.В. Энгель¹, Д.М. Кабанов¹, В.В. Польшкин¹,
Ю.С. Турчинович¹, О.А. Букин³, А.Н. Павлов^{4*}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

³Морской государственный университет им. Адмирала Г.И. Невельского
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

⁴Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5

Поступила в редакцию 30.03.2011 г.

Обсуждаются результаты исследований аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в Дальневосточном регионе, проведенных в августе 2010 г. с использованием солнечных фотометров и спутниковых данных (MODIS). Показано, что аэрозольное замутнение в Приморье (Владивосток, Уссурийск) изменяется согласованно и различие данных невелико. АОТ атмосферы над Охотским морем в среднем в 2 раза ниже. Показатель селективности Ангстрема в Приморье и Охотском море имеет близкие значения — промежуточные между чисто морским и континентальным аэрозолем. Отмечается убывание АОТ атмосферы с удалением в северо-восточном направлении от Владивостока.

Ключевые слова: солнечная фотометрия, спутниковый мониторинг, аэрозольная оптическая толщина, вариации, пространственное распределение; solar photometry, satellite monitoring, aerosol optical depth, variation, spatial distribution.

Введение

Особенности пространственно-временной изменчивости аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в значительной степени зависят от различных факторов — географии распределения природных и антропогенных источников аэрозоля и специфики атмосферных циркуляций, определяющих переносы аэрозоля из соседних регионов. Дальневосточное Приморье, находящееся в переходной зоне «материк—океан», отличается большой изменчивостью характеристик аэрозоля. Это обусловлено многообразием типов аэрозоля, поступающих в регион: морской аэрозоль, дымы лесных пожаров, выносы пыли и антропогенного аэрозоля со стороны Китая, Монголии, Кореи, Японии. Для отдельных периодов (районов) увеличение АОТ может быть обусловлено активизацией вулканической деятельности (Камчатка, Курилы).

В наших предшествующих публикациях были проанализированы результаты измерений спектральных АОТ в районе Уссурийска и с борта парусника «Надежда» в акватории Японского моря весной 2009 г. [1], а также оценена изменчивость АОТ по спутниковым наблюдениям в этот же период [2] и средние данные для Дальневосточного региона в последнее десятилетие [3]. В настоящей статье рассмотрены характеристики атмосферного замутнения в этом регионе с использованием спутниковых данных и результатов нового цикла экспедиционных измерений АОТ, проведенных в августе 2010 г. с борта судна и в прибрежной зоне. В сравнении с экспедицией 2009 г. изменились как сроки (сезон), так и районы исследований.

1. Характеристика полученных результатов

В экспедиционных исследованиях применялись многоволновые солнечные фотометры SPM и SP-9, работающие в диапазоне спектра 0,34–2,14 мкм. Основные характеристики фотометров и методики определения АОТ атмосферы приведены в работах [4–7]. Портативный фотометр SPM использовался

* Сергей Михайлович Сакерин (sms@iao.ru); Сергей Васильевич Афонин (afonin@iao.ru); Марина Владимировна Энгель (angel@iao.ru); Дмитрий Михайлович Кабанов (dkab@iao.ru); Виктор Викторович Польшкин (victor@iao.ru); Юрий Сергеевич Турчинович (tus@iao.ru); Олег Алексеевич Букин (o_bukin@mail.ru); Андрей Николаевич Павлов (apavlov@iasp.dvo.ru).

в измерениях АОТ с борта парусного учебного судна (ПУС) «Надежда». Основная часть данных получена в Охотском море на следующем маршруте судна: Владивосток – пролив Лаперуза – п. Корсаков – о. Матуа – переход до банки Кошеварова (55,6° с.ш., 146,5° в.д.) – Сахалинский залив и затем в обратном направлении (карта рейса представлена в работе [8]). В период с 6 по 31 августа, за 10 дней наблюдений, выполнено около 640 замеров АОТ (после очистки данных от облачных искажений осталось 557).

Стационарный пункт наблюдений (фотометр SP-9) располагался на территории ИАиПУ ДВО РАН в прибрежной зоне Владивостока. Автоматизированные измерения АОТ осуществлялись непрерывно в ситуациях, когда Солнце было свободно от облачности. Объем данных, полученных в период с 29 июля по 31 августа, составил 16 дней измерений и 3297 единичных серий (спектров АОТ). При анализе результатов привлекались также данные фотометра CE-318 глобальной сети AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), установленного вблизи Уссурийска (пос. Горнотаежное).

На основе полученных результатов рассчитывались средние за час и за день значения следующих характеристик: спектральные АОТ τ_{λ}^a , грубо- и мелкодисперсная компоненты АОТ (τ^c , $\tau_{0,5}^f = \tau_{0,5}^a - \tau^c$), влагосодержание атмосферы W , а также параметры α , β формулы Ангрстрема $\tau^a(\lambda) = \beta\lambda^{-\alpha}$. Процедура расчета τ^c и $\tau_{0,5}^f$ описана в работе [9].

Наземные измерения τ_{λ}^a и W сопровождалось данными наблюдений системы EOS/MODIS (спутники Terra и Aqua), которые включали: АОТ на нескольких длинах волн в диапазоне 0,47–0,86 мкм с номинальным пространственным разрешением 10 км и влагосодержание атмосферы, восстановленное по измерениям в двух спектральных диапазонах – ИК и ближнем ИК с пространственным разрешением 5 и 1 км соответственно.

Кроме спутниковых данных АОТ с разрешением 10 км, анализировались и более крупные тестовые районы: А – залив Петра Великого, вблизи Владивостока; В – северная часть Японского моря; С – район Курильской котловины (восточная часть маршрута); D – северная часть маршрута ПУС «Надежда».

Для оценки влияния потенциальных источников выноса аэрозоля (дымового, пылевого и др.) в район проведения экспедиции был проведен анализ следующей дополнительной информации:

– данных о пожарной активности с сайта LP DAAC [10] – файлы типа MOD14 с результатами детектирования потенциальных очагов горения по данным MODIS, которые кроме географических координат очага содержат и характеристики его интенсивности;

– данных о вулканической активности с сайта лаборатории исследований сейсмической и вулканической активности Камчатского филиала Геофизической службы РАН [11];

– спутниковых данных MODIS (уровень L2) о пространственном распределении АОТ и влагосодержания с сайта LAADS [12];

– карт балла облачности, АОТ и влагосодержания, полученных по данным MODIS (Aqua, уровень D3) с помощью программ *Giovanni* (NASA GES DISC, [13]) и *Google Earth*.

2. Вариации АОТ и влагосодержания атмосферы по данным солнечных фотометров

Характер временной изменчивости АОТ атмосферы в трех районах измерений иллюстрируется на рис. 1.

Видно, что более высокие замутнения наблюдались в континентальных районах. Максимальные

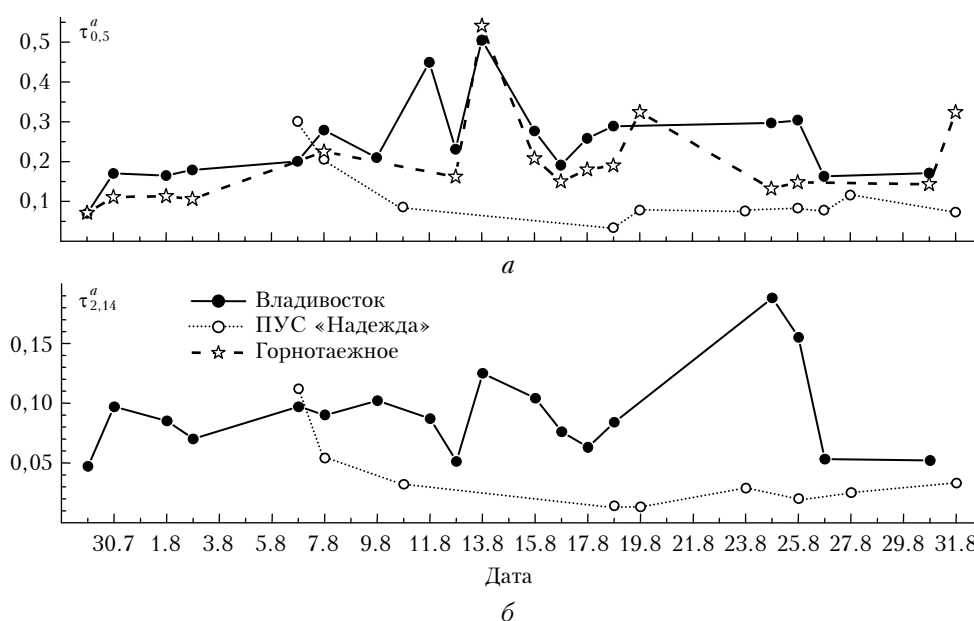


Рис. 1. Временной ход АОТ атмосферы в области спектра 0,5 (а) и 2,14 мкм (б)

Таблица 1

Средние характеристики АОТ и влагосодержания атмосферы в трех районах

Район	$\tau_{0,34}^a$	$\tau_{0,5}^a$	$\tau_{0,87}^a$	$\tau_{1,55}^a$	α	τ^c	$\tau_{0,5}^f$	W
Охотское море	0,150	0,113	0,065	0,039	0,99	0,035	0,078	1,350
Владивосток	0,312	0,237	0,131	0,076	1,04	0,070	0,167	3,312
Горнотаежное	0,317	0,210	0,115	—	1,10	—	—	2,673

АОТ были зарегистрированы 13 августа: во Владивостоке $\tau_{0,5}^a = 0,51$ и в Горнотаежном 0,54. Кроме этого случая АОТ во Владивостоке была несколько больше, чем в Горнотаежном, находящемся на удалении ~70 км, в чистом лесном районе. Изменение АОТ атмосферы в двух районах происходило достаточно согласованно — коэффициент взаимной корреляции $\tau_{0,5}^a$ составил 0,88. То есть основная изменчивость АОТ имела региональный характер — охватывала все Приморье.

По данным измерений на ПУС «Надежда», повышенные значения АОТ (сопоставимые с континентальными) были зарегистрированы только в заливе Анива, вблизи пос. Корсаков: $\tau_{0,5}^a = 0,21$, $\alpha = 1,13$. В остальное время АОТ атмосферы над Охотским морем была значительно ниже ($\tau_{0,5}^a < 0,11$) и согласованной изменчивости с данными в Приморье не наблюдалось.

Отмеченные особенности подтверждаются количественными характеристиками, приведенными в табл. 1 и на рис. 2, а.

В частности, средние АОТ в двух районах Приморья близки между собой и в 2 раза выше, чем над Охотским морем. В Охотском море можно было ожидать даже меньших значений АОТ, так как оно окружено континентальными районами с малой антропогенной нагрузкой — Сахалин, Магаданская область, Камчатка. Возможно, некоторое увеличение аэрозольного замутнения над морем было обусловлено влиянием вулканической деятельности в регионе и/или выносами дымов лесных пожаров со стороны Якутии [14].

Обратим внимание на близкие значения показателя селективности Ангстрема, полученные в трех районах наблюдений $\alpha = 0,99 \pm 1,1$. Напомним, что по данным наших и других исследований [15–19] и др.] типичное значение показателя Ангстрема в континентальных условиях составляет 1,2–1,5, в океанических, как правило, $\alpha < 0,9$, а в прибрежных зонах — около 1. То есть полученные значения α являются промежуточными между чисто морскими и континентальными, что согласуется с данными в других однотипных районах (прибрежные и внутренние моря в умеренных широтах).

Отметим также, что средняя спектральная зависимость $\tau^a(\lambda)$ в Охотском море занимает промежуточное положение между данными для районов «Открытый океан» и «Вблизи континентов» в умеренных широтах Атлантики [15, 16] (рис. 2, б). Сравнение с результатами нашей весенней экспедиции 2009 г. [1] показало, что значения τ_λ^a над Охотским морем примерно в 3 раза меньше, чем в центральной части Японского моря. Летние данные во Владивостоке

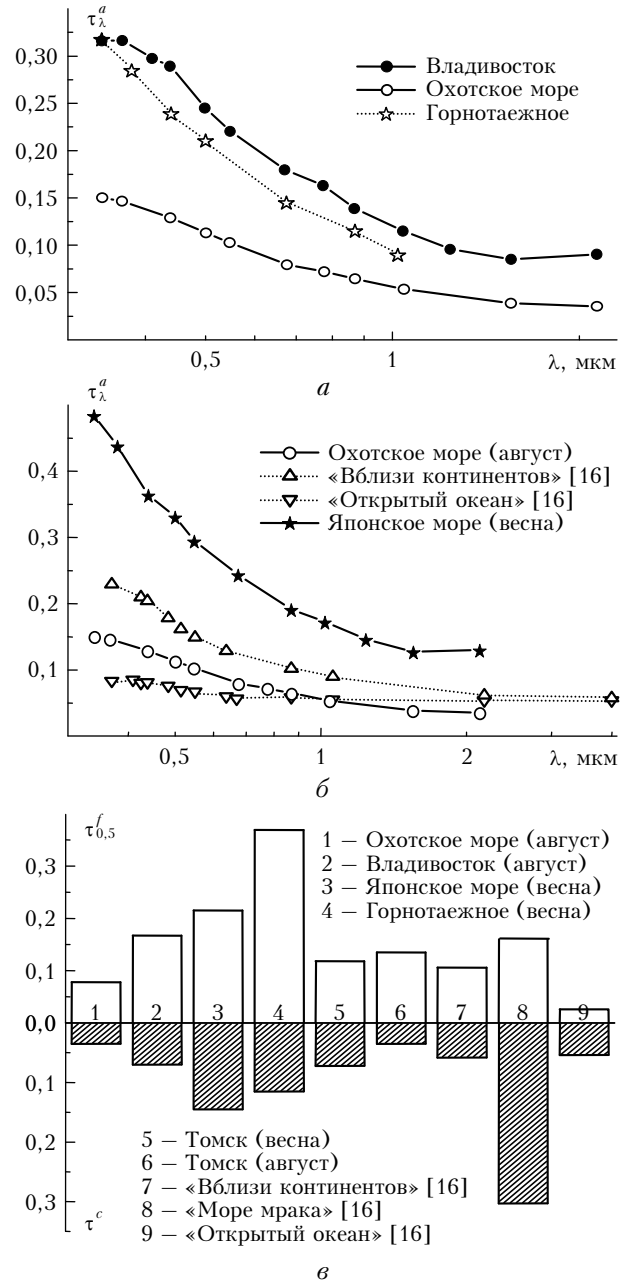


Рис. 2. Средние спектральные зависимости АОТ в трех районах исследований 2010 г. (а), сравнение с данными других экспедиций (б) и значения τ^c и $\tau_{0,5}^f$ (в) в разных районах (в)

(несмотря на влияние города) оказались тоже ниже, чем весной в пос. Горнотаежное [1]. В результатах сравнения прослеживается влияние двух факторов. Различие АОТ в двух экспедициях обусловлено,

во-первых, сезонным спадом (от весны к лету) генерации и выносов континентального аэрозоля [3], во-вторых – пространственным положением переносов азиатского аэрозоля: наиболее мощный поток действуют в направлении Японского моря, а Охотское море расположено севернее.

Представляло интерес оценить, какой вклад в АОТ вносят компоненты грубо- и мелкодисперсного аэрозоля (τ^c и $\tau_{0,5}^f$) в различных континентальных и морских районах. Из рис. 2, в видно, что максимальной величиной мелкодисперсного аэрозоля отличаются весенние данные в Приморье и Японском море (летние значения $\tau_{0,5}^f$ в Приморье чуть ниже). Грубодисперсная компонента τ^c в этих районах тоже значительна, но она примерно в 2 раза меньше, чем в зоне наиболее мощных пылевых выносов на планете – «Море мрака» [16]. Средний уровень τ^c характерен для континентальных районов (Приморье летом и Томск весной), а минимальные значения – для Охотского моря и Томска в летний период. Низкие значения τ^c в Охотском море среди других океанических районов [16], по-видимому, были обусловлены слабой генерацией морского аэрозоля в период измерений – низкими баллами волнения моря и скорости ветра.

Влагосодержание атмосферы (см. табл. 1) распределилось по районам в соответствии с известными закономерностями – широтной зависимостью и близостью к океану: максимальное значение W – во Владивостоке, немного ниже – в Горнотаежном, расположенном севернее и в удалении от моря, и самые малые значения в Охотском море.

3. Анализ спутниковых данных

Оценка достоверности результатов

Для оценки достоверности спутниковых данных было проведено их сопоставление с результатами наземных измерений АОТ во Владивостоке, на паруснике «Надежда» и в пос. Горнотаежном (AERONET). В соответствии со стандартной методикой [20] данные солнечных фотометров в пределах 30–60 мин от времени пролета спутника сравнивались с данными MODIS, усредненными в окрестности 50×50 км вокруг точки судовых (наземных) наблюдений. АОТ, измеренные фотометром в канале с длиной волны 0,44 мкм, пересчитывались по формуле Ангстрема для $\lambda = 0,47$ мкм (канал MODIS). В табл. 2 приведены средние значения наземных τ_p и спутниковых τ_m измерений АОТ, их разница μ_{PM} и среднеквадратическое отклонение σ_{PM} , максимальное значение АОТ в выборке по данным фотометра ($\tau_{p,max}$), коэффициент корреляции R , количество значений n

в выборке. Различия АОТ соответствуют методической погрешности ее восстановления по спутниковым данным над сушей и морской поверхностью [21], что говорит об удовлетворительном согласии полученных результатов.

Результаты сравнения данных по влагосодержанию (объем данных $n = 23$) для ИК-диапазона и ближнего ИК-диапазона MODIS оказались различными. Влагосодержание, восстановленное по спутниковым измерениям в ИК-диапазоне спектра, плохо согласуется с данными солнечного фотометра: наблюдается различие средних значений до 2 раз и при этом отмечается низкий коэффициент корреляции ($R = 0,61$). Хорошее согласие данных получено для измерений влагосодержания в ближнем ИК-диапазоне. При высоком коэффициенте корреляции $R = 0,91$ расхождение результатов наземных и спутниковых измерений составляет всего $0,16 \text{ г/см}^2$ (~ 12%), а среднеквадратическое отклонение равно $0,26 \text{ г/см}^2$.

Оценки влияния на АОТ различных факторов

При анализе карт облачности (рис. 3, а, вклейка) было установлено, что средний балл облачности на маршруте судна превышал 50%, снижая тем самым объем информативных спутниковых измерений АОТ и влагосодержания атмосферы.

Результаты анализа спутниковых данных о пожарной активности (данные MOD14) показали, что она была относительно невысокой и пожары не могли оказать существенного влияния на уровень аэрозольного замутнения атмосферы в районах проведения экспедиционных исследований.

При оценке влияния вулканов Курило-Камчатской дуги значимая вулканическая активность была зафиксирована на трех вулканах – Шивелуч, Ключевская Сопка и Карымский с пиками активности в первой и третьей декадах месяца [11]. Исходя из полученных данных можно заключить, что сами вулканические извержения не повлияли на АОТ, измеряемую с борта судна. В частности, наиболее мощное извержение влк. Шивелуч ($56^\circ 39' \text{ с.ш.}, 161^\circ 21' \text{ в.д.}$) произошло 23–24 августа. Судно в это время находилось на большом удалении (более 1000 км), и явных последствий в значениях АОТ не проявилось. Однако нельзя при этом вообще отрицать влияния вулканической деятельности на АОТ в данном регионе.

Анализ дополнительных источников аэрозольных загрязнений, по данным с сайта LAADS [12], не выявил мощных выносов аэрозоля с континента, как это происходит, например, во время песчаных бурь в пустынях Монголии и Китая.

Таблица 2

Сравнение наземных τ_p и спутниковых τ_m измерений АОТ ($\lambda = 0,47$ мкм)

Район	τ_p	τ_m	μ_{PM}	σ_{PM}	$\tau_{p,max}$	R	n
Горнотаежное	0,24	0,21	+0,03	0,09	0,63	0,83	17
Владивосток	0,32	0,24	+0,08	0,06	0,54	0,95	12
ПУС «Надежда»	0,09	0,12	–0,03	0,03	0,18	0,85	19

Пространственно-временная изменчивость

Пространственное распределение влагосодержания атмосферы, представленное на рис. 3, б, вклейка, отражает ее широтные изменения от значений менее 1 г/см² в северной части до уровня более 5 г/см² в южной части маршрута. Сравнение декадных карт показало устойчивость пространственной структуры поля влагосодержания в течение всего периода экспедиции.

На рис. 3, в, вклейка, приведена карта среднего (за период рейса) пространственного распределения АОТ в канале $\lambda = 0,47$ мкм. Анализ спутниковой информации показал, что уровень значений АОТ в Охотском море составлял менее 0,2–0,3, что значительно ниже, чем в Японском море весной 2009 г. [1, 2]. Случаи отдельных локальных превышений АОТ до значений $\tau_{0,55}^a > 0,5$ пока не получили достоверного объяснения. В частности, повышенные значения АОТ вблизи Курил могли быть следствием не только ошибок фильтрации полупрозрачной облачности в спутниковых данных (cloud screening), но и вулканической деятельности. Сами извержения, как отмечалось выше, не повлияли на АОТ, но постоянные парогозовые выделения фумарол и сольфатар вполне могут приводить к увеличению содержания аэрозоля.

Изменения АОТ во время движения судна обусловлены как временной изменчивостью, так и неоднородностями пространственного распределения аэрозоля. Для разделения этих компонентов были проанализированы вариации спутниковых значений $\tau_{0,47}^a$ в фиксированных тестовых районах (см. А, В, С и D на рис. 3, в) в сопоставлении с данными измерений во Владивостоке.

Предварительный анализ показал недостаточное количество измерений АОТ во Владивостоке, совмещенных по дням со спутниковыми данными в тестовых районах. Для сокращения числа пропусков ряд измерений АОТ во Владивостоке (SP-9) был дополнен данными фотометра SE-318 в Горнотаежном. Основанием для этого является хорошая взаимосвязь ($R > 0,88$) и близкие значения АОТ в двух районах (см. разд. 2). Таким образом, для сравнения со спутниковыми данными использовался совместный (Владивосток – Горнотаежное) массив среднедневных значений $\tau_{0,47}^a$ в количестве 20 дней наблюдений за период с 29 июля по 31 августа.

В табл. 3 приведены средние значения и коэффициенты корреляции $\tau_{0,47}^a$, измеренные солнечными фотометрами в прибрежном районе, и результатов MODIS в районах А, В, С и D.

Из полученных данных следует, что с удалением от Владивостока взаимосвязь АОТ быстро разрушается – значимая корреляция есть только с близкорасположенным районом А. Средняя АОТ в заливе Петра Великого (район А) одинакова с Владивостоком, а в других районах – на 40% ниже несмотря на разное удаление от континента и близость к отдельным островам (в частности, к Сахалину). Область повышенных (в 2–3 раза) замутнений атмосферы северо-восточнее района С в данном случае не рассматривалась из-за неопределенности причин этой аномалии (cloud screening или вулканическая деятельность).

Заключение

В результате экспедиционных исследований, проведенных в августе 2010 г. с борта ПУС «Надежда» в Охотском море и Приморье, впервые определены количественные характеристики спектральной АОТ атмосферы в области спектра 0,34–2,14 мкм. Установлено, что аэрозольное замутнение в континентальных районах (Владивосток, Горнотаежное) изменяется согласованно и различие средних АОТ невелико (чуть выше во Владивостоке). Над Охотским морем АОТ атмосферы в среднем в 2 раза ниже, чем в Приморье. Общими для данных, полученных в Приморье и Охотском море, являются близкие значения показателя селективности Ангстрема ($\alpha = 1 \div 1,1$), которые свидетельствуют о смешанном составе аэрозоля – промежуточном между чисто морским ($\alpha < 0,9$) и континентальным ($\alpha > 1,2$).

Из сравнения результатов экспедиции 2010 г. и предшествующей экспедиции 2009 г. следует, что АОТ атмосферы над Охотским морем примерно в 3 раза ниже, чем над соседним Японским морем в весенний период. Такое различие обусловлено сезонным спадом содержания в атмосфере аэрозоля и периферийным положением Охотского моря по отношению к зоне основных выносов азиатского аэрозоля.

Полученные оценки вклада в АОТ грубо- и мелкодисперсного аэрозоля в различных районах наших исследований показали, что максимальная величина $\tau_{0,5}^f$ наблюдается в Приморье и Японском море в весенний период; грубодисперсная компонента τ^c в этих

Таблица 3

Средние (\pm СКО) значения $\tau_{0,47}^a$ и коэффициенты корреляции R данных в разных районах

Характеристика	Владивосток	Район			
		А	В	С	Д
$\tau_{0,47}^a$	0,27 \pm 0,11	0,27 \pm 0,14	0,17 \pm 0,06	0,18 \pm 0,07	0,16 \pm 0,12
R	1	0,67	0,66	–0,42	–0,36
N (N^*), дней	20	16 (10)	12 (8)	9 (4)	20 (11)

* Число дней совместных измерений MODIS и фотометром во Владивостоке.

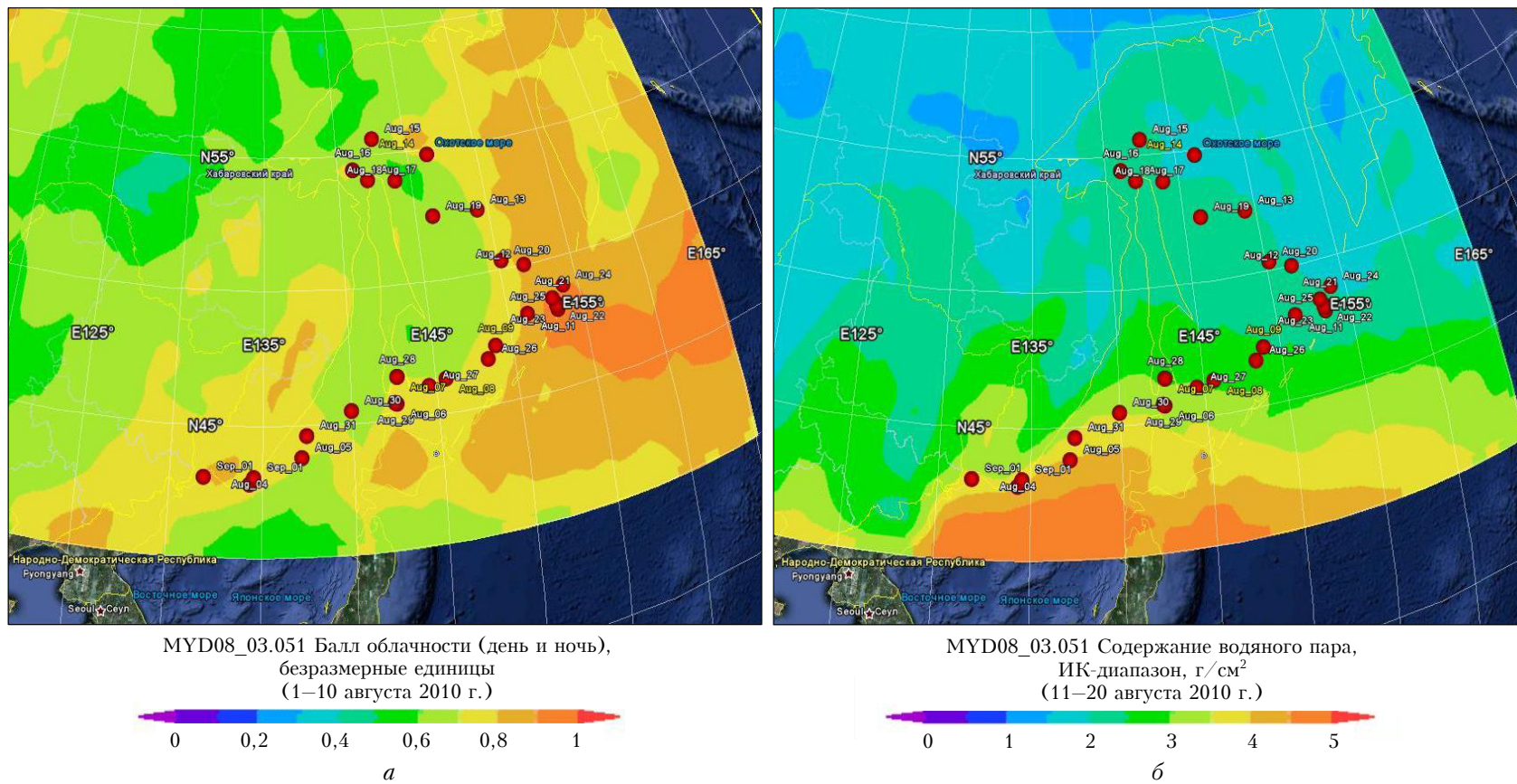
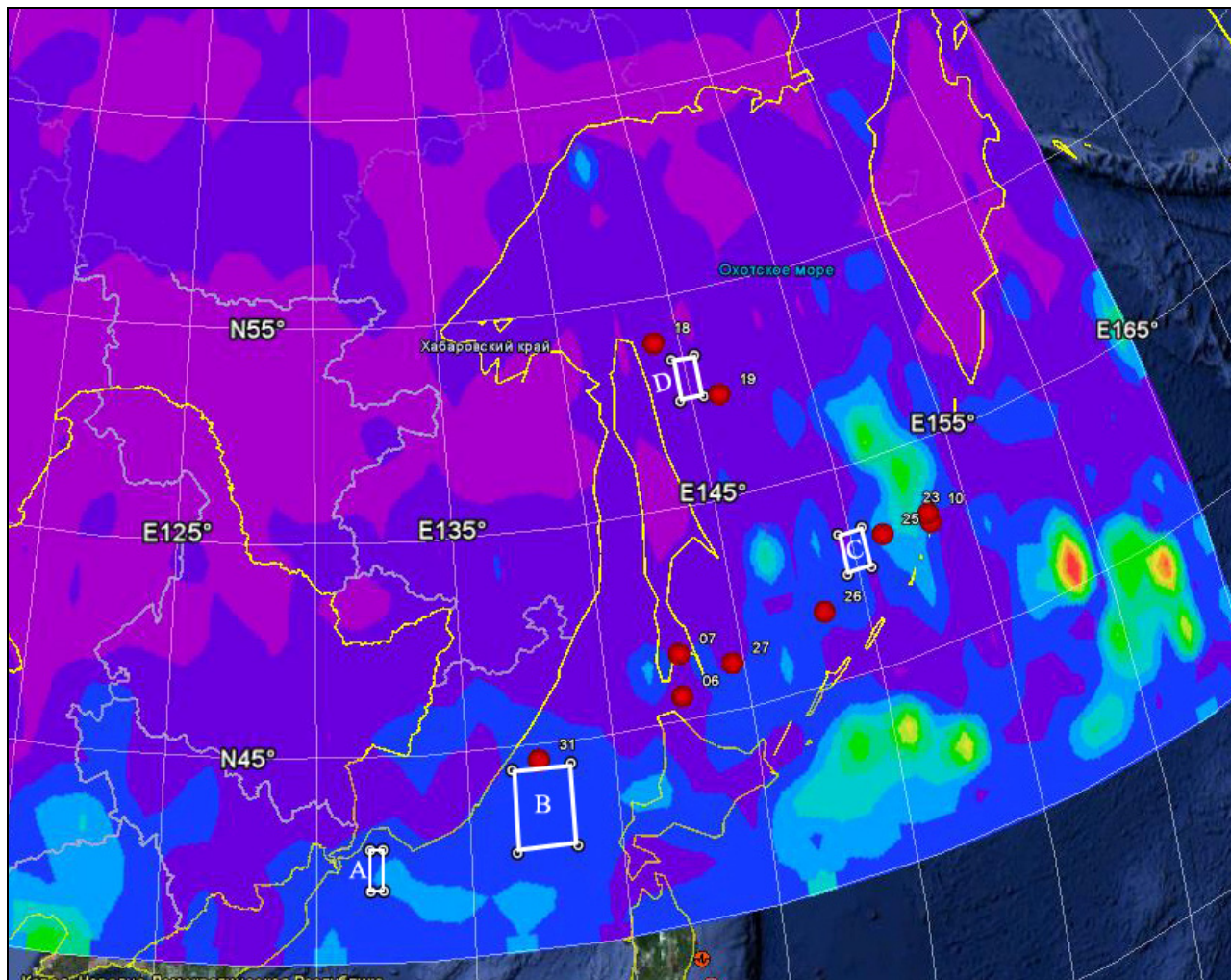


Рис. 3. Карты пространственного распределения параметров атмосферы в районе проведения экспедиции: *a* – балл облачности; *б* – влагосодержание атмосферы;



MYD08_03.051 Аэрозольная оптическая толщина, $\lambda = 0,55$ мкм, безразмерные единицы
(1 августа – 1 сентября 2010 г.)

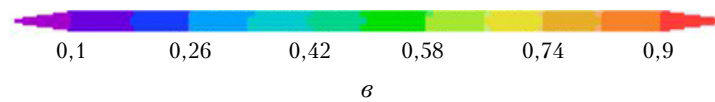


Рис. 3 (продолжение). $\theta - \tau_{0,55}^a$ (кружками отмечен маршрут судна, квадратиками – тестовые районы)

районах тоже значительна и по величине уступает только данным в зоне пылевых выносов из Сахары.

Совместный анализ результатов фотометрических измерений во Владивостоке и спутниковых данных в тестовых районах по маршруту ПУС «Надежда» показал, что с удалением от Владивостока значения АОТ снижаются (на 40%), а корреляция данных наблюдается только для близкорасположенных районов (залив Петра Великого). Дополнительных исследований требует выяснение причин аномалии АОТ вблизи Курил — ошибки «cloud screening» или фумарольно-сульфатарная деятельность вулканов.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (интеграционный проект № 75) и проекта № 21.1 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН.

1. Сакерин С.М., Павлов А.Н., Букин О.А., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Полькин В.В., Столярчук С.Ю., Турчинович Ю.С., Шмирко К.А. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк—океан» (Приморье и Японское море). Часть 1. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы и вертикальные профили // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 8. С. 691–699.
2. Афонин С.В., Энгель М.В., Майор А.Ю., Павлов А.Н., Столярчук С.Ю., Шмирко К.А., Букин О.А. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк—океан» (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости аэрозольной оптической толщи по спутниковым данным и наземным измерениям // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 811–819.
3. Сакерин С.М., Андреев С.Ю., Бедарева Т.В., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Holben V., Smirnov A. Аэрозольная оптическая толщина атмосферы в Дальневосточном Приморье по данным спутниковых и наземных наблюдений // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 8. С. 654–660.
4. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А. Портативный солнечный фотометр // Приборы и техн. эксперим. 2009. № 2. С. 181–182.
5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А. Солнечный фотометр SP-9 для аэрозольного мониторинга // Приборы и техн. эксперим. 2010. № 5. С. 165–166.
6. Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы) // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14, № 12. С. 1162–1169.
7. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 1. С. 61–67.
8. Полькин В.В., Козлов В.С., Турчинович Ю.С., Шмиргунов В.П. Сравнительный анализ характеристик аэрозоля в приземном слое атмосферы морских и прибрежных районов Приморья // Оптика атмосфер. и океана. 2011. Т. 24, № 6. С. 538–546.
9. Сакерин С.М., Веретенников В.В., Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Насртдинов И.М. Сравнительный анализ радиационных характеристик аэрозоля в ситуациях дымов пожаров и обычных условиях // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 451–461.
10. URL: http://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool
11. URL: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.html>
12. URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>
13. URL: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>
14. Соловьев В.С., Будищев А.А. Возмущения аэрозольной оптической толщи атмосферы, вызванные лесными пожарами в Якутии // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 626–629.
15. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Прозрачность атмосферы над Атлантическим океаном. Часть 1. Пространственные неоднородности прозрачности // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13, № 8. С. 709–715.
16. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Smirnov A.V., Holben B.N. Aerosol optical depth of the atmosphere over ocean in the wavelength range 0.37–4 μm // Int. J. Remote Sens. 2008. V. 29, iss. 9. 2519, doi: 10.1080/01431160701767492.
17. Бартенева О.Д., Никитинская Н.И., Сакунов Г.Г., Веселова Л.К. Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ИК-области спектра. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.
18. Волгин В.М., Еришов О.А., Смирнов А.В., Шифрин К.С. Оптическая толщина аэрозоля в характерных морских регионах // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1988. Т. 24, № 10. С. 1058–1065.
19. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 0,34–4 мкм // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 156–164.
20. Ichoku C., Chu D.A., Mattoo S., Kaufman Y.J., Remer L.A., Tanre D., Slutsker I., Holben B.N. A spatio-temporal approach for global validation and analysis of MODIS aerosol products // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29, N 12. doi:10.1029/2001GL013206.
21. Remer L., Tanre D., Kaufman Y., Levy R., Mattoo S. Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from MODIS: Collections 005 and 051: Revision 2; Feb 2009; MODIS ATBD. URL: http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/ATBD_MOD04_C005_rev2.pdf

S.M. Sakerin, S.V. Afonin, M.V. Engel', D.M. Kabanov, V.V. Polkin, Yu.S. Turchinovich, O.A. Bukin, A.N. Pavlov. Spatiotemporal variations of atmospheric aerosol optical depth in Primorye and adjoining seas in August, 2010.

We discuss the results of studies of the atmospheric aerosol optical depth (AOD) in the Far East region; the studies were performed in August, 2010, with the use of sun photometers and satellite (MODIS) data. It is shown that the aerosol turbidity in Primorye (Vladivostok, Ussuriysk) varies consistently and the data differ little. AOD of the atmosphere over Sea of Okhotsk is, on the average, a factor of two lower. The Angstrom selectivity parameter in Primorye and Sea of Okhotsk has close values, intermediate between purely marine and continental aerosols. It is noted that AOD of the atmosphere decreases away from Vladivostok in the northeast direction.