

## Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк–океан» (Приморье и Японское море). Часть 2. Анализ пространственной и временной изменчивости характеристик аэрозоля по спутниковым данным и лидарным измерениям

С.В. Афонин<sup>1,2</sup>, М.В. Энгель<sup>1</sup>, А.Ю. Майор<sup>3</sup>, А.Н. Павлов<sup>3</sup>,  
С.Ю. Столярчук<sup>3</sup>, К.А. Шмирко<sup>3</sup>, О.А. Букин<sup>4\*</sup>

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

<sup>2</sup>Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>3</sup>Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН  
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5

<sup>4</sup>Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского  
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

Поступила в редакцию 19.03.2010 г.

Обсуждаются результаты исследований по изучению пространственной и временной изменчивости аэрозольной оптической толщи (АОТ) в переходной зоне «материк–океан», проведенных весной 2009 г. в Приморье и Японском море с использованием спутниковых и наземных измерений АОТ. Представлены результаты совместного анализа данных лидарного зондирования атмосферы, обратного траекторного анализа движения воздушных масс и спутникового мониторинга состояния атмосферы исследуемого района.

*Ключевые слова:* аэрозольная оптическая толщина, пространственно-временная вариабельность, AERONET, спутниковый мониторинг, лидарное зондирование, аэрозольные вертикальные профили; aerosol optical depth, spatiotemporal variations, AERONET, satellite monitoring, lidar sensing, aerosol vertical profiles.

### Введение

В Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН на протяжении многих лет выполняются работы по изучению пространственной и временной изменчивости параметров атмосферы в различных регионах мира. Эти исследования проводятся с использованием спутниковых и наземных измерений [1–3]. Весной 2009 г. в Приморье и Японском море совместно с Институтом автоматики и процессов управления ДВО РАН были проведены работы с целью изучения пространственной и временной изменчивости аэрозольной оптической толщи (АОТ) в переходной зоне «материк–океан».

В первом разделе статьи анализируются спутниковые данные MODIS и результаты фотометрических

измерений аэрозольной оптической толщи. Основная цель этих исследований заключалась в оценке пространственно-временной изменчивости АОТ в районе проведения эксперимента, а также в изучении вопроса о доминирующих источниках аэрозольного загрязнения.

Второй раздел статьи содержит результаты анализа данных лидарного зондирования атмосферы, обратного траекторного анализа движения воздушных масс и спутникового мониторинга состояния атмосферы исследуемого района. Представлена также информация о масштабах и характере атмосферных процессов, ответственных за повышенную вариабельность оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, зарегистрированная в комплексных измерениях весной 2009 г. [4].

### 1. Результаты анализа спутниковых данных MODIS

Для решения поставленной задачи были использованы спутниковые данные, включающие телеметрическую информацию системы EOS/MODIS (спутники Terra и Aqua), измерения аэрозольной оптической толщи в спектральных каналах  $\lambda = 0,47$ ,

\* Сергей Васильевич Афонин (afonin@iao.ru); Марина Владимировна Энгель (angel@iao.ru); Александр Юрьевич Майор (mayor@iacp.dvo.ru); Сергей Юрьевич Столярчук (systolar@mail.ru); Андрей Николаевич Павлов (anpravlov@iacp.dvo.ru); Константин Александрович Шмирко (shmirko.konstantin@gmail.com); Олег Алексеевич Букин (o\_bukin@mail.ru).

0,55, 0,66 мкм, а также данные об облачной маске и результаты детектирования очагов пожаров из космоса. Ниже перечислены источники этой информации в сети Интернет:

– файлы телеметрической информации MODIS (уровень L1, пространственное разрешение 1 км); сайт LAADS Web (Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System) [5];

– тематические продукты MODIS Aerosol Products (MOD04\_L2, 10 км), MODIS Cloud Mask (MOD35\_L2, 1 км) [5];

– результаты мониторинга пожаров по данным EOS/MODIS (MOD14); сайт LP DAAC Web (Land Processes Distributed Active Archive Center) [6];

– результаты обработки данных MODIS уровня D3 (MOD08\_D3), полученные с помощью системы Giovanni, NASA GES DISC [7].

Данные AERONET [8] на первом этапе привлекались нами для оценки достоверности спутниковых измерений АОТ. С этой целью они сравнивались с фотометрическими измерениями на станциях AERONET в районе Уссурийска (пос. Горнотаежное), в Китае, Южной Корее и Японии (Beijing, XiangHe, Xinglong, Taihu, Gwangju, Shirahama). При проведении анализа использовалась обычная методика, согласно которой фотометрические измерения, выполненные в интервале  $\pm 30$  мин от времени пролета спутника, сопоставляются со спутниковыми данными, усредненными в окрестности  $5 \times 5$  пикселей вокруг точки проведения измерений. Для станции в Горнотаежном в результате отбора за период 01.04–15.05.2009 мы получили около 10 пар значений АОТ и влагосодержания, а для 6 зарубежных станций их было порядка 100.

Спутниковые данные MOD04\_L2 и MOD08\_D3 позволили нам построить временную серию карт АОТ различного пространственного разрешения и оценить временную изменчивость пространственного распределения АОТ в рассмотренных регионах.

Для определения доминирующих аэрозольных источников проводился анализ файлов телеметрической информации и результатов мониторинга пожаров, что позволило нам осуществить наблюдение за характерными весенними песчаными бурями в пустынях Гоби, Бадын-Джаран и Такла-Макан, а также определить интенсивность пожарной обстановки в Приморье, Монголии и Китае.

Переходя к обсуждению полученных результатов, прежде всего коснемся данных валидации спутниковых измерений АОТ. Сравнение спутниковых и наземных измерений АОТ (Горнотаежное) для значений  $\tau_{0,47} < 1,2$  в канале  $\lambda = 0,47$  мкм показало, что расхождения этих двух типов данных лежат в пределах  $\Delta\tau = \pm(0,05 + 0,15\tau)$  [9], а коэффициент их взаимной корреляции  $R = 0,96 \div 0,98$ . Для зарубежных станций сравнение аналогичных данных в целом подтвердило для значений  $\tau_{0,47} < 2$  уровень погрешности спутниковых измерений АОТ порядка 15–20%.

Таким образом, результаты сравнительного анализа показали соответствие спутниковой информации ожидаемому уровню точности для спутниковых методов восстановления АОТ.

Изучение спутниковых данных MODIS уровнями L2 и D3 выявило следующую особенность поведения АОТ в регионе: на протяжении всего временного периода с 1 апреля по 15 мая 2009 г. наблюдались временные циклы, связанные с изменением уровня замутненности атмосферы в районе Приморья и Японского моря. Относительно чистые периоды с фоновыми для этого сезона значениями АОТ заменяли 2–3-дневные периоды с умеренным или высоким (например, 10–13, 18–20, 24–25 апреля) содержанием аэрозоля. На рис. 1 представлены карты пространственного распределения АОТ, которые отражают наличие таких периодов и позволяют предположить, что источники аэрозольного выноса находились в данном случае на территории Китая.

Станции AERONET в Пекине и Горнотаежном имеют географическое положение, которое на рис. 1 соответствует зоне высоких значений АОТ. Согласно рис. 2 для этих двух станций зафиксирован временной ход АОТ с характерными (близкими по времени) изменениями уровня АОТ от фоновых значений до  $\tau > 2 \div 3$ .

Для объяснения цикличности хода АОТ в Приморье нами были выдвинуты следующие гипотезы появления возможного источника загрязнений:

– лесные пожары;

– извержения вулканов Курильской гряды и Японии;

– весенние пылевые бури, характерные для северо-западных регионов Китая и Монголии.

С целью проверки этих гипотез в дополнение к имеющимся спутниковым данным был проведен информационный поиск на основе данных сети Интернет. Поиск информации об активности вулканической деятельности за исследуемый период не выявил источников ее влияния на АОТ в районе проведения эксперимента.

Для определения степени влияния лесных пожаров на пространственно-временную изменчивость АОТ в Приморье были использованы данные мониторинга пожаров со спутника MODIS. При этом нами были выделены два региона (А и Б), где по спутниковым данным наблюдались наибольшие колебания значений АОТ (см. рис. 1):  $110\text{--}125^\circ$  в.д.,  $20\text{--}40^\circ$  с.ш. (Китай) и  $120\text{--}140^\circ$  в.д.,  $35\text{--}55^\circ$  с.ш. (Приморье). Данные о пожарах для региона А указывают на незначительный уровень пожарной активности на протяжении всего периода исследований, что позволяет исключить влияние пожаров на рост значений АОТ в этом регионе. Для региона Б (Приморье) на основе спутниковых данных вблизи пос. Горнотаежное были зарегистрированы два максимума пожарной активности: в первой декаде апреля (8–10) и в конце апреля – начале мая (30 апреля – 1 мая). Одновременно здесь наблюдается и рост значений АОТ, что позволяет говорить о влиянии лесных пожаров на аэрозольное загрязнение атмосферы Приморья для указанных двух периодов. Следует подчеркнуть, что и в работе [4] делается вывод: повышенные значения АОТ в пос. Горнотаежное, по крайней мере в начале экспедиции, были обусловлены дымами лесных пожаров.

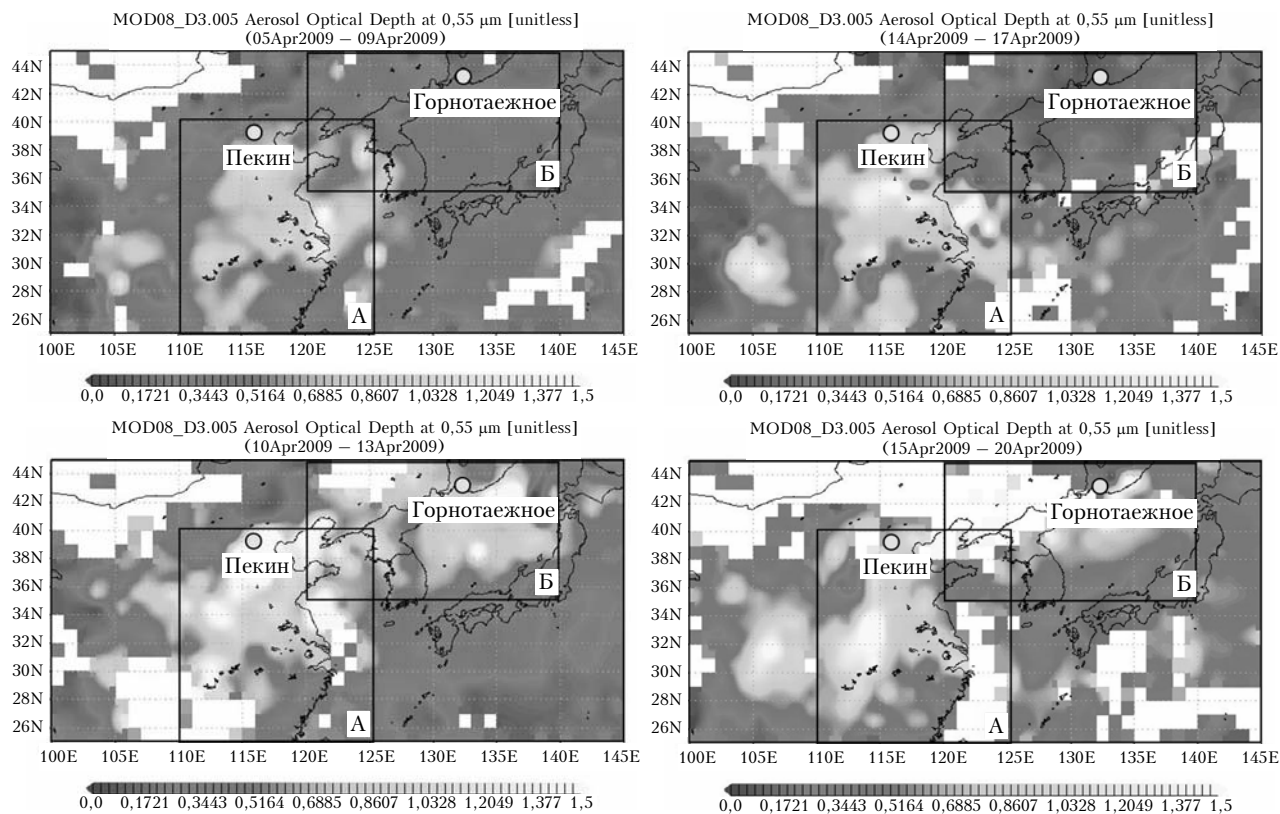


Рис. 1. Карты пространственного распределения АОТ; регион исследований включает: А – восточные провинции Китая; Б – Приморье и Японское море

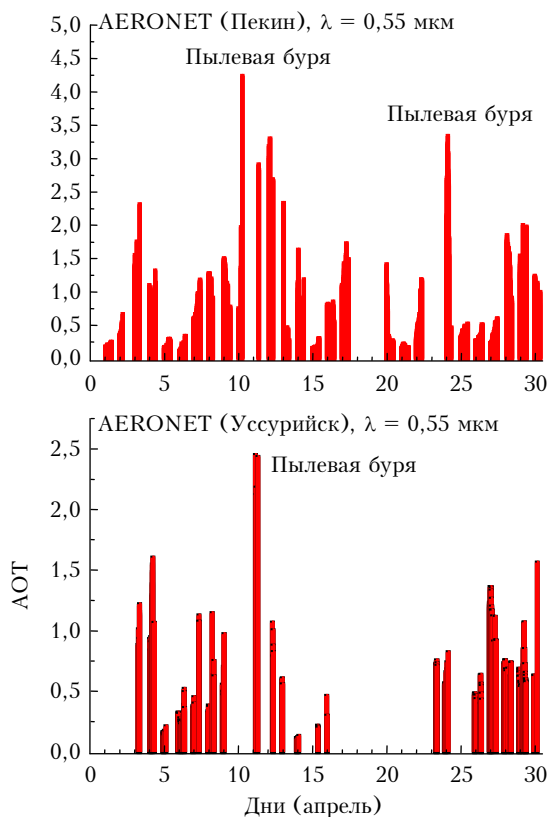


Рис. 2. Временной ход значений АОТ на станциях АERONET в Пекине и Горнотаежном

Вместе с тем по данным, обнаруженным в сети Интернет [10], северо-восточные провинции Китая в апреле 2009 г. подвергались воздействию песчаных бурь, источниками которых являлись пустыни Такла-Макан и Батын-Джаран. Изображения, полученные на основе спутниковых данных MODIS уровня L1, подтверждают информацию о возникновении сильных песчаных бурь в районе пустынь Батын-Джаран (10 и 23 апреля 2009 г.) и Такла-Макан (19 апреля 2009 г.).

Для изучения влияния песчаных бурь и пространственного переноса аридного аэрозоля были выбраны три региона: район пустыни Такла-Макан, юго-восток Китая и Приморье. Для этих трех регионов на основе данных MODIS уровня D3 [7] были построены временные ряды значений АОТ (рис. 3). К сожалению, аналогичные спутниковые данные для пустыни Батын-Джаран отсутствуют.

Анализ данных для первого региона выявил быстрый рост с 19 апреля уровня АОТ, его двукратное увеличение до значений  $\tau_{0,55} > 2$  к 21 апреля и быстрый спад АОТ до фоновых значений к 24 апреля. Затем в период 26–28 апреля вновь последовало быстрое увеличение АОТ до уровня  $\tau_{0,55} \approx 1,4 \div 1,8$ . Еще один период относительно небольшого роста АОТ (до уровня  $\tau_{0,55} \approx 1$ ) был отмечен 3–5 мая. Для других дней характерны флуктуации значений АОТ, которые в том числе могут быть вызваны различным для отдельных интервалов времени пространственным покрытием регионов спутниковыми данными

по АОТ. Эти различия вызваны состоянием плотной облачности в момент проведения мониторинга.

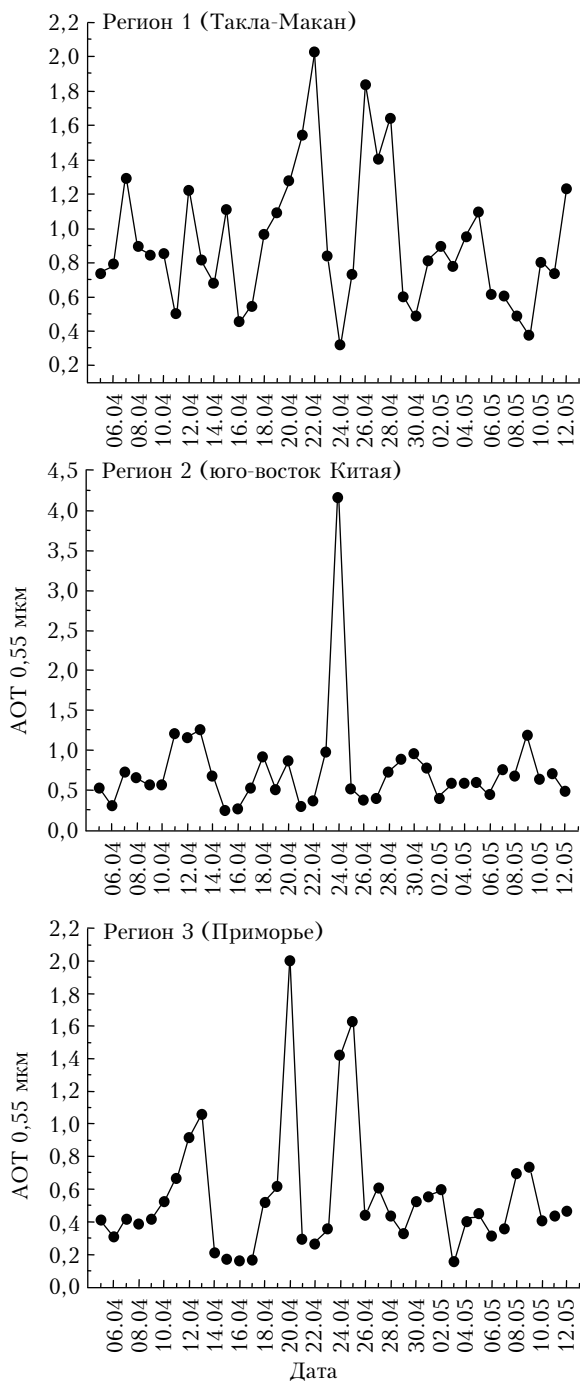


Рис. 3. Временной ход значений АОТ по спутниковым данным MODIS

Анализ данных для юго-востока Китая выявил 24 апреля пиковый всплеск уровня АОТ до значений  $\tau_{0,55} > 4$ . В другие дни наблюдались флуктуации значений АОТ с максимумами  $\tau_{0,55} \approx 1$  в периоды 11–13, 18–20, 28–30 апреля и 9 мая. По данным станции AERONET в Пекине (см. рис. 2), повышенный уровень АОТ ( $\tau_{0,55} > 1,5$ ) был зафиксирован в аналогичные временные периоды (10–13, 24, 28–

30 апреля). Сравнивая данные рис. 3 для первого и второго регионов, можно увидеть, что изменение АОТ имеет одни и те же характерные черты, но они наблюдаются как бы с определенным временным сдвигом, вызванным временем переноса аридного аэрозоля из пустынь Такла-Макан и Бадын-Джаран на территорию юго-востока Китая.

В третьем регионе (Приморье) по спутниковым данным также было отмечено несколько временных периодов высоких значений АОТ. Первый по времени рост АОТ приходится на 11–13 апреля, затем мощный пик наблюдается 20 апреля ( $\tau_{0,55} > 2$ ), следующий попадает на 24–25 апреля ( $\tau_{0,55} \approx 1,5$ ), и последний небольшой пик  $\tau_{0,55} \approx 0,7$  появляется 9 мая. По данным станции AERONET, в Горнотаежном (см. рис. 2) повышенный уровень АОТ ( $\tau_{0,55} > 1,5$ ) был зафиксирован в аналогичные временные периоды (11, 24, 27, 30 апреля). И в этом случае рост уровня АОТ в указанные интервалы времени можно связать с пылевыми бурями в пустынях Такла-Макан и Бадын-Джаран.

## 2. Сопоставление результатов лидарного зондирования и данных спутникового мониторинга

Лидарное зондирование атмосферы (аппаратура и методика описаны в [4]) проводилось параллельно в южной части Приморского края (пос. Горнотаежное) и в акватории Японского моря вблизи южной и юго-восточной частей Корейского полуострова. Они показывают, что атмосфера этих районов в период с 16 апреля по 8 мая находилась под сильным влиянием континентального аэрозоля. Наибольшая вариабельность и интенсивность рассеяния аэрозоля отмечались в двух высотных диапазонах — в приповерхностном слое, ограниченном сверху границей планетарного пограничного слоя, и в протяженном подтропопаузном слое с нижней границей в районе 5–6 км и верхней — в области тропопаузы, которая в это время года находилась на уровне 11–12 км. Именно в этом высотном канале наиболее часто регистрируется дальний перенос пылевого аэрозоля над островами Японии [11, 12]. Трудно предположить, что на расстояниях более 1000 км между точками проведения измерений может наблюдаться тесная корреляционная связь измеряемых параметров на всем временном интервале исследований. Однако на определенных временных интервалах прослеживалась синхронность поведения комплекса микрофизических характеристик аэрозоля в приземном и приводном атмосферных слоях, что позволило предположить идентичность источника поставки аэрозоля как в Приморье, так и в атмосфере акватории Японского моря [13].

Обратный траекторный анализ движения воздушных масс для этих периодов проводился на основе модели NOAA ARL HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory). Его результаты свидетельствуют, что 18, 29 апреля и 7 мая атмосфера этих районов находилась под влиянием

пылевого аэрозоля из одних и тех же аридных районов Китая и Монголии. Так, 18 и 29 апреля наблюдался трехсуточный перенос аэрозоля в эти районы из пустыни Такла-Макан в интервале высот 6–9 км, а 7 мая – суточный перенос из Гоби в интервале высот 4–5 км и двухсуточный в диапазоне высот 9–11 км – из Такла-Макан (только в район юга Приморья). На рис. 4 приведены усредненные за сутки профили аэрозольно-молекулярного отношения, демонстрирующие идентичный характер вертикального распределения аэрозоля в атмосфере юга При-

морья и над акваторией Японского моря в указанные периоды.

Время регистрации пылевого аэрозоля над акваторией Японского моря и югом Приморья с учетом времени переноса воздушных масс хорошо соответствует пикам пылевой активности в Такла-Макан 15, 26 апреля и 5 мая (см. рис. 3). Приведенные профили на рис. 4 подтверждают сложившееся мнение, что верхний коридор трансконтинентального переноса характерен для пылевых выносов из пустыни Такла-Макан [14, 15], а коридор на уровне 5 км –

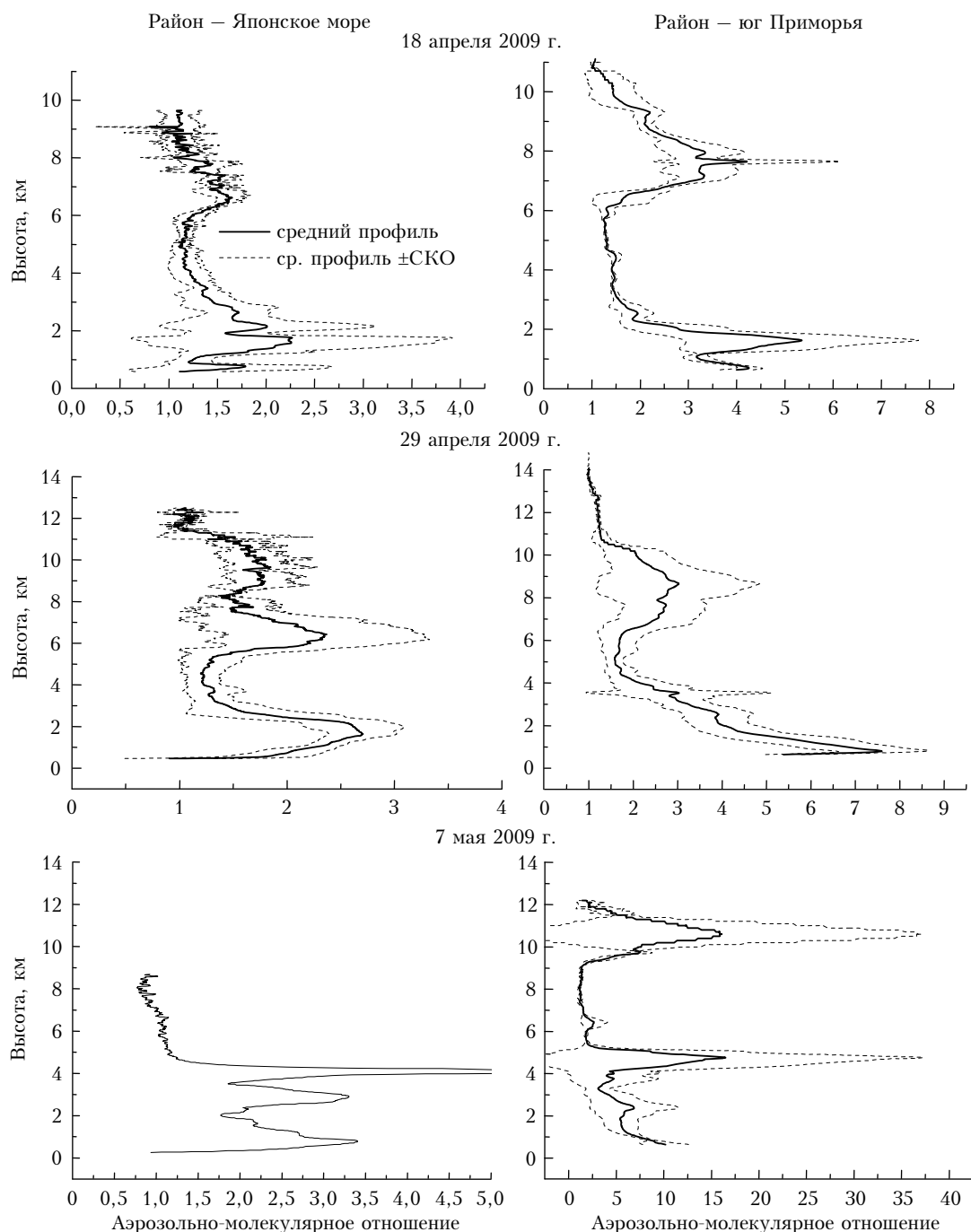


Рис. 4. Средние вертикальные профили ( $\pm$ СКО) аэрозольно-молекулярного отношения в акватории Японского моря и на юге Приморья в период регистрации пылевых бурь в аридных районах Китая и Монголии

для выносов из пустыни Гоби. Орографические особенности бассейна р. Тарим (включающего пустыню Такла-Макан), окруженного Тянь-Шаньским хребтом и Тибетским плато, таковы, что даже при относительно слабых ветрах пылевые ситуации в этом районе достаточно часты.

Циркуляция воздушных масс в бассейне при прохождении холодных фронтов систем низкого давления создает благоприятные условия для подъема пыли на те высоты, где система зональных ветров обеспечивает ее перенос на значительные расстояния в восточном направлении [16, 17]. Модельные расчеты, учитывающие орографию бассейна Тарим [16], показывают, что прохождение циклона с севера от этого района приводит к интенсивному поднятию пыли в восходящей ветви циклона до уровня тропопавузы и образованию мощного щита перистых облаков, отчетливо просматривающихся на спутниковых снимках.

Метеорологическая ситуация, подобная той, что рассматривалась в [18], наблюдалась 26 апреля 2009 г. Развивающийся циклон в северной части бассейна Тарим привел к пылевой буре в пустыне Такла-Макан и образованию щита перистой области на пылевых аэрозольных частицах как ядрах конденсации. По мере движения перистой области в восточном направлении форма щита в его северной части приобрела изгиб с понижением высоты облачного покрова под влиянием антициклона в области Корейского полуострова, и периферийная часть этого изгиба прошла над Приморьем 29 апреля (рис. 5, а).

На временной развертке вертикальных профилей аэрозольно-молекулярного отношения [в логарифмическом масштабе —  $\lg(R)$ ] отчетливо просматривается структура аэрозольной загрузки атмосферы в верхнем и нижнем каналах переноса атмосферного аэрозоля (рис. 5, б). Можно предположить, что при таком прохождении перистой облачности над местом зондирования рис. 5, б отражает распределение аэрозоля в поперечном разрезе щита перистой облачности.

В период проведения лидарных измерений в Приморье зарегистрировано несколько случаев прохождения перистой облачности, зарождение которой по результатам анализа спутниковых снимков и траекторий движения воздушных масс было сопоставлено с пылевой активностью в пустыне Такла-Макан. Во всех наблюдаемых случаях предвестниками появления щита перистой облачности служили протяженные аэрозольные слои с максимумом светорассеяния на высоте прохождения перистой облачности.

Изучение механизмов зарождения пылевых выносов и модификации микрофизических характеристик аэрозоля в процессе его дальнего переноса связано с решением задач косвенного влияния пылевого аэрозоля на климат. Ключевым элементом модификации микрофизических характеристик в переходной зоне «материк—океан» является взаимодействие пылевого аэрозоля с полями влажности. На спутниковых снимках перистой облачности видны как уменьшение и полное исчезновение перистой облач-

ности (например, под влиянием антициклонического снижения облачности, что наблюдалось 29 апреля), так и ее формирование при определенных метеорологических условиях. Интересным примером влияния пылевых ядер конденсации на процессы трансформации облачности может служить серия спутниковых снимков 4 мая 2009 г., один из которых приведен на рис. 5, в. В этот день район, где проводилось лидарное зондирование, оказался в зоне соприкосновения полярного и субтропического струйных течений, ядра которых располагались на высотах 8 и 12 км соответственно. На рис. 5, г приведен «диагональный» с северо-запада на юго-восток вертикальный разрез ветрового поля, построенный по данным станций высотного зондирования, координаты которых приведены в таблице.

**Координаты станций высотного метеозондирования**

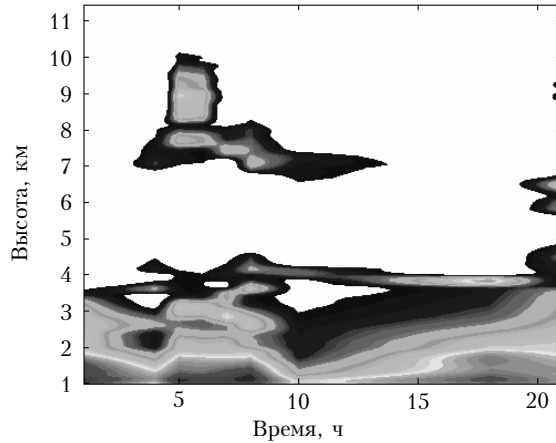
Географический пункт	Номер станции	Широта, град	Долгота, град
Chara	30372	56,90	118,26
Blagovescensk	31510	50,53	127,5
Vladivostok	31977	43,26	132,05
Tateno	47646	36,05	140,13

При построении использовалась база данных Вайомингского университета (<http://weather.uwyo.edu/appair/sounding.htm>).

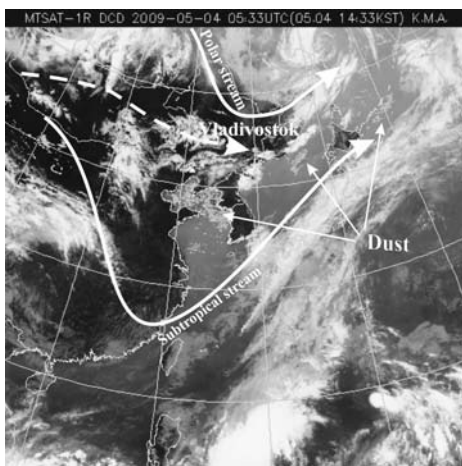
С 00 до 24 ч местного времени было проведено четыре серии измерений с интервалом 6 ч, которые показали, что аэрозольное заполнение атмосферы наблюдалось до высот более 10 км с сильным увеличением интенсивности рассеяния в слое от 8 до 9 км в последней серии. Анализ положения струйных течений по спутниковым снимкам MTSAT [19] в канале регистрации водяного пара показал, что к 13 ч местного времени оси струйных течений максимально сблизилась между собой. Схема расположения струйных течений и траектория движения аэрозольного слоя на высоте 9 км приведены на рис. 5, в. Резкое увеличение аэрозольно-молекулярного отношения к 13 ч местного времени в области высот распространения пылевого аэрозоля и взаимодействия струйных течений сопровождалось интенсивным процессом образования перистой облачности в зоне повышенного содержания пыли, что отражено на серии спутниковых снимков в аэрозольном канале MTSAT за этот период. При этом по данным высотного метеозондирования в 22 ч местного времени уровень 100%-й влажности относительно льда располагался на высоте около 10 км. На рис. 5, д и е приведены вертикальные профили аэрозольно-молекулярного рассеяния, характеризующие начальную (рис. 5, д) и конечную (рис. 5, е) стадии развития перистой облачности. Пунктирной и штриховой линиями изображены профили влажности относительно воды и льда соответственно. На основании этих данных можно сделать вывод, что в области смешивания двух струйных течений с различным влагосодержанием и температурой возникли условия непосредственного перехода паров воды в твердую фазу на поверхности



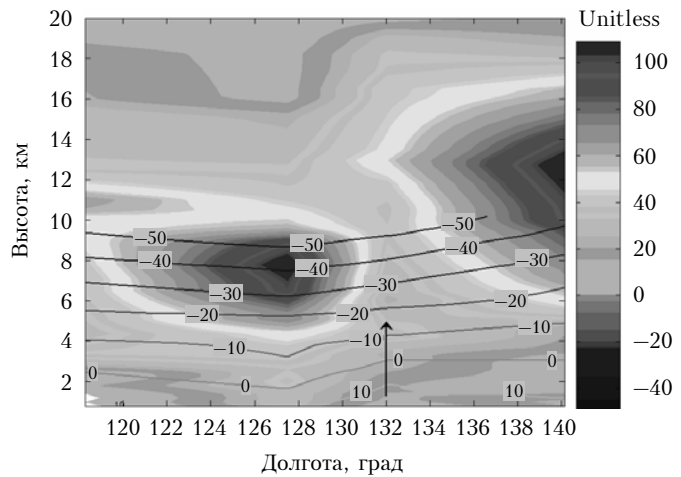
*a*



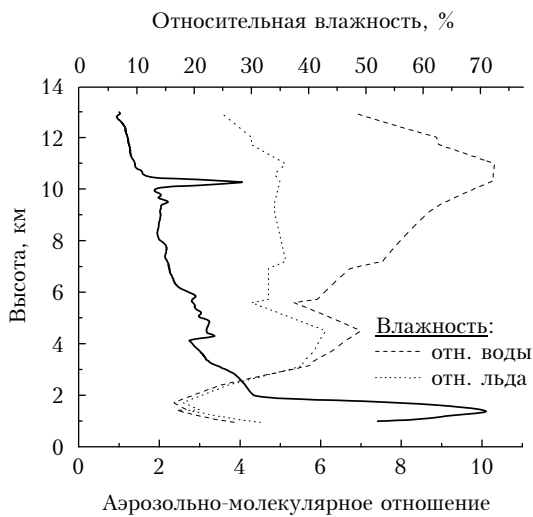
*б*



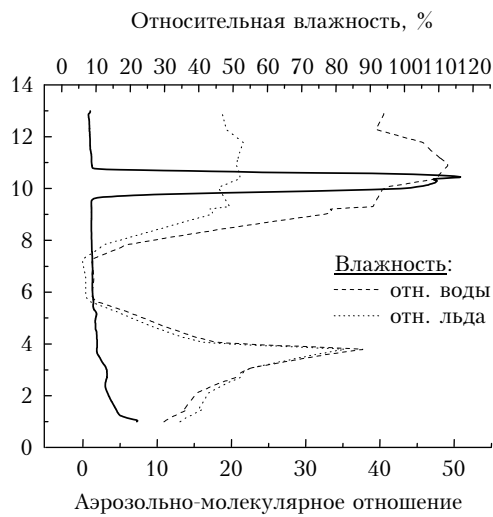
*в*



*г*



*д*



*е*

Рис. 5. Влияние аэрозоля на перистую облачность: *a* – спутниковый снимок (29.04.2009 г.) перистой облачности и направление ее движения; *б* – временная развертка вертикальных профилей аэрозольно-молекулярного отношения; *в* – схема расположения струйных течений и траектория движения аэрозольного слоя на высоте 9 км по данным спутника MTSAT (04.04.2009 г.); *г* – «диагональный» с северо-запада на юго-восток вертикальный разрез ветрового поля; *д, е* – вертикальные профили аэрозольно-молекулярного отношения и относительной влажности (относительно воды и льда), характеризующие начальную (*д*) и конечную (*е*) стадии развития перистой облачности

пылевых ядер, что позволяет говорить о существенной роли струйных течений в образовании перистой облачности 4 мая 2009 г.

### Заключение

По результатам информационного поиска и анализа спутниковых данных нами был сделан вывод, что появление в зоне проведения радиационного эксперимента периодов с аномально высоким содержанием аэрозоля, приходящихся на 10–13, 18–20, 24–25 апреля, может быть связано с влиянием весенних пылевых бурь, возникших на северо-западе Китая.

Увеличение значений АОТ в Приморье в период 8–10 апреля и 30 апреля – 1 мая можно объяснить резким увеличением числа и мощности лесных пожаров, что обычно связано с началом сельскохозяйственного периода в регионе.

Результаты совместного анализа данных лидарного зондирования, спутникового мониторинга состояния атмосферы и траекторного анализа движения воздушных масс убедительно свидетельствуют, что атмосфера Дальневосточного региона в весенний период подвержена сильному влиянию пылевого аэрозоля из аридных районов Китая и Монголии. Доминирующая роль в трансграничном переносе азиатского аэрозоля принадлежит системе зональных ветров, формируемой субтропическим струйным течением в области северной тропопазы и барическими системами Дальневосточного региона.

Характер высотного распределения параметров атмосферного аэрозоля в переходной зоне «материк–океан» определяется как адвекцией из континентальных и морских районов, так и изменением аэрозоля под воздействием полей влажности и динамических атмосферных процессов. Так, антициклоническое снижение перистых облаков приводит к понижению относительной влажности и изменению микрофизики аэрозольных частиц. Напротив, взаимодействие теплых и холодных воздушных масс субтропического и полярного струйных течений способствует повышению относительной влажности в области их соприкосновения, что также приводит к изменению микрофизических характеристик аэрозоля и в некоторых случаях сопровождается образованием перистой облачности.

Результаты обработки данных MOD08\_D3, которые обсуждаются в данной статье, были получены с использованием WEB-системы Giovanni (GES-DISC Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure), разработанной и поддерживаемой в Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES-DISC), NASA.

Авторы признательны ученым миссии MODIS и техническому персоналу NASA, благодаря усилиям которых были получены спутниковые данные уровней L1 и L2, использованные в этой статье.

Авторы также благодарят коллективы станций AERONET'a, расположенных в Уссурийске (Горно-таежное) и Пекине, а также их руководителей Михаила Панченко, Brenta Холбена, Хонг-Бин Чена

и Филиппа Голуба за предоставленную возможность использовать в нашей работе данные фотометрических измерений АОТ, полученные на этих станциях.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 75, ДВО РАН 09-II-CU07-001, РФФИ–ДВО № 09-05-98523-р\_восток\_a.

1. Сакерин С.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Кабанов Д.М., Корниенко Г.И., Маркелов Ю.И., Михалев А.В., Николашкин С.В., Панченко М.В., Поддубный В.А., Полькин В.В., Смирнов А.В., Тацилин М.А., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С., Холбен Б.Н., Еремлина Т.А. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
2. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Радионов В.Ф., Слуцкер И.А., Смирнов А.В., Тертугова С.А., Холбен Б.Н. О результатах исследований аэрозольной оптической толщи атмосферы во время экспедиции вокруг Антарктиды (53-я РАЭ) // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 12. С. 1032–1037.
3. Афонин С.В., Белов В.В., Панченко М.В., Сакерин С.М., Энгель М.В. Корреляционный анализ пространственных полей аэрозольной оптической толщи на основе спутниковых данных MODIS // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 6. С. 510–515.
4. 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 атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 8. С. 691–699.
5. URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>
6. URL: [https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get\\_data/data\\_pool](https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/get_data/data_pool)
7. URL: <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>
8. URL: <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>
9. 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](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/ATBD_MOD04_C005_rev2.pdf)
10. URL: <http://www.eosnap.com/?s=dust+storm+china>
11. Iwasaka Y., Shi G.-Y., Trochikine D., Matsui A., Kim Y.S., Yamada M., Nagatani T. Processes of Background KOSA outbreak: Lidar and Balloon-borne Measurements // Proc. of EMEA 2005 in Kanazawa «Remote Sensing and Forests». Kanazawa, November. 2005. P. 20–36.
12. Mikami M., Shi G. Y., Uno I., Yabuki S., Iwasaka Y., Yasui M., Aoki T., Tanaka T. Y., Kurosaki Y., Masuda K., Uchiyama A., Matsuki A., Sakai T., Takemi T., Nakawo M., Seino N., Ishizuka M., Satake S., Fujita K., Hara Y., Kai K., Kanayama S., Hayashi M., Du M., Kanai Y., Yamada Y., Zhang X. Y., Shen Z., Zhou H., Abe O., Nagai T., Tsutsumi Y., Chiba M., Suzuki J. Aeolian dust experiment on climate impact: An overview of Japan–China joint project ADEC // Global and Planetary Change. 2006. V. 52, Iss. 1–4. P. 142–172.
13. Козлов В.С., Полькин В.В., Панченко М.В., Голобокова Л.П., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В. Результаты комплексного аэрозольного эксперимента в переходной зоне «материк–океан» (Приморье и Японское море). Часть 3. Микрофизические характеристики и ионный



- состав аэрозоля в приземном и приподнятом слоях // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 11. (В печати).
14. *Eguchi K., Uno I., Yumimoto K., Takemura T., Shimizu A., Sugimoto N., Liu Z.* Trans-pacific dust transport: integrated analysis of NASA / CALIPSO and a global aerosol transport model // *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V. 9, Iss. 1. P. 3137–3145. URL: <http://www.atmos-chem-phys.net/9/3137/2009>
  15. *Itsushi Uno, Kenta Eguchi, Keiya Yumimoto, Toshihiro Takemura, Atsushi Shimizu, Mitsuo Uematsu, Zhao-yan Liu, Zifa Wang, Yukari Hara, Nobuo Sugimoto.* Asian dust transported one full circuit around the globe // *Nature Geosci. Lett. Advance Online Publication.* 2009. V. 2, Iss. 8. P. 557–560. URL: <http://www.nature.com/naturegeoscience>
  16. *Shao Y., Dong C.H.* A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring // *Global and Planetary Change.* 2006. V. 52, Iss. 1–4. P. 1–22.
  17. *Деметтьева А.Л., Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Цыдытов В.В.* Ветровой режим и особенности атмосферной циркуляции при образовании пыльных бурь в пустыне Гоби // *Оптика атмосф. и океана.* 2009. Т. 22, № 6. С. 615–621.
  18. *Yumimoto K., Eguchi K., Uno I., Takemura T., Liu Z., Shimizu A., Sugimoto N.* Elevated large-scale dust veil originated from the Taklimakan Desert: Intercontinental transport and three-dimensional structure captured by CALIPSO and regional and global models // *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 2009. V. 9, Iss. 4. P. 14453–14481.
  19. URL: <http://web.kma.go.kr//eng/weather/images/satellite.jsp>

*S.V. Afonin, M.V. Engel', A.Yu. Mayor, A.N. Pavlov, S.Yu. Stolyarchuk, K.A. Shmirko, O.A. Bukin.*  
**Results of integrated aerosol experiment in the continent–ocean transition zone (Primorye and the Sea of Japan). Part 2. Analysis of spatial and temporal variability of aerosol characteristics by satellite data and lidar measurements.**

In the paper we discuss the results of the study of the spatiotemporal aerosol optical depth (AOD) variations, performed in spring 2009 for the littoral region in Primorsky Krai and the Sea of Japan on the basis of satellite data and data of the photometric measurements. Also the results of a joint analysis of the data of lidar atmospheric sensing, back trajectory analysis of the motion of air masses, and satellite monitoring of the state of the atmosphere of the studied region are given.