

ОПТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И БАЗЫ ДАННЫХ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

УДК 551.510 + 551.521.3

**Аэрозольная оптическая толща атмосферы  
в Дальневосточном Приморье по данным  
спутниковых и наземных наблюдений**

**С.М. Сакерин<sup>1</sup>, С.Ю. Андреев<sup>1</sup>, Т.В. Бедарева<sup>1</sup>, Д.М. Кабанов<sup>1</sup>,  
Г.И. Корниенко<sup>2</sup>, В. Holben<sup>3</sup>, А. Smirnov<sup>3\*</sup>**

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

<sup>2</sup> *Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН  
692533, пос. Горнотаежное, Приморский край, Уссурийский район, Россия*

<sup>3</sup> *Центр космических полетов Годдарда (GSFC/NASA), Гринбелт, США*

Поступила в редакцию 25.03.2011 г.

Обсуждаются характеристики пространственно-временной изменчивости аэрозольной оптической толщи (АОТ) и влагосодержания атмосферы в Дальневосточном регионе по данным наземных (AERONET) и спутниковых (MODIS) многолетних наблюдений. Отмечается, что сезонная изменчивость аэрозольного замутнения в районе Уссурийска качественно аналогична другим районам умеренных широт, но отличается большими значениями АОТ и амплитудой годовой хода. Максимальные значения АОТ (0,5 мкм) наблюдаются в мае – 0,38. В пространственном распределении, в основном, прослеживается увеличение замутнения с северо-запада на юго-восток: среднегодовое значение АОТ (0,55 мкм) в Забайкалье составляет 0,14, в Приморье – 0,2, над Японским морем – 0,3, в Восточном Китае – 0,39, над Охотским морем – 0,23.

*Ключевые слова:* солнечная фотометрия, спутниковый мониторинг, аэрозольная оптическая толща, пространственное распределение, годовой ход; solar photometry, satellite monitoring, aerosol optical depth, spatial distribution, annual behavior.

### Введение

Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в Дальневосточном Приморье формируется под влиянием переносов воздуха со стороны океана и соседних стран – промышленных, густонаселенных районов Китая, Кореи, Японии. В отдельные периоды (в частности, весной) большой вклад в состав аэрозоля вносят дымки пожаров (горение растительности) и пылевые выносы из пустыни Гоби. Многообразие типов аэрозоля в переходной зоне «материк–океан», сезонная изменчивость интенсивности источников и циркуляций затрудняют интерпретацию результатов отдельных циклов комплексных исследований характеристик аэрозоля [1–4 и др.]. Поэтому естественным и важным дополнением к таким экспериментам является привлечение многолетних данных аэрозольного мониторинга глобальной сети AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) и спутниковых (MODIS) наблюдений (<http://disc1.sci.gsfc.nasa.gov>).

Заметим, что исследованию повышенного замутнения атмосферы в Юго-Восточной Азии посвящено большое количество работ [5–7 и др.]. Однако для территории Приморского края характеристики пространственно-временной изменчивости АОТ отдельно не анализировались. Некоторые особенности аэрозольного замутнения в этом регионе упоминаются в работах [8, 9], где рассматриваются АОТ (0,55 мкм), восстановленные по данным измерений интегральной прямой радиации. В частности, в [9] отмечалось наличие в Приморье очага повышенных значений АОТ, обусловленных поступлением воздушных масс из Китая.

В настоящей статье обсуждается сезонная изменчивость спектральных АОТ атмосферы, измеренных вблизи Уссурийска солнечным фотометром Cimel CE-318 сети AERONET. Кроме того, на основе многолетних спутниковых данных рассматриваются особенности пространственного распределения АОТ в Дальневосточном регионе и статистические характеристики в отдельных районах с квазиоднородным распределением аэрозольного замутнения. Для оценки достоверности полученных результатов проводится сопоставление спутниковых (MODIS) и более детальных наземных измерений АОТ атмосферы фотометром AERONET.

\* Сергей Михайлович Сакерин (sms@iao.ru); Сергей Юрьевич Андреев (serga@iao.ru); Татьяна Владимировна Бедарева (btv@iao.ru); Дмитрий Михайлович Кабанов (dkab@iao.ru); Геннадий Иванович Корниенко (kornienko@utl.ru); Brent Holben (Brent.N.Holben@nasa.gov); Александр Смирнов (Alexander.Smirnov-1@nasa.gov).

# 1. Характеристика результатов

Методические особенности измерений АОТ атмосферы фотометрами AERONET хорошо известны, а результаты исследований представлены во многих публикациях [10–12 и др.]. Кроме спектральных АОТ  $\tau_\lambda^a$  (в диапазоне 0,34–1,02 мкм), влагосодержания  $W$  и показателя Ангстрема  $\alpha$ , по данным измерений фотометров восстанавливаются параметры микроструктуры, индикатриса и альбеда однократного рассеяния (АОР) аэрозоля.

В наших работах [1, 14, 15] описывались специфика района наблюдений и отдельные результаты измерений АОТ в п. Горнотаежное (вблизи Уссурийска). В данном случае выполнен более подробный анализ и для большего периода измерений (2004–2010 гг.). В качестве исходной информации использовались данные по уровню 2 (Level 2). Кроме стандартной процедуры фильтрации (очистки) результатов измерений от влияния облаков (cloud screening [16]), проводилась дополнительная отбраковка – удалялись данные, в которых наблюдалось скачкообразное увеличение АОТ на одинаковую величину для всех длин волн. А именно: исключались замеры, в которых увеличение  $\tau_{0,87}^a$  относительно предыдущего превышало 15%, а  $\Delta\tau_{0,87}^a$  и  $\Delta\tau_{0,38}^a$  различались не более чем на 10%.

Анализ проводился для среднедневных и среднемесячных АОТ, которые рассчитывались по среднечасовым значениям. Общее количество дней измерений составило 606. Основная часть результатов получена летом (195 дней) и осенью (191 день), а с января по апрель данных в 2 раза меньше (106 дней).

Для характеристики пространственного распределения замутнения атмосферы в Дальневосточном регионе использовались спутниковые данные системы EOS/MODIS (спутники TERRA коллекция 5 и AQUA коллекция 5.1): АОТ на длине волны 0,55 мкм и влагосодержание атмосферы. Анализировались данные с пространственным разрешением 1°, временным усреднением 1 мес, зарегистрированные в период с 2001 по 2010 г.

Полученные карты распределения  $\tau_{0,5}^a$  (рис. 1, см. вклейки) показали наличие существенных неоднородностей в переходной зоне «материк–океан».

Для количественной оценки пространственной изменчивости были выделены несколько районов с квазиоднородным распределением аэрозольного замутнения: Забайкалье, Приморье, Японское и Охотское моря (табл. 1).

Таблица 1

Географические координаты анализируемых районов		
Условное название района	Широта (северная), град	Долгота (восточная), град
Забайкалье	50–56	108–135
	а) 43–48;	а) 130–135;
Приморье	б) 48–54	б) 135–140
	37–43	130–139
Японское море	48–59	144–155
Охотское море	а) 32–46;	а) 108–120;
Восточный Китай	б) 41–46	б) 120–127
	34–41	111–20

Рассчитанные для разных сезонов значения АОТ сравнивались с данными в Восточном Китае и Западной Сибири. В прибрежной зоне Восточного Китая дополнительно выделен район Великой Китайской равнины (ВКР), представляющий собой очаг повышенного замутнения атмосферы, обусловленного антропогенной деятельностью.

# 2. Вариации АОТ и влагосодержания атмосферы по данным фотометра AERONET

Характер годового хода АОТ в районе Уссурийска можно считать типичным для относительно чистых районов умеренных широт северного полушария [8, 9, 13, 14, 17]. Среди основных особенностей отметим (рис. 2, а): 1) самые большие замутнения наблюдаются весной (максимум в мае), низкие – с сентября по февраль (минимум в октябре);

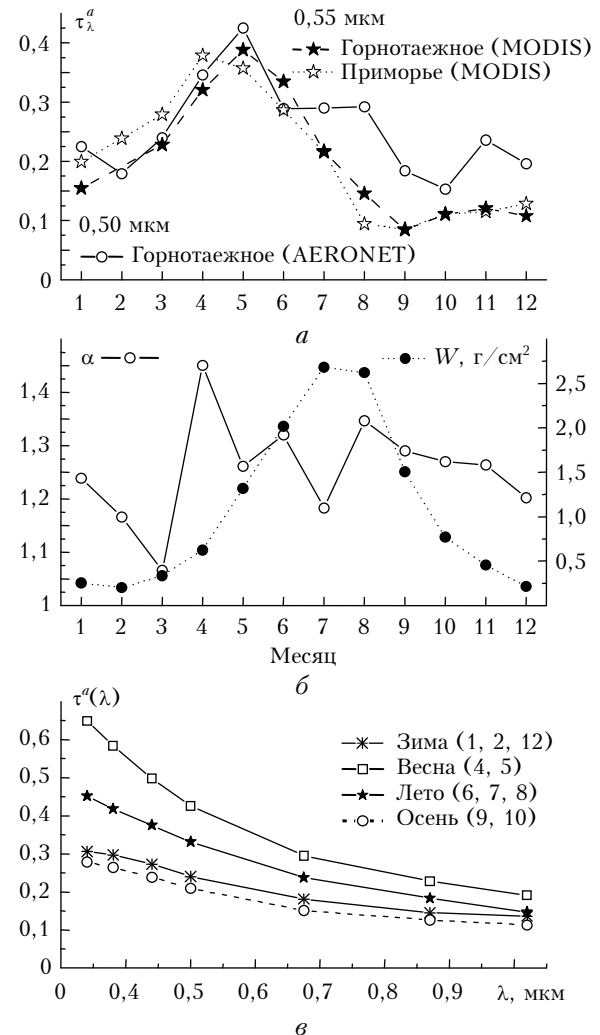


Рис. 2. Годовые ходы  $\tau_{0,5}^a$  (а), показателя  $\alpha$ , влагосодержания  $W$  (б) и средние спектральные зависимости АОТ (в) в разные периоды года в п. Горнотаежное (пунктиром на рис. 2, а показан годовой ход  $\tau_{0,55}^a$  в п. Горнотаежное и Приморье по данным MODIS)

2) селективность спектрального хода АОТ, в среднем, более высокая в теплый период (см. показатель  $\alpha$  на рис. 2, б).

Количественные данные и средние спектральные зависимости  $\tau^a(\lambda)$  в характерные периоды года представлены в табл. 2 и на рис. 2, в.

Несмотря на качественное сходство годового АОТ в Приморье с другими районами, наблюдаются и важные отличия. Прежде всего, это очень большие среднегодовые значения и амплитуда сезонной изменчивости  $\tau^a_\lambda$ . Например, в сравнении с Томском [14] годовые значения  $\tau^a_{0,5}$  выше на 75%, а относительная амплитуда годового хода – в 2,1 раза. Летний максимум АОТ и сезонный ход показателя  $\alpha$  в Приморье слабо выражены. (Особенно это заметно в сравнении с сезонным ходом влагосодержания атмосферы.) Характерными особенностями для Приморья являются всплеск аэрозольного замутнения в ноябре и резкий скачок показателя  $\alpha$  от минимальных значений в марте до максимальных в апреле с последующим спадом до среднегодового уровня.

Обратим также внимание на следующие отличия годового хода АОТ в Сибири:

– в Уссурийске зимние значения  $\tau^a_\lambda$  и  $\alpha$  заметно ниже среднегодового уровня и мало отличаются от осенних значений;

– осенний спад АОТ наступает на 1 мес раньше (после августа);

– максимальные  $\alpha$  в Томске наблюдаются с мая по июль, в Уссурийске – максимум  $\alpha$  в апреле, а летом колебания около среднегодового уровня.

Из-за повышенных замутнений в ноябре (см. рис. 2, а) различие осенних и зимних значений АОТ нивелируется и при описании внутригодовых особенностей можно ограничиться тремя сезонами:

холодный (с сентября по март) с малыми значениями  $\tau^a_\lambda$  и показателя  $\alpha$ ; весна (апрель–май) – самые высокие аэрозольные замутнения; лето (июнь–август) – промежуточные значения АОТ. Основные характеристики АОТ для этих сезонов приведены в табл. 3.

В этой же таблице приведены средние данные для других характеристик аэрозоля, которые восстанавливаются на основе решения обратной задачи [11, 18, 19]: объемные концентрации  $C_V$  (мкм<sup>3</sup>/мкм<sup>2</sup>), медианные радиусы  $r$  (мкм) и стандартное отклонение логнормальных распределений  $\sigma$  для тонкодисперсной (подстрочный символ  $f$ ) и грубодисперсной (символ  $c$ ) фракций частиц; фактор асимметрии или средний косинус индикатрисы аэрозольного рассеяния  $\langle\mu\rangle_{0,67}$  и АОР аэрозоля  $\Lambda_{0,67}$  на длине волны 0,675 мкм. В отличие от АОТ, перечисленные характеристики получены только для условий безоблачного неба, т.е. для значительно меньшего числа случаев. (Вопрос о соотношении числа данных по различным параметрам проанализирован в работе [14].)

Отметим также, что методика решения обратной задачи позволяет восстанавливать АОР аэрозоля лишь для больших замутнений атмосферы ( $\tau^a_{0,44} > 0,4$ ). Для Приморья это, в основном, ситуации дымов пожаров или пылевых выносов из аридных районов. С учетом всего перечисленного, восстановленные параметры (особенно  $\Lambda$ ) являются средними для ряда атмосферных ситуаций, но их нельзя считать средними для выделенных сезонов.

Из табл. 3 видно, что объемные концентрации аэрозоля во время весеннего максимума имеют самые высокие значения относительно остального периода ( $C_{Vf}$  в 1,5 раза,  $C_{Vc}$  в 3 раза). При этом радиусы

Таблица 2

Средние ( $\pm$ СКО) значения АОТ и влагосодержания атмосферы, рассчитанные по среднедневным данным для характерных месяцев года (п. Горнотаежное)

Период	$\tau^a_{0,34}$	$\tau^a_{0,44}$	$\tau^a_{0,5}$	$\tau^a_{0,67}$	$\tau^a_{0,87}$	$\alpha$	$W$ , г/см <sup>2</sup>
Май (5)	0,579 $\pm$ 0,336	0,446 $\pm$ 0,264	0,379 $\pm$ 0,225	0,257 $\pm$ 0,157	0,195 $\pm$ 0,113	1,21 $\pm$ 0,30	1,26 $\pm$ 0,36
Июль (7)	0,330 $\pm$ 0,225	0,270 $\pm$ 0,193	0,236 $\pm$ 0,172	0,161 $\pm$ 0,123	0,119 $\pm$ 0,083	1,19 $\pm$ 0,24	2,74 $\pm$ 0,65
Октябрь (10)	0,206 $\pm$ 0,141	0,178 $\pm$ 0,105	0,150 $\pm$ 0,089	0,097 $\pm$ 0,059	0,076 $\pm$ 0,045	1,28 $\pm$ 0,34	0,77 $\pm$ 0,36
Зима (12, 1, 2)	0,268 $\pm$ 0,151	0,236 $\pm$ 0,129	0,202 $\pm$ 0,114	0,143 $\pm$ 0,081	0,106 $\pm$ 0,057	1,16 $\pm$ 0,13	0,22 $\pm$ 0,09
Год	0,343 $\pm$ 0,258	0,282 $\pm$ 0,205	0,241 $\pm$ 0,178	0,163 $\pm$ 0,122	0,120 $\pm$ 0,085	1,25 $\pm$ 0,27	1,31 $\pm$ 0,98

Таблица 3

Средние оптические и микрофизические характеристики АОТ для трех сезонов в п. Горнотаежное ( $N_{VD}$  и  $N_{SSA}$  – количество дней измерений, в которые были восстановлены параметры микроструктуры и АОР аэрозоля)

Период	$\tau^a_{0,34}$	$\tau^a_{0,5}$	$\tau^a_{0,67}$	$\tau^a_{0,87}$	$\alpha$	Тонкодисперсная мода			Грубодисперсная мода			$N_{VD}$ , дней	$\langle\mu\rangle_{0,67}$	$\Lambda_{0,67}$	$N_{SSA}$ , дней
						$C_{Vf}$	$r_f$	$\sigma_f$	$C_{Vc}$	$r_c$	$\sigma_c$				
Холодный (9–12; 1–3)	0,256	0,188	0,128	0,098	1,21	0,028	0,173	0,456	0,026	2,117	0,702	79	0,663	0,894	12
Весна (4–5)	0,586	0,374	0,249	0,187	1,27	0,044	0,148	0,449	0,085	1,807	0,715	14	0,657	0,940	5
Лето (6–8)	0,385	0,272	0,183	0,130	1,30	0,033	0,165	0,474	0,029	2,084	0,696	15	0,654	0,992	1

частиц двух фракций весной минимальны. Если сравнить с данными в типичном районе Сибири (Томск [14]), то основное отличие состоит в двукратном превышении концентрации именно грубодисперсного аэрозоля. В холодный период (осень и зима) объемные концентрации как тонкодисперсной, так и грубодисперсной фракций частиц в Уссурийске больше, чем в Сибири.

Фактор асимметрии индикатрисы рассеяния в Уссурийске имеет практически одинаковые значения во все сезоны  $\langle \mu \rangle_{0,67} \approx 0,66$ . Это относительно большая величина в сравнении с другими районами умеренных широт: в Москве  $\langle \mu \rangle_{0,67} = 0,53 \pm 0,6$  [12]; Томске  $0,61-0,63$  [14]; Crete-Paris (Франция) –  $0,61$ , Greenbelt (США) –  $0,59$  [20]. Величина АОР аэрозоля в Уссурийске в теплый период  $\Lambda_{0,67} \approx 0,94$  согласуется с данными в других районах (например, в Томске  $\Lambda_{0,67} \approx 0,9-0,95$ ), а в холодный период снижается до  $0,89$  (т.е. аэрозольное поглощение увеличивается).

### 3. Сравнение данных наземных (AERONET) и спутниковых (MODIS) измерений

При совместном анализе результатов наземных и спутниковых измерений естественно возникает вопрос их достоверности и взаимного соответствия. Для района Уссурийска этот вопрос уже рассматривался в работе [2]: сравнение AERONET/MODIS-данных проводилось для весны 2009 г. в окрестностях  $5 \times 5$  пикселей вокруг точки наземных измерений. Сравнение показало, что различие данных укладывается в типичные значения  $\Delta\tau = \pm(0,05 + 0,15\tau)$  [21] при коэффициенте корреляции  $R_\tau \geq 0,96$ .

В данном случае нами проведено сопоставление менее детальных данных (среднемесячных значений  $\tau_{0,55}^a$  на территории  $1^\circ \times 1^\circ$  около п. Горнотаежное), но для более продолжительного периода наблюдений – с конца 2004 по 2010 г. В фотометре CE-318 (AERONET) нет спектрального канала  $0,55$  мкм [9], поэтому для сравнения с данными MODIS использовались интерполированные значения  $\tau_{0,55}^a$ , рассчитанные по измерениям в спектральных участках  $0,5$  и  $0,67$  мкм.

Сопоставление двух типов данных (рис. 3) показало хорошее согласие для влагосодержания ( $R_W = 0,95$ ,  $\sigma_W = 0,35$  г/см<sup>2</sup>) и удовлетворительное для АОР атмосферы ( $R_\tau = 0,64$ ,  $\sigma_\tau = 0,08$ ).

Недостаточно хорошее соответствие данных возникает из-за нескольких явных выбросов – больших различий  $\tau_{0,55}^a$  в отдельные месяцы. По нашему мнению, указанные выбросы обусловлены (наряду с другими причинами) отличием процедур очистки спутниковых и наземных данных от влияния облачности (cloud screening), режимов измерений и характеристик усреднения данных.

Заметно лучшее согласие данных AERONET/MODIS получается при сравнении *многолетних* среднемесячных значений АОР: ( $R_\tau = 0,82$ ,  $\sigma_\tau = 0,06$ ).

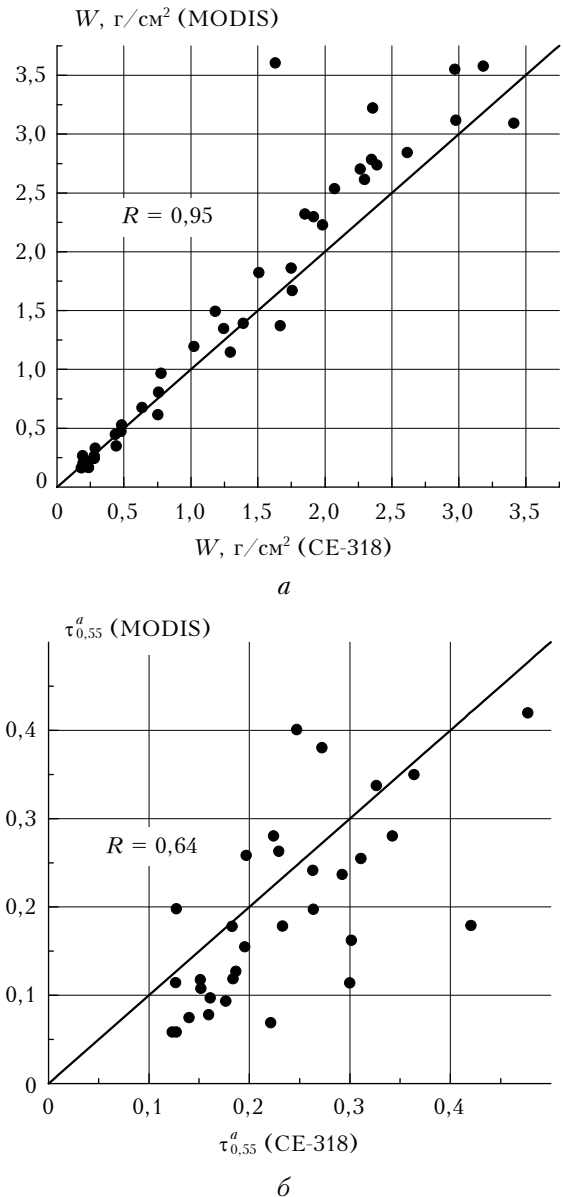


Рис. 3. Сопоставление наземных (AERONET) и спутниковых (MODIS) данных по влагосодержанию (а) и АОР атмосферы (б)

В определенной степени это подтверждается и качественно одинаковым (с данными AERONET) годовым ходом АОР, рассчитанным по многолетним спутниковым данным (см. пунктирные кривые на рис. 2, а). Обратим внимание на две важные особенности:

- 1) среднемесячные АОР, рассчитанные по спутниковым данным для п. Горнотаежное и всего Приморья (см. второй район в табл. 1) имеют близкие значения, следовательно, результаты наблюдений в локальном районе (Горнотаежное) в среднем правильно отражают сезонные изменения АОР во всем регионе;
- 2) спутниковые измерения  $\tau_{0,55}^a$  во второй половине года существенно ниже данных наземных измерений (объяснение этого факта требует дополнительных исследований).

#### 4. Пространственное распределение АОТ атмосферы по спутниковым данным

Анализ спутниковых карт (см. рис. 1) показал, что в Дальневосточном регионе прослеживается увеличение аэрозольного замутнения с северо-запада на юго-восток. Такой характер распределения АОТ сохраняется во все сезоны, а максимальные замутнения наблюдаются весной и летом (рис. 4, см. вклейки).

Общий диапазон изменения АОТ превышает один порядок с минимальными значениями на севере Сибири и максимальными – в прибрежном регионе на востоке Китая, где сосредоточено большое число крупных промышленных центров. Примерно на этих же широтах (или чуть севернее), в глубине континента, находятся крупные пустыни – Гоби, Такла-Макан и др., являющиеся мощным источником пылевого аэрозоля [22]. С учетом западного переноса естественно полагать, что антропогенный и аридный аэрозоль из этих регионов выносятся на акваторию Желтого и Японского морей. Что касается Приморского края (> 42° с.ш.), то он, в основном, попадает в зону пылевых выносов. В то же время из-за циклонической деятельности определенное влияние могут оказывать и переносы промышленного аэрозоля со стороны Китая, Кореи, Японии.

Количественные характеристики различия АОТ в выделенных районах приведены в табл. 4, 5 и на рис. 5.

Самые низкие значения  $\tau_{0,55}^a = 0,14$ , сопоставимые со значениями Западной Сибири, характерны для Забайкалья. АОТ атмосферы в Приморье на ~40% выше вследствие совместного влияния пылевых выносов и горения растительности в теплый период. Аэрозольное замутнение над акваторией Японского моря в 1,5 раза больше, чем в Приморье, так как находится в зоне дополнительного (кроме пыли) воздействия выносов антропогенного аэрозоля из Китая и Кореи. Максимальные замутнения наблюдаются в прибрежном районе Китая, граничащем с Желтым морем (ВКР): среднегодовая  $\tau_{0,55}^a = 0,53$ , а летом  $\tau_{0,55}^a = 0,68$ . Обратим внимание, что зимой АОТ в соседних районах в одной широтной зоне выравниваются (рис. 5, б). В частности, в Приморье, Забайкалье и Охотском море значения АОТ практически одинаковы.

Охотское море находится севернее зоны основных выносов азиатского аэрозоля. Однако замутнение атмосферы в его акватории хотя и меньше, чем над Японским морем, но все же относительно

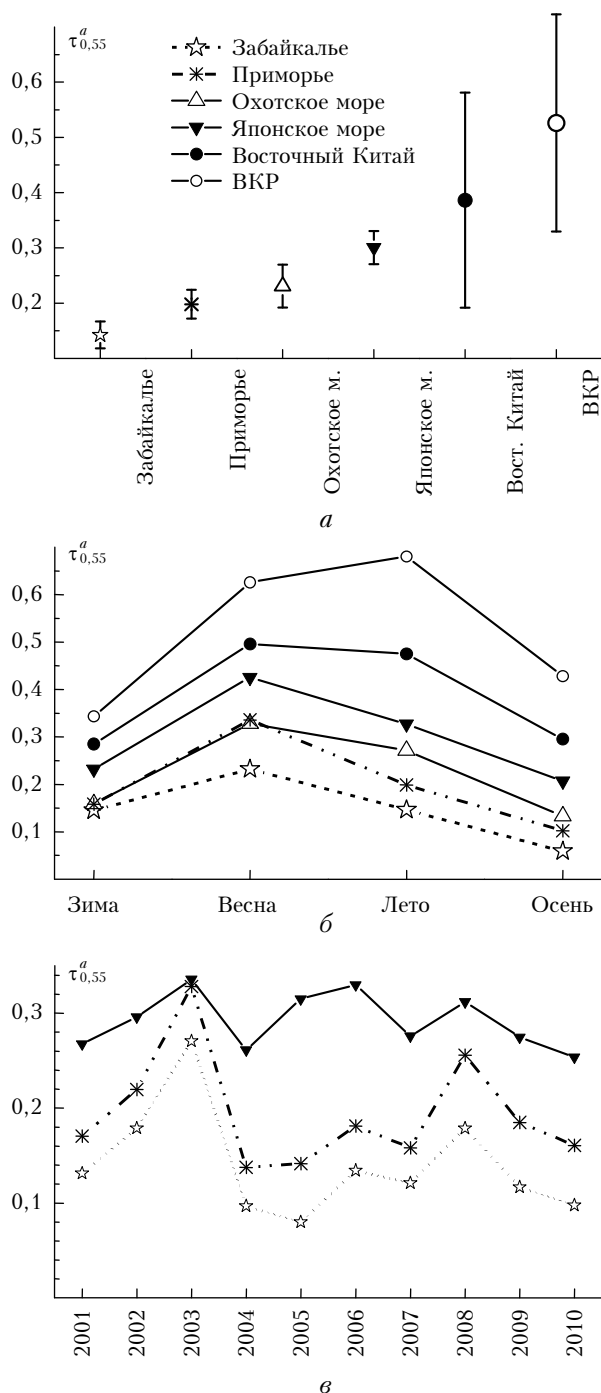


Рис. 5. АОТ в различных районах по данным спутниковых наблюдений: годовые (а) и сезонные (б) значения  $\tau_{0,55}^a$ ; межгодовая изменчивость  $\tau_{0,55}^a$  по данным TERRA (в)

Таблица 4

Среднегодовые характеристики атмосферной толщи в различных районах (MODIS)

Характеристика	Западная Сибирь	Забайкалье	Приморье	Японское море	Охотское море	Восточный Китай	ВКР
$\tau_{0,55}^a$	0,140	0,142	0,198	0,301	0,231	0,387	0,526
W	0,97	0,83	1,04	1,79	1,51	1,38	1,58

Таблица 5

**Средние значения  $\tau_{0,55}^a$  в Приморье или соседних прилегающих территориях в стандартные сезоны (MODIS)**

Сезон	Забайкалье	Приморье	Японское море	Охотское море	Восточный Китай
Зима	0,131	0,162	0,278	0,181	0,312
Весна	0,230	0,335	0,425	0,328	0,493
Лето	0,147	0,200	0,327	0,271	0,479
Осень	0,060	0,102	0,207	0,133	0,297

велико в сравнении с соседними районами континента (Хабаровский край, Магаданская обл.). По-видимому, это обусловлено активизацией вулканической деятельности на Камчатке и Курилах (этот факт отмечается также в [4, 9]). Согласно данным Группы реагирования на вулканические извержения [23] в последние годы были зафиксированы извержения вулканов Корякский (2008, 2009), Ключевская Сопка (2009, 2010) и др. Указанные извержения не относятся к числу мощных («взрывных»), но их влияние достаточно для повышения регионального уровня атмосферного замутнения.

Определенное влияние на повышение АОТ в морских районах может оказывать и то, что мелкодисперсный аэрозоль, выносимый с континента, попадает в поле более высокой влажности, в результате чего происходят укрупнение частиц и увеличение эффективности ослабления.

Кроме средних характеристик была рассмотрена межгодовая изменчивость АОТ. Из рис. 5, в хорошо видно, что при разном уровне аэрозольного замутнения в отдельных районах колебания АОТ имеют общий характер во всем регионе. Всплески АОТ в 2003, 2008, 2006 гг. более выражены в континентальных районах и в основном за счет весенних данных. Этот факт указывает на наиболее вероятный источник замутнения — дымь горения растительности в Забайкалье и Приморье.

Что касается влагосодержания атмосферы в выделенных районах (см. табл. 3), то оно распределилось в соответствии с широтной зависимостью и степенью континентальности: минимальные значения  $W$  в глубине континента, промежуточные в прибрежных районах и более высокие в морских.

### Заключение

На основе многолетних наземных (AERONET) и спутниковых (MODIS) наблюдений проведен анализ характеристик изменчивости аэрозольного замутнения атмосферы в нескольких районах Дальнего Востока. Приведены количественные характеристики годового хода спектральных АОТ в Приморье и пространственных различий АОТ на территории Забайкалья, Приморья, Восточного Китая, Японского и Охотского морей. Полученные результаты позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Показано, что сезонная изменчивость аэрозольного замутнения в Приморье качественно аналогична другим районам умеренных широт, но отлич

чается большими значениями АОТ и амплитудой годового хода: максимальные АОТ — в мае ( $\tau_{0,5}^a = 0,38$ ), минимальные — в октябре ( $\tau_{0,5}^a = 0,15$ ); показатель селективности  $\alpha$  в среднем более высокий в теплый период.

2. Сравнение многолетних наземных и спутниковых (AERONET/MODIS) измерений АОТ показало достаточное согласие данных. Основное различие состоит в пониженных спутниковых значениях  $\tau_{0,55}^a$  в Приморье во второй половине года. Показано, что среднемесячные АОТ в п. Горностаежное репрезентативны для всего Приморья.

3. Пространственное распределение аэрозольного замутнения на Дальнем Востоке во все сезоны характеризуется увеличением АОТ с северо-запада на юго-восток: годовая величина АОТ (0,55 мкм) в Забайкалье составляет 0,14, в Приморье — 0,2, над Охотским морем — 0,23; над Японским морем — 0,3, в Восточном Китае — 0,39 с максимумом в районе ВКР.

Отмечается, что достаточно высокие замутнения атмосферы в Приморье и Японском море, несомненно, формируются под влиянием выносов азиатского аэрозоля (пылевого и антропогенного) со стороны Китая, повышенной влажности, а также дымов лесных пожаров и палов растительности в весенний период. Некоторый вклад в АОТ над Охотским морем может вносить вулканическая деятельность.

Авторы признательны рецензенту за полезные замечания, которые были учтены при доработке статьи. Поясним также, что микрофизические характеристики аэрозоля, приведенные в табл. 3, получены на основе стандартной методики решения обратной задачи, единообразной для всей сети AERONET. Из-за трудности идентификации типа аэрозоля в каждой конкретной ситуации использовались результаты обращения в предположении сферичности частиц. В данном случае не ставилась задача анализа применимости алгоритма или выбора моделей частиц при восстановлении характеристик тех или иных типов аэрозолей.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (Интеграционный проект № 75), проекта № 21.1 программы фундаментальных исследований Президиума РАН и гранта РФФИ № 09-05-00961.

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 атмосф. 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 атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 9. С. 811–819.

3. Козлов В.С., Польшин В.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 слое // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 11. С. 967–977.
4. Сакерин С.М., Афонин С.В., Энгель М.В., Кабанов Д.М., Польшин В.В., Турчинович Ю.С., Букин О.А., Павлов А.Н. Пространственно-временная изменчивость аэрозольной оптической толщи атмосферы в Приморье и прилегающих морях в августе 2010 г. // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 9. С. 000–000.
5. Zhanqing Li, Chen H., Cribb M., Dickerson R., Holben B., Li C., Lu D., Lyo Y., Maring H., Shi G., Tsay S.-C., Wang P., Xia X., Zheng Y., Yuan T., Zhao F. Preface to special section on East Asian studies of tropospheric aerosols: An International Regional Experiment (EAST-AIRE) // J. Geophys. Res. 2007. V. 112, D22S00. doi: 10/1029/2007JD008853.
6. Kim S.W., Yoon S.C., Kim J., Kim S.Y. Seasonal and monthly variations of columnar aerosol optical properties over east Asia determined from multi-year MODIS, LIDAR, and AERONET Sun/sky radiometer measurements // Atmos. Environ. 2007. V. 41. P. 1634–1651.
7. Luo Y.F., Lu D.R., Zhou X.J., Li W.L., He Q. Characteristics of the spatial distribution and yearly variation of aerosol optical depth over China in last 30 years // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106, N 13. P. 14,501–14,513.
8. Ярхо Е.В. Особенности внутригодовой изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы в различных климатических регионах // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8, № 7. С. 1063–1072.
9. Плахина И.Н., Панкратова Н.В., Махоткина Е.Л. Вариации аэрозоля в толще атмосферы по данным Российской актинометрической сети (1976–2006 гг.) // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2009. Т. 45, № 4. С. 489–500.
10. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankovik L., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66, N 1. P. 1–16.
11. Dubovik O., Smirnov A., Holben B., King M., Kaufman Y., Eck T., Slutsker I. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 8. P. 9791–9806.
12. Holben B.N., Tanre D., Smirnov A., Eck T.F., Slutsker I., Abuhassan N., Newcomb W.W., Schafer J.S., Chatenet B., Lavenu F., Kaufman Y.J., Vande Castle J., Setzer A., Markham B., Clark D., Frouin R., Halthore R., Karneli A., O'Neill N.T., Pietras C., Pinker R.T., Voss K., Zibordi G. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol optical depth from AERONET // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106, N 11. P. 12,067–12,097.
13. Улюмджиева Н.Н., Чубарова Н.Е., Смирнов А.В. Характеристики атмосферного аэрозоля в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL // Метеорол. и гидрол. 2005. № 1. С. 48–57.
14. 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., Польшин В.В., Смирнов А., Тацлин М.А., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С., Холбен Б., Ерёмкина Т.А. Характеристики годового хода спектральной аэрозольной оптической толщи атмосферы в условиях Сибири // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
15. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Польшин В.В., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Поддубный В.А., Тацлин М.А. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г. // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 11. С. 968–975.
16. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base // Remote Sens. Environ. 2000. V. 73. P. 337–349.
17. Smirnov A., O'Neill N.T., Royer A., Tarussov A. Aerosol optical depth over Canada and the link with synoptic air mass types // J. Geophys. Res. D. 1996. V. 101, N 14. P. 19,299–19,318.
18. Dubovik O.T., King M. A flexible inversion algorithm for retrieval aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 16. P. 20673–20696.
19. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Smirnov A., Sinyuk A., Schafer J., Giles D., Dubovik O. AERONET's version 2.0 quality assurance criteria // Proc. SPIE. 2006. 6408, 64080Q.
20. Dubovik O., Holben B., Eck T., Smirnov A., Kaufman Y.J., King M.D., Tanre D., Slutsker I. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations // J. Atmos. Sci. 2002. V. 59. P. 590–608.
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](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/ATBD_MOD04_C005_rev2.pdf)
22. Бабаев А.Г., Дроздов Н.Н., Зонн И.С., Фрейкин З.Г. Пустыни. М.: Мысль, 1986. 318 с.
23. URL: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/index.ht-ml>

*S.M. Sakerin, S.Yu. Andreev, T.V. Bedareva, D.M. Kabanov, G.I. Kornienko, B.N. Holben, A. Smirnov.* **Atmospheric aerosol optical depth in Far East Primorye according to data of satellite and ground-based observations.**

We discuss the characteristics of the spatiotemporal variations of the aerosol optical depth (AOD) and the atmospheric moisture content in Far East region according to data of ground-based (AERONET) and satellite (MODIS) many-year observations. It is noted that the seasonal variations of the aerosol turbidity in the region of Ussuriysk are qualitatively similar to those for other midlatitude regions, but differ by larger AOD values and larger amplitude of the annual behavior. The AOD values ( $0.5 \mu\text{m}$ ) are maximal in May and equal to 0.38. The spatial distribution mainly exhibits the increase of the turbidity from northwest toward southeast: the annually average AOD value ( $0.55 \mu\text{m}$ ) is 0.14 in Transbaikalia, 0.2 in Primorye, 0.3 over the Sea of Japan, 0.39 in East China, and 0.23 over the Sea of Okhotsk.