

Смог и дымная мгла на Северо-Китайской равнине в июне 2007 г.

Г.И. Горчаков¹, А.В. Карпов¹, И.А. Горчакова¹,
Р.А. Гуцин^{1,2}, О.И. Даценко^{1,2*}

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²МИРЭА – Российский технологический университет
119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78

Поступила в редакцию 14.02.2019 г.

По данным спутникового мониторинга (MODIS/Terra) получено пространственное распределение аэрозольной оптической толщины (АОТ) на длине волны 550 нм для летнего смога 2007 г. на Северо-Китайской равнине (СКР) и прилегающих территориях. Выявлены области с повышенной АОТ, обусловленные региональными источниками антропогенного загрязнения вблизи Пекина и Шанхая, а также дымной мглой, образовавшейся при сжигании сельскохозяйственных отходов (юго-западная часть СКР). Обнаружено сходство оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в дымной мгле на СКР и на территории России: 1) определяющий вклад в оптические характеристики дымового аэрозоля вносит тонкодисперсная фракция; 2) спектры ослабления в области длин волн 340–1020 нм аппроксимируются (в логарифмических координатах) параболой или полиномами четвертой степени. По данным мониторинга на ст. AERONET Beijing показано, что в летнем смоге на СКР альbedo однократного рассеяния в среднем меньше (0,91), чем в дымной мгле на территории России (0,95–0,96). Радиационные режимы атмосферы существенно различны: в смоге эффективность аэрозольного радиационного форсинга на верхней границе атмосферы примерно на 30% меньше, а на нижней границе на 30% больше, чем в дымной мгле.

Ключевые слова: смог, дымная мгла, аэрозоль, тонкодисперсная фракция, грубодисперсная фракция, аэрозольная оптическая толщина, спектр ослабления, аппроксимация спектров ослабления, альbedo однократного рассеяния, аэрозольный радиационный форсинг, эффективность форсинга MODIS, AERONET; smog, smoke haze, aerosol, fine mode, coarse mode, aerosol optical depth, extinction spectrum, extinction spectrum approximation, single scattering albedo, aerosol radiative forcing, radiative forcing efficiency, MODIS, AERONET.

Введение

Дымная мгла, возникающая при массовых пожарах в бореальных лесах, радикально трансформирует радиационный режим атмосферы и состав атмосферного воздуха на больших территориях [1–21]. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля в крупномасштабной дымной мгле определяются его тонкодисперсной фракцией, которая отличается сравнительно слабым поглощением («белый дым»): альbedo однократного рассеяния (АОР) в видимой области спектра, как правило, превышает 0,94–0,95 [1, 22–25]. На спектры поглощения дымной мглы [26, 27] может заметно влиять коричневый углерод, (органические соединения, селективно поглощающие коротковолновое солнечное излучение [28]).

Образовавшаяся в июне 2016 г. на территории Сибири дымная мгла (сибирская дымная мгла,

СДМ) [29–32] распространилась на значительную часть территории Северной Евразии площадью больше 16 млн км² [25, 31–33]. В период максимального развития СДМ, с 23 по 26.07.2016 г., средняя аэрозольная оптическая толщина (АОТ) для длины волны $\lambda = 550$ нм на территории, ограниченной координатами 40–70° с.ш. и 0–140° в.д., оказалась равной 0,57, что соответствует полной массе дымового аэрозоля ~3,65 млн т. В июле 2016 г. на территории Северной Евразии кроме СДМ наблюдались и другие оптически плотные дымки, включая смог на Северо-Китайской равнине (СКР) и прилегающих территориях [33].

Смог на Северо-Китайской равнине в июне 2007 г.

Смоги на СКР с повышенными концентрациями сажевого аэрозоля случаются довольно часто [34]. Большой интерес представляет смог в июне 2007 г.

На рис. 1 показано пространственное распределение АОТ на СКР и прилегающих территориях (25–45° с.ш., 105–125° в.д.) для $\lambda = 550$ нм

* Геннадий Ильич Горчаков (gengor@ifaran.ru); Алексей Владимирович Карпов (karpov@ifaran.ru); Ираида Александровна Горчакова (gorchakova@ifaran.ru); Роман Альбертович Гуцин (roma-max7@mail.ru); Олег Игоревич Даценко (datolog@yandex.ru).

с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$, полученное по данным мониторинга с помощью установленного на спутнике Terra спектрорадиометра MODIS [35]. Использованы градации AOT с шагом 0,4. Нетрудно увидеть, что на большей части рассматриваемой территории AOT > 0,4. На фоне смога отчетливо выделяются три области с повышенной аэрозольной нагрузкой атмосферы: области вблизи Пекина (I) и Шанхая (II), очевидно обусловленные дополнительными региональными источниками антропогенного аэрозоля, и область III, которая будет обсуждаться ниже.

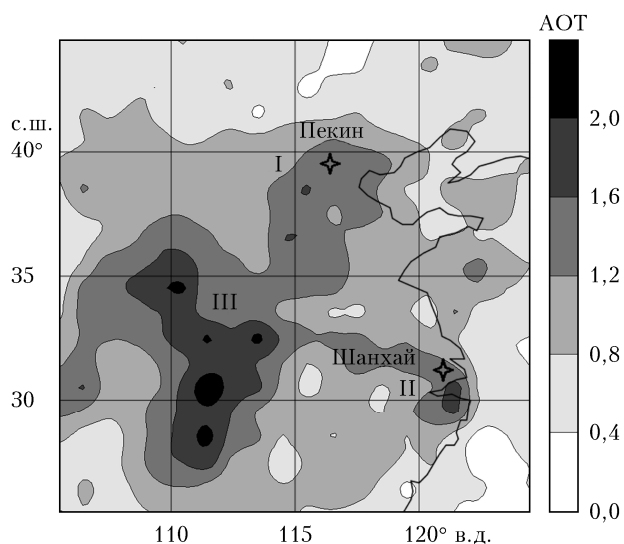


Рис. 1. Пространственное распределение AOT для $\lambda = 550$ нм на СКР в период с 6 по 20.06.2007 г. по данным спектрорадиометра MODIS/Terra (I, II и III – области с повышенными значениями AOT)

Выполнен статистический анализ вариаций AOT MODIS в рассматриваемый период времени. Среднее значение AOT для летнего смога в Пекине оказалось равным 0,91 (коэффициент вариаций 0,41, параметры асимметрии и эксцесса равны 0,72 и 0,31 соответственно). На рис. 2 представлена нормированная эмпирическая функция распределения, или распределение вероятностей w в процентах, AOT MODIS, которая включает моду 1 с AOT < 1,2 (региональный смог) и моду 2 с AOT > 1,2, к которой относятся области с повышенной аэрозольной нагрузкой атмосферы, в том числе область III (рис. 1) с большой вероятностью превышения AOT значения 1,6.

Об оптических и микрофизических характеристиках аэрозоля в смогах на СКР можно судить по данным мониторинга аэрозоля на глобальной сети станции AERONET [36]. В июне 2007 г. регулярные измерения параметров аэрозоля выполнялись на ст. AERONET Beijing ($39^\circ 58' 03''$ с.ш., $116^\circ 22' 51''$ в.д.). Во время летнего смога в Пекине AOT на длине волны 440 нм (версия V2, уровень L1.0) достигала 5,5–5,8. К сожалению, далеко не во всех случаях восстанавливались необходимые для анализа оптические и микрофизические характеристики аэрозоля. В настоящей работе использовались данные уровня L1.5 для летнего смога Пекина.

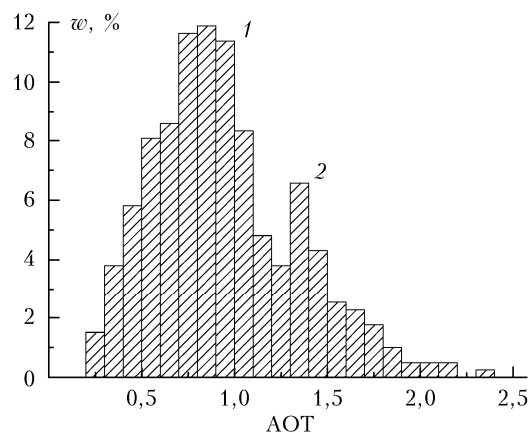


Рис. 2. Нормированная эмпирическая функция распределения AOT на СКР в период с 6 по 20.06.2007 г. (1 и 2 – моды функции)

Анализ данных мониторинга на ст. Beijing показал, что аэрозоль в летнем смоге на СКР отличался повышенной по сравнению с крупномасштабной дымной мглой поглощательной способностью, что согласуется с полученными ранее результатами [34]. Альbedo однократного рассеяния для $\lambda = 440$ нм в среднем равно 0,91 для летнего смога Пекина. Эмпирическая функция распределения (или распределение вероятностей w в процентах) AOP (или ω) (рис. 3) для $\lambda = 440$ нм оказалась сравнительно узкой: примерно в 80% случаев AOP находится в диапазоне $0,91 \pm 0,03$.

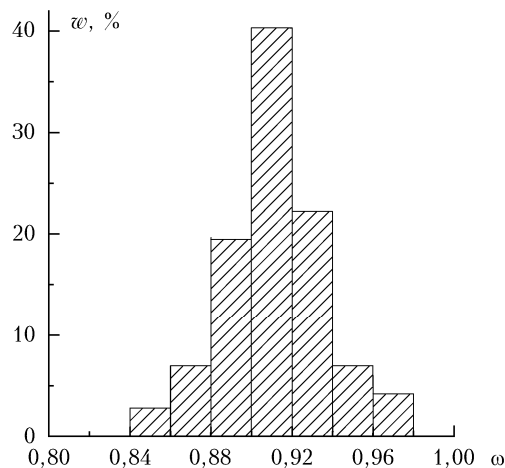


Рис. 3. Нормированная эмпирическая функция распределения альbedo однократного рассеяния для $\lambda = 440$ нм по данным мониторинга на ст. Beijing в период с 6 по 20.06.2007 г.

Дымная мгла на Северо-Китайской равнине

Повышенная аэрозольная нагрузка атмосферы западнее 115° в.д. и южнее примерно 37° с.ш. (область III на рис. 1) в июне 2007 г. была обусловлена распространением продуктов происходящего ежегодно на СКР сжигания сельскохозяйственных

отходов, включая рисовую солому (agricultural biomass burning (ABB)) в центральных и южных провинциях Китая [37]. В связи с отсутствием в июне 2007 г. данных AERONET, необходимых для надежной оценки оптических и микрофизических параметров аэрозоля, образующегося в ходе ABB, были проанализированы последствия аналогичных событий на территории Китая в июне 2008 г. На рис. 4 показано пространственное распределение AOT MODIS на СКР и прилегающих территориях с 5 по 15.06.2008 г. Отчетливо выделяется область повышенных значений AOT (ABB), обусловленных задымлением атмосферы при горении сельскохозяйственных отходов. В область повышенных значений AOT попала ст. AERONET Shouxian (32°33'28" с.ш., 116°46'55" в.д.).

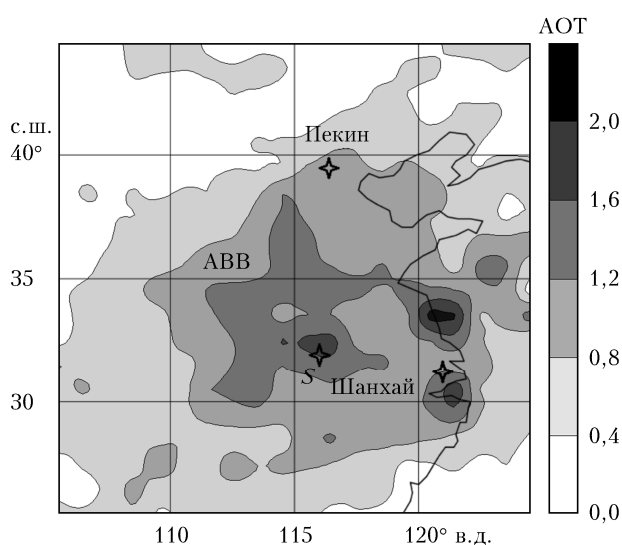


Рис. 4. Пространственное распределение AOT для $\lambda = 550$ нм на СКР в период с 5 по 15.06.2008 г. по данным спектрометра MODIS/Terra (ABB – область повышенных значений AOT, обусловленных сжиганием сельскохозяйственных отходов, S – ст. Shouxian)

Наблюдавшиеся в июне 2008 г. на ст. Shouxian вариации оптических и микрофизических характеристик аэрозоля свидетельствуют о том, что появление области с повышенными значениями AOT вызвано задымлением атмосферы на СКР: оптические характеристики аэрозоля в дымной мгле на СКР, как и в случае образующейся при пожарах в бореальных лесах дымной мглы на территории России, определяются его тонкодисперсной фракцией. При этом спектры AOT для дымной мглы характеризуются выпуклыми кривыми (в логарифмической системе координат), которые в видимой области спектра аппроксимируются параболой [1, 22–24].

На рис. 5 представлены спектральные зависимости AOT $\tau_{ex}(\lambda)$, полученные на ст. Shouxian 7.06.2008 г. в 23:42 (кривая 1) и 12.06.2008 г. в 3:44 (кривая 2). Для сравнения здесь же приведены результаты измерений $\tau_{ex}(\lambda)$ в дымной мгле на ст. AERONET Zvenigorod (55°41'42" с.ш., 36°46'30" в.д.) 3.08.2010 г. в 7:40 (кривая 3) и 9.08.2010 г. в 7:47 (кривая 4). Для наблюдаемого

на ст. Shouxian спектра 1 (уровень L1.5, версия V3) показан восстановленный спектр тонкодисперсной фракции аэрозоля $\tau_{ex}^f(\lambda)$ (кривая 5), который близок к спектру 1, а также спектр грубодисперсной фракции $\tau_{ex}^c(\lambda) = \tau_{ex}(\lambda) - \tau_{ex}^f(\lambda)$ (кривая 9), для которого характерна слабая селективность ослабления (0,126–0,137) в диапазоне длин волн 440–1020 нм. Отметим, что на длине волны 440 нм вклад тонкодисперсной фракции в наблюдаемую AOT составляет примерно 95%.

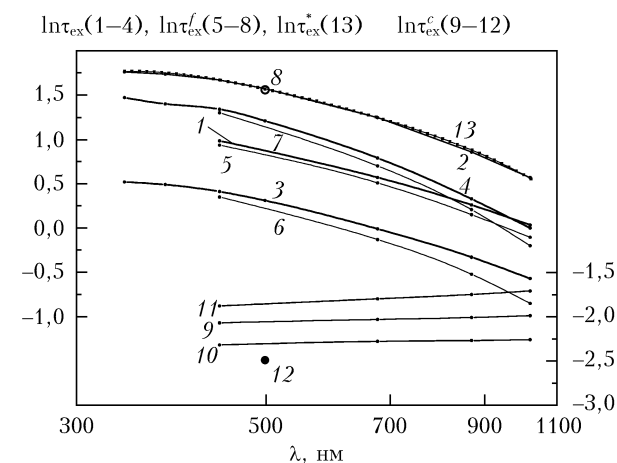


Рис. 5. Спектральные зависимости AOT по данным измерений на ст. Shouxian 7.06 (1) и 12.06.2008 г. (2) и Zvenigorod 3.08 (3) и 9.08.2010 г. (4); восстановленные спектральные зависимости AOT $\tau_{ex}^f(\lambda)$ на ст. Shouxian 7.06.2008 г. (5) и Zvenigorod 3.08 (6) и 9.08.2010 г. (7) для тонкодисперсной фракции аэрозоля; τ_{ex}^f для $\lambda = 500$ нм 12.06.2008 г. на ст. Shouxian; восстановленные спектральные зависимости $\tau_{ex}^c(\lambda)$ для грубодисперсной фракции аэрозоля 7.06.2008 г. на ст. Shouxian (9) и Zvenigorod 3.08 (10) и 9.08.2010 г. (11); $\tau_{ex}^c(\lambda)$ для $\lambda = 500$ нм (12) и аппроксимация (пунктирная линия) спектральной зависимости AOT (13) 12.06.2008 г. на ст. Shouxian

В рассматриваемом случае спектр $\tau_{ex}(\lambda)$ (кривая 1) в области длин волн от 440 до 1020 нм с удовлетворительной точностью аппроксимируется выпуклой параболой в координатах $\ln \tau_{ex} - \ln \lambda$:

$$\ln \tau_{ex}^*(\lambda) = 0,565 - 1,13(\ln \lambda - \ln \lambda_1) - 0,34(\ln \lambda - \ln \lambda_1)^2, \quad (1)$$

где $\lambda_1 = 672$ нм.

За период измерений с 5 по 13.06.2008 г. на ст. Shouxian были получены данные о спектрах ослабления аэрозоля в области 340–1640 нм (уровни L1.0 и L1.5, версия V2) с учетом релеевского рассеяния и поглощения озонем, диоксидом азота, водяным паром и метаном. Для спектра 2 вклад тонкодисперсной фракции аэрозоля на длине волны 500 нм (AOT 4,745; точка 8) много больше вклада грубодисперсной фракции (0,083; точка 12) – он составляет примерно 98% от наблюдаемого значения AOT (4,828).

В рассматриваемой области длин волн (340–1020 нм) аппроксимация спектра ослабления параболой недостаточно точна. Анализ показал, что в дан-

ном случае удовлетворительные результаты обеспечивает аппроксимация (кривая 13)

$$\ln \tau_{\text{ex}}^*(\lambda) = 1,42 - 1,06(\ln \lambda - \ln \lambda_2) - 0,45(\ln \lambda - \ln \lambda_2)^2 - 1,1(\ln \lambda - \ln \lambda_2)^4 \quad (2)$$

($\lambda_2 = 578$ нм).

Наблюдаемым на ст. Zvenigorod (уровни L1.0 и L1.5) в период задымления европейской территории России (ЕТР) летом 2010 г. спектрам ослабления 3 и 4 на рис. 5 соответствуют спектры АОТ 6 и 7 для тонкодисперсной фракции аэрозоля и спектры 10 и 11 грубодисперсной фракции. Отметим, что вклады тонкодисперсной фракции дымового аэрозоля в суммарное ослабление составляют примерно 94 и 96% на $\lambda = 440$ нм.

По аналогии с (2) для спектра 4 на рис. 5 удовлетворительной оказалась аппроксимация (диапазон длин волн 340–1020 нм)

$$\ln \tau_{\text{ex}}^*(\lambda) = 0,98 - 1,34(\ln \lambda - \ln \lambda_3) - 0,45(\ln \lambda - \ln \lambda_3)^2 - 1,5(\ln \lambda - \ln \lambda_3)^4 \quad (3)$$

($\lambda_3 = 590$ нм), а для спектра ослабления 3 удалось получить аппроксимацию, пригодную в диапазоне длин волн от 340 до 1640 нм:

$$\ln \tau_{\text{ex}}^*(\lambda) = -0,385 - 1,27(\ln \lambda - \ln \lambda_4) - 0,36(\ln \lambda - \ln \lambda_4)^4 \quad (4)$$

($\lambda_4 = 898$ нм).

Из вышеизложенного следует, что в дымной мгле на СКР, также как и в дымной мгле при пожарах в бореальных лесах на ЕТР, определяющий вклад в ослабление коротковолновой солнечной радиации вносит тонкодисперсная фракция аэрозоля. При этом спектры ослабления в области длин волн от 340 до 1020 нм с удовлетворительной точностью аппроксимируются выпуклыми кривыми, которые существенно отличаются от линейной аппроксимации в координатах $\ln \tau_{\text{ex}} - \ln \lambda$: полиномами, содержащими вторые и четвертые степени разностей логарифмов длин волн.

Радиационные эффекты летнего смога на Северо-Китайской равнине

В настоящее время много внимания уделяется исследованиям радиационных эффектов дымной мглы при массовых пожарах в бореальных лесах [1, 6, 8, 9, 11–14, 25, 31–33]. В большинстве работ определяется аэрозольный радиационный форсинг (АРФ), или разность притоков коротковолновой солнечной радиации при наличии и при отсутствии аэрозоля, на верхней и нижней границах атмосферы [6, 11], а также в толще атмосферы.

Получены оценки АРФ (для коротковолновой солнечной радиации) для летнего смога на СКР в июне 2007 г. Изменчивость радиационных характеристик аэрозоля на СКР оценивалась по данным мониторинга на ст. Beijing (уровень L1.5). К сожа-

лению, информация о радиационных характеристиках дымной мглы на этой территории ограничена. Согласно данным мониторинга на ст. Shouxiан 5 и 7.06.2008 г. (уровень L1.5, версия V3) в трех случаях из пяти АОР = 0,90–0,91 на длине волны 440 нм, что близко к среднему значению АОР (0,91) для смога в Пекине. Поэтому ниже, при оценке радиационных эффектов летнего смога на СКР, целесообразно использовать радиационные характеристики аэрозоля, полученные на ст. Beijing в период с 6 по 20.06.2007 г.

На рис. 6 показано осредненное пространственное распределение АРФ на верхней границе атмосферы на СКР в этот период. Отметим, что использованное здесь разбиение по градациям АРФ позволило более отчетливо (по сравнению с рис. 1) разделить области с повышенной аэрозольной нагрузкой атмосферы. Был выполнен статистический анализ вариаций АРФ. Средние значения АРФ для летнего смога на СКР на верхней и нижней границах атмосферы оказались равными примерно $-42,5$ и -137 Вт/м² соответственно. В дымной мгле на ЕТР летом 2010 г. [1] в период максимального задымления АРФ на верхней границе атмосферы в среднем составлял -64 Вт/м², а на территории Сибири (50 – 70° с.ш., 60 – 120° в.д.) в июне 2016 г. достигал -67 Вт/м² [33].

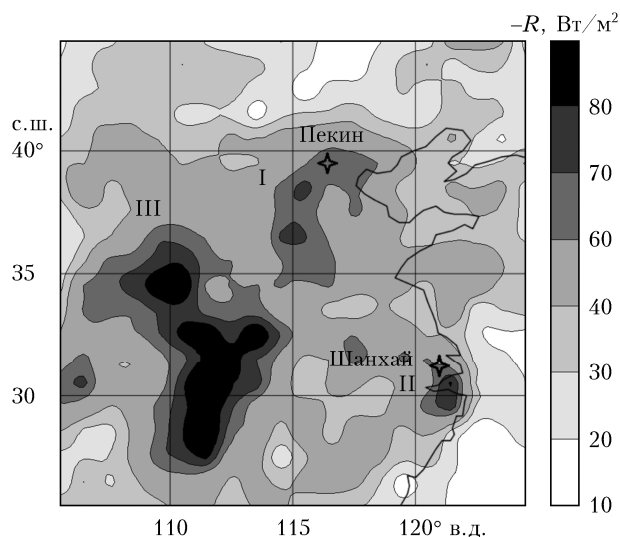


Рис. 6. Пространственное распределение АРФ на верхней границе атмосферы на СКР в период с 6 по 20.06.2007 г.

Целесообразно сравнить средние эффективности форсингов $\bar{\gamma} = -\bar{R}/\tau_{\text{ex}}(\lambda_0)$, где R – средний радиационный форсинг, τ_{ex} – соответствующее среднее значение АОТ ослабления для длины волны $\lambda = 550$ нм. В частности, для рассматриваемого летнего смога на СКР средняя эффективность радиационного форсинга на верхней границе атмосферы $\gamma_1 = 45$ Вт/м², для дымной мглы на ЕТР летом 2010 г. ~ 58 Вт/м², и для дымной мглы на территории Сибири в 2016 г. (период максимального задымления) ~ 62 Вт/м². Нетрудно видеть, что в летнем смоге на СКР эффективность форсинга на верхней границе атмосферы примерно на 30% меньше, чем

в дымной мгле на территории России. Средняя эффективность АРФ на нижней границе атмосферы $\gamma_2 = 144 \text{ Вт/м}^2$ в летнем смоге на СКР, а в дымной мгле 102 (летом 2010 г. на ЕТР) и 118 Вт/м^2 (в июле 2016 г. на территории Сибири). Таким образом, на нижней границе атмосферы эффективность АРФ в смоге примерно на 30% больше, чем в дымной мгле. Что касается отношения средних эффективностей форсингов на верхней и нижней границах атмосферы $\eta = \gamma_2/\gamma_1$, то в летнем смоге на СКР оно намного больше (3,2), чем в дымной мгле на территории России (примерно 1,8).

Существенные отличия радиационных режимов атмосферы в летнем смоге 2007 г. на СКР и в дымной мгле на территории России объясняются большей поглощательной способностью аэрозоля в смоге на СКР по сравнению с дымовым аэрозолем на ЕТР и в Сибири [1, 22, 23, 25].

Заключение

По данным спутникового мониторинга (MODIS/Terra) получено осредненное пространственное распределение АОТ на длине волны 550 нм на СКР и прилегающих территориях (25–45° с.ш., 105–125° в.д.) в период образования летнего смога с 6 по 20.06.2007 г. В смоге на СКР выявлены области с повышенной аэрозольной нагрузкой, обусловленные региональными источниками антропогенного аэрозоля вблизи Пекина и Шанхая и дымной мглой, образовавшейся при сжигании отходов сельскохозяйственного производства в центральных и южных провинциях Китая.

Обнаружено сходство оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в дымной мгле на СКР и на территории России. В обоих случаях определяющий вклад в АОТ вносит тонкодисперсная фракция дымового аэрозоля, а спектральные зависимости АОТ с удовлетворительной точностью аппроксимируются (в логарифмических координатах) выпуклыми параболой или полиномами четвертой степени.

По данным мониторинга на ст. Beijing в июне 2007 г. проанализированы вариации оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в летнем смоге на СКР. В частности, показано, что в летнем смоге на СКР альbedo однократного рассеяния в среднем существенно меньше (0,91), чем в дымной мгле на территории России (0,95–0,96).

Получены оценки аэрозольного радиационного форсинга в летнем смоге на СКР. Эффективность АРФ на верхней границе атмосферы в летнем смоге на СКР оказалась примерно на 30% меньше, а на нижней границе атмосферы – на 30% больше, чем в дымной мгле на территории России. Различия в радиационных режимах атмосферы в смоге на СКР и дымной мгле на территории России объясняются большей поглощательной способностью (и меньшими значениями АОР) в смоге по сравнению с дымной мглой.

Авторы благодарят Г.С. Голицына за внимание к работе.

1. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Sviridenkov M.A., Semutnikova E.G., Emilenko A.S., Isakov A.A., Kopeikin V.M., Karпов A.V., Gorchakova I.A., Verichev K.S., Kurbatov G.A., Ponomareva T.Ya. Satellite and ground-based monitoring of smoke in the atmosphere during the summer wildfires in European Russia in 2010 and Siberia in 2012 // *Int. J. Remote Sens.* 2014. V. 35, N 15. P. 5698–5721.
2. Голицын Г.С., Горчаков Г.И., Гречко Е.И., Семутникова Е.Г., Ракитин В.С., Фокеева Е.В., Карпов А.В., Курбатов Г.А., Байкова Е.С., Сафрыгина Т.П. Экстремальное загрязнение угарным газом пограничного слоя атмосферы в Московском регионе летом 2010 г. // *Докл. РАН.* 2011. Т. 441, № 4. С. 532–538.
3. Бондур В.Г., Гинзбург А.С. Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга // *Докл. РАН.* 2016. Т. 466, № 4. С. 473–477.
4. Бондур В.Г. Космический мониторинг эмиссий малых газовых компонент и аэрозолей при природных пожарах в России // *Исслед. Земли из космоса.* 2015. № 6. С. 21–25.
5. Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Скороход А.И., Шумский Р.А. Газовые примеси в атмосфере над Москвой летом 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2011. Т. 47, № 6. С. 729–738.
6. Мохов И.И., Горчакова И.А. Радиационный и температурный эффекты летних пожаров 2002 г. в Московском регионе // *Докл. РАН.* 2005. Т. 400, № 4. С. 528–531.
7. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д. Исследование дисперсного состава аэрозоля в периоды весенней дымки и лесных пожаров // *Оптика атмосф. и океана.* 2011. Т. 24, № 6. С. 468–477.
8. Складнева Т.К., Ивлев Г.А., Белан Б.Д., Аршинов М.Ю., Симоненков Д.В. Радиационный режим г. Томска в условиях дымной мглы // *Оптика атмосф. и океана.* 2015. Т. 28, № 3. С. 215–222.
9. Панченко М.В., Журавлева Т.Б., Козлов В.С., Насртдинов И.М., Полкин В.В., Терпугова С.А., Чернов Д.Г. Оценка радиационных эффектов аэрозоля в фоновых и задымленных условиях атмосферы Сибири на основе эмпирических данных // *Метеорол. и гидрол.* 2016. № 2. С. 45–54.
10. Van Donkelaar A., Martin R.V., Levy R.C., da Silva M.A., Krzyzanowski M., Chubarova N.E., Semutnikova E.G., Cohen A.J. Satellite-based estimates of ground-level fine particle matter during extreme events: A case study of the Moscow fires in 2010 // *Atmos. Environ.* 2011. V. 45. P. 6225–6232.
11. Горчакова И.А., Мохов И.И. Радиационный и температурный эффекты дымового аэрозоля в Московском регионе в период летних пожаров 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2012. Т. 48, № 5. С. 558–565.
12. Горчакова И.А., Мохов И.И., Аникин П.П., Емиленко А.С. Радиационный и температурный эффекты длинноволнового поглощения дымового аэрозоля при пожарах в московском регионе летом 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2018. Т. 54, № 2. С. 175–183.
13. Chubarova N., Nezdal' Y., Sviridenkov M., Smirnov A., Slutsker I. Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // *Atmos. Meas. Tech. Discuss.* 2011. V. 5. P. 6351–6386.
14. Zhuravleva T.B., Kabanov D.M., Nasrtidinov I.M., Ruskoва T.V., Sakerin S.M., Smirnov A., Holben B.N. Radiative characteristics of aerosol during extreme fire event over Siberia in summer 2012 // *Atmos. Meas. Tech.* 2017. V. 9. P. 179–198.

15. Kozlov V.S., Yausheva E.P., Terpigova S.A., Panchenko M.V., Chernov D.G., Shmargunov V.P. Optical-microphysical properties of smoke haze from Siberian forest fires in summer 2012 // *Int. J. Remote Sens.* 2014. V. 35, N 15. P. 5722–5741.
16. Козлов В.С., Панченко М.В., Полькин В.В., Пхалазов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н., Яушева Е.П. Исследование особенностей динамики оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в дымной мгле // *Оптика атмосфер. и океана* 1999. Т. 12, № 5. С. 406–410.
17. Поповичева О.Б., Козлов В.С., Рахимов Р.Ф., Шмargунов В.П., Киреева Е.Д., Персианцева Н.М., Тимофеев М.А., Engling G., Eleftheriadis K., Diapouli L., Панченко М.В., Zimmermann R., Schnelle-Kreis J. Опτικο-микрофизические и физико-химические характеристики дымов горения сибирских биомасс: эксперименты в аэрозольной камере // *Оптика атмосфер. и океана*. 2016. Т. 29, № 4. С. 323–331; Popovicheva O.B., Kozlov V.S., Rakhimov R.F., Shmargunov V.P., Kireeva E.D., Persiantseva N.M., Timofeev M.A., Engling G., Eleftheriadis K., Diapouli E., Panchenko M.V., Zimmermann R., Schnelle-Kreis J. Optical-microphysical and physical-chemical characteristics of Siberian biomass burning: Experiments in Aerosol Chamber // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 6. P. 492–500.
18. Ситнов С.А. Оптическая толщина аэрозоля и общее содержание оксида углерода над европейской территорией России в период массовых пожаров лета 2010 г.: взаимосвязь изменчивости загрязнений и метеорологических величин // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 774–789.
19. Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н. Аномальные пожары 2010 и 2012 гг. на территории России и поступление черного углерода в Арктику // *Оптика атмосфер. и океана*. 2016. Т. 29, № 6. С. 482–487; Vinogradova A.A., Smirnov N.S., Korotkov V.N. Anomalous wildfires in 2010 and 2012 on the territory of Russia and supply of black carbon to the Arctic // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 6. P. 545–550.
20. Виноградова А.А., Туткова Т.Б., Иванова Ю.А. Эпизоды аномально высокой концентрации черного углерода в приземном воздухе в районе станции Тикси, Якутия // *Оптика атмосфер. и океана*. 2018. Т. 31, № 10. С. 837–844; Vinogradova A.A., Titkova T.B., Ivanova Yu.A. Episodes with Anomalously High Black Carbon Concentration in Surface Air in the Region of Tiksi Station, Yakutiya // *Atmos. Ocean. Opt.* 2019. V. 32, N 1. P. 94–102.
21. Gorchakov G., Semoutnikova E., Karov A., Lezina E. Air Pollution in Moscow Megacity // *Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*. Rijeka: Intech, 2011. P. 211–236.
22. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы московского региона // *Докл. РАН*. 2003. Т. 390, № 2. С. 251–254.
23. Горчаков Г.И., Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Пономарева Т.Я., Семутникова Е.Г., Свириденков М.А., Шукуров К.А. Исследование состава задымленной атмосферы Москвы во время пожаров торфяников летом–осенью 2002 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана*. 2004. Т. 40, № 3. С. 370–384.
24. Горчаков Г.И., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Чубарова Н.Е., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Лезина Е.А., Задорожная О.С. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля задымленной атмосферы московского региона в 2010 году // *Докл. РАН*. 2011. Т. 437, № 5. С. 686–690.
25. Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Karov A.V., Kopeikin V.M., Gorchakova I.A., Isakov A.A., Guschin R.A., Datsenko O.I., Ponomareva T.Ya. Siberian smoke haze over Europe in July 2016 // *Proc. SPIE*. 2018. V. 10833.
26. Горчаков Г.И., Васильев А.В., Веричев К.С., Семутникова Е.Г., Карпов А.В. Тонкодисперсный коричневый углерод в задымленной атмосфере // *Докл. РАН*. 2016. Т. 471, № 1. С. 91–97.
27. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Панкратова Н.В., Семутникова Е.Г., Васильев А.В., Горчакова И.А. Коричневый и черный углерод в задымленной атмосфере при пожарах в boreальных лесах // *Исслед. Земли из космоса*. 2017. № 3. С. 11–21.
28. Feng Y., Ramanathan V., Katamarthi V.R. Brown carbon: A significant atmospheric absorber of solar radiation? // *Atmos. Chem. Phys.* 2013. V. 13. P. 8607–8621.
29. Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И. Связь задымления атмосферы европейской территории России летом 2016 года с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // *Докл. РАН*. 2017. Т. 472, № 4. С. 456–461.
30. Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И., Джола А.В. Дымная мгла на европейской части России летом 2016 г.: связь с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // *Метеорол. и гидрол.* 2017. № 8. С. 50–63.
31. Семутникова Е.Г., Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Копейкин В.М., Карпов А.В., Горчакова И.А., Пономарева Т.Я., Исаков А.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И., Курбатов Г.А., Кузнецов Г.А. Сибирская дымная мгла над европейской территорией России в июле 2016 г. Загрязнение атмосферы и радиационные эффекты // *Оптика атмосфер. и океана*. 2017. Т. 30, № 11. С. 962–970; Semoutnikova E.G., Gorchakov G.I., Sitnov S.A., Kopeikin V.M., Karov A.V., Gorchakova I.A., Ponomareva T.Ya., Isakov A.A., Gushchin R.A., Datsenko O.I., Kurbatov G.A., Kuznetsov G.A. Siberian smoke haze over European Territory of Russia in July 2016: Atmospheric pollution and radiative effects // *Atmos. Ocean. Opt.* 2018. V. 31, N 2. P. 171–180.
32. Горчаков Г.И., Ситнов С.А., Семутникова Е.Г., Копейкин В.М., Карпов А.В., Горчакова И.А., Панкратова Н.В., Пономарева Т.Я., Кузнецов Г.А., Лоскутова О.В., Козлоцева Е.А., Родина К.В. Крупномасштабное задымление европейской территории России и Белоруссии в июле 2016 г. // *Исслед. Земли из космоса*. 2018. № 1. С. 27–42.
33. Горчаков Г.И., Голицын Г.С., Ситнов С.А., Карпов А.В., Горчакова И.А., Гуцин Р.А., Даценко О.И. Крупномасштабные дымки Евразии в июле 2016 г. // *Докл. РАН*. 2018. Т. 482, № 2. С. 211–214.
34. Горчаков Г.И., Карпов А.В., Васильев А.В., Горчакова И.А. Коричневый и черный углерод в смогах мегаполисов // *Оптика атмосфер. и океана*. 2017. Т. 30, № 1. С. 5–11; Gorchakov G.I., Karov A.V., Vasilev A.V., Gorchakova I.A. Brown and black carbons in megacity smogs // *Atmos. Ocean. Opt.* 2017. V. 30, N 3. P. 248–254.
35. Levy R.C., Remer L.A., Mattoo S., Vermote E.F., Kaufman Y.J. Second-generation operational algorithm: Retrieval of aerosol properties over land from inversion of moderate resolution imaging spectroradiometer spectral reflectance // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. P. D13211.

36. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakajima N., Lavenu F., Jankowiak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66. P. 1–16.
37. Xue Y., Xu H., Guang J., Mei L., Guo J., Li C., Mikusauskas R., He X. Observation of an agricultural biomass burning in central and east China using merged aerosol optical depth data from multiple satellite missions // Int. J. Remote Sens. 2014. V. 35, N 16. P. 5971–5983.

G.I. Gorchakov, A.V. Karpov, I.A. Gorchakova, R.A. Gushchin, O.I. Datsenko. **Smog and smoke haze over Northern China Plain in June 2007.**

Aerosol optical depth (AOD) spatial distribution for wavelength 550 nm over Northern China Plain (NCP) and adjacent areas for the smog in summer 2007 has derived on satellite monitoring (MODIS/Terra) data. Increased AOD areas determined by anthropogenic air pollution regional sources in the neighbor of Beijing and Shanghai are revealed. Substantial increasing AOD on the south-west NCP was produced by the smoke haze which arose of an agricultural biomass burning. Optical and microphysical characteristic similarity of the aerosol in smoke haze over NCP and in smoke haze in Russia is revealed: (1) dominant contribution in the optical characteristics of the smoke aerosol gives a fine mode; (2) extinction spectra at wavelength 340–1020 nm are approximated (in logarithmic coordinates) by parabola or polynomial functions with four power. According to the monitoring data at AERONET station Beijing single scattering albedo in the summer smog over NCP (0.91) in average is less than in the smoke haze over Russia (0.95–0.96). It is shown that radiative regimes of the atmosphere are distinct substantially in the summer smog over NCP and in the smoke haze over Russia: aerosol radiative forcing efficiency on the top of the atmosphere in the smog is less approximately by 30 percent and on the bottom of the atmosphere is more by 30 percent that in the smoke haze.