

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СПЕКТРАЛЬНОЙ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИНЫ

Б.Б.Чен – докт. физ.-мат. наук, профессор,

Л.Г.Свердлик – канд. физ.-мат. наук

Проведено сопоставление измерений спектральной аэрозольной оптической толщины с помощью солнечных фотометров на трех высокогорных пунктах Центрального Тянь-Шаня. Выявлено, что пространственная изменчивость оптических свойств аэрозоля в горах обусловлена различиями уровней аэрозольной нагрузки и относительного вклада частиц грубой и тонкой фракций.

Ключевые слова: спектральная аэрозольная оптическая толщина; параметр Ангстрема; солнечный фотометр; корреляция; крупнодисперсный пылевой аэрозоль; тонкодисперсный сульфатный аэрозоль.

Изменчивость физических и оптических свойств аэрозоля в пространстве и времени, как известно, определяется множеством физических процессов, происходящих в атмосфере. Что касается атмосферы над горной местностью, то количество факторов, влияющих на свойства аэрозоля, становится еще больше. Прежде всего, это орография, обуславливающая значительные контрасты температурного градиента, под влиянием которых возникают динамические процессы местного характера. За счет этих процессов наблюдается расслоение содержания аэрозоля, прежде всего, из-за значительной турбулентности приземного слоя атмосферы. Вместе с влиянием процессов крупномасштабного переноса аэрозольных загрязнений все это приводит к тому, что прозрачность атмосферы может быстро и в значительных пределах меняться.

Целью данной статьи является сопоставление данных измерений спектральной аэрозольной оптической толщины (АОТ) с помощью солнечных фотометров на трех высокогорных пунктах Центрального Тянь-Шаня, расположенных на расстоянии 100–400 км один от другого.

На основе результатов фотометрических измерений за 5 месяцев 2008 г. проведен статистический анализ спектральной АОТ, включающий:

- сопоставление данных и выявление корреляции между значениями АОТ и параметра Ангстрема;
- анализ изменчивости спектральных значений АОТ и характеристика свойства аэрозоля;
- анализ пространственно-временной изменчивости АОТ и параметра Ангстрема.

Краткое описание участков проведения измерений

На рис. 1 приведена карта Киргизии, на которой показано расположение трех экспериментальных пунктов контроля параметров атмосферы: *Bishkek_Site*, *Lidar_Site* и *Issyk-Kul*.

Пункт *Bishkek_Site* (*BS*) находится на северном склоне Киргизского хребта в 30 км к югу от г. Бишкек на территории Научной станции Российской Академии Наук (НС РАН), *Lidar_Site* (*LS*) – это собственно сама Лидарная станция Теплоключенка КРСУ в 20 км от г. Каракол в юго-восточной части озера Иссык-Куль. Оба пункта относятся к категории высокогорных и расположены, соответственно, на высоте 2050 и 1750 м. Измерения аэрозольной оптической толщины на пяти длинах волн (340, 380, 500, 675 и 870 нм) регулярно выполнялись с помощью переносных солнечных фотометров MICROTOPS



Рис. 1. Расположение экспериментальных пунктов измерений на карте Киргизии.

Таблица 1

Тип используемых приборов и координаты экспериментальных пунктов

Пункты	Тип прибора	Широта	Долгота	Высота, м над ур. моря
Bishkek Site	Microtops II Sunphotometer	N 42,683	E 74,694	1750
Lidar Site	Microtops II Sunphotometer	N 42,467	E 78,533	2050
Issyk-Kul	Sun/sky photometer CIMEL CE 318-2	N 42,623	E 76,983	1650

II Sunphotometer. Перед началом измерений был проведен специальный эксперимент, заключающийся в проверке идентичности работы приборов MICROTOPS II. Сравнение показало, что разброс результатов находится в пределах типичной погрешности приборов (менее 0.02).

Станция Issyk-Kul (ИК) расположена в северной части озера Иссык-Куль. Измерения аэрозольной оптической толщины проводили с использованием Microtops II с 2000 г. и затем были продолжены с помощью солнечного фотометра CIMEL. Станция проводит измерения в рамках сети AERONET (<http://croc.gsfc.nasa.gov/aeronet/>).

Координаты станций, высота их расположения над уровнем моря и тип используемых

приборов (солнечных фотометров) приведены в табл. 1.

Сопоставление данных измерений спектральной АОТ

Общая характеристика данных измерения АОТ. При сопоставлении данных и их анализе были использованы результаты измерений АОТ в период с 25 апреля 2008 г. (начало измерений на участках BS и LS) по 27 сентября 2008 (дата отправки фотометра CIMEL на калибровку). Предварительно была проведена подготовка исходных массивов данных, в том числе исключены измерения, которые могут исказить результаты сравнения. К данным стан-

Количество измерительных дней (n), средние значения AOT_{500} и $A_{380/870}$, модальные значения частотного распределения AOT_{500M} и $A_{380/870M}$.

Пункт	n	AOT_{500}	$A_{380/870}$	AOT_M	$A_{380/870M}$
Bishkek	134	0.21 ± 0.09	0.67 ± 0.24	0.20-0.24	0.6-0.8
Lidar	120	0.20 ± 0.10	0.39 ± 0.29	0.16-0.20	0.4-0.8
Issyk-Kul	132	0.15 ± 0.11	1.24 ± 0.61	0.04-0.08	1.0-1.2

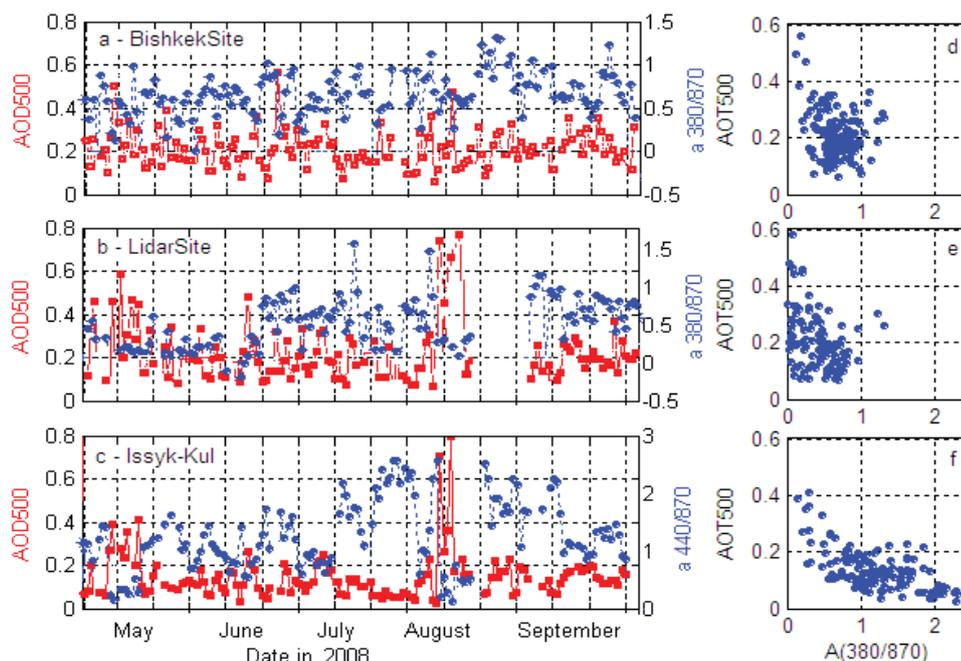


Рис.2. Изменчивость средних суточных значений AOT ($\lambda=500$ нм) на BS, LS и ИК (a, b, c) и соответствующие зависимости AOT_{500} от $A_{380/870}$ (d, e, f).

ции Issyk-Kul была применена стандартная процедура очистки от облаков по уровню 1.5 сети AERONET (Level 1.5 AOT). Для Bishkek_Site и Lidar_Site рассматривались только результаты измерений с $AOT < 0.6$, что также позволило исключить большую часть данных, полученных в условиях облачности. Сформированные таким образом временные ряды спектральных значений AOT на каждом пункте послужили основой для сопоставления показаний солнечных фотометров. Зависимость AOT от длины волны была характеризована средними ежедневными значениями AOT на $\lambda=500$ нм (AOT_{500}) и параметром Ангстрема A, вычисленным на парах длин волн 380 и 870 нм ($A_{380/870}$) для фотометров Microtops II и на длинах волн 440 и 870 нм ($A_{440/870}$) для CIMEL. Результаты измерения AOT_{500} и расчета параметра A показаны на рис. 2 (a, b, c). В общей сложности за рассматриваемый

период на BS, LS и ИК были получены данные за 134, 120 и 132 дня со средними значениями AOT_{500} и $A_{380/870}$ 0.21 ± 0.09 , 0.20 ± 0.10 , 0.15 ± 0.11 и 0.67 ± 0.24 , 0.39 ± 0.29 , 1.24 ± 0.61 , соответственно (табл. 2).

Видно, что изменчивость AOT на длине волны 500 нм была ограничена достаточно умеренными пределами (0.05-0.30). В то же время поведение спектральной аэрозольной оптической толщины имеет существенные различия. Наглядной иллюстрацией различий оптических свойств и преобладающих размеров частиц атмосферного аэрозоля являются зависимости AOT_{500} от $A_{380/870}$ (рис. 2 d, e, f), позволяющие наиболее типичные состояния атмосферы охарактеризовать присутствием смешанного типа аэрозоля, состоящего из крупнодисперсных (пылевых) и тонкодисперсных (сульфатных) частиц.

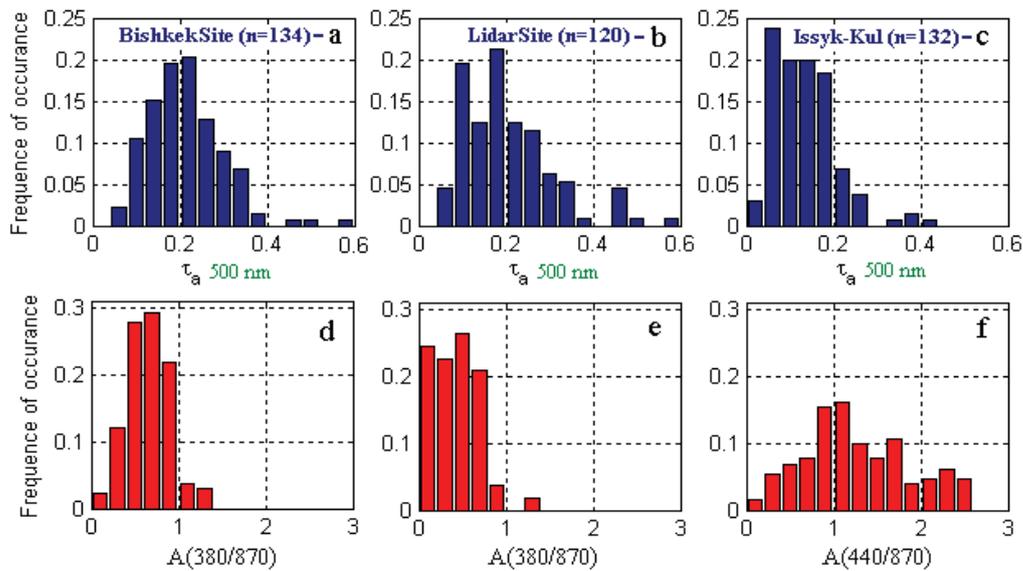


Рис. 3. Гистограммы повторяемости значений AOT_{500} (a, b, c) и параметра Ангстрема (d, e, f) на Bishkek_Site, Lidar_Site и Issyk-Kul, май-сентябрь 2008 г.

Пункты расположены в регионе, через который происходит дальний перенос пылевого аэрозоля, что в той или иной мере отражается на результатах измерений. Преимущественно весной, но также эпизодически летом и осенью наблюдались случаи выноса пыли из пустынь Сахара, Такла-Макан, а также Аральского бассейна. Практически во всех этих случаях параметр $A_{380/870}$ уменьшается (до 0.5 и менее) с увеличением значений AOT_{500} , что указывает на доминирующее влияние крупных частиц пыли, которые вносят основной вклад в оптическую толщину. В целом, средние значения AOT выше на Bishkek_Site и наименьшие на станции Issyk-Kul.

Частотное распределение AOT_{500} и $A_{380/870}$ ($A_{440/870}$)

Построенные для всего набора данных гистограммы частотного распределения AOT_{500} и параметра $A_{380/870}$ с интервалами, составляющими $\Delta AOT = 0.04$ и $\Delta A = 0.2$, представлены на рис. 3. Рассматривая все усредненные за день данные, можно видеть, что на всех трех пунктах преобладали относительно небольшие значения оптических толщин: среднесуточные величины $0.04 < AOT < 0.3$ составляли порядка 80–90% всех измерений в рассматриваемый период. Частота случаев вне этого диапазона изменения затухает с увеличением (уменьшением) значений AOT_{500} . Повторяемость случаев с высокой аэрозольной нагрузкой атмосферы ($AOT > 0.48$), как и изме-

рений в наиболее чистых условиях ($AOT < 0.04$) составляла не более 3–4%.

Вид диаграммы повторяемости значений AOT_{500} (рис.3 a, b, c) соответствует нормальному распределению случайной величины на BS с модальным значением $AOT_{500M} = 0.20-0.24$ и является двухмодальным на LS ($AOT_{500M} = 0.08-0.12$ и $AOT_{500M} = 0.16-0.20$). На IK частотное распределение достигает максимума при $AOT_{500M} = 0.04-0.08$, что является типичным для измерения в фоновых условиях. Положения основных максимумов AOT_{500} на всех трех пунктах не совпадают, однако распределения AOT на участках BS и LS достаточно близки.

Частотные распределения параметра Ангстрема (рис.3 d, e, f) на каждом из пунктов имеют определенные особенности. Так, на BS и LS распределение параметра $A_{380/870}$ является более узким с модальными значениями $A_{380/870M} = 0.6-0.8$ и $A_{380/870M} = 0.4-0.6$ и имеет существенно более размытую форму с модальным значением $A_{440/870M} = 1.0-1.2$ на IK. На LS доминировали состояния атмосферы, характеризующиеся значениями параметра $A_{380/870} < 0.6$, означающими факт присутствия грубодисперсного, вероятно, пылевого или хорошо смешанного аэрозоля. Такие дни измерения составляли подавляющее большинство случаев ~75%. В противоположность этому, на IK достаточно высокую повторяемость (порядка 35%) имели чистые атмосферные усло-

вия с низкими значениями АОТ и параметрами $A_{440/870} > 1.5$.

Корреляционный анализ результатов измерения АОТ

Сопоставление результатов измерения свойств атмосферного аэрозоля выполнялось на основе корреляционного анализа с количественной оценкой взаимосвязи значений аэрозольной оптической толщины на длинах волн 380, 500, 675 и 870 нм и двух параметров Ангстрема ($A_{380/675}$ и $A_{675/870}$), соответствующих бимодальному спектру распределения частиц по размерам. Использовались результаты измерения АОТ, полученные на *Issyk-Kul*, с данными *Lidar_Site* и *Bishkek_Site*. Естественно, что из всего объема данных для сравнения были использованы только результаты совпадающих по времени измерений АОТ. В итоге количество пар данных содержит 86 и 84 измерений, соответственно. На рис. 4 представлены графически результаты сопоставления среднесуточных значений аэрозольной оптической толщины (380, 500, 675 и 870 нм) по данным измерений на *Lidar_Site* и *Issyk-Kul*, а также линейные зависимости $y=x$ (или 1:1).

Эмпирические коэффициенты корреляции (r_{xy}) и уравнения линий регрессии, представленные на графиках, были рассчитаны в соответствии с известным выражением:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}) \times (y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \times \sum_{k=1}^n (y_k - \bar{y})^2}}$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$ и $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_k$ – средние арифметические значения.

На рис. 4 видно, что наблюдается высокая корреляционная связь между данными солнечных фотометров Microtops II и CIMEL на *Lidar_Site* на всех длинах волн. Наблюдается незначительный разброс коэффициентов корреляции – от $r_{xy} = 0.70$ на длине волны 870 нм до $r_{xy} = 0.76$ на 380 нм. С увеличением значений АОТ, особенно более 0.2, различия быстро растут, что означает ухудшение согласия между данными при увеличении аэрозольной нагрузки атмосферы. Очевидно, что еще более высокую корреляцию данных могут обеспечить результаты оптических измерений в условиях фоновых или близких к ним состояний атмосферы ($AOT < 0.2$).

Наклоны линейных регрессий на всех длинах волн достаточно близки и составляют ~0.5, указывая на практически постоянное смеще-

ние между массивами зарегистрированных на участках спектральных данных. Различие между показаниями солнечных фотометров определялось как $(AOT_{Microtops} - AOT_{CIMEL}) / AOT_{CIMEL}$ (%). В среднем значения АОТ, измеренные Microtops II, почти на 50% выше соответствующих величин, полученных CIMEL. Очень значимые различия, связанные с недооценкой AOD_{CIMEL} , отражают локальное загрязнение атмосферы на участках и, вероятно, вызваны пространственной изменчивостью распределения атмосферного аэрозоля в регионе.

Выявлена слабая линейная корреляция между показателями Ангстрема, вычисленными для пары длин волн 380 нм и 675 нм ($r_{xy} = 0.52$) и отсутствие корреляции ($r_{xy} = 0.20$) для 675 и 870 нм (рис. 5). Причина отсутствия корреляции состоит, главным образом, в том, что в отличие от данных *Issyk-Kul* на *Lidar_Site* оптическая толщина на длине волны 870 нм по величине, обычно, больше, чем на 675 нм, объясняя, таким образом, очень низкие или отрицательные значения $A_{675/870}$ в этой спектральной области (рис. 5b). Уклон линии регрессии $A_{380/675}$ составляет около 1.0, что несопоставимо выше по отношению к $A_{675/870}$ (~0.5).

Таким образом, пространственно распределенные и спектрально разрешенные измерения АОТ показывают значительно более высокую изменчивость в области длинных волн. Соответственно, основной причиной отличия полученных результатов является изменчивость и неравномерность пространственного распределения фракции крупнодисперсного аэрозоля.

Также были проведены сопоставления среднесуточных значений аэрозольной оптической толщины, полученных на *Issyk-Kul*, с данными измерений на *Bishkek_Site*. Уравнения линейной регрессии для АОТ₅₀₀ и параметра Ангстрема $A_{380/675}$ показаны на рис. 6. Разброс значений относительно регрессионной линии при сравнении этих данных оказался, как и предполагалось, выше (коэффициенты корреляции r_{xy} от 0.49 на длине волны 870 нм до 0.54 в коротковолновом диапазоне).

Коэффициенты корреляции (r_{xy}) и параметры линейных уравнений $y=ax+b$ для сравниваемых массивов данных спектральной оптической толщины АОТ и показателей Ангстрема сведены в табл. 3 и 4, соответственно.

Пространственно-временная изменчивость спектральной АОТ и характеристика свойства аэрозоля

Проведенное сопоставление спектральной АОТ по измерениям с помощью солнечных

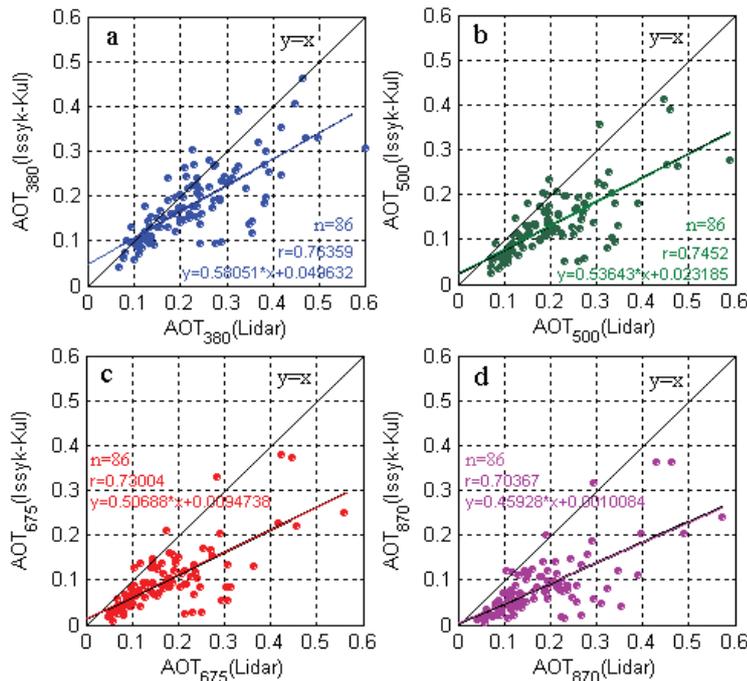


Рис. 4. Сопоставление результатов измерения AOT на длинах волн 380, 500, 675 и 870 нм на Issyk-Kul и LidarSite. Май-сентябрь 2008 г.

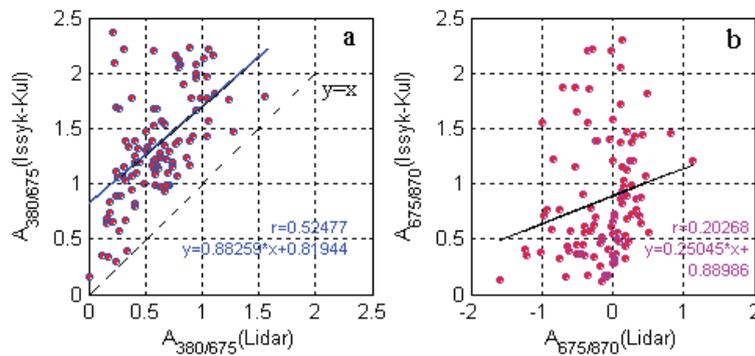


Рис. 5. Сопоставление результатов вычисления параметров $A_{380/675}$ и $A_{675/870}$ для данных Issyk-Kul и LidarSite. Май-сентябрь 2008 г.

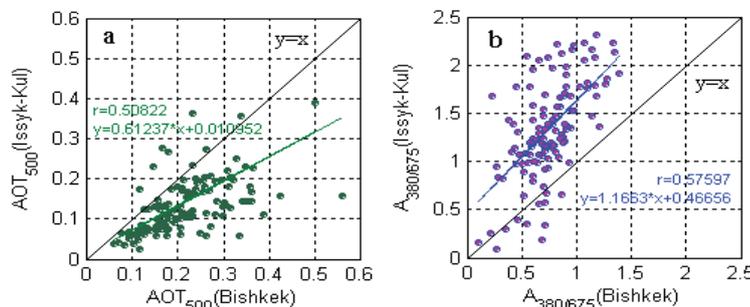


Рис. 6. Сопоставление результатов измерения AOT₅₀₀ (a) и расчета параметра $A_{380/675}$ (b) для Issyk-Kul и Bishkek_Site. Май-сентябрь 2008 г.

Таблица 3

Параметры линейных уравнений ($y=ax+b$, где $y - AOT_{CIMEL}$ и $x - AOT_{Microtops}$) и соответствующие коэффициенты корреляции (r_{xy}).

Параметр	$AOT_{ISSYKKUL}$ vs. AOT_{LIDAR}				$AOT_{ISSYKKUL}$ vs. $AOT_{BISHKEK}$			
	380 nm	500 nm	675 nm	870 nm	380 nm	500 nm	675 nm	870 nm
r_{xy}	0.764	0.745	0.730	0.704	0.542	0.508	0.499	0.486
a	0.581	0.536	0.507	0.459	0.597	0.612	0.646	0.643
b	0.050	0.023	0.009	0.001	0.042	0.011	0.006	0.010

Таблица 4

Параметры линейных уравнений ($y=ax+b$, где $y - A_{CIMEL}$ и $x - A_{Microtops}$) и соответствующие коэффициенты корреляции (r_{xy}).

Параметр	$A_{ISSYKKUL}$ vs. A_{LIDAR}		$A_{ISSYKKUL}$ vs. $A_{BISHKEK}$	
	380/675 nm 500 nm	675/870 nm 870 nm	380/675 nm 500 nm	675/870 nm 870 nm
r_{xy}	0.525	0.203	0.576	-0.055
a	0.883	0.250	1.166	0.090
b	0.819	0.890	0.467	0.910

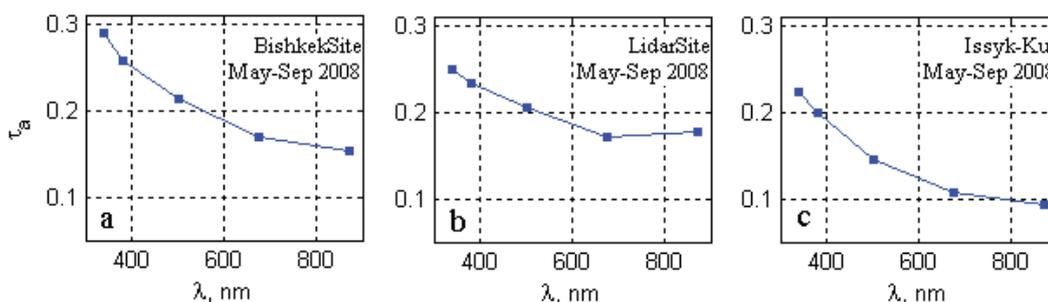


Рис. 7. Средние спектральные зависимости АОТ на трех пунктах контроля. Май-сентябрь 2008 г.

фотометров свидетельствует о значительной пространственной изменчивости оптических свойств аэрозоля. Усредненные за весь период (с мая по сентябрь 2008 г.) спектральные зависимости АОТ на трех пунктах контроля показаны на рис. 7.

Выявленные различия полученной спектральной информации, трансформированной в параметр Ангстрема, позволили провести идентификацию типов аэрозоля на каждом пункте контроля. Существует ограниченное число общих типов аэрозоля с отчетливо различающимися оптическими свойствами, которые связаны с различными источниками и механизмами эмиссии. Основные типы аэрозоля были классифицированы на основании значений AOT_{500} и $A_{380/870}$ следующим образом: сульфатный ($AOT_{500} > 0.15$ и $A_{380/870} > 1.2$), почвенно-эрозионный или пыле-

вой ($AOT_{500} > 0.15$ и $A_{380/870} < 0.5$) и смешанный ($AOT_{500} > 0.15$ и $0.5 < A_{380/870} < 1.2$) аэрозоль.

Что касается пункта **BS**, то он находится на прямом воздушном потоке переноса пылевого аэрозоля, поступающего с Ближневосточного и Аральского направления, а также сульфатного аэрозоля из Западной Европы (пересекающего территорию России и Казахстана). Средние за весь период значения $AOT_{500} = 0.21 \pm 0.09$ и $A_{380/870} = 0.67 \pm 0.24$ являются признаком доминирования смешанного типа аэрозоля, в котором над тонкодисперсным (сульфатным) аэрозолем чаще преобладает фракция крупных частиц пыли, прибывающих из пустыни Сахара и бассейна Аральского моря. На протяжении всего периода проведения оптических измерений случаев с явным преобладанием в атмосфере частиц тонкодисперсной моды не наблюдалось. В до-

полнение к отмеченным источникам, пункт *BS* испытывает определенное влияние городского аэрозольного загрязнения, по большей части выбросов автомобильного транспорта и тепловой станции города Бишкек. Однако этот фактор проявляется, обычно, после полудня или даже ближе к 15.00–16.00 (LT) и поэтому не в полной мере сказывается при вычислении среднесуточных значений АОТ.

На пункте *LS* доминируют крупнодисперсные частицы (средние значения $AOT_{500} = 0.20 \pm 0.10$, $A_{380/870} = 0.39 \pm 0.29$). Отличительная особенность полученных данных спектральной зависимости АОТ на *LS* часто проявляется в более высоких значениях АОТ на длине волны 870 нм по отношению к $\lambda=675$ нм. Это определяется высоким относительным вкладом грубодисперсных частиц и объясняет низкие и отрицательные значения параметра $A_{675/870}$. Очевидно, пункт *LS* в значительной степени подвержен влиянию эмиссии пылевого аэрозоля из пустыни Такла-Макан и в гораздо меньшей степени это влияние проявляется на *IK* и еще менее на *BS*. Показательным примером для данного утверждения может служить мощный вынос пылевого аэрозоля, зарегистрированный 06–10 августа 2008 г. (рис. 2 а, б, в). Другими факторами, определяющими существенно пониженное среднее значение $A_{380/870}$ на *LS*, является, вероятно, обилие влаги, как результат переноса испарения с поверхности озера в восточную его часть и следующее за этим влияние относительной влажности (гигроскопического роста частиц) на аэрозольную оптическую толщину в диапазоне длинных волн (0.675–0.870 μm). Как и воздействие локальных источников грубодисперсной моды биогенного аэрозоля (пыльца, споры растений и деревьев), расположенных вблизи пункта.

На станции *IK* зарегистрированы наименьшие уровни АОТ (0.15 ± 0.11), более высокий уклон спектральной зависимости АОТ и высокая дисперсия значений $A_{440/870}$ в пределах от ~ 0.2 до ~ 2.4 при среднем значении 1.24 ± 0.61 . Это соответствует более низкому общему содержанию аэрозоля в атмосфере и особенно моды крупнодисперсных частиц. Для почти 35% измерений на *IK* значение параметра $A_{440/870} > 1.5$ при невысоких значениях оптических толщин ($AOT_{500} < 0.15$), что свидетельствует о значительном преобладании в распределении по размерам частиц аккумуляционной фракции ($r < 1 \mu\text{m}$) и характерно для фоновое аэрозоля в условиях сельской местности. Участок расположен в окружении гор, препятствующих переносу загрязненного

воздуха из Чуйской долины и соседнего Казахстана. Более значительная (по сравнению с *LS*) удаленность станции и наветренное расположение по отношению к ближайшему мощному источнику грубых минеральных частиц (пустыня Такла-Макан) объясняет подобную изменчивость оптических характеристик.

В статье проанализированы данные спектральных измерений аэрозольной оптической толщины (АОТ) и рассчитанные по ним параметры Ангстрема (*A*), которые были получены с мая по сентябрь 2008 г. на трех высокогорных экспериментальных пунктах Центрального Тянь-Шаня. Результаты анализа подтверждают пространственную изменчивость оптических свойств аэрозоля, проявляющуюся в различиях уровней аэрозольной нагрузки и относительного вклада частиц грубой и тонкой фракций между пунктами.

Статистический анализ показал достаточно высокую корреляционную связь между массивами данных измерений с помощью солнечных фотометров Microtops II на участке *Lidar Site* и CIMEL на всех длинах волн. Полученные данные имеют незначительный разброс коэффициентов корреляции – от $r_{xy} = 0.70$ на длине волны 870 нм до $r_{xy} = 0.76$ на 380 нм.

На участке *Bishkek Site* коэффициенты корреляции r_{xy} несколько ниже и изменялись от 0.49 на длине волны 870 нм до 0.54 в коротковолновом диапазоне. Выявлена слабая линейная корреляция между показателями Ангстрема для пары длин волн 380 нм и 675 нм ($r_{xy} = 0.52$) и отсутствие корреляции ($r_{xy} = 0.20$) для пары 675 и 870 нм.

Следовательно, основной причиной отличия полученных результатов является изменчивость (или неравномерность пространственного распределения) фракции крупнодисперсного аэрозоля. В то время как частицы тонкой моды вызывают если не идентичные, то, во всяком случае, коррелированные изменения на всех трех пунктах, что проявляется в коротковолновом диапазоне длин волн (380–675 нм).

Необходимо отметить, что измерения АОТ проводились двумя различными инструментами (CIMEL и Microtops II). Солнечные фотометры Microtops II были новыми, хорошо калиброванными и, согласно заявленному производителем характеристикам, имели точность измерения АОТ, сопоставимую с солнечным фотометром CIMEL, используемым в сети AERONET. Погрешность составляла от 0.01 до 0.02, поэтому с этой точки зрения были все основания доверять

полученным данным. Однако необходимо признать, что частично различия полученных результатов все же связаны с аппаратурным фактором. Поскольку, с одной стороны, отличался режим проведения измерений, с другой, в приборах используются разные алгоритмы расчета АОТ. Более надежны, вероятно, были измерения фотометром CIMEL, поскольку прибор использовался непрерывно в течение дневного времени.

Кроме того, рассмотренный массив результатов измерений не является полностью представительными из-за относительно малого числа сравниваемых данных и представляется целесообразным продолжить исследования в данном направлении.

Наиболее общий вывод, который можно сделать, заключается в том, что полученные результаты измерения оптических параметров аэрозоля при сравнительном анализе адекватны большинству литературных данных и, вероятно, в достаточной мере отражают свойства реальной атмосферы. Особенности аэрозольного загрязнения воздушного бассейна в регионе обусловлены, прежде всего, местными циркуляционными механизмами и орографией местности.

В заключение авторы выражают благодарность канд. физ.-мат.наук Козлову П.В. за помощь при обработке результатов эксперимента.

Работа поддержана проектом Международного научно-технического центра (МНТЦ) #KR-1522.