

Сезонные изменения параметров атмосферы в г. Душанбе по данным AERONET

С.Ф. Абдуллаев, В.А. Маслов,
Б.И. Назаров*

*Физико-технический институт им. С.У. Умарова АН Республики Таджикистан
734063, г. Душанбе, Академгородок, ул. Айни, 299/1, Республика Таджикистан*

Поступила в редакцию 20.04.2014 г.

Рассмотрены результаты измерений аэрозольной оптической толщи атмосферы, влагосодержания и параметра Ангстрема, систематически проводившихся с 2010 по 2013 г. на станции AERONET в г. Душанбе. Проанализированы сезонные и годовые вариации этих величин. Изучены закономерности гистограмм повторяемости как статистических характеристик параметров атмосферы.

Ключевые слова: AERONET, оптическая толщина атмосферы, влагосодержание, параметр Ангстрема, пылевой аэрозоль, пыльная мгла, гистограмма повторяемости; AERONET, optical thickness of the atmosphere, moisture, Ångström parameter, dust aerosol, dust haze, repeatability histogram.

Введение

Исследования прозрачности атмосферы [1, 2] позволили выделить общие закономерности территориального распределения и долгопериодных колебаний аэрозольной оптической толщи (АОТ) τ атмосферы, характерные для территории СНГ. Сеть аэрозольных наблюдений AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) [3, 4] является одним из наиболее оперативных и информативных средств изучения атмосферы. Результаты исследований в широком диапазоне спектра описаны в работах [5–17]. Метод фотометрии прямого солнечного излучения, используемый в сети AERONET, – один из эффективных способов определения параметров атмосферы, включая влагосодержание и размеры аэрозольных частиц [3, 4, 18–21].

В настоящей статье анализируются особенности результатов измерений на станции AERONET в г. Душанбе с июля 2010 по декабрь 2013 г. Измерения осуществлялись в восточном пригороде, высота фотометра над уровнем моря ~ 822 м, над уровнем земли ~ 16 м. Погрешность определения АОТ атмосферы $\pm 0,01–0,02$. Из всех проведенных фотометром CE-318 серий измерений (с уточнением после повторной калибровки фотометра) 23 113 соответствовали уровню level 2.

Измерения позволили получить данные о сезонной и межгодовой изменчивости АОТ, влагосодержания и параметра Ангстрема α , которые представляют определенный интерес для изучения долгосрочных климатических изменений и анализа метеорологических данных. Их наличие последовательно за несколько лет дает возможность установить взаимосвязь между исследованными параметрами (АОТ, влагосодержание, параметр Ангстрема) и климатическими факторами. К сожалению, непрерывный ряд наблюдений несколько раз нарушался из-за необходимости ежегодной калибровки прибора, что приводит к появлению на графиках лагун в периоды, когда измерения не проводились.

Аэрозольная оптическая толщина

Для анализа измеряемых параметров использовались 6 длин волн фотометра CIMEL-318 ($\lambda = 340, 440, 500, 675, 870, 1020$ нм). На рис. 1, *a* приведены среднемесячные значения АОТ для трех различных длин волн за период 2010–2013 гг., характерной особенностью которых является сохранение положения максимумов и минимумов и одинаковый ход зависимости для всех длин волн.

Максимальные значения АОТ (см. рис. 1, *a*) за все годы наблюдений зафиксированы в июне–августе, что связано с частым приходом пыльной мглы в этот период из сопредельных государств.

Можно резюмировать, что сезонные изменения АОТ (см. рис. 1, *a*) обусловлены преимущественно

* Сабур Фузайлович Абдуллаев (sabur.f.abdullaev@gmail.com); Владимир Анатольевич Маслов (vamaslov@inbox.ru); Бахрон Исломович Назаров (systemavto@rambler.ru).

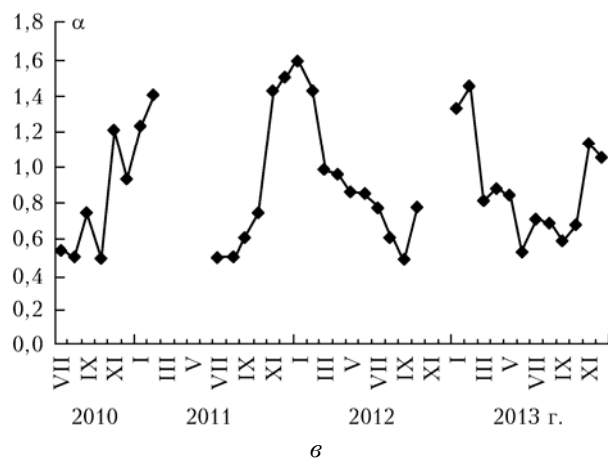
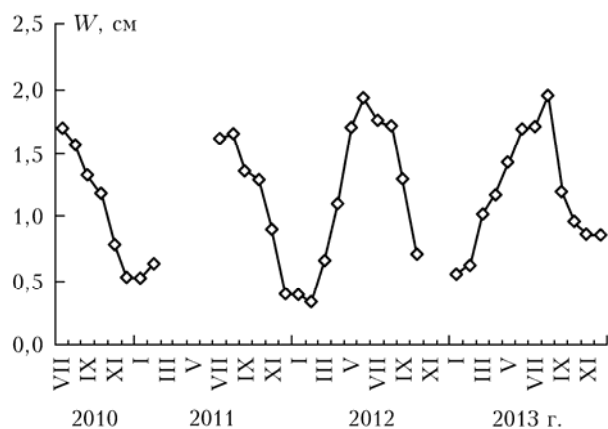
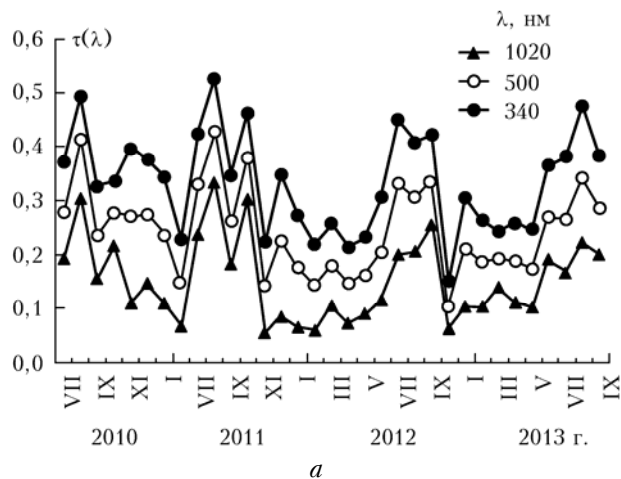


Рис. 1. Месячный ход АОТ в 2010–2013 гг. в Душанбе (а), среднесесячные значения содержания водяного пара W (б) и параметра Ангрстрема α (в)

состоянием атмосферы. Наиболее высокие значения τ характерны для летнего периода, когда часто наблюдаются пыльные бури или пыльная мгла. Осенью прозрачность атмосферы повышается, поскольку пыль чаще вымывается из атмосферы и менее интенсивно генерируется. Наименьшие значения АОТ регистрируются весной, когда достаточно много осадков и влажная почва не перегрета. Анализ графиков

показывает, что хотя в 2011 г. атмосфера была более загрязнена, ход изменения АОТ зимой и осенью во все годы одинаков.

Видимо, этими же изменениями погодных условий определяется и динамика среднегодовых значений АОТ (рис. 3). Более холодный 2012 г. с большим количеством осадков отмечен и меньшими значениями оптической толщи. Причина, вероятно, заключается в том, что в 2012 г., по метеорологическим данным, атмосфера была более прозрачной, чем в другие годы. Начиная с 2010 г. наблюдается уменьшение аэрозольной оптической толщи, год за годом атмосфера становится чище, АОТ достигает минимума в 2012 г., а в 2013 г. снова происходит ее незначительный рост (рис. 2, а).

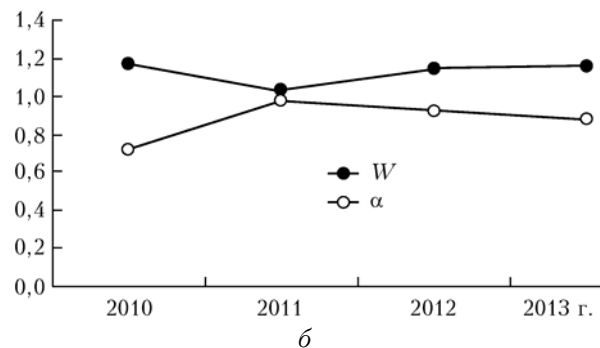
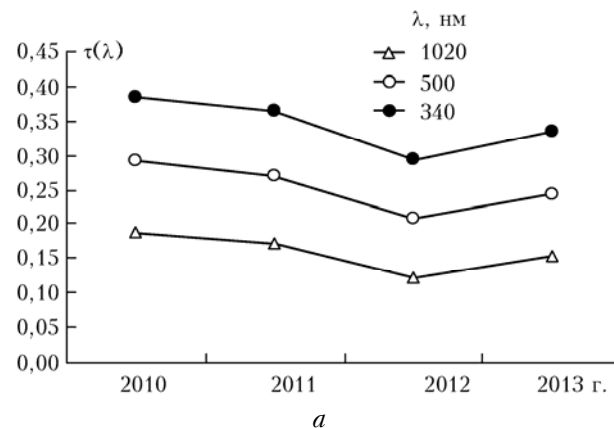


Рис. 2. Межгодовой ход АОТ для разных длин волн: с 2010 по 2013 г. (а), среднегодовые значения содержания водяного пара W и параметра Ангрстрема α (б)

В табл. 1 приведены значения АОТ атмосферы для длины волны 500 нм и некоторые статистические характеристики: погрешность измерения АОТ δ с доверительной вероятностью $\gamma = 0,999$ составляет 16,5% при среднеквадратическом отклонении $\sigma = 0,047$ ($\sigma = \sqrt{\sum(\tau - \langle\tau\rangle)^2 / (n-1)n}$). Коэффициент вариации $V_\tau = 0,053$ ($V_\tau = \sigma / \langle\tau\rangle$). Рассчитаны относительное отклонение $\varepsilon = (\tau - \langle\tau\rangle) / \langle\tau\rangle$ и Z-фактор ($Z = (\tau - \langle\tau\rangle) / \sigma$). Соотношение аэрозольных оптических толщ вида τ_{500} / τ_{1020} при среднем значении 1,74 варьирует в диапазоне 1,25–2,68.

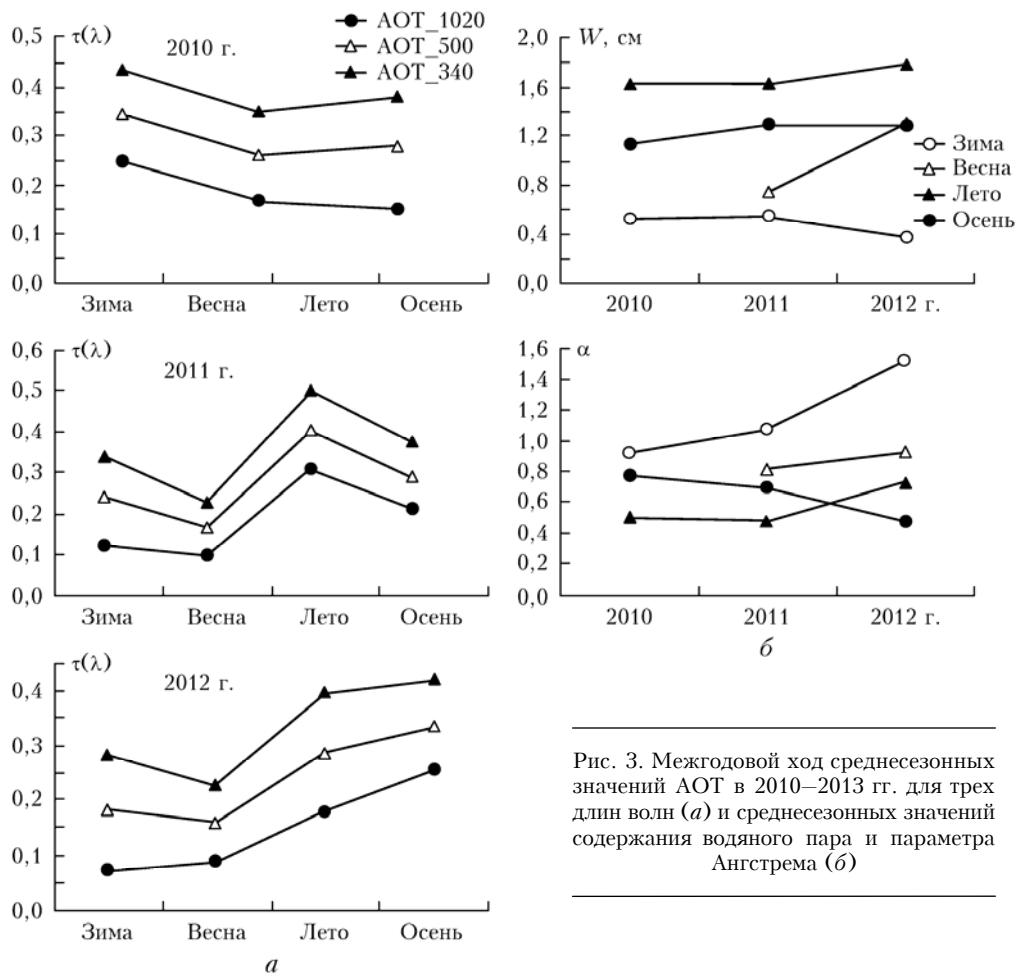


Рис. 3. Межгодовой ход среднесезонных значений АОТ в 2010–2013 гг. для трех длин волн (а) и среднесезонных значений содержания водяного пара и параметра Ангстрема (б)

Таблица 1

Статистические характеристики АОТ для длины волны $\lambda = 500$ нм и соотношение оптических толщ в видимой и ближней ИК-областях спектра

Год	Месяц	τ_{500}	δ	ε	Z	τ_{500}/τ_{1020}
1	2	3	4	5	6	7
2010	VII	0,278	0,047	0,123	2,295	1,44
	VIII	0,413	0,070	0,669	12,456	1,35
	IX	0,236	0,040	-0,046	-0,866	1,51
	X	0,278	0,047	0,123	2,295	1,29
	XI	0,269	0,046	0,087	1,618	2,42
	XII	0,276	0,047	0,115	2,145	1,88
2011	I	0,236	0,040	-0,046	-0,866	2,15
	II	0,147	0,025	-0,406	-7,564	2,19
	VII	0,330	0,056	0,333	6,209	1,38
	VIII	0,429	0,073	0,733	13,660	1,28
	IX	0,261	0,044	0,055	1,016	1,43
	X	0,381	0,065	0,539	10,047	1,25
	XI	0,142	0,024	-0,426	-7,940	2,58
XII	0,228	0,039	-0,079	-1,468	2,68	
2012	I	0,174	0,030	-0,297	-5,532	2,64
	II	0,142	0,024	-0,426	-7,940	2,41
	III	0,182	0,031	-0,265	-4,930	1,73
	IV	0,145	0,025	-0,414	-7,714	1,99
	V	0,161	0,027	-0,349	-6,510	1,79
	VI	0,206	0,035	-0,168	-3,123	1,78
	VII	0,333	0,057	0,345	6,435	1,65
	VIII	0,304	0,052	0,228	4,252	1,48
	IX	0,337	0,057	0,362	6,736	1,32
	X	0,103	0,017	-0,584	-10,875	1,63

1	2	3	4	5	6	7
2013	I	0,212	0,036	-0,143	-2,672	2,04
	II	0,185	0,031	-0,253	-4,704	1,80
	III	0,192	0,033	-0,224	-4,177	1,38
	IV	0,187	0,032	-0,244	-4,553	1,70
	V	0,172	0,029	-0,305	-5,682	1,65
	VI	0,269	0,046	0,087	1,618	1,41
	VII	0,267	0,045	0,079	1,468	1,59
	VIII	0,344	0,058	0,390	7,263	1,54
	IX	0,287	0,049	0,160	2,973	1,43
	X	0,265	0,045	0,071	1,317	1,46
	XI	0,299	0,051	0,208	3,876	1,80
	XII	0,239	0,041	-0,034	-0,640	1,51

Влагосодержание и параметр Ангстрема

Изучение динамики изменения содержания водяного пара W и параметра Ангстрема очень важно для оценки и описания любого рода климатических изменений. Такие исследования уже проводились для средних широт [22–24], однако данные по аридной зоне крайне ограничены. Настоящая статья восполняет этот пробел.

Спектроскопический метод (или метод оптической гигрометрии) является одним из основных при определении интегрального содержания водяного пара в атмосфере. Методику измерения содержания водяного пара по спектрофотометрическим данным впервые разработал и успешно применил F.E. Fowle [22, 23]. Затем метод исследования содержания водяного пара в атмосфере был развит во многих работах, см., например, [24–27].

Содержание водяного пара определяется по функции пропускания $P = I/I_0$, которую находят с помощью фотометра в ближней ИК-области на длине волны $\lambda = 940$ нм, где I_0 и I – интенсивности падающей и прошедшей сквозь толщу атмосферы радиации соответственно. В сети AERONET проводятся измерения на сильной полосе поглощения водяного пара 940 нм и вне полосы – 870 нм.

Динамика среднемесячных изменений параметра Ангстрема (см. рис. 1, *в*) оказалась более сложной, чем соответствующая динамика АОТ. Параметр Ангстрема позволяет судить о соотношении вклада мелко- и грубодисперсных частиц в аэрозольное ослабление. Значения, близкие к нулю, говорят о преобладании крупных частиц, а в случае, когда $\alpha > 1$, велика доля мелкодисперсных частиц. Высокая доля мелких частиц в зимнее и весеннее время и крупных частиц летом и осенью в период множественных пылевых эпизодов не означает, что эти события происходят ежегодно. Как видно из рис. 1, *б*, в январе–феврале наблюдаются минимум содержания водяного пара и максимум α , что означает преобладание субмикронной фракции частиц. Скорее всего, максимум параметра Ангстрема в этот период связан с выбросами четырех ТЭЦ и отопительных систем в населенных пунктах в зимнее время. В июне–августе наблюдаются высокие значения содержания W и минимальные значения α , что свидетель-

ствует о преобладании в атмосфере крупнодисперсных частиц, в том числе за счет трансграничного переноса пыли из сопредельных государств.

Параметр Ангстрема изменяется в интервале 0,471–1,583, при этом его среднее значение составляет 0,887, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,056$, а коэффициент вариации $V_\alpha = 0,063$. Среднее значение относительного отклонения ε равно 0,0004 при максимуме 0,78 и минимуме -0,469. Z -фактор изменяется в диапазоне от -8,32 до 13,92 при среднем значении 0,0072 (см. табл. 1).

Влагосодержание воздуха и параметр Ангстрема хорошо коррелируют, причем коэффициент корреляции содержания водяного пара с параметром Ангстрема составляет $r_\lambda = -0,77$, т.е. наблюдается обратная корреляция, что отчетливо видно на рис. 4.

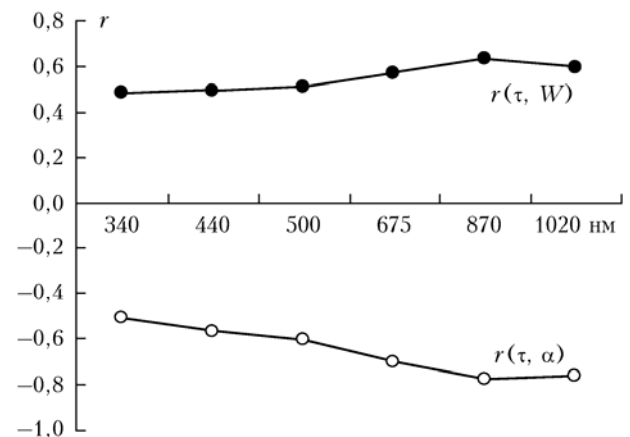


Рис. 4. Коэффициенты корреляции АОТ с содержанием водяного пара $r(\tau, W)$ и параметром Ангстрема $r(\tau, \alpha)$ для различных длин волн

Среднесезонные значения содержания водяного пара всегда имеют максимум летом и минимум – зимой (см. рис. 3, *б*). Эта особенность повторяется для всего периода наблюдений. Среднесезонные значения параметра Ангстрема имеют максимум зимой и минимум летом, что связано с преобладанием крупных частиц летом и осенью в период вторжения пыльной мглы. Зимой и весной атмосфера относительно чистая и преобладает субмикронная фракция частиц, что приводит к максимальным значениям α .

Среднегодовые значения α и W представлены на рис. 2, *б*. За исключением 2011 г. среднегодовые

значения влагосодержания атмосферы для периода 2010–2013 гг. близки друг другу. Годовое изменение содержания водяного пара имеет минимум в 2011 г.

Среднегодовые значения параметра Ангстрема имеют максимум в 2011 г. Это означает, что в 2011 г. атмосфера была более чистой, чем в другие годы исследований. На рис. 2, б отчетливо видно, что среднегодовые значения влагосодержания и параметра Ангстрема изменяются практически в противофазе: когда один параметр увеличивается, то другой уменьшается, и наоборот. Такое поведение параметров указывает на их обратную корреляцию. Чем меньше общее влагосодержание атмосферы, тем более крупные частицы находятся в аэрозоле, тем выше значения параметра Ангстрема. Конденсация водяного пара на крупных частицах приводит к их быстрому вымыванию из атмосферы. Та же закономерность проявляется и при сопоставлении среднемесячных значений параметра Ангстрема и влагосодержания воздуха за 2012–2013 гг. (см. рис. 4). Чем выше W , тем ниже значения параметра Ангстрема, чем более влажный сезон, тем выше дисперсность аэрозоля.

На рис. 4 приведены коэффициенты корреляции АОТ для различных длин волн (в УФ-, видимой и ближней ИК-областях спектра) с содержанием водяного пара и параметром Ангстрема. АОТ имеет положительную корреляцию с содержанием водяного пара и отрицательную с параметром Ангстрема. Наблюдаются противофазные изменения корреляционных зависимостей. Коэффициент корреляции r аэрозольной оптической толщи на длине волны 500 нм с содержанием водяного пара составляет 0,508, а с параметром Ангстрема $r = -0,603$. Это можно наблюдать даже по изменению среднемесячных значений изучаемых величин (см. рис. 4). Сезонные факторы при этом определяются температурой воздуха.

Содержание водяного пара изменяется в интервале 0,324–1,941 при среднем значении 1,127, среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,23$, коэффициент вариации $V = 0,20$. Среднее значение относительного отклонения $\varepsilon = -0,96$ при максимуме $-0,239$ и минимуме $-1,49$. Z -фактор изменяется в диапазоне от $-3,48$ до $3,45$ при среднем значении $-0,964$ (табл. 2).

Таблица 2

Статистические характеристики водяного пара и параметра Ангстрема

Год	Месяц	W	ε_W	Z	α	ε_α	Z
2010	VII	1,69	-0,48	2,36	0,53	-0,40	-7,18
	VIII	1,55	-0,61	1,78	0,48	-0,46	-8,08
	IX	1,31	-0,84	0,73	0,74	-0,16	-2,90
	X	1,17	-0,96	0,14	0,48	-0,46	-8,20
	XI	0,77	-1,30	-1,57	1,20	0,35	6,28
	XII	0,52	-1,46	-2,67	0,92	0,04	0,66
2011	I	0,50	-1,47	-2,72	1,21	0,37	6,48
	II	0,63	-1,40	-2,19	1,40	0,58	10,22
	VII	1,60	-0,56	1,99	0,48	-0,46	-8,10
	VIII	1,64	-0,53	2,15	0,48	-0,46	-8,14
	IX	1,34	-0,81	0,88	0,59	-0,33	-5,94
	X	1,27	-0,87	0,58	0,73	-0,18	-3,18
	XI	0,89	-1,20	-1,04	1,41	0,59	10,44
XII	0,38	-1,50	-3,24	1,50	0,69	12,28	
2012	I	0,38	-1,50	-3,27	1,58	0,78	13,92
	II	0,32	-1,49	-3,49	1,42	0,60	10,70
	III	0,65	-1,38	-2,09	0,98	0,11	1,88
	IV	1,09	-1,03	-0,21	0,95	0,07	1,26
	V	1,69	-0,48	2,36	0,86	-0,04	-0,64
	VI	1,92	-0,26	3,37	0,84	-0,05	-0,90
	VII	1,74	-0,43	2,60	0,77	-0,14	-2,40
	VIII	1,69	-0,48	2,39	0,59	-0,33	-5,86
	IX	1,28	-0,86	0,61	0,47	-0,47	-8,32
	X	0,70	-1,35	-1,89	0,77	-0,14	-2,40
2013	I	0,54	-1,45	-2,56	1,31	0,47	8,36
	II	0,61	-1,41	-2,25	1,45	0,63	11,24
	III	1,01	-1,10	-0,53	0,79	-0,11	-1,92
	IV	1,16	-0,97	0,08	0,87	-0,02	-0,42
	V	1,41	-0,74	1,18	0,83	-0,07	-1,24
	VI	1,68	-0,49	2,32	0,52	-0,42	-7,38
	VII	1,69	-0,48	2,39	0,70	-0,21	-3,70
	VIII	1,94	-0,24	3,45	0,68	-0,23	-4,16
	IX	1,19	-0,95	0,21	0,58	-0,35	-6,14
	X	0,95	-1,15	-0,80	0,67	-0,24	-4,30
	XI	0,85	-1,24	-1,24	1,13	0,28	4,88
	XII	0,85	-1,24	-1,25	1,05	0,18	3,16

Сезонная повторяемость параметров атмосферы

Повторяемость таких важных статистических параметров, как среднегодовые значения АОТ, влаго-содержания и параметра Ангстрема, характеризует состояние атмосферы. В табл. 3 приведены сезонные средние, максимальные и минимальные значения АОТ, содержания водяного пара и параметра Ангстрема за 2010–2012 гг., а также среднеквадратическое отклонение и количество измерений.

Форму контура гистограммы повторяемости можно определить как соотношение величины 4–5 пиков

повторяемости. Очевидно, что для каждой анализируемой длины волны характерен определенный контур повторяемости значений АОТ (рис. 5), который в целом наблюдается из года в год и не зависит от числа наблюдений уровня level 2. Это, возможно, связано с условиями наблюдений, поскольку отбрасывая влияние облаков, т.е. крупных водяных частиц, мы наблюдаем некоторый устойчивый набор поглощающих и рассеивающих компонентов атмосферы. Необходимо отметить, что уменьшение статистики измерений, т.е. увеличение числа облачных дней и дней с сильной запыленностью, коррелирует с увеличением длины «крыла» гистограммы повторяемости, соответствующего большим значениям АОТ.

Таблица 3

Сезонные изменения параметров атмосферы за 2010–2012 гг.

Сезон (количество серий измерений)	Значение	τ_{1020}	τ_{870}	τ_{675}	τ_{500}	τ_{440}	τ_{340}	W	α
2010 г.									
Лето (2489)	Среднее	0,247	0,272	0,293	0,343	0,366	0,431	1,622	0,506
	Максимум	3,191	3,261	3,332	3,420	3,445	3,490	2,954	1,000
	Минимум	0,057	0,085	0,084	0,100	0,107	0,135	0,712	0,061
	σ	0,234	0,239	0,269	0,249	0,249	0,254	0,324	0,185
Осень (2836)	Среднее	0,166	0,182	0,208	0,259	0,284	0,348	1,125	0,763
	Максимум	1,667	1,696	1,721	1,754	1,764	1,790	2,089	1,600
	Минимум	0,016	0,018	0,025	0,036	0,037	0,046	0,286	0,014
	σ	0,160	0,165	0,170	0,176	0,186	0,202	0,415	0,383
2011 г.									
Весна (238)	Среднее	0,102	0,129	0,165	0,185	0,224	0,739	0,819	0,102
	Максимум	0,435	0,549	0,699	0,763	0,910	1,404	1,613	0,435
	Минимум	0,038	0,052	0,069	0,076	0,073	0,384	0,217	0,038
	σ	0,060	0,079	0,112	0,129	0,165	0,280	0,357	0,060
Лето (2038)	Среднее	0,326	0,353	0,399	0,424	0,497	1,627	0,481	0,326
	Максимум	2,637	2,749	2,839	2,860	2,930	2,805	1,310	2,637
	Минимум	0,068	0,091	0,107	0,119	0,156	0,788	0,078	0,068
	σ	0,316	0,325	0,329	0,329	0,329	0,298	0,190	0,316
Зима (1189)	Среднее	0,131	0,172	0,239	0,273	0,338	0,534	1,097	0,131
	Максимум	0,594	0,727	0,946	1,054	1,301	1,348	1,928	0,594
	Минимум	0,021	0,035	0,049	0,056	0,059	0,203	0,215	0,021
	σ	0,090	0,110	0,159	0,179	0,224	0,196	0,393	0,090
Осень (2252)	Среднее	0,223	0,246	0,289	0,312	0,375	1,289	0,690	0,223
	Максимум	3,470	3,458	3,406	3,386	3,345	2,239	1,687	3,470
	Минимум	0,025	0,038	0,063	0,076	0,091	0,469	0,040	0,025
	σ	0,270	0,266	0,261	0,261	0,256	0,285	0,346	0,270
2012 г.									
Зима (829)	Среднее	0,078	0,117	0,182	0,217	0,282	0,365	1,522	0,078
	Максимум	0,398	0,557	0,862	1,008	1,296	1,093	2,033	0,398
	Минимум	0,018	0,034	0,055	0,068	0,079	0,130	0,405	0,018
	σ	0,083	0,078	0,118	0,138	0,181	0,155	0,207	0,083
Весна (1187)	Среднее	0,099	0,116	0,156	0,177	0,226	1,304	0,914	0,099
	Максимум	0,257	0,281	0,342	0,383	0,471	2,427	1,649	0,257
	Минимум	0,030	0,044	0,064	0,075	0,099	0,389	0,328	0,030
	σ	0,041	0,045	0,055	0,059	0,072	0,496	0,968	0,041
Лето (4220)	Среднее	0,204	0,227	0,286	0,315	0,395	1,778	0,728	0,204
	Максимум	1,231	1,266	1,307	1,322	1,363	2,784	1,641	1,231
	Минимум	0,044	0,063	0,095	0,106	0,132	0,777	0,096	0,044
	σ	0,149	0,162	0,156	0,175	0,156	0,266	0,260	0,149
Осень (1487)	Среднее	0,274	0,290	0,335	0,357	0,420	1,274	0,474	0,274
	Максимум	1,257	1,277	1,316	1,331	1,381	1,967	0,789	1,257
	Минимум	0,057	0,065	0,085	0,096	0,131	0,596	0,065	0,057
	σ	0,193	0,197	0,197	0,197	0,197	0,324	0,173	0,193

Сезонные изменения параметров атмосферы в г. Душанбе по данным AERONET

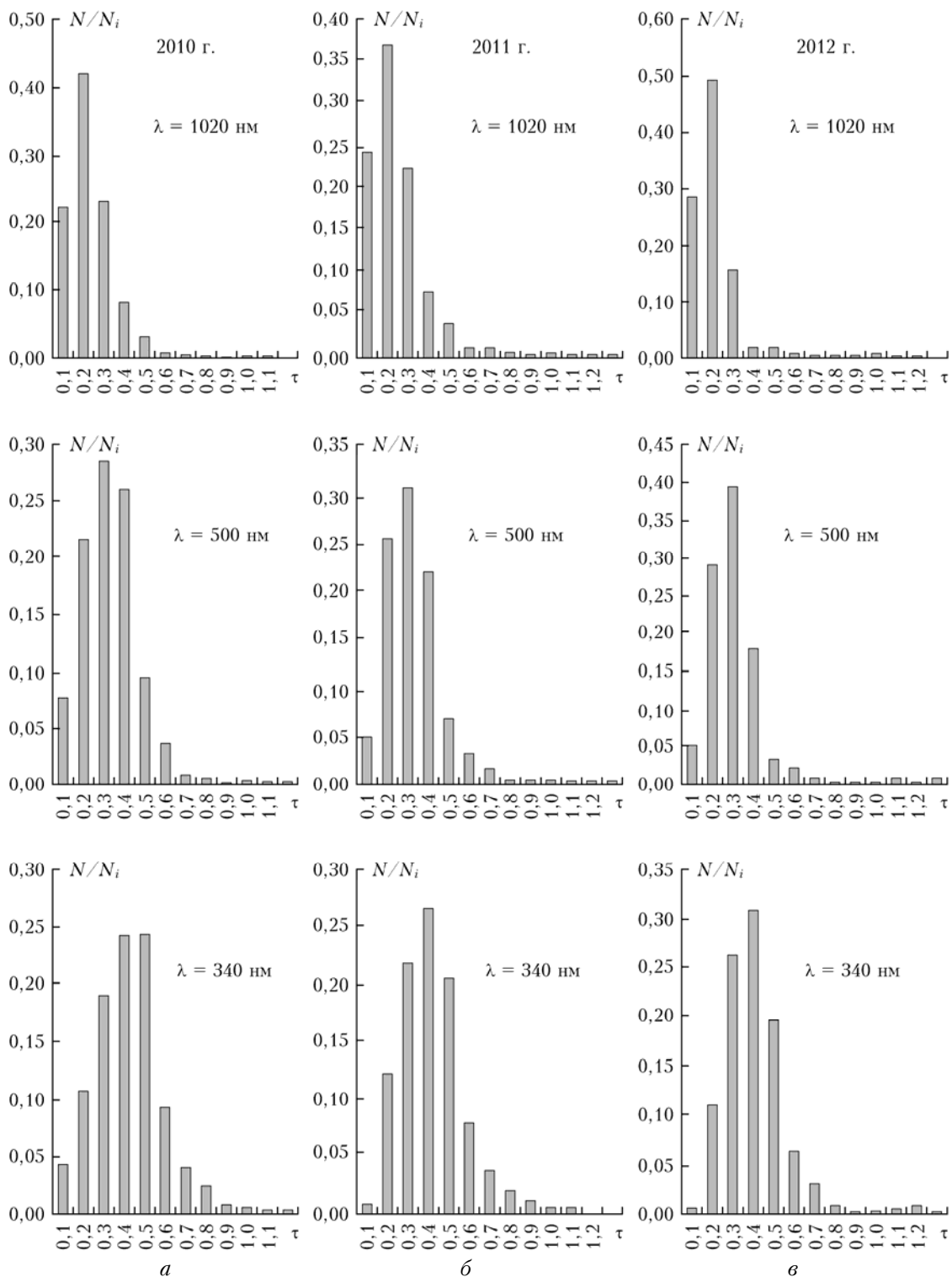


Рис. 5. Гистограммы повторяемости АОТ для трех длин волн: *а* – 2010 г.; *б* – 2011 г.; *в* – 2012 г.

В отличие от гистограмм АОТ, гистограммы повторяемости W и α совершенно не идентичны. Влажность (рис. 6, *а*) характеризуется конкретными погодными-климатическими условиями года, поэтому наблюдаются как одномодальные, так и двухмодальные гистограммы. Максимумы и ширина мод также

не совпадают. То же самое относится и к гистограммам повторяемости параметра Ангстрема (рис. 6, *б*). Очевидно, что распределение размеров аэрозольных частиц, включая и мелкие водные кластеры, не имеет закономерности и следует за общей динамикой региональных метеорологических изменений.

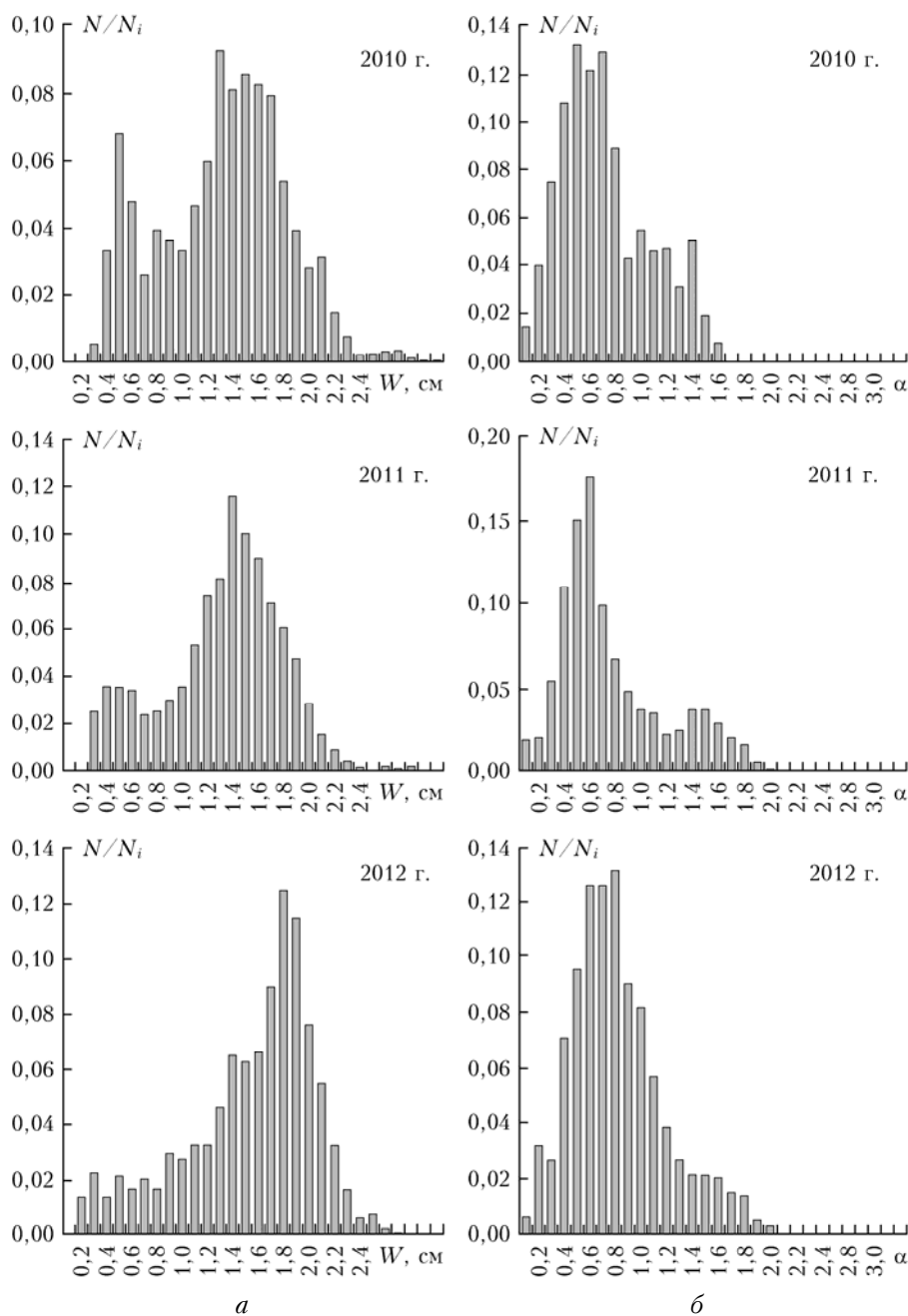


Рис. 6. Гистограммы повторяемости влагосодержания (2010–2012 гг.) (а) и параметра Ангрестра (2010–2012 гг.) (б)

Заключение

Проведенные исследования показали, что данные станции AERONET позволяют получить полезную информацию о долговременных изменениях параметров атмосферы, а следовательно, и о климатических изменениях. Систематические измерения прозрачности атмосферы дают возможность следить за параметрами аэрозольных частиц и за влажностью воздуха.

Исследования вариации содержания водяного пара в атмосфере аридной зоны показывают, что максимальные значения содержания водяного пара на-

блюдаются летом, а минимальные – зимой. Сезонная изменчивость колебания влагосодержания хорошо выражена и для аридной зоны составляет от 2,33 до 3,61 раза при переходе от зимы к лету. Содержание водяного пара в атмосфере в периоды пыльной мглы увеличивается до двух раз.

На основе исследования повторяемости среднегодовых значений АОТ установлено, что для каждой анализируемой длины волны характерна определенная форма контура гистограммы повторяемости значений АОТ (см. рис. 6), которая в целом наблюдается из года в год и не зависит от числа наблюдений.

Гистограммы повторяемости влагосодержания и параметра Ангстрема, отличаясь по форме, характеризуют конкретные погодно-климатические условия года измерений (наблюдаются как одномодальные, так и двухмодальные гистограммы).

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (проект Т-2076).

1. Белан Б.Д., Задде Г.О. Спектральная прозрачность и аэрозольное ослабление над территорией СССР. Томск: ТФ СО РАН, 1988. 180 с.
2. Гуцин Г.П. Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 200 с.
3. Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., Reagan J.A., Kaufman Y.J., Nakadjima T., Lavenu F., Jankovićak I., Smirnov A. AERONET – A federated instrument network and data archive for aerosol characterization // Remote Sens. Environ. 1998. V. 66, N 1. P. 1–16.
4. Dubovik O., Smirnov A., Holben B.N., King M.D., Kaufman Y.J., Eck T.F., Slutsker I. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from AERONET sun and sky-radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105. P. 9791–9806.
5. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Вариации аэрозольной оптической толщи атмосферы в районе г. Томска для ряда сезонов 1992–1995 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 6. С. 727–734.
6. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Суточная изменчивость аэрозольного ослабления оптического излучения в дымках аридной зоны // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 7. С. 945–951.
7. Павлов В.Е., Шестухин А.С. Аэрозольные оптические толщи и яркость неба в ИК-области спектра в аридных зонах земного шара // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 8, № 3. С. 252–255.
8. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. Спектральная зависимость аэрозольной оптической толщи атмосферы в области спектра 0,34–4 мкм // Оптика атмосфер. и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 156–164.
9. 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., Польшкин В.В., Смирнов А., Таццилин 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 атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
10. Заяханов А.С., Жамсуева Г.С., Нагулаев С.А., Цыдыпов В.В., Аюржанаев А.А., Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Азая Д., Оюнчимег Д. Пространственно-временные характеристики АОТ атмосферы в пустыне Гоби по данным наземных наблюдений // Оптика атмосфер. и океана. 2012. Т. 25, № 4. С. 327–334.
11. Кабанов Д.М., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Сакерин С.М., Таццилин М.А. Дневной ход аэрозольной оптической толщи атмосферы в нескольких регионах азиатской части России // Оптика атмосфер. и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 291–296.
12. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Одинов С.Л. Особенности дневной динамики аэрозольной оптической толщи атмосферы в ин-фракрасном диапазоне длин волн // Оптика атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 9. С. 838–843.
13. Журавлева Т.Б., Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О дневной изменчивости аэрозольной оптической толщи атмосферы и радиационного форсинга аэрозоля // Оптика атмосфер. и океана. 2010. Т. 23, № 8. С. 700–709.
14. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Панченко М.В., Польшкин В.В., Холбен Б.Н., Смирнов А.В., Береснев С.А., Горда С.Ю., Корниенко Г.И., Николашкин С.В., Поддубный В.А., Таццилин М.А. Результаты мониторинга атмосферного аэрозоля в азиатской части России по программе AEROSIBNET в 2004 г. // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18, № 11. С. 968–975.
15. 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., Польшкин В.В., Смирнов А., Таццилин 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 атмосфер. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 566–574.
16. Сидоров В.Н., Горчаков Г.И., Емленко А.С., Свириденков М.А. Суточный ход оптических и микрофизических характеристик приземного аэрозоля // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1984. Т. 20, № 12. С. 1156–1164.
17. Dubovik O., King M.D. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties retrieved from Sun and sky radiance measurements // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 16. P. 20673–20696.
18. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET database // Remote Sens. Environ. 2000. V. 73, iss. 3. P. 337–349.
19. Holben B.N., Tanre D., Smirnov A., Eck T.F., Slutsker I., Abuhasan N. An emerging ground-based aerosol climatology Aerosol Optical Depth from AERONET // J. Geophys. Res. D. 2001. V. 106, N 11. P. 12067–12097.
20. Smirnov A., Royer A., O’Neill N.T., O’Neill A., Tarusov A. A study of the link between synoptic air mass type and atmospheric optical parameters // J. Geophys. Res. D. 1994. V. 99, N 10. P. 20967–20982.
21. Панченко М.В., Терпугова С.А. Внутрисезонные факторы изменчивости характеристик субмикронного аэрозоля. 2. Суточный ход (вертикальный профиль) // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 6. С. 735–742.
22. Fowle F.E. The spectroscopic determination of aqueous vapor // J. Astrophys. 1912. V. 35, N 3. P. 149–162.
23. Fowle F.E. The transparency of aqueous vapor // J. Astrophys. 1915. V. 42. P. 394–411.
24. Торопова Т.П. Определение количества водяного пара, содержащегося в атмосфере, спектроскопическим методом // Докл. АН СССР. 1966. Т. 169, № 1. С. 86–72.
25. Арефьев В.Н., Вишератин К.Н., Устинов В.П. Спектроскопические исследования влагосодержания атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1988. Т. 1, № 8. С. 122–124.
26. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Результаты исследования общего влагосодержания атмосферы методом оптической гигрометрии. Ч. I. Анализ методики и результатов калибровки // Оптика атмосфер. и океана. 1995. Т. 8, № 6. С. 852–860.
27. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Результаты исследования общего влагосодержания атмосферы методом оптической гигрометрии. Ч. II. Характеристики изменчивости влагосодержания // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9, № 5. С. 656–663.

S.F. Abdullaev, V.A. Maslov, B.I. Nazarov. **Seasonal variations of atmospheric parameters in Dushanbe according to AERONET data.**

The article describes the results of measurements, which were carried out systematically from 2010 to 2013 at the AERONET station in Dushanbe. Variations of AOT, moisture content, and Ångström parameter were measured. The seasonal and annual variations of these parameters are analyzed. The regularities of repeatability of histograms as statistical characteristics of the atmospheric parameters are studied.