

УДК 551.521

С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов, Т.А. Еремина, Т.М. Рассказчикова, С.А. Турчинович

О МАЛОМАСШТАБНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

На основе результатов атмосферно-оптических исследований в районе г. Томска проанализированы закономерности маломасштабной пространственно-временной изменчивости характеристик прозрачности и радиации по трем аспектам: 1) дневной изменчивости компонент прозрачности атмосферы (аэрозоль, водяной пар), приводящей к снижению притока солнечной радиации в вечерний период; 2) особенности вариаций прозрачности атмосферы в соседних районах (город-лесная зона) и влияния города на радиационный режим; 3) взаимосвязи синоптических колебаний отдельных компонент и влияние на исследуемые характеристики смены воздушных масс, типичных для Западно-Сибирского региона.

Введение. Одна из возможностей совершенствования методов и схем радиационно-климатических расчетов связана с учетом особенностей маломасштабной изменчивости радиационно-значимых характеристик атмосферы: продолжительности солнечного сияния (ПСС), аэрозольной оптической толщи (АОТ) и общего влагосодержания (ОВС). Основной причиной малочисленности, а иногда и противоречивости результатов по этим вопросам являются не всегда достаточная точность и регулярность проводимых измерений. Разработка информационно-измерительной системы для радиационных экспериментов с соответствующими методиками [1–3] позволила проводить комплексные и более детальные исследования по вопросу изменчивости компонент прозрачности, ПСС и их влияния на приход солнечной радиации. Некоторые результаты частично уже обсуждались [4–5], а в настоящей работе дано более полное представление.

1. Дневной ход. Согласно многолетним данным актинометрической сети [6], дневной ход ПСС, суммарной Q и прямой S радиации имеет несимметричный относительно полудня вид и «противоположный» характер: прямая и суммарная радиации после полудня отличаются пониженными значениями, хотя продолжительность солнечного сияния увеличивается. По-видимому, что третьим фактором, разрешающим это противоречие, является дневная изменчивость атмосферного замутнения. Для оценки влияния дневного хода интегральной прозрачности были использованы результаты исследований АОТ и ОВС для летних условий г. Томска [7, 8], дополненные данными 1997 г. На рис. 1 иллюстрируются усредненные зависимости нормированного дневного хода АОТ и ОВС с указанием статистической значимости основных экстремумов. Здесь же приведены рассчитанные значения интегральной прозрачности T_{Σ} для спектрального диапазона 0,35–0,5 мкм и оптической массы атмосферы $m = 1$.

Расчеты для прямой солнечной радиации показали следующее. Из-за дневного хода облачности (ПСС) при постоянной прозрачности общий приток прямой радиации за полдня складывается в пользу вечерней половины – на 1,3%. Наличие же дневного хода прозрачности не только компенсирует действие облачности, но и уменьшает приток радиации в вечерний период. В результате для средних условий приход радиации вечером оказывается на 1% меньше, чем утром. В отличие от средних многолетних данных в конкретные периоды, конечно, может складываться иная ситуация. Например, для летнего эксперимента 1997 г. относительно высокая прозрачность атмосферы, без заметного проявления дневного хода, привела к тому, что Q и S оказались под влиянием только облачности и больший приток радиации был в вечерний период (рис. 2).

2. Влияние города. Известным фактом в области малых пространственных масштабов является повышенная мутность атмосферы в зоне промышленных центров. Для получения количественной информации о различии мутности был проведен цикл квази-синхронных измерений спектральной прозрачности в Академгородке (Томск) и в лесной зоне, удаленной на 60 км. Характер изменения среднечасовых значений АОТ и ОВС за двухнедельный период показан на рис. 3. Следует отметить, что из-за влияния облачности (ее пространственно-временных различий) достичь полной синхронизации измерений не удастся. Даже для среднечасовых данных часть результатов приходится исключать. Тем не менее из приведенных данных следует, что в масштабе синоптических колебаний АОТ и ОВС в двух районах изменяются достаточно согласованно. В дневном ходе АОТ есть различия и сдвиги. Величина отличий и взаимосвязей ОВС, АОТ и параметра Ангстрема α , характеризующего селективность спектрального хода τ^{α} , приведена в табл. 1.

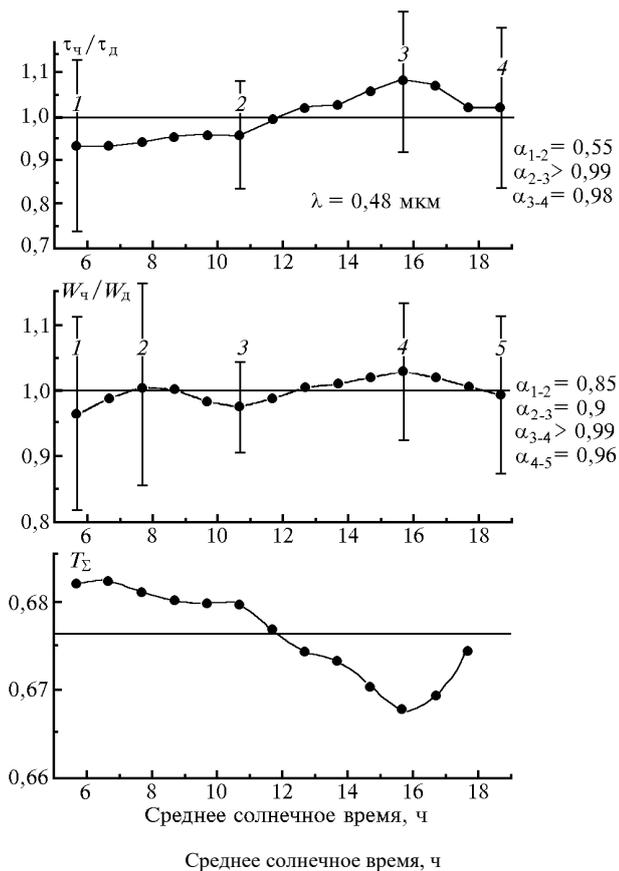


Рис. 1. Средний дневной ход АОТ (τ), ОВС (W) и интегральной прозрачности атмосферы (T_z) для летних условий г. Томска (α_i – доверительная вероятность различий, рассчитанная по критерию Стьюдента)

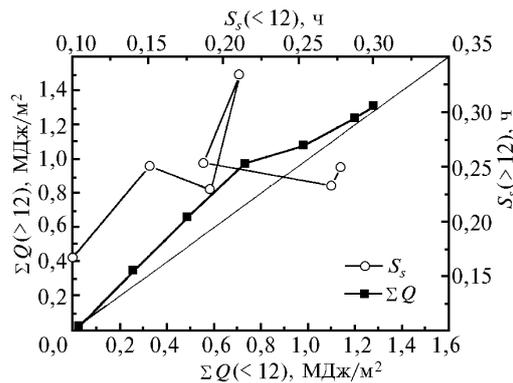


Рис. 2. Результаты сопоставления часовых сумм прихода суммарной радиации ΣQ и ПСС (S_s) для симметричных относительно полудня часов в период исследований 1997 г.

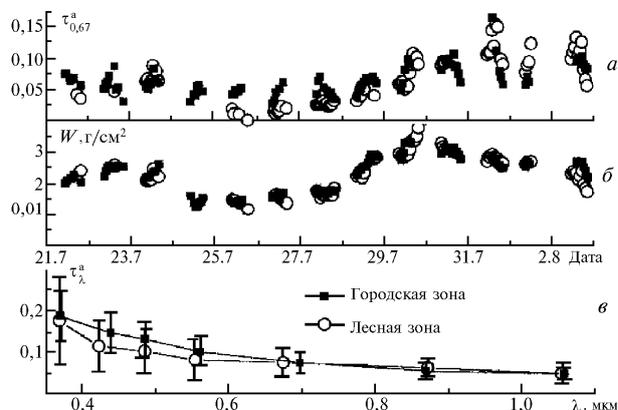


Рис. 3. Иллюстрация изменчивости АОТ (а), ОВС (б) и средний спектральный ход АОТ в двух районах (в)

Таблица 1

Различие характеристик атмосферного замутнения в двух районах

Характеристика	Среднее		СКО	Коэффициент взаимной корреляции	Относительное различие, %
	городская зона	лесная зона			
АОТ (0,48 мкм)	0,132	0,103	0,05	0,70	23
ОВС, г/см ²	2,64	2,51	0,35	0,76	5

Для оценки влияния повышенного замутнения городской атмосферы на приток радиации были рассчитаны спектры прямой радиации на горизонтальную поверхность с учетом ослабления аэрозолями:

$$S_{\lambda}^a = S_{0\lambda} \cos z \exp[-\tau_{\lambda}^a m(z)],$$

где $S_{0\lambda}$ – внеатмосферная солнечная постоянная; z – зенитный угол Солнца; m – оптическая масса атмосферы. Кроме того, были получены дневные суммы интегральной (по спектру) прямой радиации и дневной дефицит прихода радиации в городской зоне. Расчеты показали, что разность потоков прямой радиации из-за аэрозоля достигает в полдень 7,5 Вт/м² даже в условиях относительно высокой прозрачности атмосферы. Небольшое уменьшение прихода радиации происходит также из-за ОВС. В результате общий дневной дефицит прямой радиации в городе составля-

ет 0,406 МДж/м² в безоблачных условиях и около 0,17 МДж/м² в средних условиях облачности (относительное уменьшение ~ 2%).

3. Синоптическое влияние. Несмотря на очевидное влияние синоптических процессов на прозрачность атмосферы [7, 9, 10] и радиацию, непростой задачей является количественная характеристика взаимосвязей с конкретными синоптическими объектами. Рассмотрение даже наиболее простого вопроса – зависимости от типа воздушной массы – для Томска осложнено из-за его расположения в глубине континента. Учитывая дистанцию до основных очагов образования воздушных масс, заметных различий можно ожидать только при вторжении арктического воздуха.

На рис. 4 иллюстрируется изменчивость дневных значений основных характеристик с указанием типов воздушных масс в период наблюдений.

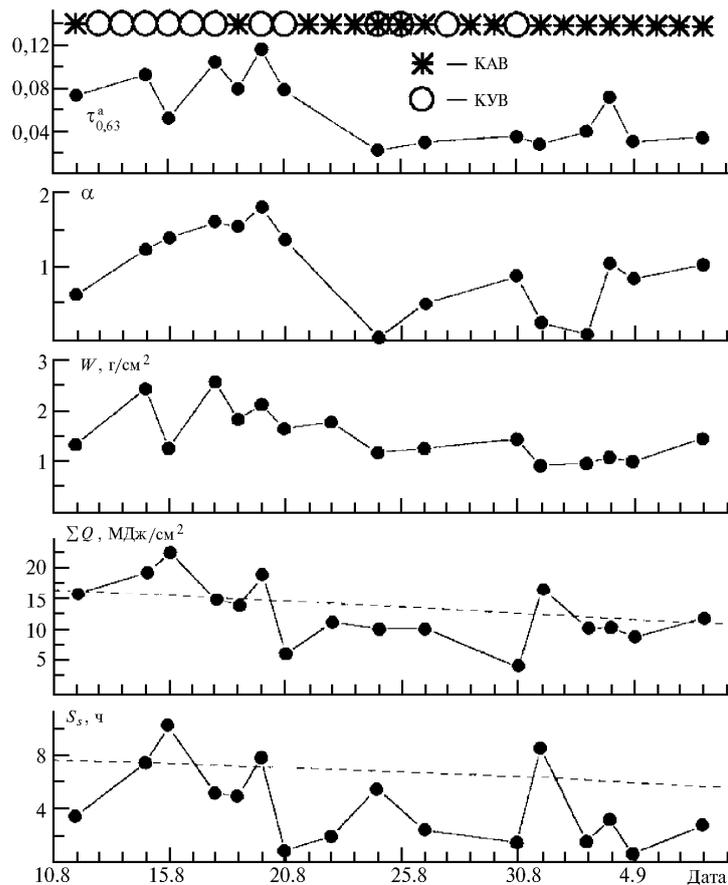


Рис. 4. Межсуточная изменчивость АОТ, параметра Ангрестра α , ОВС, ПСС, дневных сумм суммарной радиации ΣQ и типы воздушных масс – континентальный умеренный (КУВ) и арктический (КАВ) воздух

Можно проследить, что изменчивость АОТ, ОВС и других величин в основном согласуется со сменой воздушных масс. Причем при КАВ все характеристики имеют, как правило, меньшие значения. Из гистограмм повторяемостей τ^a , α , W (рис. 5) следует, что в условиях КУВ распределения одномодальные и расположены в области относительно больших величин.

существует вторая мода в области меньших значений. Расширение гистограммы и двухмодальность можно объяснить трансформацией свойств КАВ (старением воздушной массы) по мере перемещения от очага образования.

Синхронный характер изменчивости общего содержания аэрозоля и влаги при смене воздушных масс находит свое отражение в появлении «синоптической» взаимосвязи между отдельными характеристиками (табл. 2 и рис. 6).

Таблица 2

Матрицы коэффициентов корреляции (критические значения по уровню значимости 0,95 составляют: КАВ – 0,27, КУВ – 0,31)

Характеристика	КАВ				КУВ			
	$\tau_{0,48}^a$	$\tau_{0,87}^a$	α	$W, \text{г/см}^2$	$\tau_{0,48}^a$	$\tau_{0,87}^a$	α	$W, \text{г/см}^2$
$\tau_{0,48}^a$	–	0,65	0,74	0,84	–	0,69	0,79	0,40
$\tau_{0,87}^a$		–	0,22	0,59		–	0,24	0,49
α			–	0,71			–	0,40
W				–				–

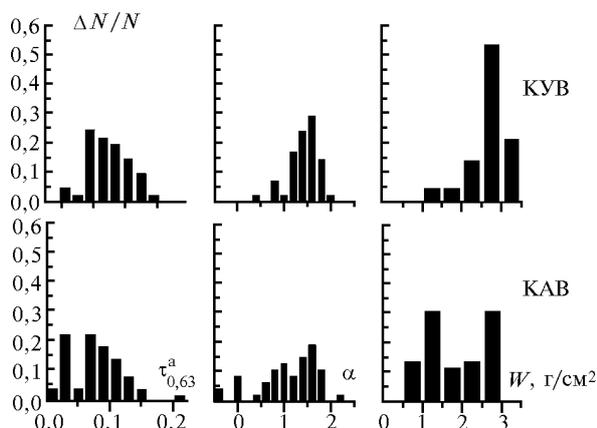


Рис. 5. Гистограммы повторяемости τ^a , α , W для двух типов воздушных масс

Для КАВ во всех гистограммах тоже наблюдается максимум, аналогичный КУВ, и, кроме того,

Более тесная взаимосвязь прослеживается для АОТ в коротковолновом диапазоне спектра и для условий арктического воздуха. Последнее легко объяснить тем, что диапазон изменчивости характери-

стик τ^a , α , W в КАВ можно определить от минимальных величин, свойственных зоне формирования (практически нетрансформированная масса) до значений, аналогичных КУВ в случае прихода составленной арктической массы. КУВ является «собственной» для умеренных широт воздушной массой, и ее трансформация менее существенна. Поэтому в рамках КУВ или при большом числе данных (рис. 7) взаимосвязь τ^a с W разрушается.

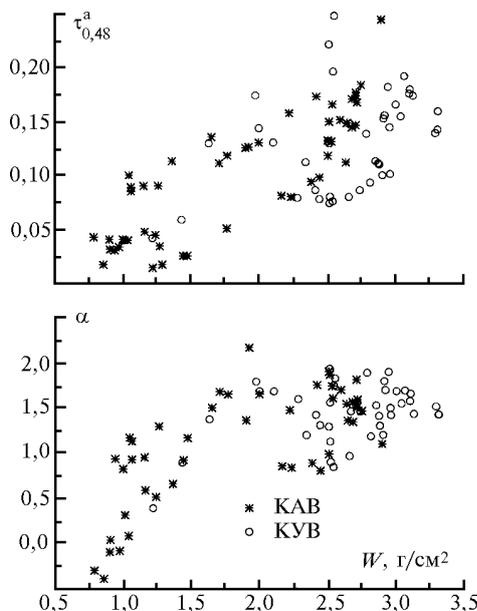


Рис. 6. Диаграммы рассеяния значений τ^a , W , α для двух типов воздушных масс

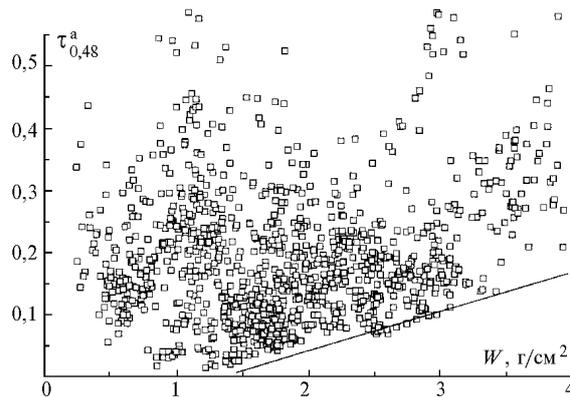


Рис. 7. Сопоставление АОТ и ОВС по результатам измерений 1992–1997 гг. в летних условиях г. Томска

Единственной закономерностью является существование нижней границы τ_{\min}^a , которая увеличивается по мере роста влагосодержания. Аналогичный результат был получен в работе [10], авторы которой предположили возможность непосредственного влияния ОВС (в области $W > 1 \text{ г/см}^2$) на формирование спектра аэрозольных частиц и τ^a . Не исключая существования такого механизма, можно дать и более простое – синоптическое объяснение зависимости $\tau_{\min}^a(W)$. Минимальные значения АОТ свойственны для арктического воздуха, который характеризуется и минимальными ОВС атмосферы. По мере трансформации КАВ и перехода ее свойств к умеренному воздуху одновременно увеличиваются W и величина возможного минимального замутнения τ_{\min}^a .

Таблица 3

Статистика исследуемых характеристик в условиях различных воздушных масс

Характеристика	$\tau_{0,63}^a$	α	β	W , г/см ²	ΣS^p , МДж/м ²	ΣQ , МДж/м ²	S_s , ч
11.08–20.08.97 (КУВ)							
Среднее	0,085	1,34	0,044	1,88	18,8	15,85	5,70
СКО	0,022	0,38	0,012	0,53	–	5,20	3,03
Max	0,117	1,81	0,061	2,59	–	22,42	10,09
Min	0,052	0,62	0,022	1,24	–	6,16	0,95
N , дни	7	7	7	7	–	7	7
24.08–07.09.97 (КАВ)							
Среднее	0,037	0,59	0,029	1,15	20,2	10,33	3,34
СКО	0,016	0,42	0,009	0,21	–	3,47	2,55
Max	0,073	1,05	0,043	1,46	–	16,62	8,56
Min	0,022	0,034	0,013	0,90	–	4,06	0,77
N , дни	8	8	8	8	–	8	8

Для определения характеристик прозрачности и радиации, свойственных разным воздушным массам, были выбраны два периода наблюдений с преобладанием КУВ (11.08–20.08) и КАВ (24.08–07.09). Данные о полученных статистических характеристиках приведены в табл. 3.

Отметим, что выборки для двух периодов по величинам τ^a , α , W оказались статистически различными на уровне значимости 0,95. Средние значения характеристик существенно больше для КУВ, а от-

носительная изменчивость более заметна для КАВ. Оценки влияния различий воздушных масс на приток солнечной радиации были получены с использованием модели LOWTRAN-7. Расчеты дневных сумм прямой радиации ΣS^p для середины каждого периода и условий безоблачного неба показали, что в условиях КАВ увеличение прихода радиации составляет 7,4%. Если исключить влияние астрономического фактора (сезонное снижение радиации на 3,3% – см. штриховые линии на рис. 4), то различие ΣS^p для

двух типов воздушных масс составит даже большую величину – 10,7%. В действительности такого увеличения прямой и суммарной радиаций не произошло, потому что смена воздушных масс сопровождалась существенным снижением S_0 из-за облачности. В частности, величина ΣQ в КАВ уменьшилась на 34,8%, несмотря на увеличение прозрачности атмосферы.

Заключение. Результаты проведенных исследований маломасштабной изменчивости радиационно-значимых характеристик позволяют сделать следующие выводы.

1. Совокупным влиянием дневного изменения АОТ и ОВС является несимметричный относительно полудня дневной ход интегральной прозрачности с минимальными значениями около 15,5 ч и максимальными – в утренние часы. Следствием является снижение притока радиации во второй половине дня.

2. Вариации атмосферного замутнения обусловлены в основном синоптическими колебаниями, поэтому изменения АОТ и ОВС в двух соседних районах (городская–лесная зоны) имеют согласованный характер. Повышенное замутнение атмосферы в городе даже при небольшом промышленном влиянии приводит к снижению притока прямой радиации примерно на 2%.

3. Основные типы воздушных масс для Западной Сибири имеют значимые различия по характери-

стикам прозрачности атмосферы – средние значения τ^a , α , W в условиях КАВ в 1,5–2,3 раза меньше, чем в КУВ. Смена КАВ разного возраста (степени трансформации) приводит к появлению корреляций между характеристиками аэрозольного и влажностного замутнения атмосферы.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Турчинович С.А. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 12. С. 1643–1652.
2. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 8. С. 866–874.
3. Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. // Региональный мониторинг Сибири. Ч. 2 / Под ред. М.В. Кабанова. Томск: изд-во «Спектр», 1997. С. 131–145, 170–177.
4. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Еремина Т.А., Турчинович С.А. // Тез. докл. IV Заседания рабочей группы «Аэрозоли Сибири». Томск, 1997. С. 33, 62.
5. Zuev V.V., Panchenko M.V., Sakerin S.M., Kabanov D.M., Vegetennikov V.V. // ARM Science Team Meeting. Tucson, Arizona. 1998. P. 72.
6. Справочник по климату СССР. Вып. 20. 41. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 76 с.
7. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 727–734.
8. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 5. С. 656–663.
9. Белан Б.Д., Задде Г.О., Кусков А.И., Рассказчикова Т.М. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 9. № 9. С. 1187–1197.
10. Бартенева О.Д., Никитинская Н.И. и др. // Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ближней ИК-области спектра. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 224 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
8 июня 1998 г.

S.M. Sakerin, D.M. Kabanov, T.A. Eremina, T.M. Rasskazchikova, S.A. Turchinovich. **About Small-Scale Spatial-Temporal Variability of Atmospheric Transparency and Solar Radiation.**

The regularities of small-scale spatial-temporal variability of the transparency characteristics have been analyzed based on the results of atmospheric-optical investigations in Tomsk region. Three main directions were treated: 1) daily variability of the atmospheric transparency components (aerosol, water vapor) causing a decrease of incoming solar radiation in evening period; 2) peculiarities of variation of the atmospheric transparency in neighboring regions (urban-forest zones) and the urban influence on the radiation region; 3) interconnection between synoptical variations of individual components and influence of the air masses changes, typical for the West Siberia region, on the parameters under study.