

Т.К. Складнева, Б.Д. Белан

## Радиационный режим в районе г. Томска в 1995–2005 гг.

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 4.05.2006 г.

Представлены результаты мониторинга суммарной солнечной радиации, проводимого на TOR-станции ИОА СО РАН г. Томска в 1995–2005 гг. Установлено, что за рассматриваемый период в районе Томска наблюдался достаточно устойчивый радиационный режим с максимальным годовым поступлением суммарной солнечной радиации в 2003 г. Величина и диапазон колебаний месячных сумм радиации изменялись в зависимости от сезона. В весенне-летний период коэффициент вариации месячных сумм менялся в пределах 15–16%, а зимой возрастал до 20%. Межгодовая изменчивость месячных сумм суммарной радиации для каждого месяца имела положительный тренд, кроме марта, июля и сентября. Исследована величина прихода суммарной радиации в зависимости от типа воздушных масс и синоптических условий. Выявлена сложная зависимость прихода суммарной радиации в течение года от типа воздушных масс, которая отражает особенности общей циркуляции атмосферы над регионом. Величина суточной суммы суммарной радиации при антициклоне в среднем выше в 1,6 раза, чем при циклоне в течение всего года. Максимальный суточный приход суммарной радиации наблюдается в северо-восточной части циклона, а в антициклоне – при южной и юго-западной.

### Введение

Одной из актуальных современных проблем является проблема долговременных изменений природной среды и климата. Во второй половине XX в. наблюдались глобальное потепление и общий рост температуры для земного шара в целом и Северного полушария в частности. На территории Западной Сибири наблюдающееся потепление зафиксировано с начала 70-х гг. (<http://www.cru.uea.ac.uk>). В то же время надо отметить, что за последние 50 лет отмечается тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков для России в целом. Для Западной Сибири характерен слабый рост осадков преимущественно зимой и весной, но за последние 10 лет, исключая 2003 г. (<http://climate.mecom.ru>), здесь наблюдается ежегодно избыток осадков. В течение последних 20 лет количество общей облачности в масштабе всего земного шара изменялось по синусоидальному закону: с 1985 по 2000 г. уменьшилось на ~4–5%, а с 2000 по 2004 г. возросло примерно на 2–3% [1]. Это нашло отражение в изменчивости составляющих радиационного баланса (в частности, солнечной радиации) и характере их колебаний. Анализ многолетней изменчивости прихода солнечной радиации к поверхности Земли над территорией России и, в частности, Западной Сибири, по данным актинометрической сети СССР до 1990 г., проведенный авторами [2, 3], показал, что на территории Западной Сибири, в общем, наблюдаются уменьшение годовых сумм суммарной и прямой радиации и увеличение годовых сумм рассеянной. Такой же вывод сделан и в работе [4] на основе анализа элементов радиационного баланса атмосферы на станциях Байкальского региона Восточной Сибири за последние 50 лет. Авторы отмечают, что на большей части территории

наблюдалось статистически значимое снижение прямой и суммарной солнечной радиации, составляющее 6,3% в среднем и 2,5% за 10 лет. В то же время наблюдается сезонная зависимость долговременного изменения суммарной радиации. В последней четверти XX в., по данным многих континентальных актинометрических станций России, удаленных от океана [5], отмечены статистически значимый положительный тренд в летние и отрицательный тренд в зимние месяцы для суммарной радиации. Наряду с общими закономерностями долговременного изменения составляющих радиационного баланса на территории России на ряде ближайших к Томску актинометрических станций наблюдаются индивидуальные сезонные особенности [6], обусловленные местными условиями.

На территории Томской области были две актинометрические станции: «Александровское» и «Колпашево», на которых с 1959 и 1955 г. соответственно проводились наблюдения за солнечной радиацией. В настоящее время актинометрические наблюдения проводятся на одной станции «Александровское». В Томске регулярных или сетевых измерений характеристик солнечной радиации не проводилось. Поэтому на базе автоматического поста (TOR-станция), созданного в ИОА СО РАН в 1992 г. и предназначенного для мониторинга газового и аэрозольного состава воздуха, метеопараметров и других геофизических величин [7], в 1995 г. были начаты работы по созданию радиационного блока измерений. С апреля 1995 г. ведутся систематические измерения суммарной солнечной радиации  $Q$ . Измерения проводятся стандартным пиранометром М-115М (диапазон измерения 0,4–2,3 мкм), который периодически поверяется в бюро поверки Западно-Сибирского управления Росгидромета.

В октябре 2002 г. TOR-станция была дополнена ультрафиолетовым пиранометром UVB-1 (Yankee Environmental Systems, Inc., США), измеряющим интегральную интенсивность УФ-Б-радиации в диапазоне длин волн 280–320 нм. Оба пиранометра согласуются с ЭВМ посредством специальных преобразователей. Измерения ведутся круглосуточно и ежедневно. Сам цикл измерений продолжается 10 мин, в течение которых производится отсчет параметров с частотой 1 Гц. Итоговый результат, фиксируемый ЭВМ, получается осреднением 600 разовых значений и расчетом среднеквадратического отклонения по ним для каждой из измеряемых величин. Результат измерения интенсивности суммарной солнечной радиации и УФ-Б-радиации записывается на жесткий магнитный диск и хранится в базе данных. С сентября 2003 г. в радиационный комплекс измерений включен спектрофотометр Brewer, который позволяет измерять УФ-радиацию в спектральном диапазоне от 290 до 325 нм с шагом 0,5 нм. Одновременно, по результатам обработки ежедневных синоптических карт, с той же частотой, создается база данных, содержащая информацию о синоптической ситуации, в которой находится Томск, а также о типе и количестве общей и нижней облачности.

В данной статье дается оценка поступления суммарной солнечной радиации и ее изменчивости за 11-летний период измерений (1995–2005 гг.).

### Синоптическая ситуация

Количество солнечной радиации, приходящее на подстилающую поверхность в средних широтах, зависит не только от сезона и времени суток, но и от количества и форм облачности, на которые в свою очередь оказывают воздействие синоптические условия региона. Подробный анализ синоптической ситуации в районе г. Томска за последние 15 лет был проведен нами в [8]. В данной статье мы сформулируем основные особенности рассматриваемого периода. Анализ синоптических карт за исследуемый период показал, что средняя повторяемость циклонов и антициклонов составляла 18,8 и 25,9% соответственно, контрастной зоны – 11,7%, ложбины и гребня 12,7 и 8,4%, малоградиентного поля – 14,1%, седловины – 5,8%.

Повторяемость  $P$  (%) циклонов и антициклонов не является постоянной величиной и от года к году колеблется в широких пределах. Так,  $P$  циклонов менялась от 28% в 1994 г. до минимального значения 3,8% в 2003 г. Изменчивость в повторяемости антициклонов от года к году была значительно меньше: от 30,9% в 1997 г. до 17,6% в 2004-м.

Повторяемость антициклонов имеет годовой ход с минимумом в летний период, а для циклонов годовой ход слабо выражен, но основной минимум также приходится на летний месяц (июль). Это объясняется тем, что планетарные контрасты температур смещаются на север и высотно-фронтальные зоны чаще наблюдаются севернее Томска.

Кроме того, анализ повторяемости географических типов воздушных масс показал, что в среднем

наблюдалось незначительное превышение повторяемости умеренной воздушной массы над арктической. При рассмотрении ее годового хода получилась интересная картина. С января по июль наблюдается превышение повторяемости умеренного воздуха над всеми остальными, а начиная с августа картина меняется – происходит увеличение повторяемости арктического воздуха и умеренный воздух отходит на второй план. Из анализа распределения повторяемости воздуха южных широт видно, что чаще всего он наблюдается в районе г. Томска зимой и в переходные периоды, а летом, когда интенсивность процессов уменьшается и выход южных циклонов становится редким, – повторяемость минимальна. Максимальная повторяемость субтропического и тропического воздуха наблюдается в мае.

Одной из характеристик солнечной активности являются числа Вольфа. Основная часть рассматриваемого периода попадает в фазу высоких значений чисел Вольфа 11-летнего солнечного цикла (рис. 1, а).

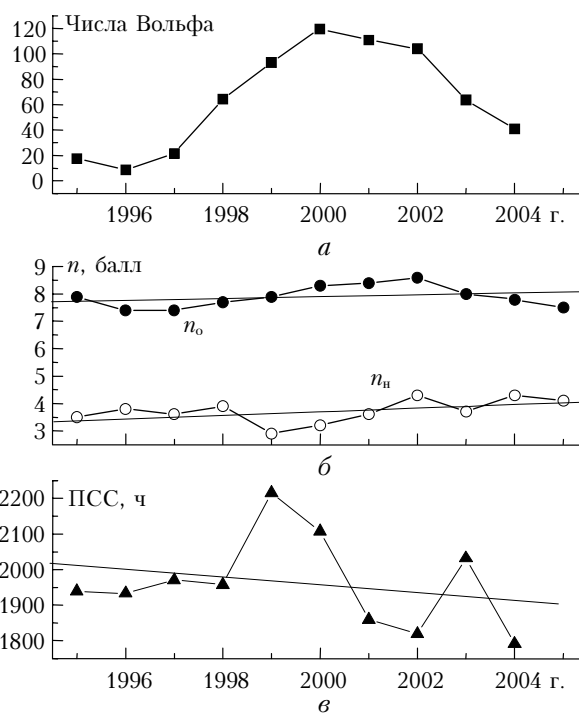


Рис. 1. Изменение чисел Вольфа (а), среднего годового количества общей и нижней облачности (б) и годовых сумм продолжительности солнечного сияния (в) за 1995–2004 гг.

Проведенный нами анализ данных Сибирской климатической и экологической обсерватории ИМКЭС СО РАН (дневные сроки наблюдения) с 1994 по 2005 г. показал, что наблюдался слабый положительный тренд среднего за год количества общей ( $n_o$ ) и более сильный нижней ( $n_n$ ) облачности. Количество общей облачности увеличилось на 0,2 балла, нижней на 0,6 балла (рис. 1, б). Вследствие увеличения облачности годовые суммы продолжительности солнечного сияния (ПСС) уменьшились (рис. 1, в) и относительная величина тренда

составила 5,5%. Отметим, что наблюдается существенная антикорреляционная зависимость между ПСС и баллом облачности нижнего яруса.

### Суммарная радиация

Для анализа изменений суммарной солнечной радиации за период измерений 1995–2005 гг. рассчитывались ежедневные суточные суммы, а также месячный и годовой приход  $Q$ . Предварительно исходный массив данных просматривался и имеющиеся в результате сбоев техники пробелы в сроках измерения восстанавливались путем аппроксимации значений в предыдущий и последующий сроки.

Для оценки трендов месячных сумм суммарной радиации их временные ряды аппроксимировались линейными функциями:

$$x = \alpha_0 + \alpha_1 t; \beta_x = \frac{10\alpha_1}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

где  $x$  — текущее значение компоненты ряда;  $\alpha_0$  и  $\alpha_1$  — коэффициенты, рассчитанные методом наименьших квадратов;  $t$  — порядковый номер года;  $\beta_x$  — относительная интенсивность тренда, %, характеризующая скорость его изменения за 10-летний период.

### Годовой приход

По полученным данным, среднегодовой приход солнечной радиации за 11-летний период составил 4280,43 МДж/м<sup>2</sup>, а среднеквадратическое отклонение — 250,15 МДж/м<sup>2</sup>. В рассматриваемый период в районе г. Томска наблюдался достаточно устойчивый радиационный режим. Годовая сумма  $Q$  практически не менялась от года к году, за исключением 2003 г., когда была зарегистрирована максимальная годовая сумма (рис. 2).

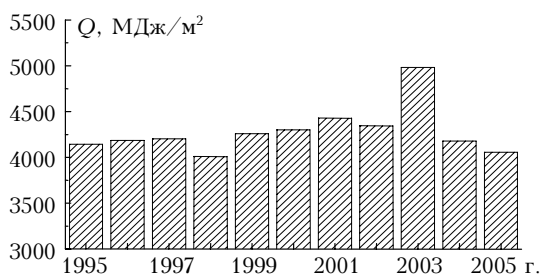


Рис. 2. Годовое поступление суммарной солнечной радиации в районе Томска

Надо отметить, что особенность 2003 г. заключается в том, что циклоны в районе г. Томска проходили только в ноябре, при этом наблюдались южная и юго-западная части циклонов. Из этого следует, что имел место выход южных циклонов с центром западнее Томска. Коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации  $V$  составил 5,8%, что согласуется с данными З.И. Пивоваровой [9] для Западной Сибири — 4–5%.

По данным [10], годовой приход суммарной радиации при реальных условиях облачности за 1965–1970 гг. в Томске, полученный расчетным способом с использованием данных ст. «Колпаше-

во», составил 3884 МДж/м<sup>2</sup>, а при безоблачном небе 5627 МДж/м<sup>2</sup>. К сожалению, другими оценками общего прихода суммарной радиации в Томске за более длительный период мы не располагаем. Поэтому сравним наш результат с данными многолетних наблюдений на ст. «Александровское» и «Огурцово» за период с 1959 по 1994 г. На этих станциях за 36-летний период наблюдений существенного тренда суммарной радиации не произошло [6] и средний годовой приход  $Q$  составил 3491,39 и 4041,08 МДж/м<sup>2</sup> соответственно. Полученные результаты сравнимы с многолетними наблюдениями на ст. «Огурцово», расположенной в 150 км юго-западнее г. Томска.

### Межгодовая изменчивость

Подробнее остановимся на межгодовой изменчивости  $Q$ , так как месячный приход суммарной радиации более изменчив от года к году, чем годовой. Из рис. 3 видно, что величина и диапазон колебаний месячных сумм радиации зависят от сезона.

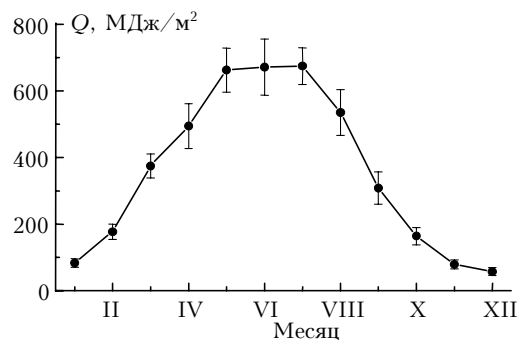


Рис. 3. Годовой ход суммарной солнечной радиации в районе г. Томска

В весенне-летний период коэффициент вариации  $V$  месячных сумм менялся в пределах 10–13%, а в осенний период составил 15–16%, что хорошо согласуется с данными З.И. Пивоваровой и В.В. Стадник [9].

Неустойчивость циркуляционных процессов в зимний период нашла свое проявление в увеличении коэффициента вариации месячных сумм  $Q$  до 20%. В весенне-летний период выделяются неустойчивостью месячных сумм апрель и июнь ( $V = 13\%$ ), а достаточной стабильностью июль (8%). Из годового хода видно, что основной вклад (67%) в годовую сумму суммарной радиации вносил теплый период (май–сентябрь), а максимум месячных сумм суммарной радиации наблюдается в июле, в то же время надо отметить, что он не ярко выражен и незначительно превышает по величине средние суммы  $Q$  в мае–июне. За рассматриваемый период наибольшие месячные суммы зарегистрированы в мае (804,71 МДж/м<sup>2</sup>) и в июне (831,62 МДж/м<sup>2</sup>) 2003 г. в результате преобладания антициклонов с высокой прозрачностью атмосферы.

Рассмотрим, как изменялся приход солнечной радиации от года к году в зависимости от сезона. В осенне-зимний период средний приход  $Q$  практически не менялся (рис. 4).

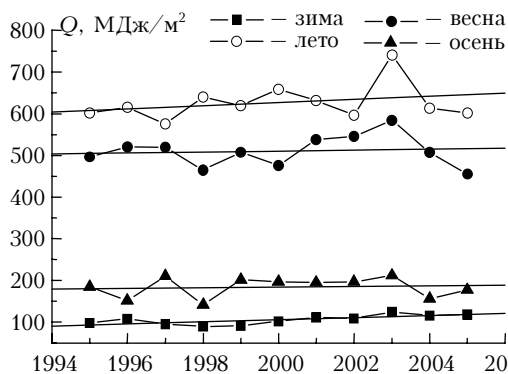


Рис. 4. Межгодовая изменчивость прихода суммарной солнечной радиации в зависимости от сезона

В летний период минимальный приход суммарной радиации зафиксирован в 1997 г., а максимальный — в 2003 г. Весной было два максимума: в 1996–1997 гг. и 2003 г. В целом в течение 1995–2005 гг. наблюдались слабый положительный тренд  $Q$  в осенне-зимний период и более значительное возрастание  $Q$  весной и летом. Внутри сезонов картина несколько иная. Из табл. 1 видно, что межгодовая изменчивость месячных сумм  $Q$  для каждого месяца имеет положительный тренд кроме 3 мес (март, июль, сентябрь).

Таблица 1

Характеристики линейного тренда средних месячных и годовых значений суммарной радиации в Томске в 1995–2005 гг.

Месяц	$Q$ , МДж/м <sup>2</sup>	$\sigma_Q$ , МДж/м <sup>2</sup>	$\alpha_1$	$\beta_Q$ , %
I	83,23	12,97	2,1549	25,89
II	176,61	23,01	3,7464	21,21
III	374,90	36,19	-5,0468	-13,46
IV	494,12	67,15	2,2284	4,51
V	662,24	65,80	6,2492	9,43
VI	671,30	54,30	14,1701	21,11
VII	674,07	54,86	-5,6619	-8,40
VIII	534,88	69,14	2,8053	5,24
IX	308,37	48,63	-1,3322	-4,32
X	164,16	25,87	2,5772	15,70
XI	79,12	13,32	1,1828	14,95
XII	57,44	11,41	2,1360	37,18
Год	4280,43	250,15	23,7662	5,55

Примечание.  $Q$  — среднее за 11 лет значение;  $\sigma_Q$  — среднеквадратическое отклонение;  $\beta_Q$  — относительная интенсивность тренда.

Увеличение общей и особенно нижней облачности в марте, июле и сентябре привело к уменьшению месячных сумм суммарной радиации и отрицательному тренду. Коэффициент корреляции  $r$  между месячными суммами суммарной радиации и средним баллом общей и нижней облачности составил в марте  $r(Q, n_o) = -0,70$  и  $r(Q, n_n) = -0,61$ , в июле  $-0,70$  и  $-0,81$ , а в сентябре  $-0,64$  и  $-0,83$  соответственно с доверительной вероятностью  $q = 0,975$ .

### Вариации суточных сумм

Представляет интерес рассмотреть вариации суточных сумм, так как изменчивость ежедневных сумм включает в себя колебания радиации внутри

месяца каждого года, обусловленные сменой синоптических процессов, и колебания от года к году, связанные с изменением преобладающих форм общей циркуляции в отдельные годы. В табл. 2 приведены средние суточные суммы суммарной радиации  $Q_{сут}$ , а также их минимальные и максимальные значения, зарегистрированные на TOR-станции.

Таблица 2

Средние суточные суммы суммарной радиации (МДж/м<sup>2</sup>) на TOR-станции за 1995–2005 гг.

Месяц	Среднее	min	max	$V$
I	2,71	0,49	7,22	0,494
II	6,28	1,21	13,55	0,435
III	11,86	2,37	21,77	0,343
IV	16,52	3,09	29,33	0,375
V	21,41	3,93	36,00	0,339
VI	22,22	5,02	35,89	0,351
VII	21,79	3,55	35,08	0,319
VIII	17,36	2,95	30,71	0,365
IX	10,35	1,18	22,12	0,485
X	5,27	0,49	14,11	0,612
XI	2,63	0,34	9,39	0,612
XII	1,78	0,32	5,21	0,539

Относительно межсуточной изменчивости следует отметить достаточно устойчивый радиационный режим в весенне-летний период и в 2 раза большие вариации для октября и ноября. В то же время резких изменений средних суточных сумм  $Q$  не зарегистрировано. В [11] нами подробно рассмотрено, как менялись суточные суммы  $Q$  внутри месяца в зависимости от сезона за 1995–1998 гг. В период 1995–2005 гг. существенных изменений распределения повторяемости суточных сумм суммарной радиации в зависимости от сезона не выявлено. Кривые распределения суточных сумм также имеют асимметричность: в весенне-летний период — отрицательную, а в зимние и осенние месяцы — положительную.

Известно, что суточный приток солнечной радиации к земной поверхности определяется не только астрономическими факторами и облачностью, но и в определенной степени зависит от прозрачности атмосферы, а также от отражательных свойств подстилающей поверхности. В работе [12] на базе многолетних наблюдений (1964–1994 гг.) мировой радиометрической сети выполнен анализ максимально возможных суточных сумм суммарной солнечной радиации для равнинных станций для разных широт и всех месяцев года. Под максимально возможной суммой авторы понимают суточную сумму солнечного излучения, которое поступает на поверхность при наиболее благоприятном для поступления солнечной энергии сочетании следующих условий: прозрачности атмосферы, состояния диска Солнца, облачности, альбедо подстилающей поверхности. Сопоставление суточных сумм  $Q$ , зарегистрированных на TOR-станции, с опубликованными И.В. Морозовой и Г.Н. Мясниковым максимально возможными суммами для 56° с.ш. показало, что фактически за 1 сут на земную поверхность в Томске поступает суммарной радиации от 35 до 65% от возможной. Наибольший процент от

возможной суммарной радиации составил в июле (65) и наименьший в ноябре (33).

Представляет интерес зависимость изменчивости суточных сумм суммарной радиации от вида барических образований и типа воздушной массы. Для этого из всего массива данных выделялись дни, когда преобладал определенный вид барического образования (циклон и антициклон) или тип воздушной массы (арктический, умеренный, субтропический).

С 1995 по 2005 г. Томск в течение 429 дней находился под воздействием циклона, а 740 дней — антициклона. Из годового хода суточных сумм суммарной радиации для циклона и антициклона видно (рис. 5, а), что при антициклоне суточный приход суммарной радиации больше в течение всего года. При этом абсолютная разница средних суточных сумм  $Q$  между антициклоном и циклоном растет от зимы к лету.

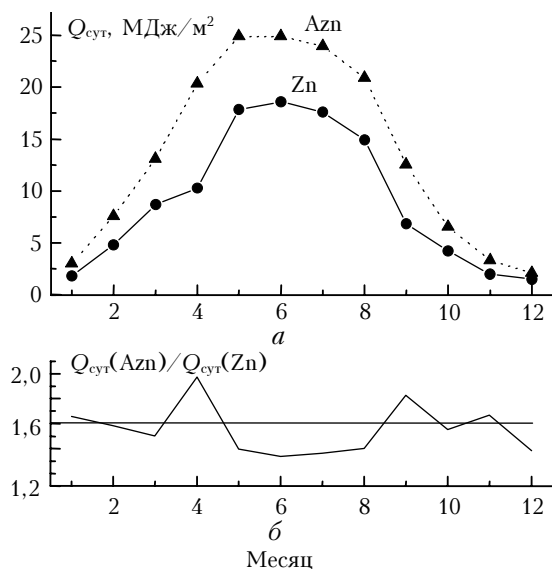


Рис. 5. Зависимость суточных сумм суммарной солнечной радиации от барического образования: Zn — циклон, Azn — антициклон

Очевидно, что абсолютная величина разницы обусловлена увеличением продолжительности солнечного сияния в летнее время. В действительности, различия в приходе суммарной радиации между антициклоном и циклоном сохраняются в течение всего года. Об этом можно судить по рис. 5, б, на котором показано отношение суточных сумм в антициклоне и циклоне. В среднем это отношение равно 1,6 и колеблется от 1,4 до 2,0. Подробно было рассмотрено, как распределяется суммарная радиация внутри циклона и антициклона. Для этого предварительно, чтобы избавиться от сезонной зависимости, провели нормировку для каждого месяца суточных сумм на среднемесячную суточную сумму соответствующего месяца. Из рис. 6 видно, что наибольший приход суммарной радиации наблюдается в северо-восточной части циклона, а в антициклоне — когда преобладает южная и юго-западная части. Для общей облачности в данных

частях образования наблюдается обратная картина, что не противоречит общепринятым представлениям.

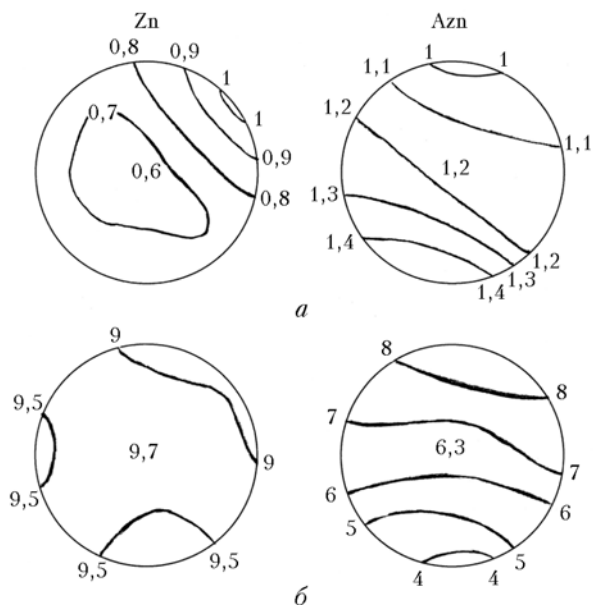


Рис. 6. Распределение нормированных суточных сумм суммарной солнечной радиации (а) и общей облачности (б) в циклоне (Zn) и антициклоне (Azn)

В реальных условиях на изменение радиационных характеристик влияет и смена воздушных масс. Для Томской области характерно преобладание арктической и умеренной воздушных масс. В рассматриваемый период 993 дня было с арктической воздушной массой (КАВ), 968 дней — с умеренной (КУВ), 242 дня — с субтропической (КСВ), и только 9 дней наблюдалась тропическая воздушная масса. При этом подчеркнем, что из выборки были исключены дни, когда в течение суток происходила смена типа воздушной массы.

В течение года влияние воздушной массы на приход суммарной радиации различно. Так, если с октября по май величины суточных сумм радиации в арктической и умеренной воздушных массах близки между собой, то в летний периоды  $Q_{\text{сут}}$  больше при КУВ (рис. 7).

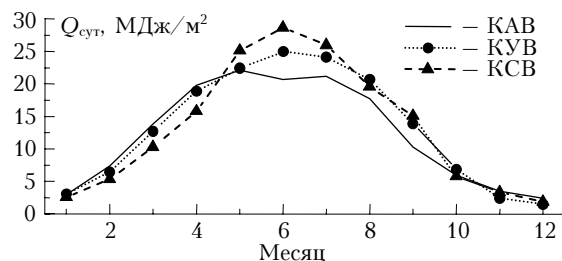


Рис. 7. Зависимость суточных сумм суммарной солнечной радиации от типа воздушной массы: КАВ — арктической, КУВ — умеренной, КСВ — субтропической

По-видимому, это объясняется тем, что в летний период при более чистой в среднем арктической воздушной массе сказывается ослабляющее действие общей и нижней облачности в ней. С июля по сентябрь в арктической воздушной массе, по

сравнению с умеренной, преобладали дни с общей облачностью 8–10 баллов и нижней облачностью больше 5 баллов. Это привело к уменьшению суточных сумм по сравнению с умеренной воздушной массой почти на 22%. В период с мая по июль суточные суммы суммарной радиации при КСВ больше, чем при КАВ и КУВ. В холодный период времени количество суммарной солнечной радиации при субтропической воздушной массе меньше, чем в случае с другими типами воздушной массы. Это скорее всего обусловлено тем, что теплый воздух, приходя на холодную подстилающую поверхность, быстро насыщается водяным паром, что способствует ускоренному облакообразованию. В теплое полугодие наблюдается другая картина. Сухой теплый воздух приходит на теплую почву, при этом сохраняется малооблачная погода, поэтому суммарная радиация больше, чем в КУВ и КАВ.

### Заключение

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- В целом за рассматриваемый период в районе г. Томска наблюдался достаточно устойчивый радиационный режим и отмечен незначительный положительный тренд суммарной радиации, хотя по многолетним наблюдениям до 1994 г. на территории Западной Сибири отмечена тенденция к уменьшению годовых сумм суммарной радиации.

- В 2003 г. из-за особенностей циркуляционных процессов годовой приход суммарной радиации возрос на 16% относительно среднего за рассматриваемый период.

- Межгодовая изменчивость месячных сумм суммарной радиации для каждого месяца имеет положительный тренд, кроме марта, июля и сентября.

- Наблюдается зависимость прихода суммарной радиации от типа воздушной массы.

- Величина суточных сумм суммарной радиации при антициклоне в среднем выше в 1,6 раза, чем при циклоне, в течение всего года. Максимальный суточный приход суммарной радиации наблюдается в северо-восточной части циклона, а в антициклоне — при южной и юго-западной.

Возникает вопрос — является ли данный результат характеристикой только рассматриваемого периода или отражает многолетние закономерности изменения  $Q$  в Томске? Поскольку мы рассмотрели короткий временной ряд (1995–2005 гг.), то полученные результаты являются характеристикой только данного периода наблюдений.

#### *T.K. Sklyadneva, B.D. Belan. Radiation regime in Tomsk region in 1995–2005.*

Results of monitoring of the total solar radiation, carried out at the TOR-station of IAO SB RAS in 1995–2005, are presented. It is revealed that during the period of the study quite steady radiation regime was observed with maximum of annual incoming solar radiation in 2003. The amount and variation range of the monthly solar radiation varied depending on the season. During spring-summer period the coefficient of variation of the monthly radiation varied from 15 to 16% and increased up to 20% during winter time. Interannual variability of monthly sums of the total solar radiation had a positive trend except for March, July, and September. The amount of the solar radiation income depending on air mass type and synoptic condition has been investigated. It is noted that amount of diurnal sums of solar radiation are larger in the presence of anticyclones. Maximum in diurnal sums of solar radiation was observed in the northeastern part of cyclone and in southern or southwestern part of anticyclone.

Авторы выражают искреннюю признательность Т.М. Рассказчиковой за полезное обсуждение результатов работы.

Работа выполнена по программе СО РАН 24.3, при поддержке программ Президиума РАН № 16, ОНЗ РАН № 9 и 11, грантов РФФИ № 04-05-64559, 04-05-65179, 06-05-79036 и проекта МНТЦ № 3032.

1. *Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P.* Can Earth's Albedo and Surface Temperatures Increase Together? // EOS. 2006. V. 87. N 4. С. 37–39.
2. *Житорчук Ю.В., Стадник В.В., Шамина И.Н.* Исследование линейных трендов во временных рядах солнечной радиации // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30. № 3. С. 389–391.
3. *Байков И.М.* Особенности многолетнего изменения коэффициента прозрачности атмосферы и составляющих солнечной радиации в Сибири и на Дальнем Востоке // Метеорол. и гидрол. 1998. № 1. С. 29–35.
4. *Коваленко В.А., Молодых С.И.* Долговременные вариации элементов радиационного баланса земной атмосферы и интенсивности космических лучей // Исслед. по геомагнетизму, аэрон. и физике Солнца. 1999. Вып. 106. С. 110–118.
5. *Покровский О.М., Махоткина Е.Л., Покровский И.О., Рябова Л.М.* Тенденции межгодовых колебаний составляющих радиационного баланса и альбедо поверхности суши на территории России // Метеорол. и гидрол. 2004. № 5. С. 37–48.
6. *Белан Б.Д., Наливайко А.А., Сакерин С.М., Скляднева Т.К.* Особенности многолетней изменчивости характеристик солнечной радиации в Западно-Сибирском регионе // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 3. С. 275–282.
7. *Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н.* Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.
8. *Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Скляднева Т.К.* Синоптический режим Томска за 1993–2004 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 10. С. 887–892.
9. *Пивоварова З.И., Стадник В.В.* Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. Л.: Гидрометеониздат, 1988. 292 с.
10. *Климат Томска.* Л.: Гидрометеониздат, 1982. 176 с.
11. *Белан Б.Д., Скляднева Т.К.* Результаты измерения суммарной солнечной радиации в районе Томска // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 4. С. 386–391.
12. *Морозова И.В., Мясников Г.Н.* Изменения возможной суммарной солнечной радиации на земной поверхности // Метеорол. и гидрол. 1997. № 10. С. 38–48.