

Б.Д. Белан, А.А. Наливайко, С.М. Сакерин, Т.К. Складнева

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В ЗАПАДНО-СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ*Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск*

Поступила в редакцию 3.12.98 г.

Принята к печати 4.12.98 г.

Рассмотрены закономерности изменения характеристик приходящей радиации на основе многолетних данных ближайших к Томску актинометрических станций. Показывается, что общим для региона в период 1959–1994 гг. были тенденции увеличения продолжительности солнечного сияния, рассеянной радиации и уменьшения притока прямой радиации. Наряду с трендовой составляющей характерным является наличие низкочастотных колебаний, обусловленных изменением режима облачности.

Некоторые индивидуальные особенности многолетней изменчивости, статистические характеристики и проведенные оценочные расчеты свидетельствуют о постепенном увеличении аэрозольной мутности атмосферы в регионе (более явно в южной части) и, кроме того, об увеличении в двух районах газового загрязнения атмосферы.

Введение

В Институте оптики атмосферы ведутся работы по широкому спектру атмосферной оптики и исследованию влияния различных факторов на распространение света в атмосфере. Вместе с тем до 1992 г. практически не проводилось экспериментальных исследований именно потоков солнечной радиации. Необходимость проверки развиваемых радиационных моделей облачной атмосферы [1], а также постановка ряда новых программ и комплексных экспериментов потребовали организации радиационных наблюдений и немалую роль в этом сыграл Г.А. Титов. В одной из таких программ – «Климато-экологический мониторинг Сибири» [2], Георгий Александрович был руководителем направления «мониторинг потоков ультрафиолетового, видимого и инфракрасного излучения», способствовал развитию соответствующих исследований и, в частности, – появлению настоящей работы.

В связи с проведением радиационных экспериментов в Томске интересно проанализировать, по данным ближайших актинометрических станций, закономерности многолетней изменчивости характеристик приходящей радиации и местные особенности на территории Западной Сибири – типичного региона бореальной климатической зоны.

При исследовании влияния различных факторов на формирование радиационного режима конкретных территорий возникает вопрос разделения глобальной изменчивости притока солнечной радиации и изменчивости, обусловленной местными условиями. Обобщения по проблеме многолетних изменений радиации на основе данных актинометрической сети СССР проводились в [3–9 и др.]. Отмечая важность итогов этих работ в целом, следует уточнить, что из-за многообразия взаимодействий в климатической системе, отягощенных прямыми и обратными связями, остаются противоречия в выводах о междугодичных колебаниях и трендах, а также гипотетичность их объяснения. В числе основных гипотез «влияния» обычно отмечают: циклы солнечной активности, вулканические извержения, изменение солнечной постоянной, неустойчивость

общей циркуляции атмосферы, явление Эль-Ниньо, изменение антропогенной нагрузки и др. В отношении радиационных характеристик трудность интерпретации обусловлена не всегда достаточной продолжительностью рядов наблюдений для выявления внутривековой изменчивости. Наиболее полный анализ многолетних колебаний радиации до 1970 г. проведен в [3], а в [4] рассмотрены характеристики трендов для последних десятилетий (с 1960 по 1987 г.) по 160 актинометрическим станциям СНГ. Среди основных выводов [4] отмечается уменьшение годовых сумм суммарной радиации (отрицательные тренды в 94% случаев), прямой радиации (97% случаев) и увеличение рассеянной радиации (60% случаев).

Целью настоящей работы является интерпретация общих свойств и особенностей длиннопериодной изменчивости радиационных характеристик только в отдельном регионе, но на основе более продолжительного ряда наблюдений (36 лет), с привлечением многолетних данных о продолжительности солнечного сияния (ПСС) и оценок влияния атмосферного замутнения. При анализе были использованы результаты наблюдений на шести актинометрических станциях – Александровское, Огурцово (Новосибирск), Енисейск, Благовещенка, Кузедеево, Омск, а также данные о ПСС в Томске [10, 11 и др.]. Географическое положение пунктов наблюдений показано на рис. 1.

1. Многолетние тренды

Изменение годовых сумм и линейные тренды для суммарной Q , прямой S , рассеянной D радиации и ПСС S_s иллюстрируются на рис. 2. Расчет тренда проводился аналогично [4] на основе аппроксимации рядов линейными функциями:

$$x = \alpha_0 + \alpha_1 t; \quad \beta_x = \frac{10 \alpha_1}{x} 100\%, \quad (1)$$

где x – текущее значение компоненты ряда; α_0 и α_1 – коэффициенты, рассчитанные методом наименьших квадратов; t – порядковый номер года; β_x – относительная интен-

сивность тренда, %, характеризующая скорость его изменения за десятилетний период (табл. 1). Заметим, что для Енисейска и Омска использованы более короткие ряды

наблюдений, поэтому в некоторых случаях возникают соответствующие различия с характеристиками других станций.

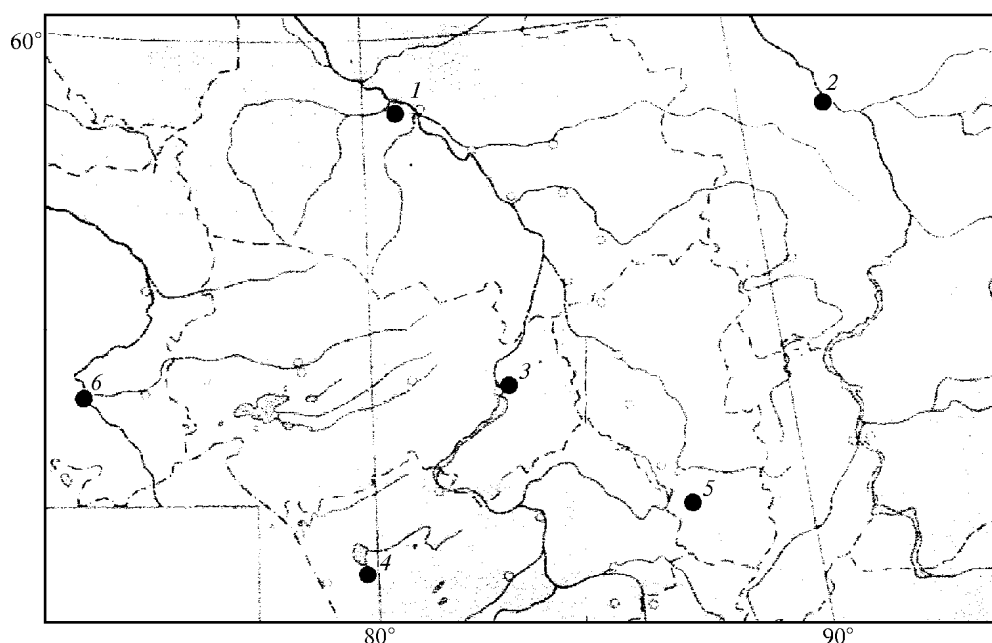


Рис. 1. Карта Западно-Сибирского региона с указанием пунктов наблюдений (1 – Александровское, 2 – Енисейск, 3 – Огурцово, 4 – Благовещенка, 5 – Кузнецкое, 6 – Омск)

Таблица 1

Относительная интенсивность тренда β , %, для различных районов (звездочкой отмечены короткие ряды наблюдений; значимые тренды выделены жирным шрифтом (уровень 90%) и подчеркиванием (уровень > 95%))

β_x	Период	Александровское	Енисейск*	Огурцово	Благовещенка	Кузнецкое	Омск* (S_s – Томск)
1	2	3	4	5	6	7	8
β_{S_s}	год	2,33	–	0,26	0,70	3,78	4,02
	лето	4,51	–	1,35	0,02	4,39	3,98
	зима	–6,34	–	–3,70	–9,28	0,61	6,64
β_S	год	–1,68	–5,24	–2,61	–6,79	–6,26	–7,93
	лето	2,82	–6,40	–0,34	–4,67	–5,87	–5,31
	зима	–13,16	10,27	–7,60	–15,78	–9,05	–4,14
β_D	год	1,35	8,19	4,74	2,05	–4,95	8,14
	лето	0,91	11,02	3,31	1,33	–3,51	6,86
	зима	0,83	–7,80	7,04	–0,11	–7,85	7,72
β_Q	год	–0,15	1,95	1,01	–2,77	–5,61	–0,02
	лето	1,97	1,76	1,22	1,99	–4,85	0,03
	зима	–3,59	–2,94	2,13	–5,74	–8,25	3,69

Значимость тренда оценивалась с помощью критерия Стьюдента аналогично [12]. Для компактности и наглядности представления статистически значимые тренды с доверительной вероятностью 90% выделены жирным шрифтом, а с уровнем более 95% – дополнительно подчеркнуты.

Наиболее простая из рассматриваемых характеристик – ПСС – определяется прежде всего облачностью, а от прозрачности атмосферы зависит только в исключительных случаях (туман, мгла). Из рис. 2 следует, что для ПСС характерна тенденция увеличения годовых сумм S_s , более выраженная в районах Томска, Кузнецкое и в летнее время. Конечно, значимость тренда на некоторых станциях недос-

точна, но тенденция одинакова. Значит, за последние 36 лет общим для региона было, в той или иной степени, постепенное уменьшение облачности и как следствие – увеличение ПСС.

При прочих равных условиях увеличение ПСС должно было привести к увеличению годовых сумм S . Однако в действительности для прямой радиации на всех станциях наблюдался отрицательный тренд. Причем более значимо уменьшение S прослеживается в южных районах с повышенной промышленной активностью. Столь же явно в рассматриваемый период увеличилась рассеянная радиация (исключение представляют данные для района Кузнецкое – гористой местности южнее Новокузнецка).

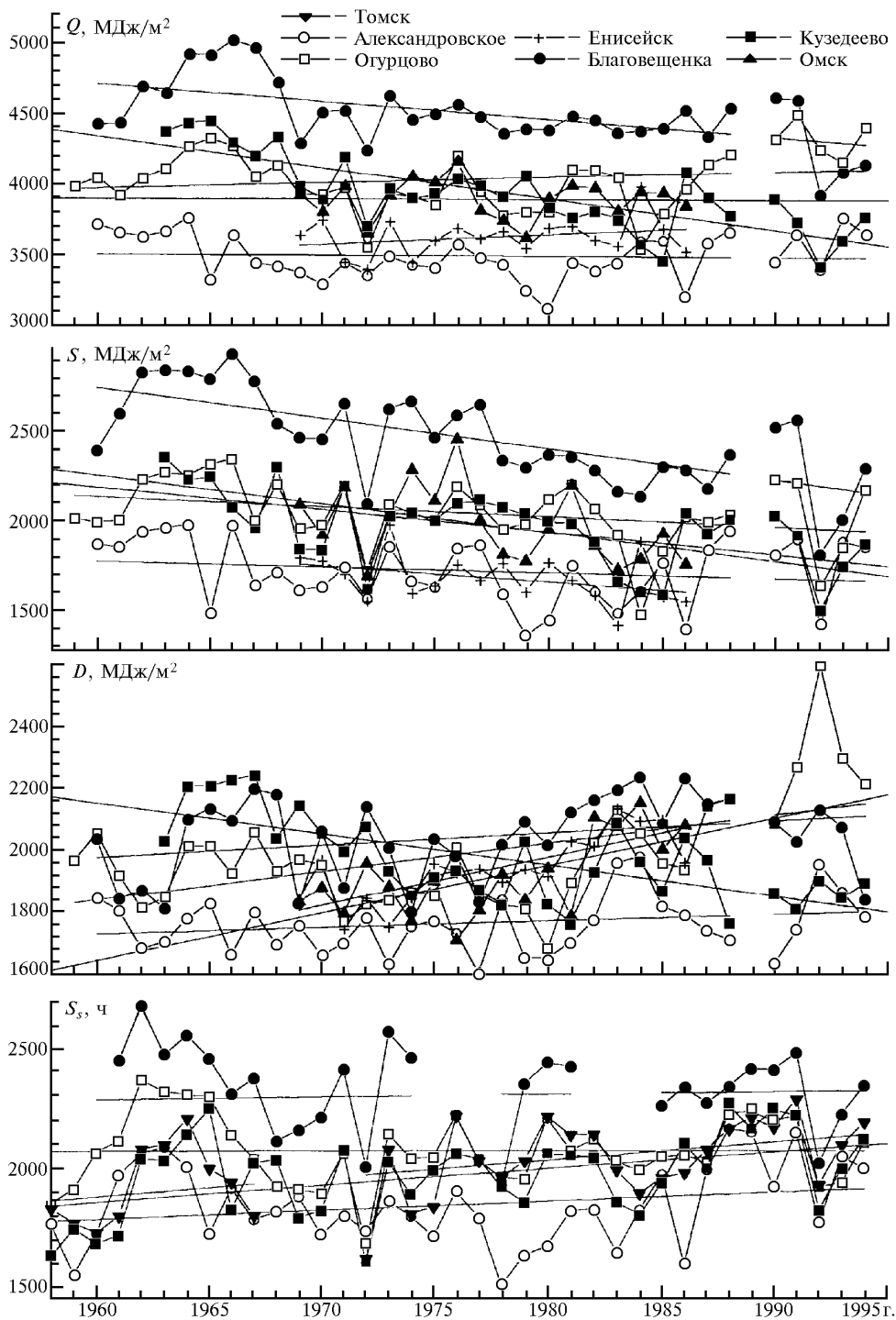


Рис. 2. Годовые суммы и линейный тренд ПСС и характеристик радиации – S , D , Q

Многолетняя изменчивость суммарной радиации не отличается единообразием тенденций. В северной части региона противоположное действие S и D радиации взаимно компенсировалось и существенного изменения суммарной радиации не произошло. О значимом тренде можно говорить только для ст. Благовещенка и Кузедеево. В этих районах в рассматриваемый период наблюдалось заметное снижение общего притока радиации. Например, в районе Кузедеево величина Q изменилась от ~ 4400 МДж/м² в конце 50-х гг. до ~ 3600 МДж/м² в середине 90-х и стала сопоставима с более

северным (~ 800 км) районом – Александровское. Различия в трендах и отмеченное выше противоречие между зависимостями S и S_s логично связать с местными особенностями изменения аэрозольно-газового состава атмосферы. Попытка такого объяснения будет представлена ниже, а сначала рассмотрим другие закономерности изменения радиации.

2. Низкочастотные колебания

Вместе с индивидуальными особенностями изменчивости радиации в отдельных районах можно отметить на-

личие общих локальных минимумов – короткие периоды резкого снижения ПСС. Более явно это проявляется для усредненных по станциям нормированных на среднее значений S_s^H (рис. 3). В этом случае местные особенности изменения ПСС сглаживаются, а общие для региона становятся более различимыми. Основные минимумы ПСС были в 1960, 1972, 1978, 1992 гг. и менее выраженный – в 1975 г. Очевидным следствием такого поведения ПСС явилось наличие аналогичных минимумов в годовых суммах Q и S (см. рис. 2), а для рассеянной радиации – максимумов. Сложнее выявить причины «кратковременного» уменьшения радиации или увеличения облачности в указанные годы. По крайней мере, напрямую влияние, например, вулканов не просматривается. Из рис. 3 видно, что только в одном случае – после извержения в Пинатубо – на следующий год (1992) наступило снижение S_s , Q , S . Важно пояснить, что сделанный вывод не противоречит очевидному влиянию вулканов и антропогенной деятельности на прямую радиацию при ясном небе [3, 7, 8], которая зависит только от прозрачности атмосферы. Иначе обстоит дело с реальными суммами (годовыми или месячными) прямой, а тем более Q и D радиации. В этом случае приоритетную роль в вариациях притока радиации играет облачность, а влияние характеристик мутности атмосферы завуалировано. Конечно, это не исключает более сложного воздействия вулканов – через изменение общей циркуляции и других процессов.

Если не учитывать «кратковременные» минимумы и построить огибающую (см. пунктир на рис. 3), то в многолетнем ходе S_s можно выявить другую низкочастотную составляющую – три волны с максимумами, приходящимися на 1962, 1976 и 1991 гг. Аналогичные колебания с периодами 10–16 лет проявляются и в радиационных характе-

ристиках. Низкочастотную составляющую можно выделить и методом скользящего осреднения. В качестве примера на рис. 3 показано относительное изменение прямой радиации в регионе, полученное после процедур вычисления нормированных значений S по каждой станции, определения среднего хода для всех станций и последующего скользящего осреднения (шаг – 7 лет). Из рисунка видно, что общим для региона является тенденция уменьшения S и наличие длиннопериодных волн.

Ранее З.И. Пивоваровой [3] уже анализировался этот вопрос и показывалась связь колебаний радиации с изменением характера атмосферной циркуляции (зональных и меридиональных переносов). Поэтому есть основания полагать, что и на территории Западной Сибири в более поздний период низкочастотные колебания и нерегулярные «кратковременные» уменьшения S , Q , S_s (увеличения D) были связаны с нарушением общей циркуляции и соответствующим изменением режима облачности.

Наличие рассмотренных низкочастотных волн затрудняет корректное выделение тренда при недостаточной продолжительности рядов наблюдений. В этой связи представляется явно завышенным отрицательный тренд Q и S (практически для всех станций), приведенный в [4]. Окончание анализируемого периода (1987 г.) находится в области минимума низкочастотной волны, перед очередным увеличением радиационных характеристик. Поэтому выявленные в [4] отрицательные тренды Q в значительной степени были обусловлены ошибкой методического подхода, отразившей особенности процесса лишь на ограниченном участке. В нашем случае рассмотрен более продолжительный ряд (включая третью волну) и получены оценки ближе к реальности.

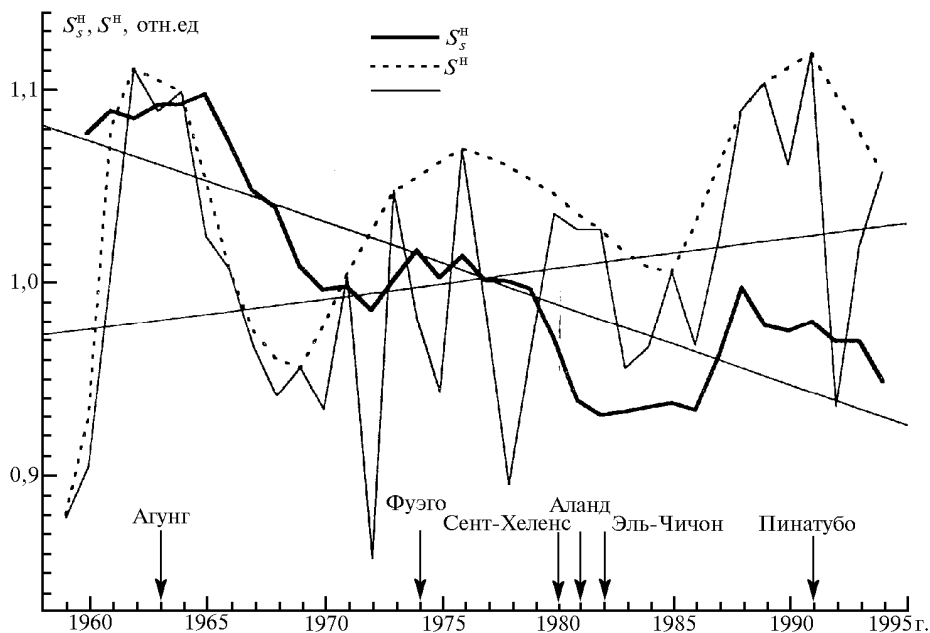


Рис. 3. Среднее для региона относительное изменение ПСС и прямой радиации (стрелками указаны наиболее крупные извержения вулканов)

3. Сезонные особенности

Для оценки сезонных различий изменения радиации в последнее сорокалетие отдельно были проанализированы суммы для летнего – «июнь–август» и зимнего «декабрь–февраль» периодов (см. табл. 1). Не вдаваясь в

подробности, кратко охарактеризуем наиболее общие особенности.

Прежде всего напомним, что удельный вес ПСС и притока радиации зимой существенно ослаблен из-за астрономического фактора – меньшей высоты Солнца и продолжительности дня по сравнению с летом. Отмеченная особен-

ность радиационных характеристик находит свое отражение как в тренде, так и в низкочастотных колебаниях. Следствием является то, что в большинстве случаев (различных районов и характеристик радиации) межгодовой ход летних сумм согласуется с годовыми и фактически определяет последние. Проявление этого факта наиболее характерно для Q и S_s . В качестве примера различий можно привести данные о средних значениях трехмесячных сумм Q на ст. Александровское: летом – 1631,5, а зимой – только 167,9 МДж/м².

Тенденция многолетнего изменения ПСС в разные сезоны имеет общую для региона закономерность: летом для всех станций характерно увеличение S_s (уменьшение облачности), а зимой, как правило, снижение, которое частично ослабляет положительный тренд годовых сумм.

Поведение S практически на всех станциях зимой и летом одинаково – она постепенно уменьшается. Поэтому эту тенденцию можно считать общей как для региона, так и для основных сезонов.

Характер многолетней изменчивости D в зимнее время на разных станциях противоречивый. По-видимому, на D преобладающее влияние оказывают местные особенности изменения прозрачности и альbedo. Для летнего периода тренд рассеянной радиации положительный (Кузедеево опять исключение), что определяет аналогичную зависимость и годовых сумм D .

4. Статистика и корреляции

Дополнительную информацию об особенностях радиационного режима можно получить из статистических характеристик (табл. 2). В средних, максимальных и минимальных значениях S_s , S , D и Q прослеживается понятная широтная зависимость – уменьшение величин с севера на юг. Нарушение наблюдается только для ст. Кузедеево, где все характеристики имеют заниженные значения и сопоставимы с более северным районом – Огурцово. Этот факт отмечался для более раннего периода (до 1964 г. [9]) и связывался со специфическими условиями горной местности.

В определенной степени широтная зависимость проявляется и в среднеквадратических значениях. Поэтому для оценки вариабельности характеристик в различных районах правильнее сравнивать относительные величины – коэффициент вариаций V . Из табл. 2 видно, что максимальные вариации характерны для прямой радиации – около 10% (для ПСС – чуть ниже). Малой изменчивостью отличается суммарная радиация – коэффициенты V около 5%. Однако более важно отметить значимое различие вариаций (особенно для Q и D) в фоновых районах (Александровское и Енисейск) от промышленных: Кузедеево в Кузбассе, Благовещенка между Павлодаром и Барнаулом и Огурцово рядом с Новосибирском. Например, по суммарной радиации коэффициенты $V_Q = 3,6-4,5\%$ в фоновых районах, а в зоне активной промышленной деятельности $V_Q = 5-10,5\%$.

Хорошо известно наличие тесной связи Q и S радиации с баллом облачности и ПСС [3, 13, 14]. Анализ коэффициентов взаимной корреляции месячных сумм Q , S и S_s (рис. 4) еще раз подтвердил наличие взаимосвязи с максимальными значениями в теплый период. Однако интересен не этот тривиальный вывод. Важной особенностью является более высокий (кроме октября) уровень корреляции для «фоновой» станции (Александровское) по сравнению с другими районами. По-видимому, это является следствием дополнительных и более высоких колебаний прозрачности (некоррелированных с S_s) в промышленных районах.

Этот факт, как и ранее отмеченные, подводит к очевидной мысли, что некоторые общие и индивидуальные закономерности изменения радиации связаны с вариациями естественного или антропогенного загрязнения атмосферы.

Таблица 2

Статистика годовых сумм радиации, МДж/м², и ПСС, ч (звездочкой отмечены короткие ряды)

Станция, параметр	Среднее	min	max	СКО	V , %
Александровское:					
Q	3495	3114	3767	159	4,54
S	1727	1369	1985	178	10,33
D	1769	1608	1985	93	5,28
S_s	1858	1519	2180	169	9,12
*Енисейск:					
Q	3629	3400	3990	132	3,64
S	1686	1427	1982	130	7,73
D	1943	1746	2140	108	5,56
Огурцово:					
Q	4042	3545	4499	215	5,31
S	2050	1484	2345	185	9,01
D	1991	1684	2603	177	8,88
S_s	2087	1691	2369	143	6,87
Благовещенка:					
Q	4506	4082	5024	223	4,95
S	2459	1943	2927	245	9,95
D	2047	1798	2240	131	6,39
S_s	2684	1937	2684	249	9,27
Кузедеево:					
Q	3941	3426	4451	264	6,69
S	1965	1515	2349	207	10,53
D	1975	1769	2244	133	6,75
S_s	1988	1614	2278	165	8,29
*Омск:					
Q	3896	3622	4166	135	3,46
S	1980	1691	2453	205	10,36
D	1916	1712	2158	125	6,53
Томск: S_s	2017	1627	2304	168	8,32

5. Влияние прозрачности атмосферы

Рассмотрим, какое изменение характеристик мутности атмосферы (аэрозоль, загрязняющие газы) могло повлиять на различие динамики радиационного режима в отдельных районах. К сожалению, короткие ряды данных аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы (около 20 лет) и фактически отсутствия таких наблюдений в рассматриваемом регионе не позволяют использовать полученные результаты для данного случая. (Единственная станция измерений АОТ находится в Омске – на границе региона). Что касается загрязняющих газов, то с точки зрения продолжительности и регулярности наблюдений положение еще хуже. Поэтому воспользуемся косвенными оценками.

В качестве индикатора изменения АОТ атмосферы и, соответственно, прозрачности часто используется отношение прямой радиации к рассеянной, измеренным при конкретных высотах открытого от облачности Солнца [5, 7 и др.]. Показать взаимосвязь прозрачности с более сложными характеристиками – суточными или годовыми суммами радиации, в строго аналитическом виде практически невозможно – слишком много факторов необходимо учитывать. В то же время из общих соображений понятно, что если рассматривать простой случай без сезонного и суточного перераспределения балла облачности или характеристик мутности, то суммы прямой радиации пропорциональны ПСС, а также аэрозольной и газовой компонентам прозрачности:

$S \sim T_a T_r S_s$. Если учесть тенденцию увеличения рассеянной радиации при росте балла облачности (за исключением сплошной облачности) [13–15], рассеяния аэрозолям и обратную зависимость от поглощения, то при аналогичном подходе получим другую приближенную запись: $D \sim T_r / (T_a S_s)$. Тогда для отношения и произведения S и D можно записать:

$$S/D \sim (T_a S_s)^2, \quad (2)$$

$$SD \sim T_r^2. \quad (3)$$

Причем первое соотношение характеризует суммарное действие аэрозольного рассеяния и облачности, а второе – только поглощения радиации в атмосфере. Чтобы скомпенсировать влияние облачности, выражение (2) необходимо дополнительно пронормировать на S_s .

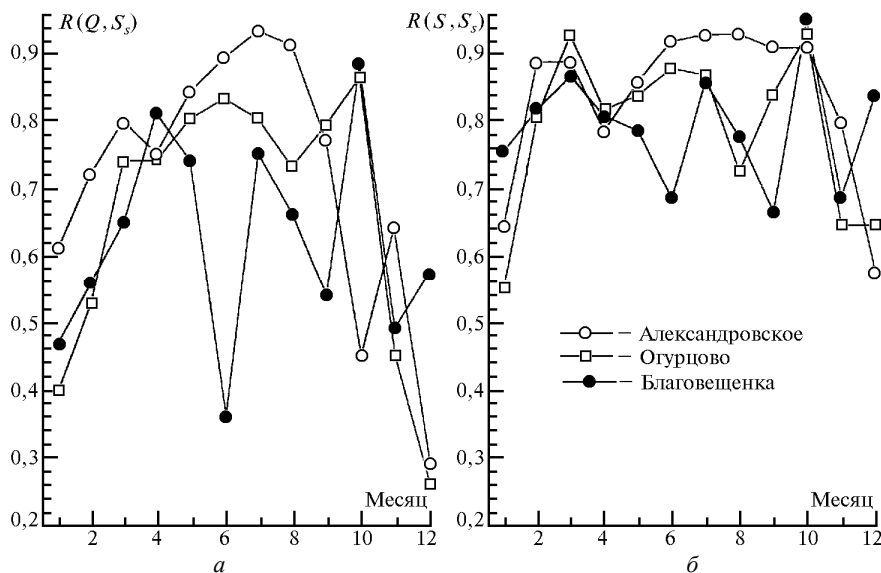


Рис. 4. Коэффициенты взаимной корреляции S_s с суммарной (а) и прямой (б) радиацией

Заметим, что в данном случае не является принципиальным наличие именно квадратической или другой зависимости (тем более, что эти выражения приведены на основе качественных рассуждений). Более важно, что по соотношению сумм S и D радиации можно судить о влиянии на радиацию компонент прозрачности T_a и T_r .

Чтобы проследить тенденцию изменения рассеяния и поглощения в различных районах по годам, проведем нормировку на характеристики радиации в начальный период (1959 г.). Тогда получим две относительные величины γ , которые можно рассматривать как качественные индикаторы изменения загрязнения атмосферы:

$$\gamma_{\text{рас}} = \frac{[S/D S_s]_i}{[S/D S_s]_{1959}} = f(T_a), \quad (4)$$

$$\gamma_{\text{погл}} = \frac{[S D]_i}{[S D]_{1959}} = f(T_r). \quad (5)$$

Таким образом, не раскрывая вида функциональной связи $f(T)$, можно считать, что уменьшение (или увеличение) параметров γ свидетельствует об аналогичной тенденции изменения компонент прозрачности атмосферы.

Оценки рассчитанных значений $\gamma_{\text{рас}}$ (рис. 5) указывают на тенденцию уменьшения T_a (или увеличения АОТ), в том числе для практически фоновой станции Александровское. Такое поведение аэрозольной компоненты объясняет уменьшение притока прямой и увеличение рассеянной радиации и снимает противоречие во временных ходах S_s и S (уменьшение T_a оказалось для S более существенным, чем увеличение ПСС). Отметим также, что тенденция увеличения аэрозольного рассеяния является общей для региона (не исключен и ее глобальный характер).

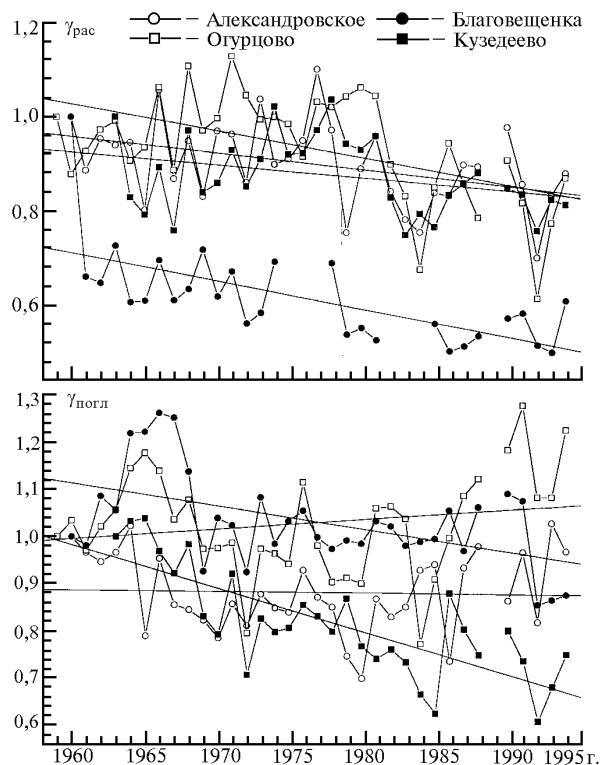


Рис. 5. Характер многолетней изменчивости параметров $\gamma_{\text{рас}}$ и $\gamma_{\text{погл}}$ для четырех станций региона

Из поведения второго параметра – $\gamma_{\text{погл}}$ следует, что для Александровского и Огурцово изменения небольшие, а

в районах Благовещенки и Кузедеево наблюдалось значимое увеличение поглощения. Последнее хорошо согласуется с повышенным антропогенным влиянием зоны Кузбасса и результатами самолетных экологических обследований атмосферы [16] в районах Павлодар – Благовещенка и Кемеровской области. Интересно отметить, что уменьшение прозрачности за счет поглощения в районе Благовещенки, и особенно Кузедеево, хорошо объясняет причину отрицательных трендов рассеянной и суммарной радиации (см. табл. 1 и рис. 2). При уменьшении только аэрозольной компоненты T_a картина была бы иная – уменьшение S , увеличение D и незначительное изменение суммарной радиации Q .

Заключение

Анализ многолетней изменчивости характеристик радиации на территории Западной Сибири позволяет сделать следующие основные выводы:

1. В рассмотренный период (1959–1994 гг.) общими для региона были тенденции:

– увеличения годовых сумм ПСС за счет уменьшения облачности в летнее время (хотя зимой наблюдалась обратная тенденция);

– увеличения рассеянной радиации и уменьшения прямой под влиянием роста аэрозольной мутности атмосферы.

2. Общей закономерностью являются нерегулярные «кратковременные» уменьшения годовых сумм S_s , S , Q (но увеличение D) и низкочастотные колебания с периодами около 14 лет, которые обусловлены изменением режима атмосферной циркуляции и облачности.

3. Оценки параметров $\gamma_{рас}$, $\gamma_{погл}$, а также ряд косвенных факторов объясняют местные особенности радиационного режима различиями аэрозольно-газового загрязнения:

– в районах Александровское и Огурцово изменение притока суммарной радиации из-за аэрозоля оказалось

незначительным (прямая радиация уменьшилась, а рассеянная увеличилась);

– значительный рост поглощающей компоненты прозрачности T_T в районах Благовещенки и Кузедеево привел к дополнительному уменьшению S , изменил тенденцию хода D , а совокупным результатом явилось общее снижение притока солнечной радиации.

1. Зуев В.В., Титов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: Изд-во «Спектр» Института оптики атмосферы СО РАН, 1996. 272 с.
2. Кабанов М.В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. № 2. С. 146–162.
3. Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 335 с.
4. Житорчук Ю.В., Стадник В.В., Шанина И.Н. // Изв. АН. Сер. ФАО. 1994. Т. 30. № 3. С. 389–391.
5. Логинов В.Ф., Пивоварова З.И., Кравчук Е.Г. // Метеорология и гидрология. 1983. № 8. С. 55–60.
6. Поляк И.И., Пивоварова З.И., Соколова Л.В. К анализу длиннопериодных колебаний солнечной радиации // Тр. ГГО. 1980. Вып. 427. С. 55–63.
7. Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. и др. // Метеорология и гидрология. 1996. № 8. С. 53–63.
8. Абакумова Г.М., Ярхо Е.В. // Изв. АН. Сер. ФАО. 1994. Т. 30. № 3. С. 405–410.
9. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 76 с.
10. Актинометрический ежемесячник. Ч. 2.1.; 2.2. Л.: СЗ УГМС. 1969–1987.
11. Актинометрический справочник. Л.: Гидрометеиздат (начиная с 1964 г.).
12. Руссак В.К. // Метеорология и гидрология. 1987. № 3. С. 53–57.
13. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности / Под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 564 с.
14. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 232 с.
15. Перрен де Бришамбо Ш. Солнечное излучение и радиационный обмен в атмосфере. М.: Мир, 1966. 320 с.
16. Белан Б.Д., Зуев В.Е., Панченко М.В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 1–2. С. 131–156.

B.D. Belan, A.A. Nalivaiko, S.M. Sakerin, T.K. Sklyadneva. Peculiarities of Many-year Variability of Solar Radiation Characteristics in West Siberia Region.

Regularities of variation of incoming radiation characteristics are observed based on many-year data from the actinometric observation stations near Tomsk. The tendency for an increase of sunshine and scattered radiation duration as well as for a decrease of the direct radiation income is shown to be common for the region in 1959–1994. Along with the trend component, low-frequency vibrations, stipulated by cloudiness variation, are characteristic.

Some individual peculiarities of many-year variability, statistical characteristics and estimates testify that a gradual enhancement of the atmospheric aerosol turbidity in the region (more distinctly in its south part) takes place and, besides, an increase of the atmosphere gaseous pollution in two districts.