

В.Г. Аршинова, Б.Д. Белан, Т.М. Рассказчикова

**РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИМАТО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА TOR-СТАНЦИИ.
Ч. 1. СИНОПТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ**

Проанализирован метеорологический и синоптический режим в течение 1993 г. в районе г. Томска, где расположен пункт мониторинга атмосферных параметров. Показано, что 1993 г. по динамике большинства метеопараметров близок к среднему многолетнему режиму, циркуляционные же характеристики в этот период отличаются от средних многолетних.

В последние годы интерес многих исследовательских коллективов сориентирован на изучение длительных рядов геофизических параметров, что обусловлено началом работ по международной программе <Global Change>. Одним из направлений этой программы является выделение значимых изменений природной среды и климата. Институт оптики атмосферы СО РАН, имеющий богатый опыт исследования атмосферы, также активно подключился к изучению этой проблемы.

С 1989 г. в ИОА СО РАН ведется мониторинг атмосферного озона в рамках проекта TOR (Tropospheric Ozone Research) программы EUROTRAC [1]. В 1992 г. набор контролируемых параметров был существенно расширен, поводом для чего послужило принятие в СО РАН проекта <Климато-экологический мониторинг Сибири> (КЭМС). Основные идеи этого проекта изложены в [2], и предполагается, что он станет составной частью программы <Global Change>. Для реализации этих проектов была создана TOR-станция, описание которой имеется в [3]. Там же приведены ее основные характеристики и режим работы. Обсуждению результатов, полученных на этой станции в 1993 г., и посвящен настоящий цикл статей. Первая статья цикла призвана оценить соответствие получаемых данных среднему многолетнему климатическому режиму г. Томска, на окраине которого и расположена TOR-станция [3].

Территорию Западной Сибири согласно [4] можно разделить на три климатических зоны. Первая из них расположена между 55 и 65° с. ш. Вторая зона – лесная, имеет границу, проходящую от Урала, севернее Новосибирска, на восток. Третья зона – лесостепная, ограничивается районами Петропавловска (Казахстан) и предгорьями Алтая.

Томск находится на границе 1-й и 2-й зон. Эта область наибольшей циклонической деятельности в Западной Сибири, которая сохраняется в течение всего года [5].

Т а б л и ц а 1

Повторяемость (%) основных синоптических объектов в районе г. Томска в 1993 г.

Период	Циклон	Антициклон	Фронт	Контрастная зона	Малоградиентное поле	Фронты + циклоны
I	43	17	22	18	0	65
II	28	22	18	6	26	46
III*	13	39	18	6	24	31
IV	18	38	22	6	16	40
V	27	35	20	14	5	47
VI	33	16	8	3	40	41
VII	19	24	9	0	48	28
VIII	36	26	16	0	22	52
IX	40	21	24	10	5	64
X	22	34	38	4	2	60
XI	20	23	24	22	11	44
XII	18	29	31	12	10	49
Средняя за год	26	27	21	9	17	47

* Анализ за неполный месяц.

Анализ синоптической обстановки в районе г. Томска, выполненный по ежедневным синоптическим картам и представленный в табл. 1, показывает, что в среднем за год повторяемость циклонических и антициклонических образований составляла в 1993 г. 26 и 27% соответственно; малоградиентные поля и контрастные зоны наблюдались в 17 и 9% случаев; различные фронтальные разделы проходили через город в 21% случаев. Учитывая, что фронтальные разделы, как правило, связаны с циклонической деятельностью [6, 7], можно констатировать, что она преобладала и в 1993 г. (47%), что соответствует выводам [5].

По данным [8] отличительной особенностью повторяемости циклонов над Западной Сибирью по сравнению с другими регионами является отсутствие четко выраженного годового хода. По многолетним данным выделяется несущественный максимум в мае и два хорошо выраженных минимума в июле и декабре.

В исследуемый период годовой ход повторяемости циклонов отличался от среднего многолетнего (табл. 1). В нем наблюдалось три максимума: январь, июнь, август – сентябрь, и три минимума: март – апрель, июль, октябрь – декабрь. Следовательно, в 1993 г., за исключением минимумов повторяемости в июле и декабре, характер циклонической деятельности в районе г. Томска отличался от среднего многолетнего.

Если же рассматривать суммарно повторяемость циклонов и фронтов, представленную в последней колонке табл. 1, то видно, что ее годовой ход получается более гладким, чем годовой ход повторяемости одних циклонов и отражает характер общей циркуляции атмосферы над Западной Сибирью, а именно усиление циклонической деятельности зимой и в переходные периоды [5, 8]. В этом случае наблюдавшийся годовой ход циклонической деятельности в районе г. Томска в 1993 г. приближается к среднему многолетнему.

Роль синоптических процессов в формировании климатического режима атмосферы и состава воздуха конкретного района различна. Так, если метеорологический режим в основном определяется циркуляционными условиями, то состав воздуха во многом зависит от типа воздушной массы и траектории прихода в данную точку синоптического объекта.

В целом за 1993 г. над территорией региона преобладает зональный тип циркуляции, который лишь изредка прерывался меридиональным.

Для Западной Сибири, в зависимости от траектории прихода циклонов, можно выделить три их типа: западные, южные и северные [9]. Схематически это показано на рис. 1.

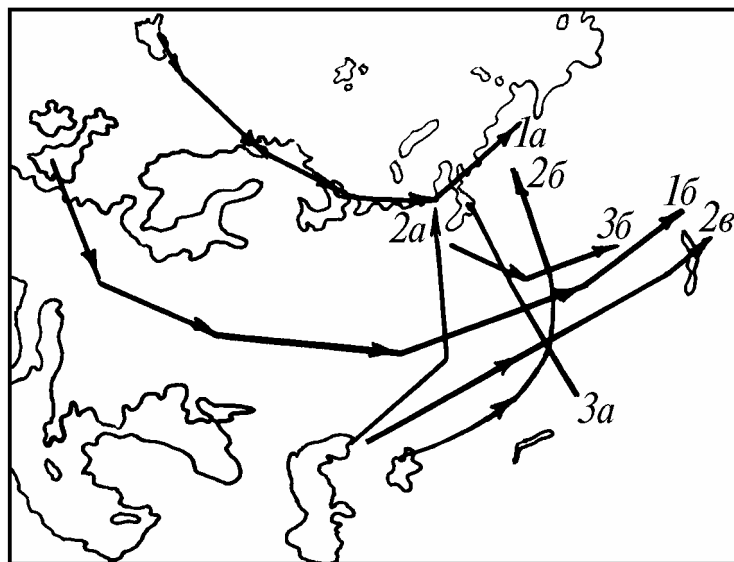


Рис. 1. Основные траектории прихода циклонов на территорию Западной Сибири западного (1а, 1б), южного (2а, 2б, 2в) и северного (3а, 3б,) типов

В течение 1993 г. на территории Западной Сибири преобладали циклоны типа 1а (рис. 1), которые приходили из районов Атлантики и смещались по побережью Северного Ледовитого океана, определяя своей южной периферией погоду Томска.

При таком типе циркуляции траектории антициклонов, завершающих серию циклонов, проходили южнее 56° с. ш. (широты г. Томска). Азиатский (Сибирский) антициклон в течение 1993 г. был развит слабо и его влияние на погоду Томска было невелико.

Динамику циркуляционных процессов в течение года рассмотрим по данным табл. 2, которая составлена с учетом типизации, разработанной в [10].

В январе и феврале 1993 г. большая часть циклонов перемещалась по северу Сибири и погоду Томска определяла южная часть этих образований.

Траектории антициклонов, напротив, были в основном южными, и на погодные условия региона оказывала воздействие их северная периферия.

Пятуго часть времени в 1993 г. город находился под воздействием различных фронтальных разделов, которые зимой в ночное время приводят к уменьшению выхолаживания и тем самым повышают средние температуры и сглаживают суточный ход.

Особенностью января является тот факт, что в 23% случаев термический режим Томска определялся воздухом, пришедшим из субтропиков, хотя обычно его повторяемость в этот период не превышает 2% [11].

Т а б л и ц а 2

Повторяемость синоптических условий, %

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Циклон	центр	–	–	0,6	0,7	–	3,5	–	–	–	–	2,8
	С	–	–	1,7	–	2,6	3,2	3,8	–	–	–	–
	СВ	–	–	0,9	–	–	–	–	0,9	–	–	–
	В	–	1,9	–	2,9	–	5,0	7,4	1,4	6,2	–	–
	ЮВ	23,9	9,8	4,7	1,4	6,2	5,4	–	4,6	10,4	5,4	6,7
	Ю	9,2	12,7	1,3	4,3	2,2	1,6	0,9	5,0	5,1	8,5	5,0
	ЮЗ	3,7	–	–	2,6	2,8	1,1	2,0	6,0	0,6	4,4	–
	З	–	–	–	–	0,7	0,5	–	–	–	–	–
	СЗ	–	–	–	–	0,8	5,4	1,2	–	–	–	–
Ложбина	5,9	3,9	3,4	6,4	11,1	6,9	3,8	19,3	16,5	3,8	8,3	7,2
Фронт	22,2	17,7	17,8	21,9	19,9	7,9	9,0	15,9	24,0	37,9	24,0	31,1
Контрастная зона	18,4	5,8	6,4	6,0	13,7	3,5	–	–	9,6	4,0	21,8	12,3
Малоградиентное поле	0,1	25,9	23,8	16,2	5,0	39,7	48,2	21,6	5,3	2,3	11,1	10,0
Антициклон	центр	2,0	–	–	2,4	0,9	0,5	–	1,4	–	3,6	3,4
	С	1,3	9,4	15,0	6,7	9,5	9,1	–	5,4	8,1	11,7	3,2
	СВ	–	9,6	4,5	3,5	7,7	–	0,9	–	3,8	4,0	2,4
	В	–	–	–	2,2	2,4	–	2,8	–	–	–	0,4
	ЮВ	0,7	–	–	1,0	2,8	1,4	12,0	–	–	–	–
	Ю	–	–	–	1,2	–	–	1,2	–	–	–	–
	ЮЗ	–	–	0,8	1,9	4,4	–	–	–	–	–	–
	З	2,4	–	–	0,8	2,7	–	0,3	2,8	0,6	1,2	–
СЗ	3,9	–	4,5	13,0	0,4	1,0	–	2,2	2,1	6,2	–	
Гребень	6,3	3,3	14,6	4,9	4,2	4,3	6,5	14,4	6,8	7,0	13,7	1,7

В феврале циркуляционные условия были близки к норме.

В марте третья часть циклонов проходила южнее Томска, а траектории антициклонов в целом повторяли январские и февральские.

В апреле траектории циклонов совпадали с зимними, а пути перемещения антициклонов отличались большим разнообразием.

Циркуляционные условия в мае значительно отличались от условий предыдущих месяцев. В этот период наблюдался большой вклад циркуляции меридионального типа, в то время как с января по апрель преобладал зональный тип (здесь используется типизация Вангенгейма [12]). Поэтому средняя температура мая ниже многолетней. В мае, кроме того, значительно реже регистрировалось образование малоградиентного поля и была довольно высокой повторяемость фронтальных разделов, уменьшающих дневной прогрев приземного воздуха.

В июне траектории циклонических образований отличались большим разнообразием, а повторяемость антициклонов была мала, и они в основном перемещались южнее. В этом месяце преобладало малоградиентное барическое поле, которое наблюдалось в 40% случаев.

В июле продолжительность воздействия циклонов на погоду региона несколько уменьшается, но в то же время увеличивается повторяемость случаев с малоградиентным полем до 48%, что совпадает с многолетним режимом циркуляции. Это объясняется летним прогревом континента и уменьшением горизонтальных градиентов давления.

В августе наблюдалось усиление зональной циркуляции. Повторяемость циклонических и антициклонических образований практически одинакова.

В сентябре повторяемость воздействия циклонических условий на погоду увеличилась почти до 50% и усилилась меридиональность циркуляции, что привело к дополнительным заточкам арктического воздуха и понижению температуры.

В октябре произошло усиление антициклонической деятельности. А ноябрь отличался таким увеличением меридиональных процессов, что его средняя температура была ниже декабрьской.

В декабре началось усиление зональной циркуляции и увеличилась частота поступления субтропического воздуха (18%) на территорию Западной Сибири.

В целом же за год умеренная воздушная масса в районе г. Томска присутствовала в 49, арктическая – в 45, субтропическая – в 6% случаев. Тропический воздух в 1993 г. в район города не проникал.

В следующих статьях этого цикла будут приведены сведения о вариациях газового и аэрозольного состава воздуха, полученных с помощью TOR-станции. Здесь же покажем влияние синоптических условий на изменчивость этих параметров, опираясь на взаимосвязь состава воздуха и метеовеличин. Для чего обратимся к рис. 2, на котором представлены годовой ход повторяемости основных синоптических процессов и среднемесячных коэффициентов корреляции между метеовеличинами и составом воздуха. Для расчета коэффициентов в каждом из месяцев использовались порядка 700 взаимных пар значений, исключая март, где статистика составила около 300 пар. На рисунке приводятся коэффициенты корреляции, которые хотя бы в один из месяцев года были значимы по уровню 0,1%.

Из рис. 2 видно, что изменение во времени величины коэффициентов корреляции в ряде случаев близко к годовому ходу повторяемости того или иного синоптического процесса.

Так, коэффициенты корреляции между O_3 и CO , O_3 и CO_2 имеют ход, подобный годовому ходу повторяемости антициклонов (рис. 2, а). Отклонения наблюдаются лишь в периоды значительного возрастания повторяемости над регионом северной периферии антициклона (табл. 2).

Кривая годового хода коэффициента корреляции O_3 и V имеет почти одинаковые точки перегиба, как и кривая повторяемости циклонов (рис. 2, б).

Подобие кривых коэффициентов корреляции T и O_3 (а и O_3) и годового хода повторяемости циклонов и контрастных зон видно из рис. 2, в. Однако в летнее время они изменяются в противофазе, что, возможно, связано с генерацией озона при внутримассовой грозовой деятельности.

Весьма хорошее совпадение хода кривых повторяемости контрастных зон и коэффициента корреляции f и O_3 видно из рис. 2, г. Учитывая, что $R(f, O_3)$ имеет в течение почти всего года отрицательное значение, можно полагать, что большие градиенты указанных величин в контрастной зоне направлены противоположно.

Хорошее подобие кривых повторяемости малоградиентных полей и взаимосвязи dd и O_3 выявляется из рис. 2, д. Это подобие, очевидно, имеет закономерный характер, т.к. в условиях малоградиентных полей не наблюдается переноса воздушных масс и изменения озона определяются локальными процессами, проявляющимися через направление ветра.

И наконец, на рис. 2, е показаны годовой ход повторяемости антициклонов и взаимосвязи N и O_3 , которые демонстрируют почти полное совпадение. По-видимому, это является отражением подобия процессов генерации озона и аэрозоля в воздухе, т.е. в ситуациях, когда четко выражен суточный ход и нет смены воздушных масс, что и характерно для антициклонических условий.

Таким образом, из приведенных выше данных следует, что циркуляционные процессы в 1993 г. были в районе Томска отличны от многолетних. Вместе с тем изменение взаимосвязи метеорологических величин и состава воздуха свидетельствует о значительном и закономерном вкладе синоптических процессов в их изменчивость.

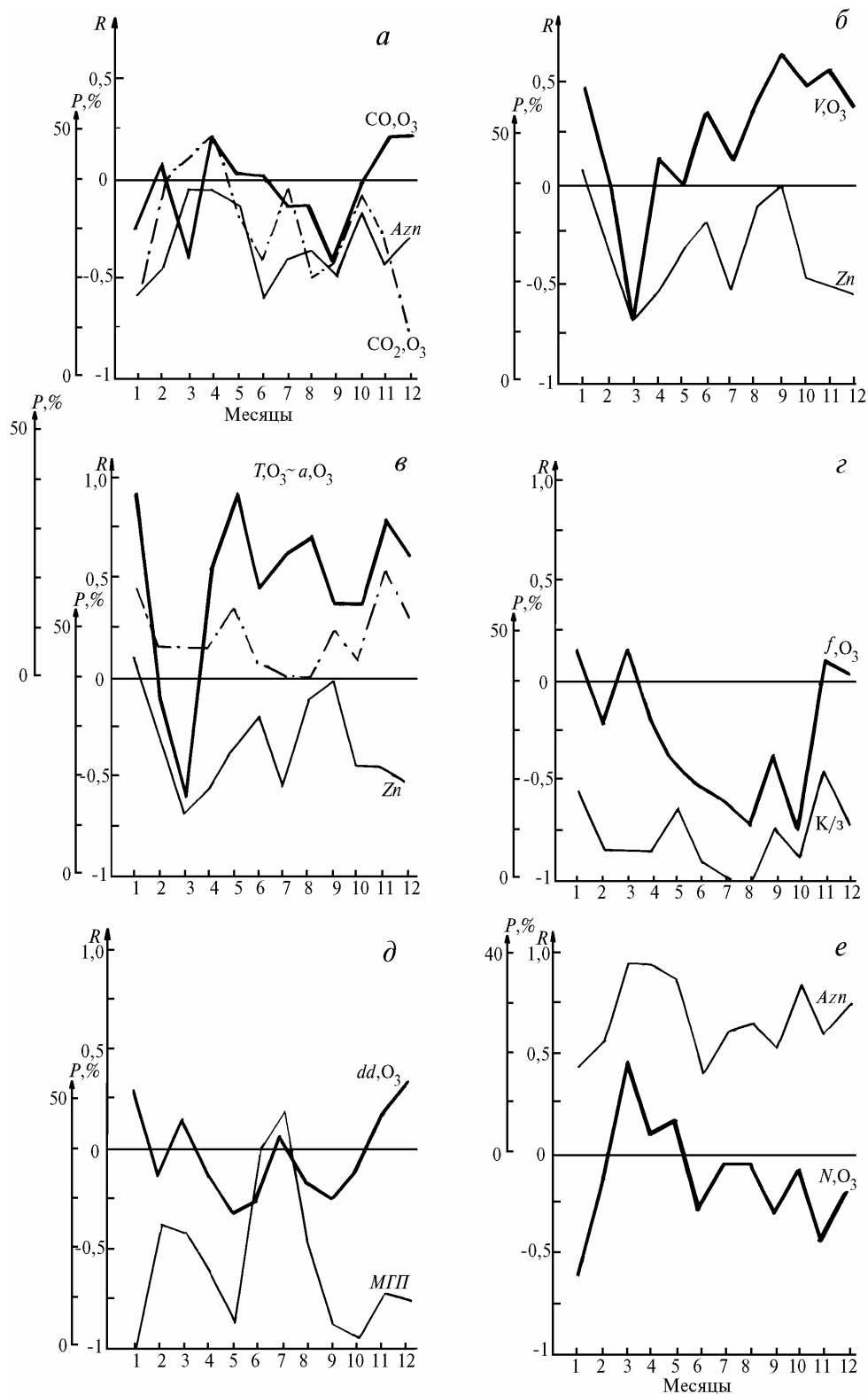


Рис. 2. Годовой ход повторяемости синоптических условий: МГП – малоградиентное поле; Zn – циклон, Azn – антициклон; K/з – контрастная зона. Годовой ход среднемесячных коэффициентов корреляции: T – температура воздуха; a – абсолютная влажность; dd – направление ветра; V – скорость ветра; f – относительная влажность и O₃ – озон; CO – оксид углерода; CO₂ – диоксид углерода; N – счетная ($d \geq 0,4$ мкм) концентрация аэрозоля

В связи с тем что состав воздуха в районе Томска ранее регулярно не измерялся, для оценки репрезентативности получаемых данных необходима их валидация. Этому же требуют и данные о временной изменчивости метеовеличин. Учитывая выявленную выше взаимосвязь метеовеличин и состава воздуха, проведем оценку репрезентативности опубликованных в [13] данных путем сравнения измеренных с помощью TOR-станции метеопараметров и их климатических характеристик.

Климат Томска является континентальным и имеет амплитуду годового хода температуры воздуха по многолетним данным $37,3^{\circ}\text{C}$. Амплитуда годового хода в 1993 г. по данным, полученным на TOR-станции, составила $36,2^{\circ}\text{C}$.

График годового хода среднемесячных температур аналогичен графику средних многолетних данных, но в большинстве случаев средние температуры в 1993 г. были выше многолетних. И только в мае, сентябре и ноябре они не превышали многолетних значений (рис. 3).

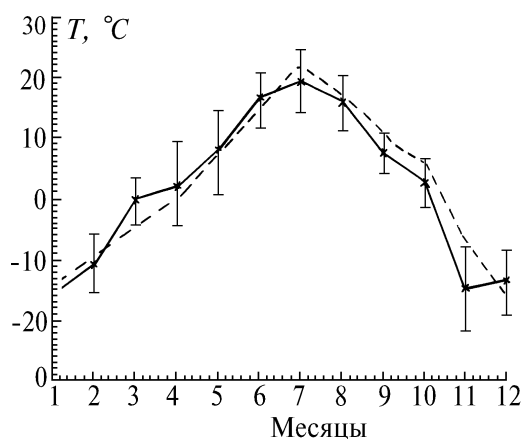


Рис. 3. Годовой ход температуры воздуха в г. Томске: сплошная линия – измеренный в 1993 г.; штриховая – средний многолетний; вертикальные отрезки – среднеквадратическое отклонение

Кроме того, в нарушение среднего многолетнего годового хода средняя температура ноября была ниже декабрьской, чего не наблюдалось за весь период инструментальных наблюдений в Томске [13]. Такие отклонения связаны с особенностями циркуляции как в ноябре, так и в декабре 1993 г., о чем сказано выше. То, что средняя температура марта оказалась почти на 10° выше средней многолетней, объясняется потерей данных за половину месяца.

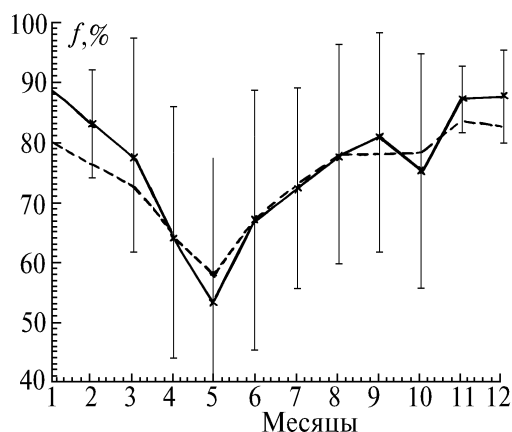


Рис. 4. Годовой ход относительной влажности воздуха

Характер годового хода влажности воздуха в приземном слое мало отличается от многолетнего (рис. 4). Минимальные значения относительной влажности (53%) приходятся на май, а максимальные (89%) – на январь. Амплитуда годового хода относительной влажности составила 35% , а по многолетним данным – 22% , что значительно различается по уровню $0,05\%$. При

этом в летние месяцы значения влажности в 1993 г. почти совпадают со средними многолетними, а увеличение амплитуды годового хода связано со значительным увеличением влажности в зимние месяцы, когда наблюдалось усиление зональной циркуляции и поступление воздушных масс с Атлантического океана.

Годовой ход ветра у поверхности земли, по многолетним данным, носит достаточно сложный характер с основным минимумом в августе. По результатам, полученным на TOR-станции, этот ход оказался более сложным и скорости ветра были ниже многолетних (рис. 5), что может объясняться преобладанием зональной циркуляции в 1993 г., которая характеризуется меньшими ее величинами, чем меридиональная [14].

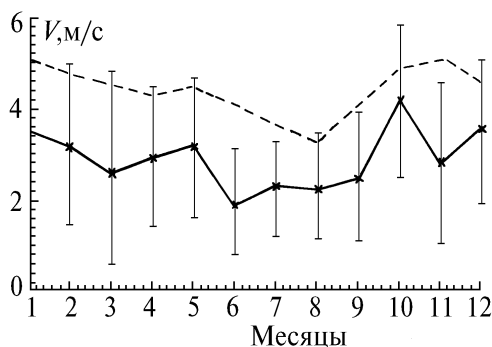


Рис. 5. Годовой ход скорости ветра

Подводя итог работы в целом, отметим, что по циркуляционным показателям 1993-й год в районе Томска отличался от среднего многолетнего режима. В то же время годовая изменчивость метеовеличин незначительно отличалась от климатических их значений, за исключением скорости ветра, которая оказалась несколько ниже, что объясняется преобладанием зональной циркуляции в рассматриваемый период. Близость измеренных и климатических значений метеовеличин указывает на репрезентативность данных, получаемых на TOR-станции.

1. Belan B. D., Zuev V. V. et al. // Eurotrac. Annual report 1992. Garmisch-Partenkirchen. 1993. Part 9. P. 188–195.
2. Кабанов М. В. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 2. С. 146–162.
3. Аршинов М. Ю., Белан Б. Д., Зуев В. В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1085–1092.
4. Алисов Б. П. Климат СССР. М.: Высшая школа, 1970. 299 с.
5. Бордовская Л. И., Цыбульский А. Е. // Вопросы географии Сибири. 1974. Вып. 7. С. 64–98.
6. Хромов С. П. Основы синоптической метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1948. 700 с.
7. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 616 с.
8. Бордовская Л. И. // Материалы научной конференции <Проблемы гляциологии Алтая>. Томск, 1974. С. 95–117.
9. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 2. Вып. 2: Урал и Сибирь. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 198 с.
10. Белан Б. Д., Задде Г. О., Ковалевский В. К. и др. // Результаты комплексных экспериментов <Вертикаль-86> и <Вертикаль-87>. Томск: ТФ СО АН СССР, 1989. С. 3–17.
11. Панженская Е. И., Попова К. И., Шевченко В. И. // Проблемы синоптической метеорологии Сибири. 1972. Вып. 6. С. 120–134.
12. Вангенгейм Г. Я. // Изв. АН СССР. Серия геоф. и геогр. 1946. N 5. С. 405–416.
13. Климат Томска. Под ред. Ц. А. Швер. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 176 с.
14. Гутерман И. Г. Распределение ветра над северным полушарием. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 250 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
21 июля 1994 г.

V. G. Arshinova, B. D. Belan, T. M. Rasskazchikova. **Results of Climatic – Ecological Monitoring at TOR Station. P. 1. Synoptic Regime and Meteorological Parameters.**

The meteorological and synoptic regime in Tomsk region in 1993 is analyzed in the paper. The dynamics of majority of meteorological parameters is shown to be close to long-term mean unlike the circulation ones for the same period.