

## МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ

науч. сотр. Н.Е.ИВАНОВ, д-р физ.-мат. наук А.П.МАКШТАС

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: neivanov@aari.ru

*Статья продолжает цикл работ по описанию современного климата района Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Северной Якутии. На основе созданного электронного архива выполнен статистический анализ данных стандартных метеорологических наблюдений, проведенных в ГМО Тикси и на сети ГМС Северной Якутии в 1978–2010 гг. Приведены таблицы и карты характеристик временной изменчивости метеорологических параметров суточного разрешения, трендов их среднемесячных значений и карты пространственного распределения среднемноголетних значений и коэффициентов корреляции. Уточнено влияние процессов синоптического масштаба на многолетние тренды.*

*Ключевые слова.* Гидрометеорологическая обсерватория Тикси, Северная Якутия, электронный архив, метеорологические параметры, синоптическая изменчивость.

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья продолжает цикл работ по описанию характеристик изменчивости современного климата Северной Якутии, инициированный созданием в рамках программы Международного полярного года на базе действующей гидрометеорологической станции (ГМС) «Полярка» Гидрометеорологической обсерватории (ГМО) Тикси [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 (а, б), Макштас и др., 2011]. Основой работы послужил пополненный данными за 2007–2010 гг. электронный архив данных срочных гидрометеорологических наблюдений на ГМС Тикси [Электронный архив...] и созданный в 2010–2011 гг. по аналогичной методике электронный архив данных стандартных 8-срочных наблюдений, выполненных в 1978–2010 гг. на 18 ГМС в Северной Якутии (табл. 1, рис. 1). Оценки характеристик изменчивости климата по такой базе данных представляются в высшей степени актуальными в связи с современным потеплением Арктики, поскольку последнее обобщение данных о климате региона было выполнено в 1989 г. [Научно-прикладной справочник..., 1989] по данным до 1980 г. и лишь по 9 ГМС.

В настоящей статье проанализированы срочные, среднесуточные и среднемноголетние значения температуры воздуха в приземном слое атмосферы ( $T$ , °С, далее «температура»), атмосферного давления на уровне моря ( $P$ , гПа, далее «давление»), абсолютной влажности воздуха ( $A$ , кг/м<sup>3</sup>×10<sup>4</sup>, далее «влажность»), скорости ветра (вектор  $\vec{V}$ , модуль  $V$ , м/с, направление  $\varphi$ , град.) и балла общей облачности ( $N$ , далее «облачность»). Для  $N$  дополнительно использованы значения повторяемости (%) ясного  $P_{0-3}$  (0÷3 балла), полуясного  $P_{4-7}$  (4÷7 балла) и пасмурного  $P_{8-10}$  (8÷10 балла) неба, для  $\vec{V}$  – повторяемость штиля  $P_{шт}$ .

**Гидрометеорологическая сеть северной Якутии –  
координаты и высота над уровнем моря**

№ п/п*	Станция	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.	Н, м	№ п/п	Станция	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.	Н, м
1	Андрюшкино	69,1	154,3	16	10	Драржан	68,7	124,0	29
2	Черский	68,5	161,2	25	11	Оленёк	68,5	112,6	217
3	Чокурдах	70,4	147,5	61	12	Усть-Оленёк	73,0	119,5	14
4	Депутатский	69,2	139,5	284	13	Саскылах	72,0	114,1	16
5	Колымская	68,4	158,4	12	14	Сухана	68,8	118,0	77
6	Среднеколымская	67,47	153,4	21	15	Ярольин	68,2	108,5	236
7	Верхоянск	67,3	133,2	138	16	Тюмяти	71,9	123,4	28
8	Тикси	71,3	128,5	8	17	Юбилейное	70,8	136,2	22
9	Джалинда	70,1	113,8	62	18	Кюсюр	70,7	127,4	36

Примечание. Далее номера ГМС приведены по этой таблице.

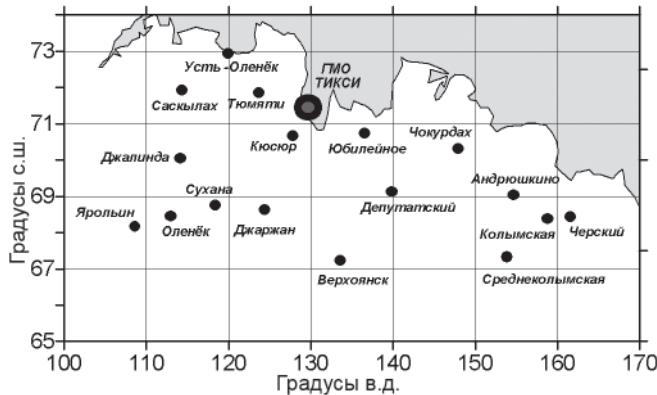


Рис. 1. Гидрометеорологическая сеть Северной Якутии

### МОДЕЛИ И МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Как и в предыдущих статьях цикла [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 (а, б); Макштас и др., 2011], анализ изменчивости характеристик современного климата Северной Якутии выполнен методами теории вероятностей и математической статистики на основе поддиапазонного подхода с выделением межгодовой изменчивости, годовой ритмики, изменчивости синоптического масштаба, а также с учетом возможного междиапазонного взаимодействия. Особое внимание к последнему обусловлено установленным в предыдущих работах существенным вкладом синоптической изменчивости в общую дисперсию, ее сильной сезонной и межгодовой модуляцией и возможным влиянием процессов этого диапазона на параметры распределения вероятностей и многолетние тренды

Основные положения методики получения режимно-климатических характеристик, соответствующие термины, обозначения и формулы аналогичны приведенным в

работах [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 (а, б)]. Описание вероятностных моделей и методов статистического оценивания их характеристик базируется на монографиях [Ван дер Варден, 1960; Рожков, 1996, 2001; Рожков и др., 2009]. Методика анализа векторных величин изложена в монографии [Бельшев и др., 1983]. Оценки параметров многолетних трендов получены по регрессионной модели [Дрейпер, Смит, 1986].

Таблицы [Большев, Смирнов, 1968] использованы для проверки гипотез о значимости корреляции, тренда, асимметрии, эксцесса и др. Так, для среднесуточных данных за каждый из 12 месяцев 33 лет наблюдений (объем выборки  $n \approx 1000$ ) коэффициенты асимметрии  $A^*$  и эксцесса  $E^*$  (здесь и далее символ «\*» обозначает статистическую оценку соответствующей вероятностной характеристики) значимы на 95 % уровне, если они превосходят значения  $A_{0,95} = 0,14$  и  $E_{0,95} = 0,30$ . Корреляция среднемесячных значений (объем выборки  $n = 33$ ) значима при абсолютной величине коэффициента корреляции  $r^* > 0,35$ .

Как сказано выше, анализ климатической изменчивости региона выполнен на основе моделей случайной величины и совокупности случайных величин в терминах оценок распределений вероятности, условных распределений и их моментов, а также модели временного ряда с трендом. Применение этих подходов для скалярных величин традиционно и не требует дополнительных комментариев. Скорость ветра является векторной величиной и рассматривается как евклидов вектор  $\vec{V}$  с модулем  $V$  и направлением  $\varphi$ . Вероятностные характеристики ее изменчивости получены векторно-алгебраическим методом в инвариантной форме. Основными вероятностными характеристиками являются: вектор математического ожидания  $\vec{m}_V$  и тензоры дисперсии  $D_V$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_V$ . Линейный инвариант  $I_1^{(D)}$  тензора определяет модуль полной дисперсии за счет совместных вариаций  $V$  и  $\varphi$ . Геометрическим образом  $\sigma_V$  является эллипс с полуосями  $\lambda_{1,2}$ , развернутый на угол  $\alpha \pm 180^\circ$  относительно севера в направлении максимальной изменчивости, его вытянутость определяет инвариант  $\chi = \lambda_2 / \lambda_1$ . Число  $\nu = \sqrt{I_1^{(D)}} / m_V$  является векторным аналогом коэффициента изменчивости. Наряду с этим использованы обычные скалярные характеристики модуля скорости – среднее значение  $\bar{V}$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_V$ . Соотношение дисперсий вектора и модуля  $\gamma_d = 1 - \sigma_V / I_1^{0,5}$  позволяет оценить вклад изменений направления скорости ветра в общую дисперсию.

На этой же методической основе построены определения векторного тренда и корреляции векторов [Методы и средства..., 2009]. Коэффициентом тренда ряда  $\vec{V}(t)$  является вектор  $\vec{a}$ . Совместный анализ  $\vec{a}$  и  $\vec{m}_V$  позволяет определить эффект тренда: усиление (ослабление) и разворот (вправо – влево). Вклад тренда в общую дисперсию определяет соотношение линейных инвариантов  $D_{tr} = 1 - I_1^{(\vec{V})} / I_1^{(\vec{E})}$  тензоров дисперсии исходного ряда и аномалий относительно тренда  $\vec{E}(t) = \vec{V}(t) - [\vec{a}t + \vec{b}]$ . Пространственную корреляцию скорости ветра определяют показатели коллинеарной  $r_{\uparrow\downarrow}$  и ортогональной  $r_{\perp}$  корреляции, а также индикатор корреляции  $\mu = (r_{\uparrow\downarrow}^2 + r_{\perp}^2)^{0,5}$ .

В первой части статьи для уточнения и наглядного представления основных особенностей синоптической изменчивости на фоне годового хода и многолетних изменений рассматриваются совмещенные графики временных рядов в этих диапазонах с использованием графической параметризации внутримесячной изменчивости на основе оценок квантилей. С учетом характерной продолжительности элементарного и естественного синоптических периодов, соответственно 2–3 суток (по определению Г.Я.Вангенгейма)

и 5–7 суток (по определению Б.П.Мультиановского и С.Т.Пагавы), и возможных отклонений временной масштаб синоптической изменчивости составляет от 2 до 10–12 суток.

Далее приведены характеристики годового хода среднемесячных значений, параметров внутримесячной изменчивости и традиционные для климатических справочников оценки по месяцам основных моментов распределения среднесуточных значений, трендов среднемесячных значений и пространственной корреляции. Здесь же уточняется влияние процессов синоптического масштаба на асимметрию распределений и тренды.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Особенности поддиапазонной изменчивости температуры и давления

Для выявления характерных особенностей гидрометеорологических процессов по диапазонам изменчивости использован метод представления данных графиками соответствующих временных рядов. На рис. 2а, 2е среднесуточные значения температуры  $T$  и давления  $P$  в Тикси за весь исследуемый период представлены «облаком» точек ( $I$ ) для каждого дня года. Графики демонстрируют наличие годового хода и межгодовой разброс среднесуточных значений исследуемых метеорологических параметров, особенно сильный в зимние месяцы. Простейшая параметризация сезонной изменчивости представлена на рисунках кривыми годового хода математического ожидания (2) и СКО (3).

Более содержательной является представленная на рис. 2б, 2в, 2ж, 2з графическая параметризация распределений квантилями в форме «ящиков с усами» [Тьюки, 1981]. Верхняя и нижняя крышки «ящика» задают положение квартилей  $x_{0,25}$ ,  $x_{0,75}$  и определяют область 50 % значений вокруг центра распределения  $x_{0,50}$  (медиана  $Me$ ). Верхний и нижний «усы»  $x_{min} - x_{0,25}$ ,  $x_{0,75} - x_{max}$  определяют 25 % его наиболее отрицательных и наиболее положительных значений. Положение  $Me$  (линия внутри «ящика») относительно крышек и соотношение длин «усов» определяет асимметрию, а соотношение длин верхнего и нижнего «усов» позволяют судить об эксцессе распределения. Следуя работе [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 (а)] на рис. 2в, 2з годовые ходы и межгодовая изменчивость  $T$  и  $P$  представлены квантилями распределения среднесуточных и среднемесячных значений. Их сопоставление демонстрирует большой вклад в изменчивость процессов синоптического масштаба. Годовой ход проявляется не только в средних значениях, но и в параметрах распределений (в высоте «ящика» и в длине «усов» для данных как суточного, так и месячного разрешения). По этим показателям годовые ходы давления проявляются столь же ярко, как и температуры. Для данных суточного разрешения отношение длины «усов» к высоте «ящика» заметно больше, чем для данных месячного разрешения. Это обстоятельство, равно как и соотношение длин верхнего и нижнего «усов» в ящиках срочных значений позволяют утверждать, что асимметрия и эксцесс в значительной степени обусловлены аномалиями малой обеспеченности в синоптическом диапазоне.

В работах [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 (б); Макштас и др., 2011] была показана важная роль годовой ритмики в структуре изменчивости метеорологических параметров. Одним из ее проявлений является годовые ходы среднемесячных значений, модулированный в диапазоне межгодовой изменчивости, что демонстрируют сплошная (4) и пунктирная (2) кривые на рис. 2б, 2ж. Другой важной составляющей годовой ритмики является сезонная модуляция синоптических процессов. Для описания этого эффекта вновь использованы «ящики с усами», построенные для

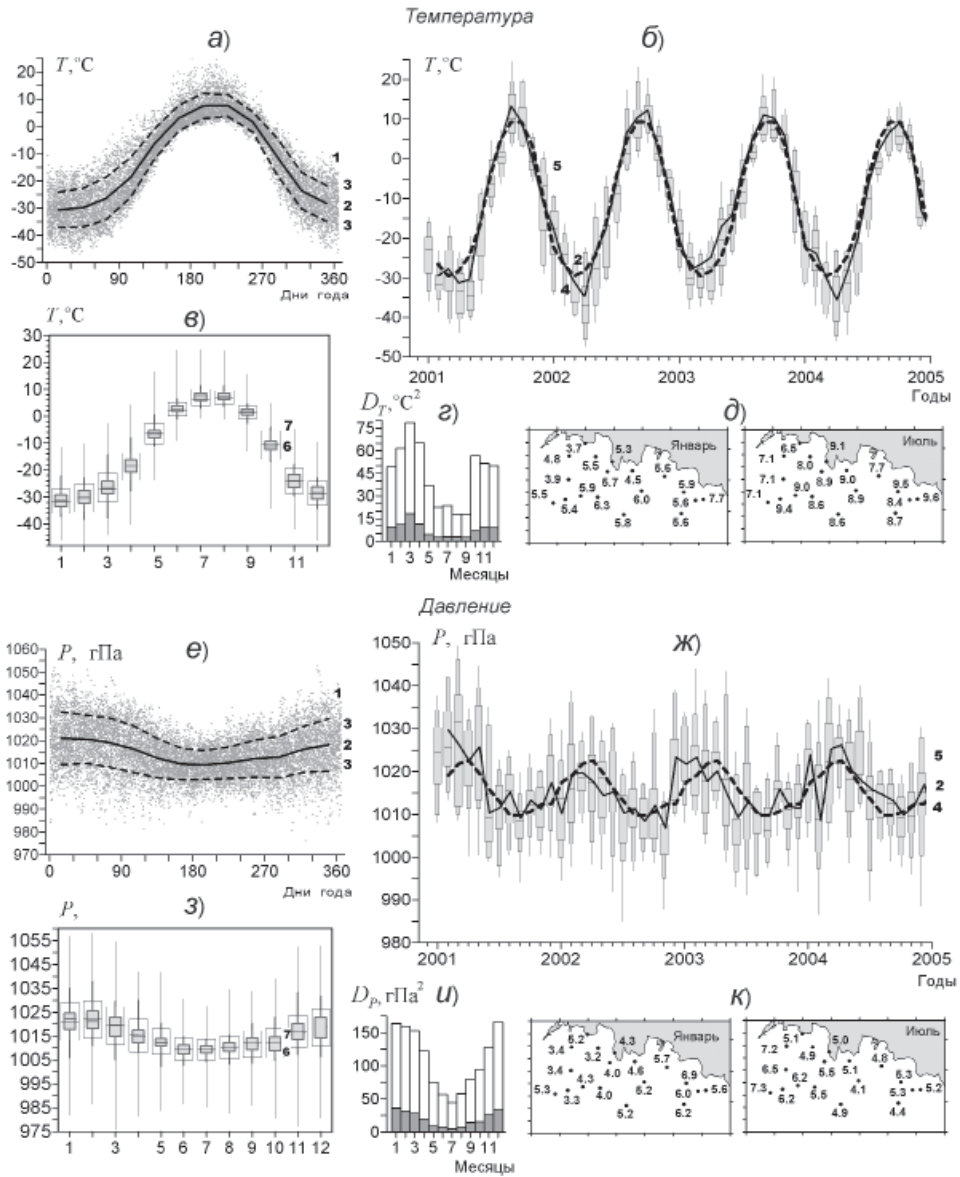


Рис. 2. Поддиапазонная изменчивость температуры (а–д) и давления воздуха (е–к) по данным ГМО Тикси: а, е – среднесуточные данные за 1978–2010 гг. (1), годовой ход математического ожидания  $m(t)$  (2) и среднеквадратического отклонения  $m(t) \pm \sigma(t)$  (3); б, ж – отрезки временных рядов  $m(t)$ , годового хода среднемесячных значений  $\zeta(t)$  (4) и квантилей внутримесячной изменчивости (5); в, з – годовой ход квантилей распределения среднемесячных (б) и среднесуточных значений (7) в форме «ящиков с усами»; г, и – годовой ход дисперсии среднесуточных (без заливки) и среднемесячных (с заливкой) значений; д, к – карты отношений дисперсии среднесуточных значений к дисперсии среднемесячных для января и июля.

каждого календарного месяца (рис. 2в, 2з). Здесь они дополнены двумя узкими прямоугольниками, показывающими диапазоны аномалий обеспеченностью 0,10–0,25 и 0,75–0,90. Подчеркнем, что для  $T$  масштаб распределения среднесуточных значений

для некоторых месяцев соизмерим с размахом годового хода среднемесячных значений, а для  $P$  даже превосходит его.

Особенно наглядно существенный вклад синоптических процессов в общую изменчивость демонстрируют диаграммы годового хода дисперсий среднесуточных и среднемесячных значений (рис. 2г, 2и), а также их отношения. Пространственные распределения этого отношения, приведенные на рис. 2д, 2к для января и июля, показывают, что для  $T$  оно больше, чем для  $P$ , а в июле больше, чем в январе: для  $T$  зимой оно составляет 3,7–7,7, летом 6,5–9,6, для  $P$  зимой 3,4–6,7, летом 4,9–7,3. Следует отметить также некоторое уменьшение величины данного соотношения в западной части исследованного региона.

### **Годовой ход и пространственная изменчивость характеристик основных метеорологических параметров**

В рассматриваемом регионе годовая цикличность обусловлена двумя группами факторов: радиационными (летний прогрев и зимнее выхолаживание) и динамическими (Сибирский антициклон в холодный сезон и циклонический тип барического поля – в теплый). При этом годовая ритмика несводима только к годовому ходу текущих и осредненных значений метеорологических элементов, но проявляется также и в сезонной модуляции характеристик синоптической изменчивости (общая интенсивность, параметры распределения вероятностей и т.д.). Это положение иллюстрируют помесечные оценки моментов распределений основных метеорологических элементов для ГМО Тикси, приведенные в табл. 2.

Для наглядной, компактной и в то же время возможно более полной характеристики пространственных особенностей годовой ритмики всех рассматриваемых метеорологических параметров на рис. 3 приведены совмещенные для всех 18 ГМС графики годового хода характеристик их изменчивости, а на рис. 4 – карты распределения характеристик изменчивости для января и июля.

Совмещенное по всем 18 ГМС представление графиков годового хода позволяет, с одной стороны, оценить степень подобия (различия) гидрометеорологических процессов в регионе в целом, а с другой стороны – сравнить пространственный размах (с учетом сезонности) с амплитудой годового хода. Как видно из рис. 3, годовой максимум  $T$ ,  $A$  и  $N$  приходится на лето, годовой минимум – на зиму. Годовой ход  $P$  имеет противоположную фазу. Изменчивость всех метеорологических параметров, за исключением влажности, более интенсивна зимой. При этом пространственный размах  $m(t)$  и  $\sigma(t)$  для  $T$ ,  $P$  и  $A$  невелик относительно амплитуды годового хода и несколько увеличен в холодный сезон (у  $A$  теплый сезон), пространственный размах для  $m(t)$  меньше, чем для  $\sigma(t)$ . Заметно увеличен по отношению к амплитуде годового хода пространственный размах  $m(t)$  и  $\sigma(t)$  для облачности и повторяемости ясного и пасмурного неба.

По особенностям годового хода характеристик ветра выделяются две группы станций. На прибрежных станциях Тикси и Усть-Оленёк (сплошная и пунктирная жирные линии на рис. 3) средние скорости ветра и их изменчивость существенно выше по сравнению с остальными ГМС. Их максимум приходится на холодный сезон, а повторяемость штиля мала в течение всего годового цикла. На остальных ГМС, где средние скорости и их изменчивость заметно меньше, их максимум приходится на теплый сезон. На этих ГМС повторяемость штиля максимальна в зимой и на большинстве ГМС в этот сезон составляет от 5 до 10 %, а на отдельных ГМС возрастает до 20–45 %.

Таблица 2

**Оценки моментов распределения среднесуточных значений температуры, давления, влажности, облачности и повторяемости ясного, полужасного и пасмурного неба по данным ГМО Тикси**

Г/м элемент	Пара-метр	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T, °C	m	-30,7	-29,8	-26,5	-18,7	-6,3	3,1	7,5	7,6	1,6	-10,9	-23,6	-28,3
	$\sigma$	6,5	7,1	7,8	7,3	5,5	4,7	4,6	4,0	3,7	6,7	6,7	6,6
	min	-45,7	-47,2	-44,1	-37,3	-22,0	-9,0	-0,7	-1,2	-12,7	-30,6	-42,4	-46,3
	max	-10,6	-11,4	-2,8	4,2	8,3	20,1	24,8	24,4	15,6	3,6	-2,8	-9,6
	A* <sup>1</sup>	0,10	-0,03	<b>0,40</b>	<b>0,32</b>	<b>-0,17</b>	<b>0,84</b>	<b>0,98</b>	<b>0,80</b>	-0,09	<b>-0,43</b>	0,05	0,01
	E* <sup>1</sup>	<b>-0,62</b>	<b>-0,71</b>	<b>-0,39</b>	-0,30	-0,21	<b>1,15</b>	<b>0,67</b>	<b>0,43</b>	<b>1,00</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,41</b>
P, гПа	m	1021,0	1020,6	1019,2	1016,3	1012,3	1009,7	1009,4	1010,4	1012,1	1012,8	1016,2	1018,1
	$\sigma$	11,5	10,6	10,8	10,2	8,6	6,9	6,3	7,0	8,1	9,1	10,1	11,4
	min	984,3	988,1	983,3	981,5	983,7	986,6	984,4	991,1	987,5	980,5	976,1	983,4
	max	1056,3	1052,6	1047,6	1040,4	1035,5	1030,8	1027,6	1034,3	1032,1	1038,9	1042,3	1052,9
	A*	0,09	<b>-0,18</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,26</b>	-0,14	-0,06	-0,14	<b>0,21</b>	-0,03	-0,07	<b>-0,20</b>	-0,10
		-0,19	-0,01	-0,06	-0,15	0,00	-0,09	-0,17	-0,13	<b>-0,40</b>	-0,09	-0,10	0,00
A, кг/м <sup>3</sup> ×10 <sup>4</sup>	m	3,2	3,6	5,3	10,2	26,9	49,5	66,1	67,1	45,1	18,9	6,4	4,0
	$\sigma$	2,2	2,5	4,7	7,0	10,6	12,4	15,3	15,4	11,8	9,9	4,3	2,7
	min	0,5	0,4	0,6	1,2	5,9	19,2	39,4	31,4	13,2	2,6	0,8	0,5
	max	017,2	15,6	37,0	46,6	57,6	108,6	135,8	117,1	88,1	49,2	32,2	18,2
N, балл <sup>2</sup>	m	6,8	6,8	6,3	6,6	8,5	8,1	8,0	8,5	8,6	8,3	7,2	6,9
	$\sigma$	3,2	3,2	3,5	3,2	2,2	2,4	2,5	2,2	2,1	2,4	3,1	3,2
P <sub>0-3</sub> , %	m	26,3	27,1	32,7	29,1	11,4	14,6	17,0	9,2	10,1	14,5	23,2	25,5
	$\sigma$	11,4	11,0	10,6	11,0	6,5	8,2	10,2	4,6	5,1	8,3	9,1	11,0
	min	11,3	10,3	13,4	10,3	2,5	2,2	5,9	3,2	3,3	0,4	8,8	6,6
	max	47,6	51,7	52,4	49,4	25,0	30,3	42,6	20,3	23,9	28,0	48,8	41,9
P <sub>4-7</sub> , %	m	12,4	12,1	10,7	12,7	8,1	12,1	11,6	9,0	9,6	9,1	12,2	12,2
	$\sigma$	3,8	3,4	3,0	4,2	4,5	3,8	2,7	4,5	3,9	3,5	3,6	4,1
	min	5,6	4,5	6,5	5,4	2,9	6,5	4,5	3,8	3,4	2,4	5,1	5,9
	max	18,5	17,9	17,8	21,3	16,3	18,8	14,8	21,1	17,5	15,3	19,2	21,7
P <sub>8-10</sub> , %	m	61,3	60,8	56,6	58,2	80,5	73,2	71,4	81,8	80,3	76,4	64,6	62,3
	$\sigma$	10,7	12,0	9,7	12,2	9,1	10,5	11,5	7,3	6,0	9,2	8,7	10,9
	min	43,1	34,9	38,6	38,8	61,6	56,1	42,6	66,7	65,5	60,3	42,5	46,2
	max	77,3	79,0	74,6	82,9	93,8	90,5	85,1	91,5	90,4	94,0	80,4	83,6

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые на 95% уровне значения асимметрии и эксцесса.

Пространственные распределения основных характеристик изменчивости представлены картами на рис. 4 и не требуют подробного комментария. Отметим лишь несколько моментов. Как для зимнего, так и для летнего распределений средних значений и СКО характерна прежде всего зональность. При этом температура воздуха зимой возрастает по направлению к побережью (то есть к северу). Некоторое нарушение зональности проявляется в поле средней температуры в январе: на одних и тех же широтах на востоке  $m_T$  составляет  $-32 \div -35$  °C, на западе  $-37 \div -40$  °C. Зимой по направлению с востока на запад также увеличивается  $\sigma_T$ . Сравнение карт  $\sigma_T$  в

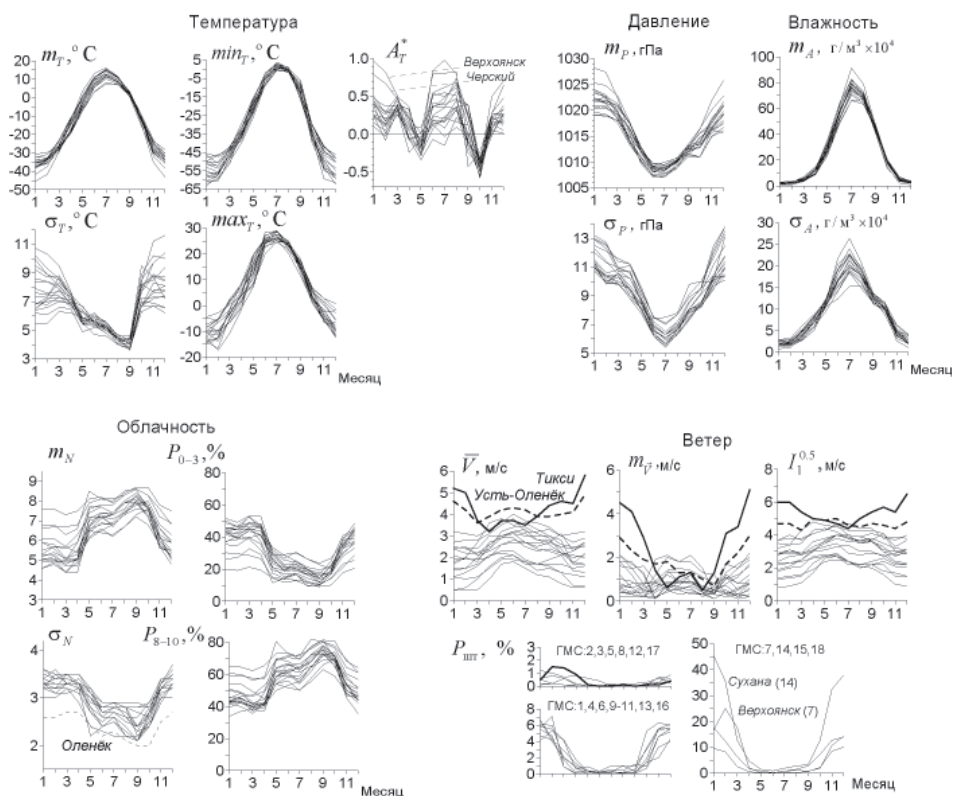


Рис. 3. Средние многолетние значения  $m(t)$ , средноквадратические отклонения  $\sigma(t)$ , асимметрия  $A^*(t)$  и размах годового хода  $R = MAX_T - MIN_T$  температуры  $T$ , давления  $P$ , влажности  $A$ , скорости ветра  $\bar{V}$  и повторяемости штиля  $P_{\text{шт}}$ , балла общей облачности  $N$  и повторяемости ясного  $P_{0-3}$  и пасмурного  $P_{8-10}$  неба.

январе и в июле наглядно демонстрирует ослабление изменчивости и соответствующего пространственного контраста летом. Если рассматривать пространственные контрасты облачности по сезонам, а не в сравнении с амплитудой годового хода, то соответствующие карты демонстрируют относительно небольшие различия. Можно отметить лишь некоторое увеличение среднего балла облачности и повторяемости пасмурного неба на северо-западе в июле.

Анализу экстремумов температуры и ветра из-за их особой практической значимости будет посвящена отдельная работа. Здесь лишь отметим, что размах  $R_T$  годового хода  $T$ , определенный как разность многолетних зимнего минимума и летнего максимума среднемесячных значений, очень велик и увеличивается от  $45^\circ\text{C}$  на побережье моря Лаптевых до  $62^\circ\text{C}$  в Верхоянске. Особенно велик размах среднесуточных температур воздуха. На ГМС Сухана он составляет  $92^\circ\text{C}$  (от  $-63,5$  до  $+28,6^\circ\text{C}$ ).

Как следует из табл. 2 и рис. 3–4, для распределения среднесуточной температуры  $T$  на ряде ГМС характерна значимо не нулевая положительная асимметрия  $A^*$ , увеличивающаяся в летний сезон и достигающая максимума в июле. Карта пространственного распределения  $A^*$  для июля (рис. 4) показывает ее увеличение с юга на север с максимумом на ГМО Тикси ( $A^* = 1,0$ ) и ГМС Усть-Оленёк ( $A^* = 0,8$ ). В работе



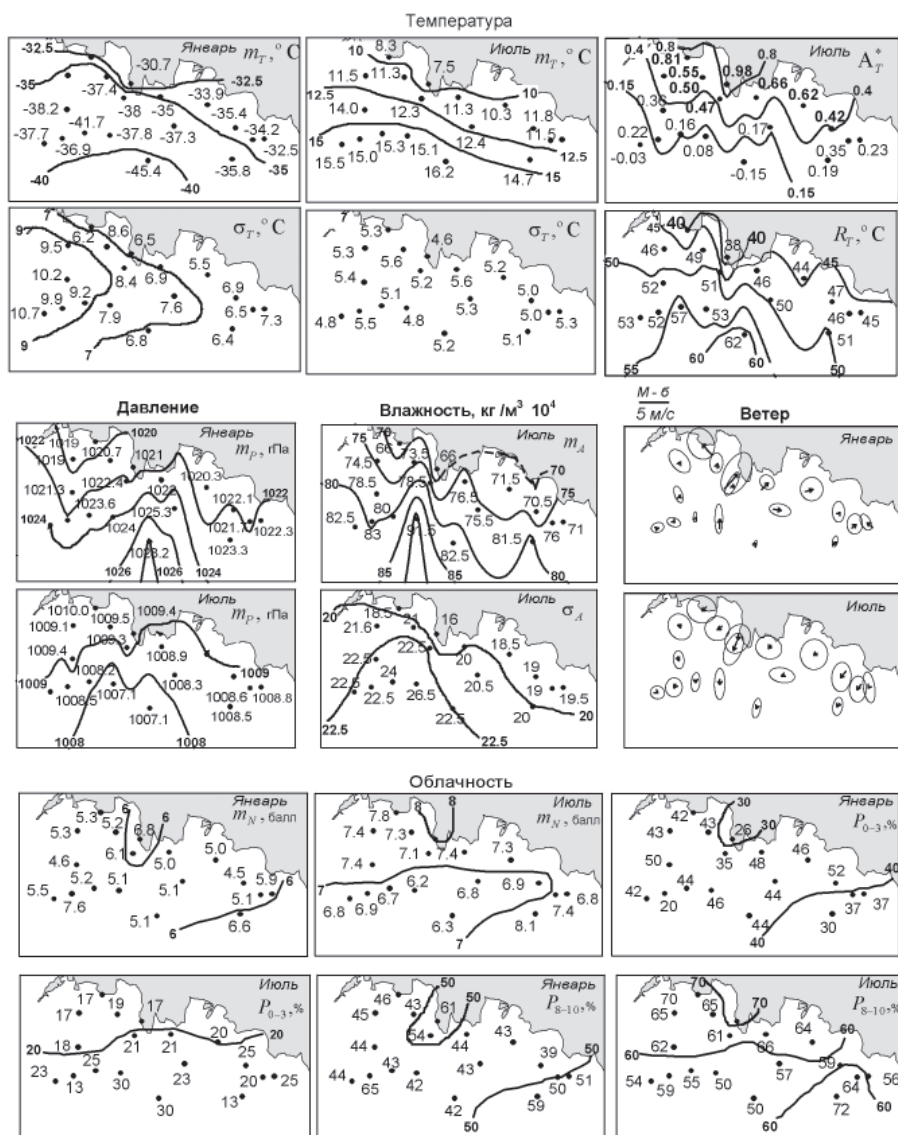


Рис. 4. Карты пространственного распределения основных характеристик в январе и июле.

[Иванов, Макштас, Шутилин, 2009, а] было отмечено, что важным источником  $A_T^* > 0$  являются наиболее сильные положительные аномалии  $T$ . Для расширенного анализа по ряду ГМС была использована оценка  $A_p = (x_{1-p} + x_p - 2x_{0.5}) / (x_{1-p} - x_p)$ , позволяющая оценить  $A^*$  по положению медианы  $x_{0.5}$  относительно квантилей  $x_p, x_{1-p}$  [Рожков, 2001]. В верхней части табл. 3 для ГМС, на которых  $A^* \gg 0$ , оценки  $A_p^*$  при различном порядке  $p$  сопоставлены с обычной оценкой  $A^*$  (первая колонка), полученной по данным всех измерений  $T$ .

Согласно [Таблицы математической статистики, 1968] асимметрия значима на 95 % уровне при  $A^* > 0,14$ . Однако, как видно из табл. 3, в данном случае отличие

Оценки асимметрии среднесуточной температуры в июле  
(обычные  $A^*$ , квантильные  $A_p^*$  и по усеченной выборке) на ГМС Северной Якутии

Номер ГМС	$A^*$	Квантильные оценки, порядок квантили $p$								
		0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
1	<b>0,42</b>	0,21	0,21	0,21	0,21	0,19	0,15	0,15	0,12	0,10
3	<b>0,62</b>	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,25	0,21	0,13	0,11
8	<b>0,98</b>	<b>0,44</b>	<b>0,43</b>	<b>0,41</b>	0,36	0,30	0,24	0,22	0,20	0,11
12	<b>0,81</b>	<b>0,41</b>	<b>0,42</b>	0,38	0,34	0,30	0,23	0,18	0,17	0,08
13	<b>0,55</b>	0,26	0,25	0,26	0,26	0,24	0,21	0,16	0,16	0,14
16	<b>0,50</b>	0,26	0,26	0,25	0,26	0,24	0,20	0,16	0,14	0,10
17	<b>0,48</b>	0,27	0,23	0,22	0,21	0,18	0,13	0,07	0,06	0,03
18	<b>0,42</b>	0,20	0,21	0,18	0,17	0,18	0,18	0,13	0,11	0,10
Оценки по усеченной выборке, обеспеченность исключаемых значений $p$										
–	–	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
1	<b>0,42</b>	<b>0,41</b>	<b>0,40</b>	<b>0,39</b>	0,36	0,31	0,28	0,25	0,21	0,16
3	<b>0,62</b>	<b>0,61</b>	<b>0,58</b>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	<b>0,45</b>	0,39	0,31	0,21	0,16
8	<b>0,98</b>	<b>0,94</b>	<b>0,87</b>	<b>0,74</b>	<b>0,63</b>	<b>0,50</b>	<b>0,43</b>	0,36	0,32	0,15
12	<b>0,81</b>	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>	<b>0,61</b>	<b>0,55</b>	<b>0,43</b>	0,34	0,26	0,16	0,07
13	<b>0,55</b>	<b>0,54</b>	<b>0,51</b>	<b>0,47</b>	<b>0,45</b>	0,38	0,29	0,24	0,24	0,24
16	<b>0,50</b>	<b>0,48</b>	<b>0,48</b>	<b>0,44</b>	<b>0,42</b>	0,35	0,29	0,23	0,21	0,19
17	<b>0,48</b>	<b>0,44</b>	<b>0,43</b>	<b>0,40</b>	0,36	0,25	0,16	0,10	0,07	0,04
18	<b>0,42</b>	<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>0,33</b>	0,33	0,31	0,26	0,20	0,17	0,16

Примечание. Жирным шрифтом выделены случаи, когда величина асимметрии более 0,4.

распределения от симметричного не очень велико уже при  $A^* < 0,4$ . Оценки  $A_p$ , определяющие асимметрию по положению медианы относительно  $x_p$ ,  $x_{1-p}$ , то есть по трем точкам, показывают скачкообразное ее уменьшение уже на самых первых шагах. Для уточнения во второй части табл. 3 приведены обычные оценки  $A^*$  по «усеченным» выборкам, в которых удалены из исходного массива значения  $x < x_p$ ,  $x > x_p$ . Эти оценки подтверждают, что исключение всего лишь 10–20 % наиболее сильных аномалий превращает распределение в почти симметричное. Рост  $A^*$  к северу также подтверждает роль редких, но мощных положительных аномалий температуры в формировании асимметрии.

Совмещенные графики годового хода наиболее важных характеристик скорости ветра и карты пространственного распределения совмещенных векторов  $\vec{m}_F$  и эллипсов  $\sigma_F$  приведены на рис. 3–4. Подробные характеристики скорости ветра для ГМО Тикси, имеющие самостоятельный интерес, представлены в табл. 4 годовым ходом полученных по среднесуточным данным для каждого месяца оценок среднего значения, СКО скалярного модуля скорости ветра, повторяемости штиля, модуля и направления вектора средней скорости, линейного инварианта тензора дисперсии, параметров эллипса СКО, коэффициента вариации и относительной дисперсии направления ветра.

Как видно из рис. 4 и табл. 4, важной особенностью ветра в регионе является муссонный тип его годового хода. Это особенно заметно на прибрежных станциях Тикси и Усть-Оленёк, выделяющихся повышенными значениями средней и максимальной скорости и усиленной изменчивостью (сплошная и пунктирная жирные кривые на соответствующих графиках рис. 3).

Оценки среднего и СКО модуля скорости ветра  $V$  и повторяемости шторма  $P_{шт}$ , вектора средней скорости  $\vec{m}_{\vec{v}}$ , инвариантов тензора  $\sigma_{\vec{v}}$  по среднесуточным данным и параметры векторного тренда по среднемесячным данным на ГМО Тикси

Месяц	$V$			$\vec{m}_{\vec{v}}$		$\sqrt{I_1^{(D)}}$ м/с	$\sigma_{\vec{v}}$				$v$	$\gamma_d$	$\vec{a}_{\vec{v}}$		
	$\bar{V}$ м/с	$\sigma_V$ м/с	$P_{шт}$ %	$m_{\vec{v}}$ м/с	$\varphi$ град.		$\lambda_2$ м/с	$\lambda_1$ м/с	$\chi$	$\alpha$ град.			$A$ , м/с за 10 лет	$\Phi_a$ , град.	$\gamma_a$ , %
I	5,2	4,9	0,5	4,5	222	6,0	5,2	2,9	0,55	209	1,1	0,33	0,36	84	2,0
II	5,0	4,8	1,5	4,1	226	6,0	5,1	3,1	0,61	213	1,5	0,36	0,79	56	12,3
III	3,7	4,2	1,4	2,9	231	5,4	4,1	3,4	0,82	191	1,9	0,40	0,43	97	5,5
IV	3,2	3,3	0,9	1,4	234	5,0	4,3	2,5	0,58	212	3,6	0,56	0,13	200	0,5
V	3,7	2,5	0,1	0,6	350	4,9	4,0	2,9	0,74	42	7,8	0,74	0,16	148	0,8
VI	3,7	2,1	<0,1	1,1	3	4,7	3,5	3,1	0,89	36	4,2	0,80	0,10	42	0,6
VII	3,5	1,9	<0,1	1,3	10	4,4	3,5	2,7	0,79	28	3,4	0,81	0,22	177	3,4
VIII	3,9	2,2	<0,1	0,5	11	5,0	3,9	3,2	0,81	41	9,4	0,81	0,34	215	4,5
IX	4,4	2,6	<0,1	1,3	238	5,4	4,3	3,3	0,77	217	4,3	0,77	0,27	223	2,0
X	4,6	3,7	0,1	3,1	223	5,7	4,6	3,4	0,73	218	1,8	0,58	0,33	198	3,2
XI	4,5	4,1	0,1	3,4	227	5,4	4,6	2,8	0,61	211	1,6	0,42	0,15	70	0,8
XII	5,8	5,2	0,4	5,1	222	6,5	5,7	3,1	0,54	209	1,4	0,36	0,37	222	2,4

### Пространственная корреляция полей давления, температуры воздуха и скорости ветра

На рис. 5 приведены оценки коэффициентов пространственной корреляции синхронных среднемесячных значений. Полюс корреляции – ГМО Тикси. Поскольку для  $\vec{V}$  показатели  $r_{\downarrow}$  и  $r_{\perp}$  необходимо рассматривать совместно, значимость определена величиной индикатора корреляции  $\mu = (r_{\downarrow}^2 + r_{\perp}^2)^{0,5}$ . Жирным шрифтом выделены значимые корреляции ( $r^* > 0,35$ ).

Как видно из рис. 4, поле давления характеризуется сильной пространственной корреляцией, медленно ослабевающей с увеличением расстояния. В январе значения коэффициентов корреляции ГМО Тикси с северо-восточными ГМС составляют 0,8–0,9, с остальными ГМС они превышает величину 0,9. При этом даже для наиболее разне-

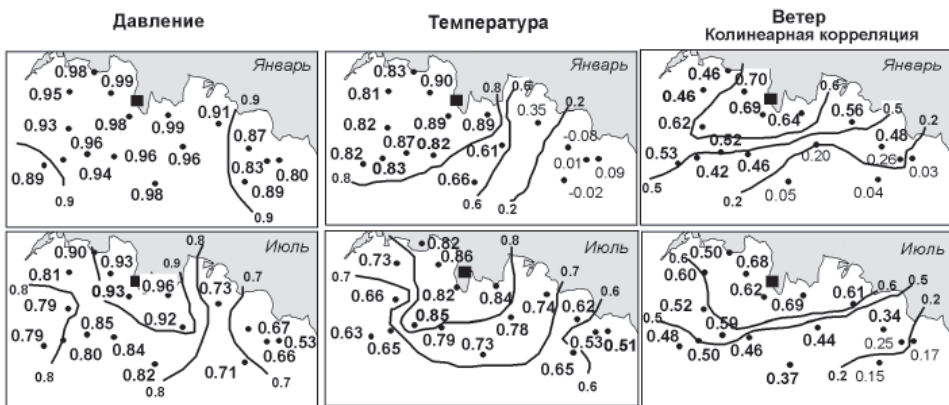


Рис. 5. Карты пространственной корреляции синхронных среднемесячных значений  $P$ ,  $T$  и  $\vec{V}$ .

сенных в направлении восток–запад ГМС корреляция составляет порядка 0,70. В июле все  $r$  уменьшаются, наиболее сильно между центральными и западными ГМС, с одной стороны, и восточными ГМС – с другой. Тем не менее при полосе корреляции в Тикси все  $r$  значимые, однако для удаленных ГМС они становятся близкими к пороговому значению.

Корреляция в поле температуры воздуха слабее, чем в поле давления. Для нее характерны не только количественные, но и качественные сезонные особенности. Для января между Тикси и западными ГМС корреляция составляет около 0,8, в направлении на юг уменьшается до 0,60–0,65, а в направлении на восток становится незначимой. В июле  $r$  между Тикси и всеми ГМС значимы и уменьшаются с расстоянием по всем направлениям примерно одинаково, до 0,5–0,6. Вероятно, такая сезонная особенность обусловлена зимним усилением динамических факторов изменчивости  $T$  по сравнению с радиационными факторами.

В поле скорости ветра корреляционные связи заметно слабее и убывают с расстоянием быстрее, чем в полях  $P$  и  $T$ . Тем не менее все коллинеарные корреляции  $r_{\uparrow\downarrow}$  положительны, то есть происходит взаимное усиление или взаимное ослабление  $\vec{V}$ . В январе корреляция ветра в Тикси с западными и северо-восточными ГМС значима и составляет величину 0,4–0,6, а с южными и восточными ГМС незначима. В июле величина корреляции примерно такая же, но незначима она только между ГМО Тикси и тремя самыми удаленными ГМС в районе Колымы.

### Тренды межгодовой изменчивости

Выявление длительных тенденций и количественная оценка их характеристик является одной из основных задач описательной климатологии. Имеющаяся база данных продолжительностью 33 года (с 1978 по 2010 г.) охватывает практически всю активную фазу современного потепления нижней тропосферы Северного полушария. Традиционно тренды определяются по рядам среднемесячных значений для каждого месяца  $m(t)_j$ ,  $j = \overline{1,12}$ . Для ГМО Тикси тренды  $T$ ,  $P$ ,  $A$  и  $N$  представлены в табл. 5

Таблица 5

**Оценки коэффициентов тренда  $a$  за десятилетний период и относительной дисперсии  $D_r$  (%) тренда для среднемесячных значений температуры  $T$ , давления  $P$ , влажности  $A$ , облачности и повторяемости ясного  $P_{0-3}$  и пасмурного  $P_{8-10}$  неба на ГМО Тикси**

Месяц	$T$ , °С		$P$ , гПа		$A$ , кг/м <sup>3</sup>		$N$ , балл		$P_{0-3}$ , %		$P_{8-10}$ , %	
	$a$	$D_r$	$a$	$D_r$	$a$	$D_r$	$A$	$D_r$	$a$	$D_r$	$a$	$D_r$
I	<b>1,726</b>	20,7	0,062	0,0	<b>0,519</b>	16,9	<b>0,497</b>	16,0	<b>-5,680</b>	19,1	4,135	10,9
II	-0,965	6,1	0,788	2,2	-0,231	3,1	0,304	5,9	-2,660	4,4	2,089	2,6
III	0,193	0,2	0,339	0,4	0,168	0,5	0,296	8,3	-2,363	5,1	1,639	2,6
IV	0,817	4,8	0,043	0,0	0,778	5,7	0,311	8,0	-2,508	4,7	2,284	3,6
V	<b>0,871</b>	13,4	0,446	1,7	<b>1,861</b>	18,8	0,138	3,6	-0,673	0,9	0,217	0,1
VI	0,472	6,0	-0,223	0,5	<b>1,811</b>	13,3	-0,073	0,8	0,351	0,2	-0,227	0,1
VII	<b>0,758</b>	13,6	-0,104	0,2	<b>3,214</b>	20,9	0,091	1,4	-0,622	0,5	0,313	0,1
VIII	<b>0,724</b>	12,3	-0,543	3,8	<b>2,761</b>	12,5	<b>0,235</b>	13,8	<b>-2,357</b>	17,6	2,785	11,2
IX	0,295	3,3	<b>-1,443</b>	13,0	1,035	4,4	-0,047	0,8	-0,332	0,4	-0,456	0,5
X	0,554	5,4	-0,028	0,5	0,855	6,5	0,163	5,1	-1,332	2,8	1,763	4,1
XI	1,102	10,9	0,761	2,4	<b>0,775</b>	14,4	0,206	4,8	-2,088	4,4	2,020	4,2
XII	-0,236	0,5	<b>2,503</b>	15,5	-0,038	0,1	-0,083	0,6	0,679	0,3	-1,359	1,4

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, значимые на 95 % уровне.

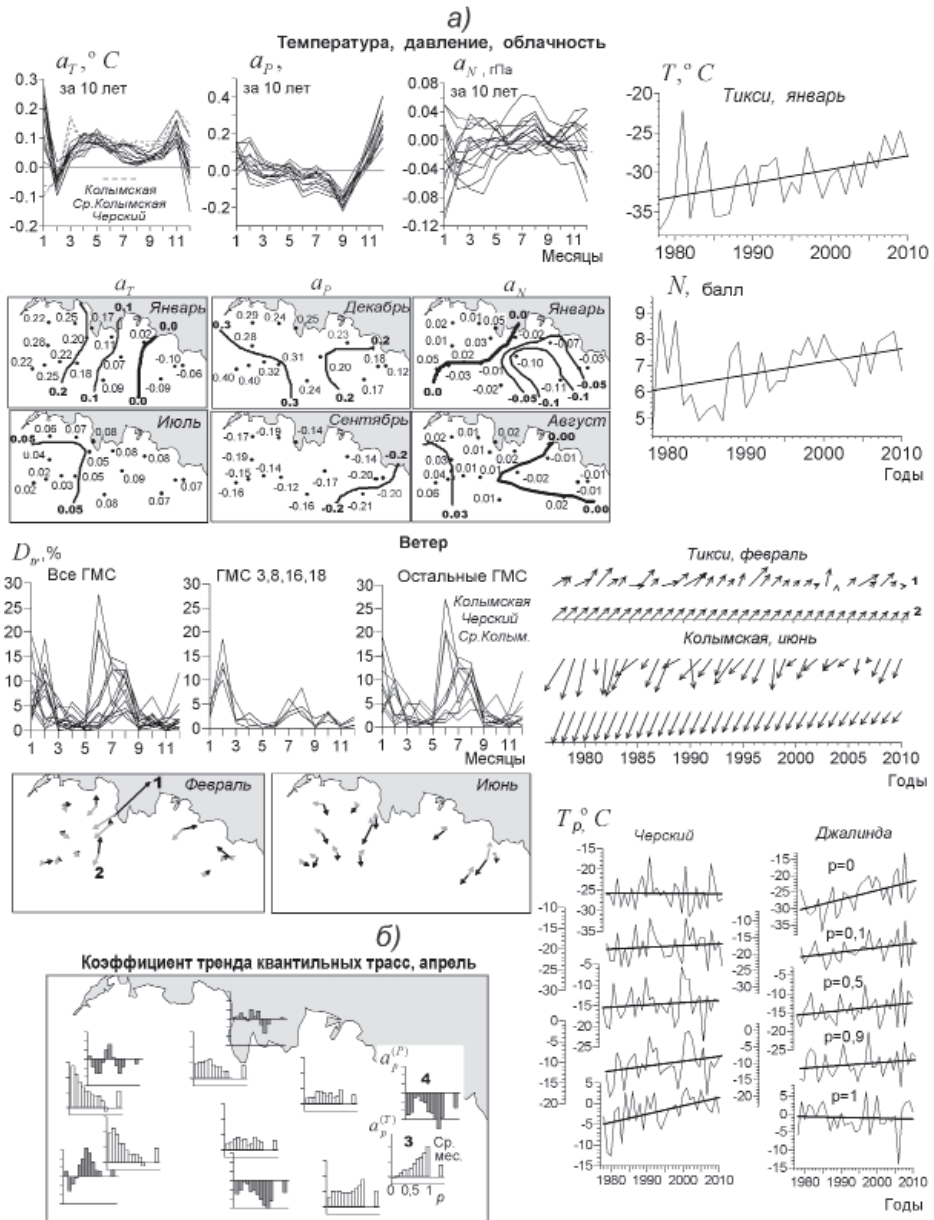


Рис. 6. Оценки коэффициентов тренда: *а* – графики годового хода и карты коэффициентов тренда  $a$ , их относительных дисперсий  $D_{ir}$ , температуры, давления, облачности и ветра (1 – средняя скорость, 2 – тренд) и примеры временных рядов; *б* – диаграммы коэффициентов трендов квантильных трасс  $a_p$  в зависимости от  $p$  и среднемесячных значений  $a$  температуры (3) и давления (4) в апреле и аппроксимация квантильных трасс температуры трендом.

оценками коэффициента тренда  $a$  за десять лет и вклада тренда в дисперсию  $D_{ir}$  (%) для каждого календарного месяца. На рис. 6 для всех ГМС Северной Якутии, за исключением ГМС Андрушкоино и Усть-Оленёк по всем метеорологическим параметрам

и ГМС Кюсюр и Юбилейное по  $P$  и  $A$ , для которых пропуски в данных затрудняют оценку тренда, приведены графики годового хода в форме ансамбля по сети ГМС, карты распределения коэффициентов тренда для характерных месяцев и примеры графиков временных рядов и трендов.

Как видно из табл. 5 и рис. 6а, характеристики трендов заметно меняются от месяца к месяцу. Тренды  $T$  положительные во все месяцы, кроме февраля и декабря, значимые в январе, мае, июне и июле (в эти месяцы  $D_{tr}$  достигает 13–21 %); в январе положительный тренд температуры воздуха составляет 1,7 °C/10 лет. Тренды  $P$  положительные с ноября по май и отрицательные летом и осенью. Самые сильные и значимые тренды – в ноябре и декабре с  $D_{tr}$  порядка 15 %.

Оценка тренда облачности важна в связи с тем, что работах [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009 а, 2011] по данным ГМО Тикси для периода с 1936 по 2007 г. для зимы и лета была выявлена определенная согласованность трендов  $T$  и  $N$ . Было показано, что положительные, но слабые тренды  $T$  сопровождаются сильными и значимыми трендами  $N$ , положительными зимой и отрицательными летом. Оценки трендов для периода с 1978 по 2010 г. показывают аналогичную картину для января, когда значимые положительные тренды характерны как для  $T$ , так и  $N$ . Их вклад в дисперсию составляет 21 % и 16 % соответственно. В летний период явной связи между трендами температуры и облачности не наблюдается. Однако в этот период выявлен значимый положительный тренд абсолютной влажности воздуха (до 20 % дисперсии). Можно предположить, что увеличение концентрации водяного пара в атмосфере, являющегося наиболее сильным парниковым газом, и обусловило значимые положительные тренды температуры воздуха в летний период.

Графики годового хода коэффициентов тренда по сети ГМС для  $T$ ,  $P$  и  $N$ , приведенные на рис. 6а, демонстрируют четкую пространственную согласованность. Поэтому можно считать, что даже статистически незначимые тренды описывают реальные многолетние тенденции. Вполне естественно, что эта пространственная согласованность особенно заметна в годовом ходе тренда давления  $a_p(t)$ . В годовом ходе  $a_p(t)$  три самых восточных ГМС Черский, Колымская и Среднеколымская выделяются отрицательными трендами температуры в январе и усилением положительного тренда в марте. Для годового хода  $a_N(t)$  особо подчеркнем согласованность с  $a_p(t)$  в холодный сезон, которая проявляется заметно четче, чем для отдельно взятой ГМО Тикси.

Карты коэффициентов тренда на рис. 6а демонстрируют довольно четкую пространственную структуризацию (особенно заметную в холодный сезон), основные различия отмечены в направлении запад–восток. Коэффициент тренда температуры в январе изменяется от отрицательного (слабого и незначимого) на востоке до положительного (сильного и значимого на западе). В июле пространственный контраст ослаблен, все тренды положительные и усиливаются от юго-запада к востоку и к северу. Положительные тренды давления в декабре увеличиваются с востока на запад более, чем в два раза. В сентябре поле отрицательных коэффициентов тренда наименее контрастное. Для облачности контраст в направлении запад–восток проявляется не только в величине, но и в знаке тренда: в январе и в августе на западе тренды положительные, на востоке отрицательные, зимой этот контраст усилен.

Тренд скорости ветра на ГМО Тикси представлен в табл. 4 оценками величины модуля и направления векторного коэффициента тренда  $\vec{a}$  и вклада тренда в дис-

персию по месяцам. Как следует из табл. 4, дисперсия тренда  $D_{tr}$  достигает зимой 12 % и летом до 5 %. Соответствующие изменения модуля скорости составляют, соответственно, 0,8 м/с и 0,3 м/с за 10 лет. При этом противоположные направления векторов  $\vec{a}$  и  $\vec{m}_p$  указывают на то, что тренд проявляется в тенденции к ослаблению  $\vec{V}$ . Для 14 ГМС (на ГМС Андрюшкино, Депутатский, Усть-Оленёк, Юбилейное пропуски в данных затрудняют оценку тренда), как следует из рис. 6а, характерен однотипный годовой ход относительной дисперсии  $D_{tr}(t)$  с максимумами зимой и летом. На самых северных станциях: ГМО Тикси и ГМС Тюмяти, Кюсюр, Чокурдах (№ 3, 8, 16, 18 по табл. 1) – главный максимум, до 10–20 %, приходится на февраль, вторичный максимум порядка 5 % – на июль–август. При этом графики  $D_{tr}(t)$  совпадают вплоть до деталей. На остальных ГМС главный максимум приходится на лето, причем на трех самых восточных ГМС значения  $D_{tr}$  в июне достигают величины 20–30 %. Следует отметить, что зимний максимум не следует переоценивать, так как, согласно рис. 3, для этой группы ГМС характерны слабый ветер, малая дисперсия и повышенная повторяемость штиля. На картах (рис. 6а) для февраля и июня видно, что на большинстве ГМС со значительными скоростями среднего переноса  $\vec{m}_p$  тренд проявляется как тенденция к ослаблению ветра. В июне для западных ГМС видна тенденция к усилению западной составляющей.

Таким образом характерные особенности годового хода и пространственного распределения трендов скорости ветра позволяют предположить, что, несмотря на небольшой во многих случаях вклад тренда в общую дисперсию, полученные оценки характеризуют реальную многолетнюю тенденцию. Основным ее проявлением является ослабление муссонной циркуляции над Северной Якутией, которая в районе ГМО Тикси наиболее отчетливо выражена в холодный сезон.

Многолетняя изменчивость и тренды среднемесячной температуры и других метеорологических параметров могут быть обусловлены рядом причин различных масштабов. Глобальные и крупномасштабные факторы, например парниковый эффект за счет роста  $\text{CO}_2$ , формируют прежде всего общее изменение температурного фона (по крайней мере в пределах относительно небольшого региона). Процессы меньших масштабов, к которым относятся и синоптические, могут проявляться в отдельных диапазонах – например, в многолетних изменениях интенсивности кратковременных, но сильных импульсов тепла или холода. В этом случае и многолетние тенденции будут проявляться по-разному для аномалий внутримесячной изменчивости различного знака. Между тем среднемесячные значения метеорологических элементов в фиксированной точке, по которым традиционно определяют тренды, обусловлены совокупным эффектом действия обеих групп этих факторов. В работе [Иванов, Макштас, Шутили, 2009а] сделано предположение о влиянии синоптических процессов на формирование долговременных тенденций межгодовой изменчивости в исследуемом районе. Для этого было предложено дополнить традиционный анализ оценками трендов квантильных трасс, то есть рядов  $X_p(t)$ , в которых одноименные по порядку  $p$  квантили рассчитываются ежемесячно. Примеры графиков квантильных трасс температуры для апреля и их аппроксимация трендом по данным двух ГМС приведены на рис. 6б. В табл. 6 приведены оценки параметров квантильных трасс  $T$  и  $P$  для трех ГМС, расположенных в западной, центральной и восточной частях региона.

Признаком возможного влияния синоптической изменчивости на тренд является непостоянство коэффициентов тренда  $a_p$  при различных порядках  $p$ , причем для нескольких

Таблица 6

Оценки коэффициента  $a$  и относительной дисперсии  $D_r$ , % трендов квантильных трасс и среднемесячных значений температуры и давления в апреле.

ГМС	Параметр	Порядок квантили									Среднее за месяц
		<i>min</i>	0,05	0,10	0,25	0,50	0,75	0,90	0,95	<i>max</i>	
Температура											
Черский	$a$	-0,005	0,022	0,042	0,041	0,054	0,085	0,116	0,127	<b>0,200</b>	0,076
	$D_r$	0,0	0,5	1,4	1,3	1,8	3,9	7,6	7,6	22,4	5,0
Тикси	$a$	0,096	0,104	0,118	0,122	0,088	0,071	0,076	0,048	-0,001	0,083
	$D_r$	6,6	7,8	9,5	10,1	4,9	2,6	2,8	1,1	0,0	4,8
Джалинда	$a$	<b>0,276</b>	<b>0,171</b>	<b>0,133</b>	0,110	0,102	0,082	0,081	0,079	-0,022	0,112
	$D_r$	29,2	19,0	13,8	9,9	7,8	4,7	4,0	3,2	0,3	11,6
Давление											
Черский	$a$	-0,100	-0,021	-0,012	-0,039	-0,043	-0,087	-0,091	-0,121	-0,112	-0,068
	$D_r$	2,5	1,2	0,1	1,0	1,1	4,3	4,2	5,5	4,6	2,9
Тикси	$a$	0,006	0,025	0,006	-0,008	0,040	0,009	0,034	-0,027	-0,025	0,004
	$D_r$	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4	0,3	0,4	0,2
Джалинда	$a$	0,012	-0,065	-0,063	-0,013	0,044	0,066	0,009	-0,032	-0,035	-0,020
	$D_r$	0,0	1,1	1,0	0,0	0,5	1,2	0,0	0,4	0,7	0,2

Примечание. Жирным шрифтом выделены тренды, значимые на 95 % уровне.

смежных значений изменения  $a_p$  должны быть плавными, а не скачкообразными. Именно это и показал анализ, выполненный для  $T$  и  $P$  в Тикси с 1936 по 2007 г. [Иванов, Макштас, Шутилин 2009б] и оценки, приведенные в настоящей статье. Как видно из табл. 6, тенденция к общему повышению  $T$  в Тикси связана в основном с ослаблением отрицательных аномалий температуры и сопровождается ослаблением отрицательных аномалий давления, что можно трактовать как снижение циклонической активности. Карты диаграмм зависимости  $a_p$  от  $p$  (рис. 6б) показали оппозицию восточного и западного районов. На западе положительный тренд  $T$  связан с ослаблением наиболее сильных отрицательных аномалий, тогда как на востоке – с усилением положительных аномалий. Важную роль синоптической изменчивости в формировании трендов подчеркивает то, что размах изменений  $a_p$  многократно превосходит значение коэффициента тренда среднемесячных величин (правый столбик на диаграммах рис. 6б).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценки режимно-климатических характеристик изменчивости и пространственной сопряженности температуры воздуха, давления, скорости ветра, абсолютной влажности и общей облачности в Северной Якутии получены по данным стандартных метеорологических измерений на 18 гидрометеорологических станциях с 1978 по 2010 г.

Средние значения и среднеквадратические отклонения  $T$ ,  $P$ ,  $A$ ,  $N$  во всей Северной Якутии имеют однотипный годовой ход, в пространственном распределении основным является контраст в направлении с юга на север. Многолетние тренды температуры для большинства месяцев положительные, для их пространственного распределения характерна оппозиция в направлении восток–запад, такая же оппозиция обнаружена в полях коэффициентов пространственной корреляции. Подтверждено влияние облачности на температурные тренды, для теплого сезона выявлено влияние



влажности на тренды. Еще одним важным источником трендов является многолетняя изменчивость синоптических процессов.

Ветер в холодный сезон направлен с юго-запада на северо-восток, в теплый сезон в противоположном направлении. Такой муссонный тип годового хода наиболее четко выражен на побережье моря Лаптевых, где скорость ветра и ее изменчивость наиболее велики, их максимум приходится на холодный сезон. Тренд проявляется в тенденции к ослаблению ветра, а летом в западной части района еще и в некотором усилении составляющей, направленной на запад.

Созданный и ежегодно пополняемый электронный архив данных метеорологических измерений, пакет программ статистического оценивания режимно-климатических характеристик, разработанный с участием одного из авторов [Руководство, 2009], и цикл статей по метеорологическому режиму Северной Якутии [Иванов, Макштас, Шутилин, 2009а, 2009б; Макштас и др., 2011] являются основой создания электронного справочника по современному гидрометеорологическому режиму Северной Якутии. Его практическая значимость не нуждается в специальном обосновании. Актуальность такого справочника для Северной Якутии обусловлена также тем, что последняя по времени аналогичная работа [Научно-прикладной справочник, 1989] базировалась на данных наблюдений, выполненных до 1980 г. и всего по 9 ГМС.

*Работа выполнена в рамках тем Росгидромета ЦНТП 1.5.4.6 и 1.7.3 и при поддержке проекта РФФИ – АФГИР 10-05-92516-ИК.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бельшев А.П., Клеванцов Ю.П., Рожков В.А. Вероятностный анализ морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 264 с.
- Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: ВЦ АН СССР, 1968. 474 с.
- Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 434 с.
- Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Т. 1. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
- Иванов Н.Е., Макштас А.П., Шутилин С.В., Гунн Р.М. Многолетняя изменчивость характеристик климата района гидрометеорологической обсерватории Тикси // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009а. № 1 (81). С. 24–41.
- Иванов Н.Е., Макштас А.П., Шутилин С.В. Многолетняя изменчивость характеристик климата в районе гидрометеорологической обсерватории Тикси. Часть 2 – годовой ход // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009б. № 3 (83). С. 97–113.
- Макштас А.П., Большакова И.И., Гунн Р.М., Жукова О.Л., Иванов Н.Е., Шутилин С.В. Климат района Гидрометеорологической обсерватории Тикси // Вклад России в Международный полярный год. Метеорологические и геофизические исследования. М.: Паулсен, 2011. С. 49–74.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 24. Якутская ССР. Книга 1. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 607 с.
- Рожков В.А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб.: Прогресс-Погода, 1996. 559 с.
- Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. 1. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 340 с.
- Рожков В.А., Клеванцов Ю.П., Михайлов Н.Н., Иванов Н.Е. и др. Методы и средства статистической обработки и анализа информации об обстановке в Мировом океане на примере гидрометеорологии. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2009. 416 с.

Тьюки Д. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. М.: Мир, 1981. 693 с.  
Электронный архив стандартных метеорологических измерений в ГМО Тикси. URL: [http://www/aagi.ru](http://www.aagi.ru)[дата просмотра 01.11.12]

*N.E.IVANOV, A.P.MAKSHTAS*

## **LONG-TERM VARIABILITY OF CLIMATE CHARACTERISTICS IN THE NORTHERN YAKUTIA**

*The article continues the series of papers directed to description of current climate in the Northern Yakutia with special attention to the area of Tiksi Hydrometeorological Observatory. The data of standard meteorological measurements executed at HMO Tiksi and network of the Northern Yakutia meteorological stations during 1978–2010 years, stored in the new electronic archive, are analyzed. The tables and charts of spatial distributions of temporal variability of daily-mean meteorological parameters, trends of its monthly mean values together with charts of multy-year averaged values and coefficients of correlation are presented. The influence of synoptic-scale processes on the long-term trends is specified.*

*Keywords:* Tiksi Hydrometeorological observatory, the Northern Yakutia, electronic archive, meteorological characteristics, synoptic variability.