

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ — ЭКСТРЕМУМЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Н.Е. ИВАНОВ, 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 приземной атмосферы Северной Якутии и, более подробно, района Гидрометеорологической обсерватории Тикси. Климатические характеристики минимальной и максимальной температуры воздуха получены по данным стандартных метеорологических измерений с 1978 по 2010 г. на 22 морских и континентальных ГМС, а для ГМО Тикси — по всем доступным данным с 1936 по 2015 г. Приведенные оценки дополняют информацию климатических справочников, основанную на данных, полученных до 1980 г., а на ряде ГМС и до 1965 г. Представлены таблицы основных характеристик экстремумов по месяцам, карты пространственного распределения и сопряженности, годовые экстремумы (наибольшие и наименьшие значения, их распределение по месяцам и тренды), климатические параметры амплитуды годового хода, оценки экстремальных значений температуры, возможных один раз в 5, 10, 25, 50 и 100 лет. Дополнительно исследованы синоптические условия возникновения штормов и резких перепадов температуры.

Ключевые слова: Гидрометеорологическая обсерватория Тикси, Северная Якутия, минимум и максимум температуры воздуха, годовая амплитуда, синоптические условия штормов и резких перепадов температуры.

ВВЕДЕНИЕ

Статья продолжает цикл работ по описанию современного климата в приземной атмосфере Северной Якутии, инициированный созданием в рамках программы Международного полярного года (МПП 2007/08) Гидрометеорологической обсерватории (ГМО) Тикси на базе гидрометеорологической станции (ГМС) «Полярка» (Иванов и др., 2009а, 2009б; Иванов, Макштас, 2012, 2014; Макштас и др., 2011, 2015). Исследование экстремальных ситуаций является одним из самых интересных и одновременно наиболее практически важных разделов описательной климатологии (Брызгин, Дементьев, 1996; Руководство..., 2008). Для Якутии особенно важны низкие температуры воздуха (T) зимой и усиления ветра (V) на побережье Северного Ледовитого океана (СЛО). Именно в Якутии расположен полюс холода Северного полушария. Согласно работе (Мещерская, Голод, 2006) абсолютный многолетний минимум T составил в Верхоянске $-67,8$ °С, а в Оймяконе $-69,8$ °С. В этом регионе отмечены максимальные для всего Северного полушария годовые амплитуды T (Визе, 1927, Справочник..., 1966).

Оценки многолетних экстремумов метеорологических параметров за последние десятилетия представляют интерес в связи с обсуждаемым изменением (потепле-

нием) современного климата полярных районов. Актуальность настоящей статьи связана также с тем обстоятельством, что последние климатические обобщения для региона Северной Якутии были выполнены по данным до 1965 г. (Справочник..., 1966), а позднее, и только для 9 ГМС, по данным до 1980 г. (Научно-прикладной справочник..., 1989). В настоящей статье использованы данные 22 ГМС за период с 1978 по 2010 г. Из них 16 ГМС являются континентальными, а 6 ГМС — морскими. Длина исследованных рядов данных стандартных метеорологических наблюдений примерно соответствует принятой Всемирной метеорологической организацией продолжительности базового климатического периода — 30 лет. Кроме этого для ГМО Тикси дополнительно выполнен анализ данных регулярных измерений за 80 лет с 1936 по 2015 г., размещенный на сайте ААНИИ (http://www/aari.ru/архивные_данные/).

Многолетние характеристики экстремумов получены по рядам ежесуточных минимумов T_{\min} и максимумов T_{\max} температуры воздуха, измеренных минимальным и максимальным термометрами. Для характеристики повторяемости, непрерывной продолжительности низкой температуры и резких изменений T дополнительно использованы данные срочных измерения (8 раз в сутки).

В первой части статьи приведены традиционные для климатических справочников таблицы за каждый месяц средних (по годам) и абсолютных многолетних экстремумов температуры воздуха. Особенности годового хода и пространственного распределения проиллюстрированы соответствующими графиками и картами. Дополнительно приведены таблица и карты пространственной корреляции зимних минимумов и летних максимумов температуры и климатические оценки повторяемости и непрерывной продолжительности низкой температуры воздуха в холодный сезон с ноября по март.

Далее рассмотрена климатическая изменчивость годовых минимумов T_{\min} и максимумов T_{\max} температуры. Помимо самих значений, следуя работам (Алексеев и др., 1999; Бухановский и др. 1999; Иванов и др., 2012), получено распределение годовых экстремумов T_{\min} и T_{\max} по месяцам.

Корифей арктической гидрометеорологии В.Ю. Визе (Визе, 1927) отмечал, что именно в Якутии зафиксированы рекордные для Северного полушария амплитуды годового хода температуры. Наибольшие значения приурочены к очагам самых сильных зимних минимумов T . В Верхоянске при абсолютных за многолетний период значениях $T_{\min} -68\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} +35\text{ }^{\circ}\text{C}$ потенциально возможная амплитуда составляет около $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. В статье приведены параметры распределения ежегодных амплитуд на отдельных ГМС и их пространственное распределение.

Традиционной задачей прикладной климатологии является оценивание экстремумов редкой повторяемости (Руководство, 2008). В статье приведены экстремумы T_{\min} и T_{\max} , возможные 1 раз в 5, 10, 25 и 100 лет. Теория и методы получения этих оценок описаны в монографиях и таблицах (Большев, Смирнов, 1968; Гумбель, 1965; Лидбеттер и др., 1989; Рожков, 2001).

Важной особенностью Якутии являются резкие внутрисуточные изменения температуры воздуха. Так, на ГМС Яролын 18 декабря 1978 г. всего за 12 ч T увеличилась на 25 градусов от $-44,7$ до $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти перепады температуры особенно велики в холодный сезон с ноября по март. Основной причиной этих экстремальных событий являются циклоны, зарождающиеся в восточной ложбине исландского минимума давления и перемещающиеся на восток вдоль сибирского побережья

Северного Ледовитого океана. С этими циклонами связаны также зимние штормы в районе Тикси с ветром до 40–45 м/с. Климатическая характеристика зимних выбросов температуры завершает статью. Здесь же описаны синоптические ситуации, при которых возникают наиболее резкие выбросы температуры и (для Тикси) особенно сильные штормы. Использованы данные реанализа NCEP (Kalnay at al., 1996) и база данных по циклонам Северного полушария (Tilinina at al., 2013).

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ И РЕЛЬЕФ СЕВЕРНОЙ ЯКУТИИ

Для описания климатической изменчивости экстремумов температуры приземного слоя воздуха *T* использованы данные стандартных метеорологических измерений на 22 ГМС за 33 года с 1978 по 2010 г. Для ГМО Тикси дополнительно использован полный ряд измерений за 80 лет с 1936 по 2015 г. Названия, коды и координаты ГМС, на основе данных которых выполнена настоящая работа, приведены в табл. 1.

Следует отметить, что имеющиеся в распоряжении авторов ряды данных на ГМС Андриюшкино, Кюсюр, Юбилейное и Усть-Оленёк содержат в отдельные годы значительное количество продолжительных (1 месяц и более) пропусков. Поэтому оценки абсолютных и средних за многолетний период экстремумов были получены по всем 22 ГМС, а остальные характеристики определены без учета указанных станций.

Таблица 1

Гидрометеорологические станции Северной Якутии

№ п/п	Название и код ГМС	Широта, ° с.ш.	Долгота, ° в.д.
1	Андриюшкино, <i>AND</i>	69,1	154,3
2	Черский, <i>CHE</i>	68,5	161,2
3	Чокурдах, <i>CHO</i>	70,4	147,5
4	Депутатский, <i>DPT</i>	69,2	139,5
5	Колымская, <i>KLM</i>	68,4	158,4
6	Среднеколымская, <i>SRK</i>	67,5	153,4
7	Верхоянск, <i>VRH</i>	67,3	133,2
8	Тикси, <i>TKS</i>	71,3	128,5
9	Джалинда, <i>GLN</i>	70,1	113,8
10	Джаржан, <i>GAR</i>	68,7	124,0
11	Оленёк, <i>OLN</i>	68,5	112,6
12	Усть-Оленёк, <i>UOL</i>	73,0	119,5
13	Саскылах, <i>SAS</i>	72,0	114,1
14	Сухана, <i>SUH</i>	68,8	118,0
15	Ярольин, <i>YAR</i>	68,2	108,5
16	Тюмяти, <i>TUM</i>	71,9	123,4
17	Юбилейное, <i>UBL</i>	70,8	136,2
18	Кюсюр, <i>KUS</i>	70,7	127,4
19	Дунай, <i>DUN</i>	73,56	124,3
20	Котельный, <i>KOT</i>	76,00	137,5
21	Санникова, <i>SAN</i>	74,4	138,5
22	Кигилях, <i>KIG</i>	73,2	139,8

Карта сети ГМС и их высоты над уровнем моря приведены на рис. 1а. Выделены морские и континентальные ГМС. В следующих таблицах ГМС обозначены буквенным кодом из табл. 1.

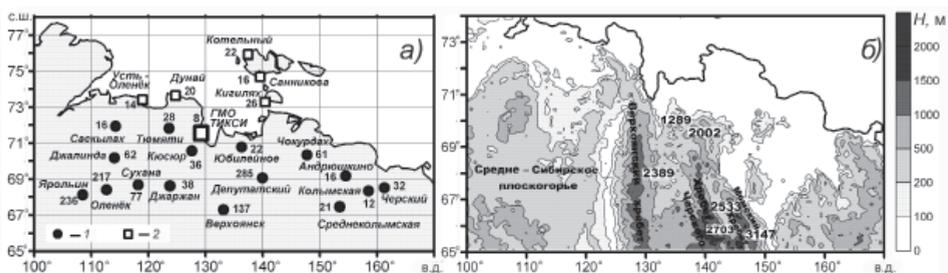


Рис. 1. Сеть континентальных (1) и морских (2) гидрометеорологических станций (а) и рельеф Северной Якутии (б). Цифрами обозначена высота над уровнем моря в м.

Экстремумы T в Якутии (особенно зимой) в значительной степени обусловлены удаленностью от моря, особенностями атмосферной циркуляции и рельефом (Визе, 1927; Справочник..., 1966). В холодный сезон основные особенности циркуляции определяет Сибирский антициклон. Основной ветрораздел проходит по линии оз. Байкал – о. Врангеля. Севернее и западнее, особенно на побережье Северного Ледовитого океана, заметно влияние циклонов, образующихся в восточной ложбине исландского минимума. Они в ряде случаев вызывают резкие потепления в континентальной части Якутии и штормы на побережье. Восточнее ветрораздела зимние потепления связаны с тихоокеанскими циклонами, но их влияние слабее, чем у атлантических циклонов.

Рельеф Северной Якутии неоднороден (рис. 1б). Вдоль побережья СЛО в основном расположены участки низменности. Река Лена разделяет регион на западную и восточную части, примерно равные по площади. В западной части основной формой рельефа является Средне-Сибирское плоскогорье с высотами 250–500 м. Особенности восточной части являются хребты Верхоянский, Момский и Черского. Они вытянуты в меридиональном направлении. Особенно важен Верхоянский хребет с отдельными пиками до 2,5–3 км над уровнем моря. Роль рельефа важна в формировании зимних локальных очагов холода во впадинах и узких горных долинах, где при большой повторяемости штиля формируются устойчивые приземные инверсии. Так, в Верхоянске (137 м над уровнем моря) средняя T января составляет $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а почти рядом, на восточном склоне Верхоянского хребта, но на высоте 1350 м — всего $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

МЕТОДЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭКСТРЕМУМОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Для характеристики экстремумов температуры воздуха нами использованы традиционные для описательной климатологии методы теории вероятностей и математической статистики (Гумбель, 1965; Литбеттер и др., 1989; Рожков, 2001). Параметры многолетних трендов определены по линейной регрессионной модели (Дрейпер, Смит, 1986). Статистическая значимость корреляций и трендов определена по таблицам (Большев, Смирнов, 1968). Полный перечень использованных статистических моделей и методов с подробной библиографией приведен в статьях (Иванов и др., 2009 а,б, 2012, 2014). Отсылая читателя к указанным работам, рассмотрим метод оценивания экстремумов редкой повторяемости.

Как было указано выше, для прикладных задач важны оценки экстремумов редкой повторяемости T_M , возможные 1 раз в M (5, 10, 25, 50 и 100) лет. При этом

длина имеющихся рядов данных n может быть соизмерима и даже меньше M . Следуя рекомендациям (Бухановский и др., 1999; Иванов и др., 2012), в работе использован комплекс эмпирических, квантильных и параметрических оценок T_M . Эмпирические оценки T_M получены непосредственно по рядам T_i ежегодных экстремумов. Для этого ряд T_i разбивают на отрезки продолжительностью M лет. Оценкой T_M является средний по всем отрезкам абсолютный экстремум. Квантильные оценки T_M также получены по измеренным значениям. Квантили X_p определены как порядковые статистики – члены вариационного ряда $x_1 \leq \dots \leq x_i \leq \dots \leq x_n$ с номерами, равными наибольшему целому числу в $np + 1$. Оценкой T_M является квантиль X_p порядка $p = M^{-1}$.

Эмпирические и квантильные оценки T_M можно получить лишь при $M < n$. При $M \geq n$ (1 раз за 50 и 100 лет) используются параметрические оценки T_M на основе аппроксимации эмпирического распределения вероятностей теоретическим с параметрами, определенными по данным измерений. При любом исходном распределении для экстремумов существует лишь три предельных распределения (Литбеттер и др., 1989; Рожков, 2001). Согласно работам (Алексеев и др., 1999; Бухановский и др., 1999; Герман, Левиков, 1988; Иванов и др., 2012; Колосова, 1982; Рождественский, Чеботарев, 1974; Рожков, 2001) в гидрометеорологии наиболее часто используется двойное экспоненциальное распределение (Гумбель, 1965):

$$P(x \geq x_0) = 1 - \exp[-\exp(-y)]$$

с параметрами $y = \alpha(x - q)$, $q = (m_x - 0,45\sigma_x)$, $\alpha = 1,28/\sigma_x$, где m_x и σ_x — среднее значение и стандартное отклонение.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценки экстремумов температуры воздуха по месяцам

В климатических справочниках оценки экстремумов T определены по наибольшим значениям суточных минимума и максимума T для каждого месяца каждого года. В табл. 2 приведены абсолютные многолетние экстремумы T_{\min} , T_{\max} и их средние многолетние значения \bar{T}_{\min} , \bar{T}_{\max} . Оценки \bar{T}_{\min} , \bar{T}_{\max} являются первым приближением к значению, возможному 1 раз в M лет. В таблице выделены месяцы с наибольшими за год экстремумами. Средние многолетние и наибольшие максимумы на всех ГМС отмечаются в июле, а средние минимумы в январе. Более широким является распределение наибольших зимних минимумов. Для периода с 1978 по 2010 г. они отмечены в декабре, январе и феврале на 3, 7 и 12 ГМС соответственно.

Таблица 2

Абсолютные и средние многолетние экстремумы температуры воздуха (°С) за 1978–2010 гг.

Код ГМС	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средний многолетний минимум												
AND	-48,0	-46,9	-44,3	-37,2	-21,7	-4,1	1,3	-0,8	-6,9	-28,2	-40,1	-45,6
CHE	-45,2	-43,0	-39,5	-31,6	-17,3	-2,6	1,6	0,0	-6,2	-24,7	-37,3	-43,4
CHO	-45,6	-43,9	-40,5	-33,1	-20,0	-4,7	0,6	-1,1	-7,6	-26,0	-38,1	-43,3
DPT	-51,2	-50,1	-46,8	-37,8	-21,6	-3,5	0,4	-3,5	-2,5	-34,3	-44,9	-49,3
KLM	-47,0	-46,0	-42,1	-35,1	-20,8	-3,5	0,8	-0,9	-6,6	-26,2	-38,8	-45,5
SRK	-48,2	-47,1	-43,0	-33,6	-15,6	-1,4	3,3	0,0	-6,2	-26,4	-39,9	-46,7
VRH	-55,8	-54,2	-49,2	-37,7	-14,6	-1,7	1,7	-2,7	-11,1	-35,0	-48,3	-53,6

Код ГМС	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>TKS</i>	-43,6	-43,6	-40,7	-34,9	-21,7	-5,4	-0,4	-0,6	-9,3	-26,9	-37,0	-41,1
<i>GLN</i>	-53,7	-51,9	-47,2	-36,5	-20,1	-3,5	2,1	-2,6	-11,9	-33,2	-46,2	-51,9
<i>GAR</i>	-51,8	-49,0	-42,5	-31,3	-14,8	-1,6	3,7	-0,8	-9,5	-31,4	-45,2	-50,0
<i>OLN</i>	-52,2	-48,5	-40,7	-29,7	-15,8	-3,1	2,7	-0,6	-10,1	-29,5	-44,9	-51,0
<i>UOL</i>	-45,0	-44,0	-40,8	-33,2	-21,0	-6,6	-0,7	-0,3	-8,0	-27,4	-37,5	-42,7
<i>SAS</i>	-49,8	-48,9	-45,0	-36,7	-23,1	-6,0	1,0	-1,5	-9,9	-30,7	-42,7	-48,1
<i>SUH</i>	-55,8	-53,1	-48,1	-36,8	-18,8	-2,2	0,6	-4,0	-12,3	-34,2	-48,3	-53,3
<i>YAR</i>	-53,8	-52,6	-47,4	-37,5	-20,2	-2,4	0,1	-3,3	-12,1	-34,0	-47,4	-52,6
<i>KUS</i>	-52,1	-49,7	-44,3	-35,0	-18,0	-3,2	1,8	-0,8	-10,9	-31,0	-45,1	-49,8
<i>TUM</i>	-52,5	-51,4	-46,9	-37,6	-21,5	-4,8	1,0	-1,5	-10,4	-32,5	-45,0	-49,3
<i>UBL</i>	-47,2	-46,0	-41,6	-35,2	-19,6	-3,9	0,6	-0,3	-7,4	-28,4	-41,1	-45,2
<i>DUN</i>	-41,5	-41,1	-38,7	-31,2	-19,2	-6,3	-0,5	0,3	-5,5	-23,3	-33,8	-39,1
<i>KOT</i>	-39,3	-39,4	-38,0	-31,8	-19,0	-6,7	-1,8	-2,8	-9,6	-24,6	-32,9	-37,1
<i>KIG</i>	-39,6	-39,2	-36,8	-30,8	-18,7	-6,1	-1,4	-1,4	-5,7	-22,0	-32,2	-37,2
<i>SAN</i>	-0,7	-40,6	-38,9	-32,7	-19,8	-6,4	-1,6	-2,5	-8,4	-23,8	-33,5	-38,4

Абсолютный минимум

<i>AND</i>	-53,3	-55,2	-51,6	-42,9	-29,7	-9,5	-0,7	-4,4	-15,4	-36,5	-45,0	-51,4
<i>CHE</i>	-51,9	-49,5	-45,6	-36,8	-26,3	-8,0	-0,8	-4,9	-11,0	-33,0	-43,8	-49,8
<i>CHO</i>	-49,4	-50,3	-48,2	-40,5	-28,8	-11,2	-1,1	-4,2	-13,5	-33,1	-42,9	-49,2
<i>DPT</i>	-56,1	-57,5	-53,5	-45,2	-35,2	-9,2	-3,5	-7,9	-22,1	-41,3	-50,9	-54,7
<i>KLM</i>	-52,1	-55,2	-49,0	-41,8	-29,5	-7,7	-0,8	-4,3	-14,7	-33,3	-43,7	-50,5
<i>SRK</i>	-53,1	-56,0	-48,9	-39,1	-28,3	-5,2	0,1	-3,4	-10,4	-34,8	-46,2	-51,2
<i>VRH</i>	-63,0	-61,1	-57,6	-44,2	-28,3	-7,9	-2,6	-8,3	-18,9	-43,6	-54,6	-59,9
<i>TKS</i>	-49,7	-50,5	-47,2	-42,0	-29,2	-15,8	-3,9	-3,2	-17,4	-33,1	-43,9	-48,9
<i>GLN</i>	-61,4	-61,7	-54,2	-44,9	-27,9	-11,0	-1,1	-8,7	-24,1	-40,0	-54,0	-63,0
<i>GAR</i>	-60,3	-58,9	-51,8	-39,6	-23,7	-5,6	0,1	-4,0	-17,1	-41,5	-53,7	-60,1
<i>OLN</i>	-59,6	-59,1	-47,0	-40,7	-23,4	-8,8	-0,6	-4,0	-19,1	-38,2	-56,6	-58,4
<i>UOL</i>	-51,6	-53,0	-45,9	-40,3	-30,7	-12,3	-2,2	-2,9	-16,2	-31,5	-46,2	-51,4
<i>SAS</i>	-58,8	-60,3	-54,7	-46,8	-32,0	-13,6	1,1	-5,6	-18,1	-36,8	-50,4	-59,9
<i>SUH</i>	-64,2	-60,3	-53,0	-46,0	-28,0	-7,8	-2,8	-10,0	-24,0	-41,8	-60,0	-62,0
<i>YAR</i>	-61,5	-61,0	-54,4	-48,9	-30,1	7,0	-3,5	-8,4	-22,3	-40,5	-58,3	-58,1
<i>KUS</i>	-60,0	-58,3	-51,6	-46,5	-26,2	-8,9	-1,0	-4,0	-18,2	-40,2	-52,1	-61,6
<i>TUM</i>	-57,4	-59,2	-55,9	-46,2	-34,8	-10,4	-1,6	-4,2	-22,9	-40,1	-52,4	-56,8
<i>UBL</i>	-52,5	-52,2	-45,7	-41,4	-27,7	-7,5	-1,7	-4,2	-15,0	-34,5	-47,7	-52,9
<i>DUN</i>	-48,0	-49,7	-43,5	-36,6	-28,1	-11,6	-2,5	-3,3	-13,4	-30,4	-40,4	-46,0
<i>KOT</i>	-42,5	-42,0	-41,8	-37,8	-26,4	-13,4	-5,8	-8,4	-18,3	-40,2	-38,0	-41,8
<i>KIG</i>	-44,5	-44,7	-41,5	-35,9	-25,1	-11,5	-2,7	-5,6	-13,4	-30,6	-37,5	-43,4
<i>SAN</i>	-44,7	-45,8	43,0	-37,0	-26,4	-9,9	-5,0	-6,9	-16,7	-37,7	-38,8	-43,8

Средний многолетний максимум

<i>AND</i>	-18,1	-18,7	-10,5	-1,0	12,6	24,9	27,7	23,2	15,1	1,8	-8,8	-14,5
<i>CHE</i>	-13,6	-12,0	-5,4	2,5	17,8	26,2	28,7	24,1	17,2	3,4	-4,5	-9,0
<i>CHO</i>	-19,4	-20,2	-12,7	-3,2	9,2	23,5	26,3	22,5	13,9	0,2	-11,1	-16,0
<i>DPT</i>	-20,4	-19,4	-11,0	0,0	14,8	26,1	28,5	23,9	14,7	0,4	-12,5	-17,6

Код ГМС	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>KLM</i>	-16,2	-16,2	-9,0	0,7	15,3	25,1	28,0	23,2	16,1	2,4	-8,0	-13,0
<i>SRK</i>	-21,4	-18,5	-7,3	3,5	19,0	28,3	30,2	25,6	18,0	3,9	-10,4	-17,9
<i>VRH</i>	-24,9	-21,7	-5,8	6,5	19,9	29,5	32,0	27,2	18,4	4,1	-14,5	-21,2
<i>TKS</i>	-17,1	-15,8	-9,3	-1,1	7,4	22,0	26,0	23,1	12,3	1,1	-9,7	-13,6
<i>GLN</i>	-17,3	-15,5	-5,3	4,4	12,6	26,3	30,0	25,2	15,0	2,2	-8,8	-11,9
<i>GAR</i>	-21,3	-17,8	-5,8	4,1	15,0	26,7	29,2	25,1	15,7	1,7	-1,7	-17,7
<i>OLN</i>	-16,7	-15,3	-4,5	4,6	13,3	26,9	29,9	25,8	15,8	2,9	-8,6	-11,8
<i>UOL</i>	-17,6	-16,9	-11,5	-2,9	4,9	19,5	25,3	21,1	11,5	0,1	-10,3	-14,0
<i>SAS</i>	-16,2	-14,6	-8,4	-0,8	6,2	22,8	28,3	23,7	13,4	1,3	-9,0	-12,3
<i>SUH</i>	-19,0	-16,9	-4,2	6,1	16,0	28,1	30,9	26,4	16,8	2,9	-10,0	-13,2
<i>YAR</i>	-12,4	-11,9	-1,8	5,9	15,7	27,7	30,7	26,5	17,7	5,0	-5,2	-9,3
<i>KUS</i>	-18,9	-16,5	-7,9	1,8	10,6	25,6	29,0	24,3	14,7	1,4	-10,6	-15,2
<i>TUM</i>	-18,7	-14,6	-9,5	-0,3	7,4	24,3	28,7	24,2	13,3	0,9	-8,8	-15,0
<i>UBL</i>	-19,2	-16,5	-10,1	0,0	11,4	25,6	28,8	24,3	14,9	0,9	-11,3	-15,4
<i>DUN</i>	-19,4	-18,6	-13,9	-6,7	0,4	9,7	17,1	16,3	7,6	-0,7	-10,0	-13,9
<i>KOT</i>	-16,7	-18,7	-14,8	-8,4	-0,3	7,9	14,4	12,4	5,0	-1,4	-9,5	-13,9
<i>KIG</i>	-18,2	-19,4	-15,0	-8,2	0,9	9,8	12,7	11,2	4,8	-0,6	-9,9	-14,5
<i>SAN</i>	-17,4	-19,2	-15,1	-8,3	0,1	7,3	10,7	9,1	3,6	-0,9	-9,6	-14,3
Абсолютный максимум												
<i>AND</i>	-6,4	-3,0	0,6	6,1	23,3	29,8	32,0	29,6	20,3	9,4	3,0	0,5
<i>CHE</i>	0,6	-0,6	3,1	8,3	24,3	32,1	33,3	29,8	23,7	11,5	4,7	3,1
<i>CHO</i>	-8,1	-13,9	-5,0	4,9	22,8	28,9	31,3	28,7	20,6	3,6	-3,7	-6,0
<i>DPT</i>	-8,2	-11,2	-1,8	9,0	25,0	32,0	34,9	30,7	21,2	9,6	-2,8	-7,7
<i>KLM</i>	-4,6	0,4	2,0	6,6	23,2	30,1	32,7	29,7	22,7	8,6	4,2	-3,8
<i>SRK</i>	-5,9	-8,5	2,3	10,0	28,4	32,3	36,7	32,2	24,6	13,4	5,1	-5,3
<i>VRH</i>	-7,2	-7,9	3,4	13,3	28,1	34,0	37,3	33,4	24,4	10,0	0,0	-5,3
<i>TKS</i>	-9,0	-9,5	-1,1	8,1	16,3	30,9	34,3	29,8	23,0	5,0	-1,2	-4,9
<i>GLN</i>	-0,4	-3,9	7,0	11,5	18,6	33,2	34,4	30,5	25,4	7,2	3,0	0,0
<i>GAR</i>	-1,7	-10,2	1,8	10,0	22,9	31,1	32,3	31,4	22,7	6,4	-2,0	-8,2
<i>OLN</i>	-6,4	-3,1	3,7	12,2	20,2	32,0	35,2	30,2	24,6	8,6	3,6	-0,2
<i>UOL</i>	-7,9	-7,0	-1,7	3,5	12,0	29,1	31,1	26,1	21,0	4,4	-0,1	-6,3
<i>SAS</i>	-5,3	-2,4	2,3	7,5	12,7	29,5	35,6	27,8	24,2	5,1	1,5	-2,3
<i>SUH</i>	0,0	-4,1	4,1	13,6	23,0	33,1	35,7	32,3	25,9	8,4	3,6	0,0
<i>YAR</i>	-2,1	-1,9	7,4	14,1	29,4	32,6	34,1	30,2	26,3	12,3	4,9	2,4
<i>KUS</i>	-6,8	-8,9	1,7	8,8	16,4	30,7	33,7	31,0	22,1	6,1	0,0	-4,4
<i>TUM</i>	-6,9	-8,0	0,6	7,1	16,2	32,7	34,8	30,4	23,6	4,8	-3,0	-7,2
<i>UBL</i>	-8,7	-10,6	-2,2	6,5	26,6	31,5	35,3	30,7	22,6	4,8	-3,0	-7,7
<i>DUN</i>	-11,1	-8,8	-1,6	2,0	2,8	21,7	25,7	26,4	15,3	1,5	-1,8	-7,4
<i>KOT</i>	-10,2	-9,2	-5,1	-0,4	3,0	19,2	24,9	20,1	10,6	0,8	-2,7	-5,1
<i>KIG</i>	-11,5	-11,3	-5,2	1,0	6,4	17,2	20,7	19,0	9,4	1,9	-2,4	-6,4
<i>SAN</i>	-10,9	-10,1	-7,0	0,0	3,9	13,3	19,1	14,3	8,1	1,7	-3,3	-6,5

Примечание: Жирным шрифтом выделены месяцы с годовыми экстремумами.

В верхней части рис. 2 приведены графики годового хода абсолютных экстремумов T_{\min} и T_{\max} за 1978–2010 гг., сгруппированных по морским (а), восточным (б) и западным (в) ГМС с выделением ГМО Тикси и карты зимних минимумов T_{\min} (з) и летних максимумов T_{\max} (д). Как видно из рисунка, основной особенностью пространственной и сезонной изменчивости экстремумов является контраст континент – океан. Над сушей экстремальность заметно сильнее по сравнению с морскими ГМС. Этот контраст особенно велик для летних максимумов температуры (рис. 2д). На морских ГМС T_{\max} не превышает $+25^{\circ}\text{C}$, а на континентальных она достигает от $+33$ до $+37^{\circ}\text{C}$. В холодный сезон на континентальных ГМС, согласно рис. 2з, заметна также западно-восточная оппозиция. Зимой T_{\min} составлял около -45°C на морских ГМС, от -50 до -55°C на востоке континентальной части Северной Якутии и от -60 до -64°C в Верхоянске и на западе. Как следствие годовая амплитуда T_{\min} и T_{\max} (рис. 2а,б,в) заметно больше на континентальных ГМС по сравнению с морскими.

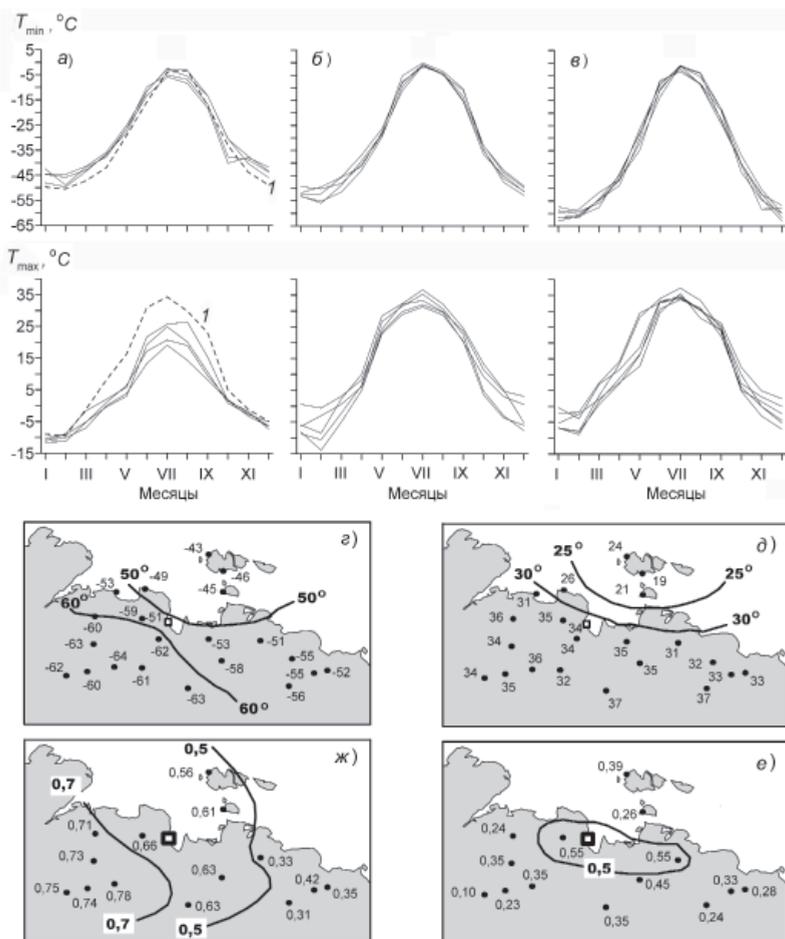


Рис. 2. Пространственно-временная изменчивость абсолютных за 1978–2010 гг. ежемесячных экстремумов T_{\min} и T_{\max} на морских (а), восточных (б) и западных (в) ГМС (с выделением ГМО Тикси цифрой 1), годовых экстремумов T_{\min} (з), T_{\max} (д) и коэффициентов корреляции в январе (е) и июле (ж) с «полюсом» в Тикси.

При этом увеличение амплитуды T_{\min} в Верхоянске и на западных континентальных станциях по сравнению с восточными обусловлено в основном указанной особенностью пространственного распределения T_{\min} зимой.

Анализ графиков годового хода (рис. 2 а, б, в) показывает, что на континентальных ГМС пространственная изменчивость T_{\min} и T_{\max} увеличена в холодные месяцы года, а на морских ГМС пространственная изменчивость T_{\max} увеличена летом. ГМО Тикси занимает промежуточное положение. Здесь годовой ход T_{\min} ближе к морскому типу, а годовой ход T_{\max} ближе к континентальному типу.

Пространственная сопряженность абсолютных экстремумов определена коэффициентом корреляции r ежегодных значений T_{\min} в январе и T_{\max} в июле. Уровень 95-процентной значимости $\text{abs}(r) > 0$ при объеме выборки $n = 33$ составляет 0,35. Значения r приведены в табл. 3. для января (выше диагонали) и для июля (ниже диагонали) с выделением ячеек с незначимой и слабой корреляцией $\text{abs}(r) < 0,5$. Карты пространственной корреляции для января и июля с «плюсом» в Тикси приведены на рис. 2 ж, е.

Таблица 3

Пространственная корреляция годовых минимумов (выше диагонали) и максимумов (ниже диагонали) температуры воздуха (°С) за 1978–2010 гг.

Код ГМС	CHE	CHO	DPT	KLM	SRK	VRH	TKS	GLN	GAR	OLN	SAS	SUH	YAR	TUM	KOT	KIG
CHE	1	0,60	0,40	0,62	0,66	0,34	0,35	0,20	0,41	0,29	0,28	0,45	0,40	0,41	0,52	0,50
CHO	0,52	1	0,58	0,63	0,73	0,45	0,33	0,31	0,50	0,22	0,27	0,38	0,30	0,55	0,45	0,53
DPT	0,20	0,72	1	0,50	0,48	0,85	0,63	0,51	0,75	0,51	0,48	0,49	0,42	0,73	0,51	0,75
KLM	0,73	0,68	0,38	1	0,70	0,45	0,42	0,30	0,46	0,27	0,31	0,47	0,33	0,55	0,62	0,76
SRK	0,63	0,51	0,42	0,79	1	0,39	0,31	0,27	0,43	0,22	0,16	0,36	0,25	0,51	0,42	0,57
VRH	-0,04	0,52	0,64	0,14	0,15	1	0,63	0,46	0,69	0,48	0,42	0,50	0,39	0,67	0,49	0,68
TKS	0,28	0,53	0,47	0,33	0,24	0,35	1	0,73	0,59	0,74	0,71	0,78	0,75	0,66	0,56	0,61
GLN	-0,32	-0,11	0,00	-0,27	-0,18	0,11	0,35	1	0,74	0,87	0,90	0,86	0,75	0,76	0,40	0,37
GAR	-0,13	0,11	0,19	-0,13	-0,16	0,27	0,59	0,73	1	0,71	0,66	0,74	0,62	0,76	0,46	0,57
OLN	-0,24	-0,23	-0,17	-0,26	-0,17	-0,10	0,23	0,87	0,57	1	0,79	0,88	0,90	0,65	0,37	0,38
SAS	-0,22	-0,22	-0,12	-0,32	-0,25	-0,04	0,24	0,87	0,69	0,76	1	0,83	0,73	0,75	0,43	0,34
SUH	-0,33	-0,16	0,05	-0,28	-0,17	0,11	0,35	0,88	0,72	0,84	0,82	1	0,84	0,71	0,49	0,41
YAR	-0,23	-0,44	-0,31	-0,39	-0,26	-0,09	0,09	0,74	0,55	0,85	0,73	0,67	1	0,61	0,40	0,38
TUM	-0,11	0,14	0,15	-0,05	-0,22	0,30	0,53	0,56	0,66	0,39	0,59	0,44	0,41	1	0,63	0,62
KOT	0,34	0,41	0,24	0,24	0,07	0,27	0,39	0,22	0,33	0,12	0,15	0,07	0,06	0,46	1	0,71
KIG	0,33	0,42	0,32	0,26	0,19	0,21	0,26	0,05	0,16	-0,08	0,01	-0,07	-0,15	0,12	0,70	1

Примечание: Выделены ячейки с незначимой и слабой корреляцией $r < 0,5$.

Таблица показывает увеличение пространственной корреляции для зимних минимумов температуры по сравнению с летними максимумами. Карты на рис. 2 ж, е подчеркивают также увеличение в холодный сезон не только самой величины r , но и радиуса корреляции. Зимой все корреляции положительные. Среди всех возможных 120 сочетаний двух ГМС из использованных незначимыми и слабыми ($r < 0,5$) зимой являются 55 корреляций. Летом количество незначимых корреляций увеличивается почти в 2 раза — до 90 случаев, среди которых присутствуют как положительные, так и отрицательные значения r .

Наиболее сильные корреляции от 0,7 до 0,9 зимой отмечены для 30 пар станций, а летом только в 14 случаях. Все они показывают значительную коррелированность

экстремумов температуры в Западной Якутии (Средне-Сибирское плоскогорье) и на островах (ГМС Котельный и Кигилях). В Восточной Якутии с более сложным рельефом сильная корреляция на уровне 0,8 зафиксирована только летом на близко расположенных ГМС Колымская и Среднеколымская. Роль рельефа отчетливо видна на рис. 2ж. Как видно из рисунка, корреляция зимних минимумов в Тикси (прибрежная низменность) с минимумами на западных ГМС (плоскогорье) достигает от 0,7 до 0,8. Однако для ГМС Депутатский и Верхоянск, которые удалены от Тикси на меньшее расстояние, но расположены в районе Верхоянского хребта, корреляция уменьшается до 0,6.

Для характеристики современной климатической изменчивости в контексте гипотезы глобального потепления в табл. 4 абсолютные за 1978–2010 гг. годовые экстремумы (табл. 2) сопоставлены с оценками, полученными по данным до 1978 г. за весь период регулярных измерений. Для Тикси они были определены нами на основании данных электронного архива для периода с 1936 по 1977 г. (Архив...), а для остальных ГМС по вышеуказанным справочникам. На всех ГМС современные значения T_{\min} не достигли абсолютного многолетнего зимнего минимума, хотя различие между ними относительно невелико. Максимальные различия можно отметить на ГМС Чокурдах, Верхоянск, Оленёк (от 5 до 7 °С). Значения современного и многолетнего летних максимумов T_{\max} практически не различаются.

Таблица 4

Абсолютные годовые экстремумы (°С) за 1978–2010 гг. (а) и ранее 1978 г. (б)

Экстремум		Код ГМС														
		TKS	UOL	SAS	TUM	UBL	KUS	CHO	GLN	GAR	KLM	SUH	OLN	VRH	SRK	YAR
T_{\min}	а	-51	-53	-60	-59	-53	-62	-50	-63	-60	-55	-64	-60	-63	-56	-62
	б	-54	-54	-62	-60	-58	-63	-57	-64	-61	-59	-65	-65	-68	-60	-65
T_{\max}	а	34	31	36	35	35	34	31	34	32	33	36	35	37	37	34
	б	34	32	36	35	35	34	32	35	37	33	37	36	37	37	35

Годовые экстремумы температуры воздуха

Помимо самих значений T , следуя работам (Алексеев и др., 1999; Иванов и др., 2012; Бухановский и др., 1999), рассмотрим распределение годовых экстремумов по месяцам. Согласно табл. 2 наименьшие за 1978–2010 гг. значения T_{\min} отмечены только в январе и феврале (и на трех ГМС в декабре), а наибольшие значения T_{\max} только в июле. Распределение ежегодных экстремумов значительно шире. В табл. 5 приведена по месяцам повторяемость (%) абсолютных минимумов T_{\min} и максимумов T_{\max} в трех районах: на морских (включая Тикси), континентальных западных (включая Верхоянск) и континентальных восточных ГМС.

Таблица 5

Повторяемость (%) по месяцам абсолютных годовых экстремумов температуры воздуха

Район	Абсолютный зимний минимум					Абсолютный летний максимум		
	Месяц					Месяц		
	XI	XII	I	II	III	VI	VII	VIII
Морские ГМС	1	9	38	41	12	13	61	26
Западные ГМС	3	20	54	23	–	17	76	7
Восточные ГМС	–	24	54	22	–	25	64	11

Различия T_{\min} и T_{\max} на отдельных ГМС внутри групп заметно меньше, чем между районами. Согласно табл. 5 во всех районах максимумы повторяемости T_{\min} и T_{\max} отмечены в январе и июле, но сами значения повторяемости в эти и другие месяцы имеют пространственные особенности. Зимой основное различие состоит в том, что на континентальных ГМС максимум T_{\min} около 55 % отмечен в январе, а на морских ГМС в январе и феврале — около 40 %. В декабре и феврале на континентальных станциях T_{\min} примерно одинаковая (от 20 до 25 %), а на морских ГМС в декабре уменьшена до 10 %. Редкие случаи T_{\min} в марте зафиксированы лишь на морских ГМС, а единичные случаи T_{\min} в ноябре — только в Тикси и на отдельных западных ГМС.

Летом наибольшее значение T_{\max} в июле на западных ГМС составило 75 %, а на морских и восточных ГМС от 60 до 65 %. Повторяемость T_{\max} на континентальных ГМС в июне примерно в 2 раза больше, чем в августе, а на морских ГМС это соотношение обратное. На всех ГМС ряды ежегодных экстремумов температуры T_{\min} и T_{\max} демонстрируют значительные изменения от года к году без явно выраженного тренда.

Амплитуда годового хода температуры воздуха

В Якутии зафиксированы наибольшие для всего Северного полушария годовые амплитуды температуры воздуха A . Как видно из рис. 3, на морских ГМС (Котельный, Санникова) амплитуда существенно меньше по сравнению с континентальными ГМС. В континентальной области A особенно велика на ГМС Верхоянск и Сухана. При этом на всех станциях ярко выражена межгодовая изменчивость A при практическом отсутствии трендов.

В табл. 6 приведены средние значения m , квантили x_i и масштабы распределения A — интерквартильное расстояние $Q = X_{0,75} - X_{0,25}$ (50 % значений в окрестностях медианы $Me = x_{0,50}$) и размах $R = x_{\min} - x_{\max}$. Численная близость оценок центра распределения m и Me свидетельствует о почти симметричном распределении A . Соотношение Q и R показывает, что изменения на всех ГМС значительные и примерно одинаковые, несмотря на различное среднее значение A . Пространственные диапазоны $\Delta_R = 17^\circ\text{C}$ (8,2 – 25,3 °C) и $\Delta_Q = 3^\circ\text{C}$ (3,2 – 6,3 °C) составили по отношению к средним по 16 ГМС значениям \bar{R} и \bar{Q} около 1,0 и 0,5 соответственно. Следовательно, значительная дисперсия амплитуды формируется во все годы, а не только при аномально больших и малых значениях A .

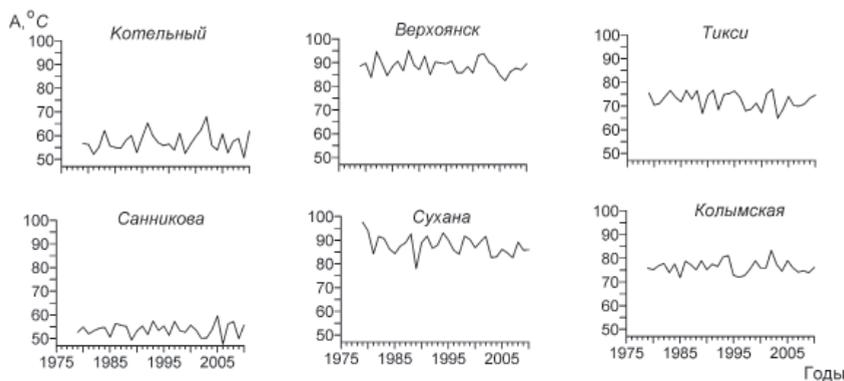


Рис. 3. Пространственно-временная изменчивость годовой амплитуды температуры воздуха за 1978–2010 гг.

Среднее значение m , квантили X_p , интерквартильное расстояние Q и размах R многолетнего распределения годовых амплитуд температуры за 1978–2010 гг.

Код ГМС	m	X_{MIN}	$X_{0,25}$	$X_{0,50}$	$X_{0,75}$	X_{MAX}	Q	R
CHE	75,0	70,9	73,3	74,8	76,5	79,1	3,2	8,2
CHO	73,5	68,8	72,0	74,0	75,6	77,6	3,6	8,8
DPT	80,7	75,2	78,4	80,9	82,5	87,1	4,1	11,9
KLM	76,4	71,9	74,7	76,0	77,9	83,4	3,2	11,5
SRK	79,8	74,7	77,8	79,4	81,5	86,3	3,7	11,6
VRH	88,6	82,4	86,2	88,6	90,4	95,2	4,2	12,8
TKS	72,5	64,9	70,2	73,6	75,2	77,2	5,0	12,3
GLN	85,8	75,5	83,6	85,5	87,7	93,5	4,1	18,0
GAR	82,3	75,0	79,3	81,7	84,6	89,5	5,3	14,5
OLN	83,4	73,0	80,9	83,4	86,7	91,0	5,8	18,0
SAS	81,0	67,3	78,4	80,8	84,7	92,6	6,3	25,3
SUH	88,0	78,0	85,8	88,0	91,6	97,6	5,8	19,6
YAR	85,7	76,7	82,7	86,7	88,4	94,6	5,7	17,9
TUM	82,0	74,1	80,3	82,6	84,9	92,4	4,6	18,3
KOT	57,5	50,7	55,0	56,7	60,1	68,0	5,1	17,3
SAN	53,8	47,8	52,0	53,8	55,7	59,6	3,7	11,8

На рис. 4 приведены карты средних и максимальных значений годовой амплитуды температуры воздуха. При сопоставлении с экстремумами самой температуры T_{min} , T_{max} (табл. 2, рис. 2) необходимо учитывать, что на континентальных и прибрежных ГМС амплитуда зависит в основном от зимних минимумов T_{min} , а роль T_{max} вторична. Поэтому естественно, что амплитуда на континентальных ГМС заметно больше, чем на морских ГМС. Наибольшие A отмечены в Верхоянске (в среднем 89 °С, максимальная 95 °С), на ГМС Депутатский и на ряде западных ГМС. В Тикси эти значения составили 73 и 77 °С, а на Новосибирских островах 55 °С и от 60 до 68 °С.

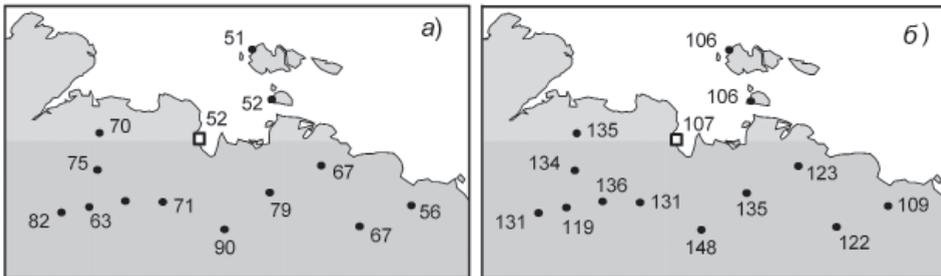


Рис. 4. Среднее значение (а) и максимум (б) годовой амплитуды температуры воздуха.

Повторяемость и непрерывная продолжительность низкой температуры

Для характеристики воздействия низкой температуры воздуха на условия жизни и социально-экономическую деятельность региона важно знать повторяемость и непрерывную продолжительность периодов, когда $T \leq T_{кр}$ (Руководство..., 2008). Согласно работе (Брызгин, Дементьев, 1996) пороговым значением $T_{кр}$ для Арктики принято -30 °С. Повторяемость $P_{кр}$ определяется числом дней $N_{кр}$, в течение которых



Рис. 5. Пространственно-временная изменчивость числа дней с температурой ниже -30°C за 1978–2010 гг. в холодный сезон с ноября по март.

температура воздуха хотя бы один раз в сутки понижалась ниже $T_{\text{кр}}$. Непрерывная продолжительность $\theta_{\text{кр}}$ событий $T \leq T_{\text{кр}}$ определяется количеством часов (по данным срочных наблюдений). В соответствие с определением зимнего периода месяцами с ноября по март (Алексеев и др., 1999; Иванов и др., 2009а, б) оценки были выполнены только для указанного периода. Учитывая, что количество дней $N_{\text{кр}}$ и продолжительность $\theta_{\text{кр}}$ целочисленные значения, параметрами распределения приняты не моменты, а квантили x_p порядка p . Поскольку оценки $N_{\text{кр}}$ и $\theta_{\text{кр}}$ особенно чувствительны к пропускам данных, использованы данные только 14 ГМС (табл. 7).

Таблица 7

Квантили x_p распределения ежегодного числа дней $N_{\text{кр}}$ и непрерывной продолжительности $\theta_{\text{кр}}$ за 1978–2010 гг.

Код ГМС	Число дней $N_{\text{кр}}$ с $T \leq -30^{\circ}\text{C}$					Непрерывная продолжительность $\theta_{\text{кр}}$, часы				
	x_{MIN}	$x_{0.25}$	$x_{0.50}$	$x_{0.75}$	x_{MAX}	x_{MIN}	$X_{0.25}$	$X_{0.50}$	$X_{0.75}$	X_{MAX}^*
<i>CHE</i>	61	77	87	92	109	6	6	12	30	720 (30)
<i>CHO</i>	84	96	103	112	123	6	6	12	30	726 (30)
<i>DPT</i>	97	111	123	127	135	6	6	12	24	846 (35)
<i>SRK</i>	87	94	102	107	122	6	6	12	24	1086 (45)
<i>VRH</i>	117	132	137	140	148	6	6	12	24	2790 (115)
<i>TKS</i>	30	64	84	96	107	6	6	12	24	648 (25)
<i>GLN</i>	90	109	114	121	134	6	6	12	24	1380 (55)
<i>GAR</i>	77	100	109	118	131	6	6	12	24	960 (40)
<i>OLN</i>	69	88	96	107	119	6	6	12	36	1356 (55)
<i>SAS</i>	72	96	107	118	135	6	6	12	42	1278 (55)
<i>SUH</i>	111	119	124	129	136	6	6	12	30	1164 (50)
<i>YAR</i>	82	103	111	117	131	6	6	12	24	840 (35)
<i>KOT</i>	54	67	75	96	106	6	6	18	48	540 (20)
<i>KIG</i>	44	67	78	91	106	6	12	18	48	690 (25)

* — для $\theta_{\text{кр}}$ в скобках приведен максимум продолжительности в днях (с округлением до 5 суток).

Как видно из рис. 5, на котором приведены графики $N_{\text{кр}}$ для 6 станций (морских ГМС Котельный и Кигилях, западной и восточной ГМС Джалинда и Среднеколымская,

ГМО Тикси и континентальной ГМС Верхоянск), изменчивость $N_{кр}$ с 1978 по 2010 г. характеризуется сильными вариациями от года к году при отсутствии значимого в соответствии с работой (Дрейпер, Смит, 1986) тренда. Этот рисунок иллюстрирует основные пространственные различия в величине $N_{кр}$, связанные с географическим положением ГМС и локальными особенностями рельефа. На морских и прибрежных ГМС (Котельный, Кигилях, Тикси) величина $N_{кр}$ существенно меньше по сравнению с континентальными ГМС. В континентальной области $N_{кр}$ максимальна в Верхоянске и заметно увеличена на ГМС Депутатский и ряде станций Западной Якутии.

В табл. 7 приведены квантили распределения ежегодного числа дней $N_{кр}$ и соответствующей непрерывной продолжительности $\theta_{кр}$. Для $\theta_{кр}$ значения x_p приведены в часах, а для максимума еще и в днях (с округлением до 5 суток). Карты общей с 1978 по 2010 г. повторяемости и максимального за год числа дней $N_{кр}$ приведены на рис. 6 а, б.

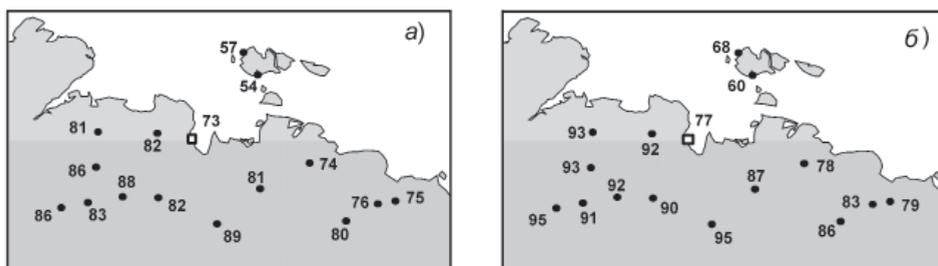


Рис. 6. Повторяемость (а, %) и годовой максимум (б) числа дней с температурой $T \leq -30$ °С с ноября по март за 1978–2010 гг.

Основные особенности пространственного распределения $P_{кр}$, $N_{кр}$, $\theta_{кр}$ взаимно согласованы и соответствуют распределению зимнего минимума $T_{мин}$ (табл. 2, рис. 2). Наибольшая повторяемость (90 %) дней с $T \leq -30$ °С отмечена на полюсе холода (Верхоянск). На ГМС Депутатский и западных ГМС она составляет 70–80 %, уменьшаясь до 50–55 % в Тикси, на островах и на восточной ГМС Черский. Соответствующее число дней $N_{кр}$ составляет в среднем 137, 110–125 и 90–95, а в самые холодные годы — 148, 130–135 и 105–110 соответственно.

Непрерывная продолжительность $\theta_{кр}$ составила в 50 % случаев 12 ч на континентальных ГМС и 18 ч на островных ГМС, а в 75 % случаев не превысила 2 суток. Однако в отдельные годы $\theta_{кр}$ была очень велика. Наибольшая продолжительность температуры воздуха ниже -30 °С в Верхоянске составила почти 3 месяца (115 суток), на ГМС Депутатский и на западных ГМС от 35 до 55 суток, в Тикси и на островах — от 20 до 25 суток.

Экстремумы редкой повторяемости, возможные 1 раз в 5, 10, 25, 50 и 100 лет

Для оценки экстремумов $T_{мин}$ и $T_{макс}$, возможных 1 раз в 5, 10, 25 и 100 лет, использованы методы, описанные в монографиях и таблицах (Большев, Смирнов, 1968; Гумбель, 1965; Лидбеттер и др., 1989; Рожков, 2001). Экстремумы T_M возможные один раз в 5, 10, 25, 50 и 100 лет, получены для шести ГМС, характеризующих особенности различных районов Северной Якутии (см. табл. 1, рис. 1а), по данным наблюдений с 1978 по 2010 г. Этот период можно считать репрезентативным, поскольку сопоставление результатов для ГМО Тикси по этому ряду и за 1936–2015 гг. показало, что различия оценок T_M за 33 года и за 80 лет не превышает 0,5 °С.

При длине ряда 33 года для экстремумов T_M , возможных 1 раз за 5, 10 и 25 лет, наиболее обоснованными являются эмпирические и квантильные оценки, полученные непосредственно по данным наблюдений. Расчеты показали, что на всех ГМС при $M = 5, 10$ и 25 лет значения T_M , полученные этими методами, почти не различаются. В то же время для рядов продолжительностью 33 года оценки T_M , возможной 1 раз за 25 лет, непосредственно по данным измерений становятся ненадежными, а значения T_M за 50 и 100 лет можно оценить лишь параметрическим методом. В таблице 8 сопоставлены квантильные и параметрические оценки T_M , возможной 1 раз за 5, 10, 25 лет, и приведены параметрические оценки T_M за 50 и 100 лет.

Таблица 8

Квантильные (А) и параметрические (Б) оценки экстремумов температуры воздуха, возможной 1 раз за 5, 10, 25 и 50 и 100 лет

Период M и метод оценки		Максимальная температура						Минимальная температура					
		Код ГМС						Код ГМС					
		<i>TKS</i>	<i>VRH</i>	<i>SRK</i>	<i>KOT</i>	<i>SAS</i>	<i>YAR</i>	<i>TKS</i>	<i>VRH</i>	<i>SKR</i>	<i>KOT</i>	<i>SAS</i>	<i>YAR</i>
5 лет	А	29,3	34,0	32,8	17,0	31,1	32,1	-46,2	-58,3	-51,2	-41,4	-52,8	-57,7
	Б	29,7	33,8	32,7	17,9	31,4	32,4	-46,3	-58,2	-50,3	-41,1	-52,2	-57,4
10 лет	А	30,4	34,6	34,0	19,5	32,1	33,0	-47,1	-58,5	-51,9	-42,0	-53,3	-58,2
	Б	32,7	35,2	34,6	20,7	33,8	33,7	-48,3	-60,1	-52,0	-42,5	-55,3	-59,9
25 лет	А	31,2	35,6	35,4	21,5	33,9	34,0	-47,3	-60,6	-52,3	-42,1	-58,3	-60,2
	Б	34,4	36,8	37,0	24,1	35,8	35,4	-49,9	-62,4	-54,1	-44,3	-58,4	-60,8
50 лет	Б	39,1	38,2	38,8	26,7	39,0	36,5	-52,9	-64,2	-5,7	-45,6	-60,6	-63,7
100 лет	Б	40,9	39,6	40,6	29,2	41,3	37,8	-54,8	-67,0	-57,2	-47,0	-63,8	-66,6

Наиболее важны оценки за периоды 50 и 100 лет, превышающие продолжительность рядов измерений. Таблица воспроизводит отмеченное выше резкое усиление экстремальности в Верхоянске и в западной части континентальной Якутии по сравнению с побережьем и островами. Этот пространственный контраст особенно увеличен зимой. В Верхоянске значения экстремумов, возможных 1 раз в 100 лет, составили около -67°C и $+40^\circ\text{C}$, в Тикси -55°C и $+40^\circ\text{C}$, на Новосибирских островах (о. Котельный) -47°C и $+29^\circ\text{C}$.

Значения минимума, возможного 1 раз в 100 лет, в Верхоянске почти совпало с абсолютным многолетним значением, полученным по данным измерений с 1891 г. (Мещерская, Голод, 2006). Другими подтверждениями реалистичности модельных оценок T_M , возможных 1 раз в 50 и 100 лет, являются близость эмпирических, квантильных и параметрических оценок при $M \leq 25$ лет и согласованность параметрических оценок при $M = 25$ лет с экстремумами по данным измерений за 33 года (табл. 2).

Резкие перепады температуры — климатическая характеристика и возможные причины

Особенностью климата Якутии являются резкие и кратковременные (продолжительностью до 1–2 суток) изменения температуры воздуха. Особенно интересны резкие повышения T в холодный сезон. Основной причиной этих экстремальных событий являются циклоны, зарождающиеся в восточной ложбине исландского минимума давления и перемещающиеся на восток вдоль сибирского побережья Северного Ледовитого океана. С циклонами этого типа связаны также зимние штормы в районе Тикси с ветром до 40–45 м/с.

Статистическое описание событий увеличения температуры (δT) на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более за 12 ч с ноября по март получено по рядам данных срочных (8 раз в сутки) измерений с 1978 по 2010 г. Основными параметрами приняты общее за 33 года количество, медиана и максимальная величина выброса δT . Величина каждого из выбросов определялась индивидуально.

По значениям повторяемости и мощности выбросов δT на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более с ноября по март пространственный контраст особенно отчетливо выражен между Верхоянском, западными континентальными ГМС и наиболее южными восточными ГМС (Среднеколымская и Депутатский), с одной стороны, и морскими ГМС (Новосибирские острова, ГМС Дунай) — с другой стороны. ГМС Тикси занимает промежуточное положение (ближе к морским ГМС). Повторяемость числа дней с событиями $\delta T \geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 33 года в процентах составила на морских не более 1 %, в Тикси 1,5 %, на северо-восточных ГМС около 5 %, а на западных ГМС (включая Верхоянск и Депутатский) — от 5 до 15 %, с максимумами на ГМС Ярольин и Сухана. Медиана многолетнего распределения δT на морских ГМС составила $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, в Тикси $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, на континентальных ГМС — от 13 до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ с максимумами в Ярольине, Сухане и Верхоянске. Максимальные за 33 года значения δT на морских ГМС не превышали $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в Тикси $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на ряде континентальных ГМС — от 40 до $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для того чтобы вызвать значительное изменение температуры в континентальной области Северной Якутии, циклон со значительным градиентом давления должен быть глубоким и, что особенно важно, быстро перемещающимся. В качестве примера на рис. 7 рассмотрена синоптическая ситуация 18 декабря 1978 г., когда на ГМС Ярольин всего за 12 ч T возросла на 25 градусов от $-44,7$ до $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Используются данные реанализа NCEP (Kalnay at al., 1996) и база данных по циклонам Северного полушария (Tilinina at al., 2013).

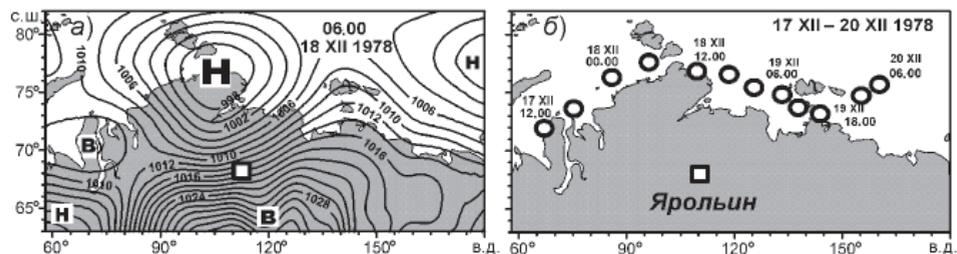


Рис. 7. Синоптические условия резкого увеличения температуры воздуха на ГМС Ярольин — синоптическая карта за 12 ч 18 декабря 1978 г. (а) и траектория центра циклона за 17–20 декабря 1978 г. (б).

Согласно рисунку резкое повышение температуры вызвано циклоном, который зародился в юго-западной части Карского моря и примерно через трое суток заполнился в Восточно-Сибирском море. Его траектория воспроизводит конфигурацию береговой линии, а за счет оппозиции с Сибирским антициклоном в его теплом секторе над континентальной областью Северной Якутии сформировался сильный градиент давления. Особенно интересна необычно большая путевая скорость центра циклона. В среднем она составила около 45 км/ч ($10\text{--}12\text{ м/с}$ на различных участках траектории).

Синоптические условия возникновения штормов в районе ГМО Тикси

Наиболее сильные ветры в Северной Якутии были зафиксированы на побережье Северного Ледовитого океана, в районе ГМС Тикси (Иванов, Макштас, 2009а, 2012).

Согласно работе (Иванов, Макштас, 2014) важнейшими особенностями штормов являются: интенсификация в холодный сезон (с ноября по март до 40 м/с и более), стабильность направления (от Ю–ЮЗ–З к С–СВ–В) во все месяцы и от года к году и небольшая непрерывная продолжительность резких усилений ветра (не более 1–2 суток). В табл. 9 приведены данные о модуле и направлении ветра в максимальных штормах за период с 1936 по 2016 г. в Тикси.

Таблица 9

Модуль и направление многолетних максимумов ветра в ГМО Тикси

Параметр	Месяц												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
V_{max}	V , м/с	42	38	40	34	24	28	26	25	28	34	40	40
	φ , град.	250	200	250	230	250	260	230	260	290	230	230	200

Устойчивость направления скорости ветра во время сильных штормов позволяет предположить, что, как и при резких перепадах температуры, особенно сильные штормы в Тикси в холодный сезон обусловлены циклонами, зарождающимися в восточной ложбине исландского минимума и движущиеся вдоль евразийского побережья Северного Ледовитого океана на восток. Сильные штормы отмечались значительно реже, чем резкие перепады температуры. Следовательно, синоптические условия возникновения штормов и выбросов температуры хотя и совпадают по общей причине (атлантические циклоны), но имеют еще и специфические особенности.

Для проверки этой гипотезы проанализированы синоптические ситуации 19 ноября 1951 г., 20 января 1951 г. и 25 марта 1954 г. с абсолютными для этих месяцев за весь период инструментальных наблюдений максимумами скорости ветра 40, 42 и 34 м/с. На рис. 8 (а, в, д) показаны поля атмосферного давления на уровне моря. Во всех трех случаях четко выделяются основной глубокий циклон и частный циклон. На рис. 8 (б, г, е) показаны траектории этих циклонов за несколько суток и векторы максимального ветра.

Рисунок подтверждает нашу гипотезу и одновременно показывает специфику синоптических условий возникновения особенно сильных штормов. Во всех случаях основной циклон перемещается на восток несколько южнее, чем большинство аналогичных циклонов, — его центр проходит над континентальной областью Восточной Сибири. Другим необходимым условием является частный циклон перед фронтом основного циклона непосредственно в районе Тикси. Одновременное выполнение этих редких условий (зимой преобладает Сибирский антициклон) при формальном выборе дат (только по максимуму ветра) вряд ли является случайным совпадением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования современного климата Северной Якутии были инициированы созданием в рамках программы Международного полярного года Гидрометеорологической обсерватории Тикси. В продолжение ранее опубликованных данных о климатических особенностях региона в настоящей статье приведены оценки экстремумов температуры приземного слоя воздуха на 22 континентальных и морских ГМС за период с 1978 по 2010 г. Они дополняют сведения климатических справочников, полученные на основании измерений, выполненных до 1980 г., а на ряде станций только до 1965 г.

В Северной Якутии зафиксированы максимальные для Северного полушария амплитуды годового хода температуры воздуха. За проанализированные 33 года

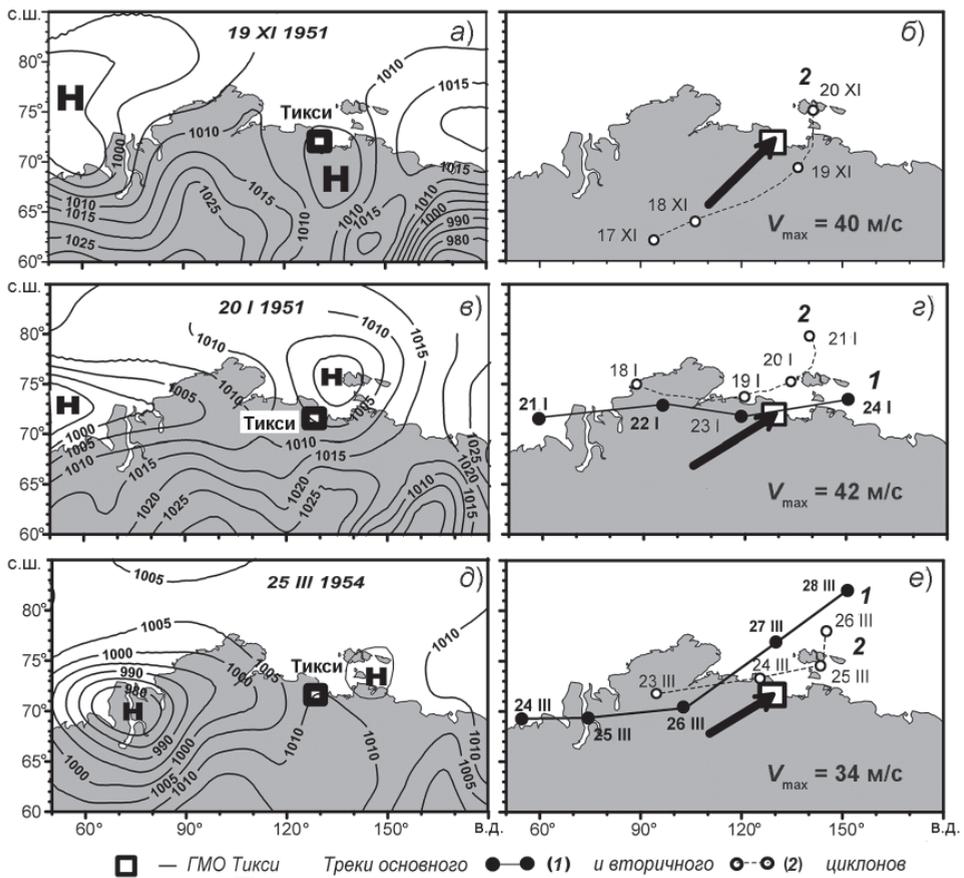


Рис. 8. Синоптические условия штормов 19 ноября, 20 января 1951 г. и 25 марта 1954 г. в районе Тикси: а, в, д — давление на уровне моря (гПа); б, з, е — векторы максимальной скорости ветра и датированные (число и месяц) траектории центров основного (1) и вторичного (2) циклонов.

абсолютные минимумы температуры составили в Верхоянске и на ряде восточных континентальных ГМС около -63°C , в Тикси -50°C , на островах около -45°C . Абсолютные максимумы температуры составили на континентальных ГМС и в Тикси около $+35^{\circ}\text{C}$, на морских ГМС $+20\dots+25^{\circ}\text{C}$. Таким образом, максимальные амплитуды годового хода составили в Верхоянске и на западных ГМС от 90 до 97°C , в Тикси 77°C , а на островах только от 60 до 70°C .

Ни на одной из ГМС, данные которых использованы в работе, экстремумы за 33 года не превосходили рекордных значений, зафиксированных за весь период регулярных измерений. Однако численная близость значений современных и абсолютных многолетних экстремумов показывает репрезентативность оценок по ряду с 1978 по 2010 г. Следует отметить, что по характеристикам экстремумов приповерхностной температуры воздуха за исследованный период проявления современного потепления в приземной атмосфере Северной Якутии не выявлены.

Сопоставление параметрических оценок экстремумов T_{MP} возможных 1 раз в 50 и 100 лет, полученных по данным за последние 33 года, с аналогичными оценками

по данным измерений в Тикси с 1936 г. и в Верхоянске с 1891 г. показало надежность модельных оценок. Это позволяет использовать разработанную методику оценки экстремумов большой заблаговременности и для ГМС с более короткими рядами измерений.

Современный уровень гидрометеорологии обеспечивает для рассматриваемого района хорошую (в большинстве случаев) оправдываемость прогнозов полей атмосферного давления с заблаговременностью до 3–5 суток. Поэтому выявленные синоптические условия возникновения сильных штормов и резких перепадов температуры воздуха могут быть полезными для принятия оперативных решений и действий при угрозе возникновения этих опасных и особо опасных явлений погоды.

Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН и ААНИИ: чл.-кор. РАН д-ру физ.-мат. наук С.К. Гулеву, науч. сотр. Н.Д. Тилининой и канд. геогр. наук А.В. Попову за возможность использования базы данных по циклонам Северного полушария. Работа выполнена в рамках темы ЦНТП Росгидромета 1.5.3.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В., Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А.* Распределение годовых экстремумов температуры воздуха // Известия РГО. 1999. Т. 131. Вып. 4. С. 26–30.
- Архив метео- и аэрологических данных ГМО Тикси. URL: http://www/aari.ru/архивные_данные/ [дата обращения 01.03.2017]
- Большев Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. М.: ВЦ АН СССР, 1968. 474 с.
- Брызгин Н.Н., Дементьев А.А.* Опасные метеорологические явления в Российской Арктике. СПб.: Гидрометеоздат, 1996. 156 с.
- Бухановский А.В., Иванов Н.Е., Рожков В.А.* Вероятностные модели и экстремумы годовой ритмики // Навигация и гидрография. 1999. № 9. С. 57–72.
- Визе В.Ю.* Климат Якутии. Л.: Изд-во АН СССР, 1927. 33 с.
- Герман В.Х., Левиков С.П.* Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 231 с.
- Гумбель Э.* Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965. 450 с.
- Дрейтер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. Т. 1. М.: Финансы и статистика, 1986. 366 с.
- Иванов Н.Е., Иванов Б.В., Андреев О.М.* Оценки максимальных толщин припайного льда в северной части Каспийского моря, возможных один раз в 5, 10, 25, 50 и 100 лет // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 46–53.
- Иванов Н.Е., Макитас А.П.* Многолетняя изменчивость характеристик климата Северной Якутии. Синоптическая изменчивость // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 4 (94). С. 5–21.
- Иванов Н.Е., Макитас А.П.* Оценка влияния климата на социально-экономическую деятельность в Северной Якутии // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 2 (100). С. 57–74.
- Иванов Н.Е., Макитас А.П., Шутилин С.В., Гунн Р.М.* Многолетняя изменчивость характеристик климата района гидрометеорологической обсерватории Тикси // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 24–41.
- Иванов Н.Е., Макитас А.П., Шутилин С.В.* Многолетняя изменчивость характеристик климата в районе Гидрометеорологической обсерватории Тикси. Часть 2 – годовой ход // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 3 (83). С. 97–113.
- Колосова Н.В.* Структура приземного ветра в Антарктиде. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 174 с.

- Лидбеттер М., Ротсен Х., Линдгрэн Г.* Экстремумы случайных последовательностей и рядов. М.: Мир, 1989. 392 с.
- Макитас 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.; СПб.: Изд. ООО «Паульсен», 2011. С. 49–74.
- Макитас А.П., Уттал Т., Лаурила Т., Парамонова Н.А.* Гидрометеорологическая обсерватория Тикси (к пятилетию открытия) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 2 (104). С. 5–12.
- Мещерская А.В., П. Голод М.П.* К вопросу о «полюсе холода» в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 2006. № 10. С. 54–59.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 24. Якутская СССР. Книга 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 607 с.
- Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 424 с.
- Рожков В.А.* Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. 1. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 340 с.
- Руководство по специализированному климатологическому обеспечению экономики / Под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: ГГО, 2008. 334 с.
- Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Часть II. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 397 с.
- Kalnay E. et al.* “The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project” // *Bul. Amer. Meteor. Soc.* 1996. Vol. 77. P. 437–470.
- Tilinina N.D., Gulev S.K., Rudeva I., Kollermann P.* Comparing Cyclone Life Characteristics and their Interannual Variability in Different Reanalyses // *J. of Climate.* 2013. № 26. P. 6419–6438.

N.E. IVANOV, A.P. MAKSHITAS

CHARACTERISTICS OF CLIMATE VARIABILITY IN THE NORTHERN YAKUTIA — EXTREMES OF AIR TEMPERATURE

The article continues the series of publications, describing the modern climate of atmospheric surface layer in the Northern Yakutia and, in details, in the area of Tiksi Hydrometeorological observatory. Climatic characteristics of minimal and maximal air temperatures are estimated with data of standard meteorological measurements, executed at 22 marine and continental meteorological stations in 1978–2010 years, and at HMO Tiksi — during 1936–2015 years. These estimates supplement the information of climatic reference books, based on the data executed before 1980 year, and for some meteorological stations — before 1965 year. The basic characteristics of extremes by months, maps of its spatial distribution and conjugation, annual extremes (the largest and smallest values, its distributions by months, and trends), climatic parameters of seasonal amplitude, and estimates of extreme temperatures, possible one time during 5, 10, 50 and 100 years periods are presented. In addition, the synoptic conditions of storms and sharp temperature changes are investigated.

Keywords: Hydrometeorological observatory Tiksi, Northern Yakutia, extreme air temperature, annual amplitude, synoptic conditions, storms.