

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Экология

УДК 551.583.3(571.65-924.81)

DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-1-57-69

Северо-Восток Азии как температурная гиперзона и ее изменения за последние 60 лет

Сообщение 2. Рост теплообеспеченности гиперзоны в конце XX – начале XXI вв.

А.В. Алфимов*, Д.И. Берман

Институт биологических проблем Севера ДВО РАН, Магадан, Россия

**arcalfimov@gmail.com*

Аннотация. *Оценены условия теплых сезонов 2000–2015 гг. по сравнению с таковыми в 1931–1960 гг. на Охотском побережье и в бассейнах верховий Яны, Колымы и Индигирки. Сходство показателей теплообеспеченности позволяет объединить названные регионы в температурную гиперзону. Теплообеспеченность гиперзоны, соответствовавшая в середине XX в. условиям лесотундры и северной тайги, ныне подобна таковой в северной и средней тайге, а на пике лета – в южной тайге и в зоне лиственных лесов. Однако благодаря высокой экологической пластичности доминантов растительного покрова существенных изменений ландшафтов, вероятно, не произойдет. Из-за потепления в континентальных и приморских частях гиперзоны сходство одних показателей (средних температур мая и июля, сумм температур выше 0 и 5 °С, числа дней с температурой выше 0 °С и дат перехода через 0 °С весной) уменьшилось, других (годовых максимумов, числа дней с температурой выше 10 °С и их сумм, числа дней без мороза) увеличилось. Потепление не разрушает представление о гиперзоне, а лишь его корректирует.*

Ключевые слова: глобальное потепление, северо-восток Азии, континентальные и приморские районы, теплообеспеченность, редколесья.

Благодарности. *Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (проект 19-04-00312а).*

Введение

Важная черта глобального потепления – различие скоростей, а иногда и знака, с которыми показатели климата меняются от десятилетия к десятилетию и от региона к региону. Один из подобных регионов – северо-восток Азии, вероятно, единственный в России, на большей части которого отмечается понижение температур холодного сезона [1–3].

В работах, анализирующих трансформацию температурного режима теплого сезона в пределах северо-востока Азии, оценивались тренды сумм среднемесячных температур воздуха и почвы [4–6], температур воздуха выше 5 °С и длительность вегетационного периода [7, 8]. Для

суждений о ходе потепления названных показателей недостаточно, так как в наиболее полном своде сведений по климату северо-востока Азии [9, 10] условия теплого сезона описаны более чем 50 характеристиками, значительная часть которых широко цитируется в различных исследованиях. Еще одним недостатком существующих работ следует считать использование данных малого числа метеостанций (м/ст). Подобный подход не позволяет оценить, в какой мере показатели потепления отражают региональные тренды в разных частях северо-востока Азии, а в какой – лишь локальные особенности климата в окрестностях метеостанций (т. е. местного климата).

Анализ распределения характеристик теплообеспеченности по данным 97 метеостанций за 1931–1960 гг. [9, 10] позволил объединить бассейны верховий Яны, Индигирки, Колымы и Охотское побережье в единую «гиперзону» [11], в пределах которой индикаторы теплообеспеченности варьируют слабее, чем в смежных регионах. Выделенная таким образом гиперзона отличается также единообразием ландшафтов – в них господствуют лиственничные редины и редколесья в сочетании с зарослями кедрового стланика и болотами. Однако к началу XXI в. потепление вызвало существенный и неравномерный по территории рост всех рассмотренных показателей, что потребовало ревизии представления о гиперзоне. Для оценки изменения условий теплообеспеченности сравнивались характеристики 1931–1960 и 2000–2015 гг. [9, 10, 12].

Цель работы – анализ изменений стандартных климатических показателей теплообеспеченности в приморской и континентальной частях гиперзоны северо-востока Азии за последние 60 лет и оценка их возможного влияния на растительность господствующих ландшафтов.

Материал и методы

В работе обсуждается изменение 19 показателей теплообеспеченности, часто используемых в различных исследованиях. Начало теплого сезона отражают даты схода снега и перехода температур через 0 °С, сезонный ход – средние температуры месяцев с мая по сентябрь, вегетационный период – число дней с температурой выше 5 °С, суммы названных температур и даты их наступления. Те же показатели для температур выше 10 и 15 °С, а также максимумы и минимумы температур июля определяют условия на пике лета. Длительность теплого, бесснежного и безморозного сезонов и суммы температур выше 0 °С служат общими оценками теплообеспеченности.

Особенность принятого в настоящей работе подхода состоит в том, что анализируется изменение диапазонов показателей, характерных для разных частей гиперзоны [11]. Именно диапазоны, а не данные отдельных станций или осредненные по территории характеристики наиболее полно описывают климатические условия существования биоты какого-либо региона.

Даты перехода через температурные рубежи и даты схода снега определялись по принятой методике [9, 10]. Под периодом регистрации температур выше 0, 5, 10 и 15 °С мы понимали общее число дней с названными температурами; этот показатель, осредненный за 2000–2015 гг., мы сравнивали с одноименной характеристикой, которая была определена путем обработки рядов средних многолетних среднесуточных температур [9]. Различие числа дней с температурами выше 0, 5 и 10 °С, определенного двумя указанными методами, не превышает 1–2 %, что дает возможность считать сравнение корректным.

Анализ линейных трендов позволил сравнить скорости изменения параметров теплообеспеченности в разных частях гиперзоны и оценить их достоверность [2]. Период 2000–2015 гг., использованный для описания современной ситуации, хотя и отличается от принятого ВМО 30-летнего стандарта как исходного при определении климатических норм, допустим при нестабильных состояниях климата [13, 14].

Сокращенная в 1990-е годы сеть метеостанций и ограничение свободного (бесплатного) доступа к информации работающих станций не позволяет провести анализ изменений теплообеспеченности теми же методами, что применялись при выделении гиперзоны [11]. В свободном доступе [12] находятся ряды характеристик суточного разрешения за период с 1960 по 2015 г. лишь для восьми станций в континентальной и четырех – в приморской части гиперзоны, среди которых нет ни самых «теплых», ни самых «холодных» (в период 1931–1960 гг.). Для такого числа станций невозможно оценить диапазоны условий, сложившиеся в частях гиперзоны в XXI в. Однако, как оказалось, корреляция между рядами рассматриваемых характеристик за период с 1960 по 2015 г. и в континентальной, и в приморской частях гиперзоны высока, что отражает единую направленность процесса потепления. Между рядами скользящих 15-летних средних (рис. 1) наибольшие коэффициенты (0,95–0,98) характерны для сумм температур, наименьшие (до 0,78) – для периодов с температурами выше 5 °С. Исключение – длительность периода без снега, на которую влияет множество независимых друг от друга факторов.

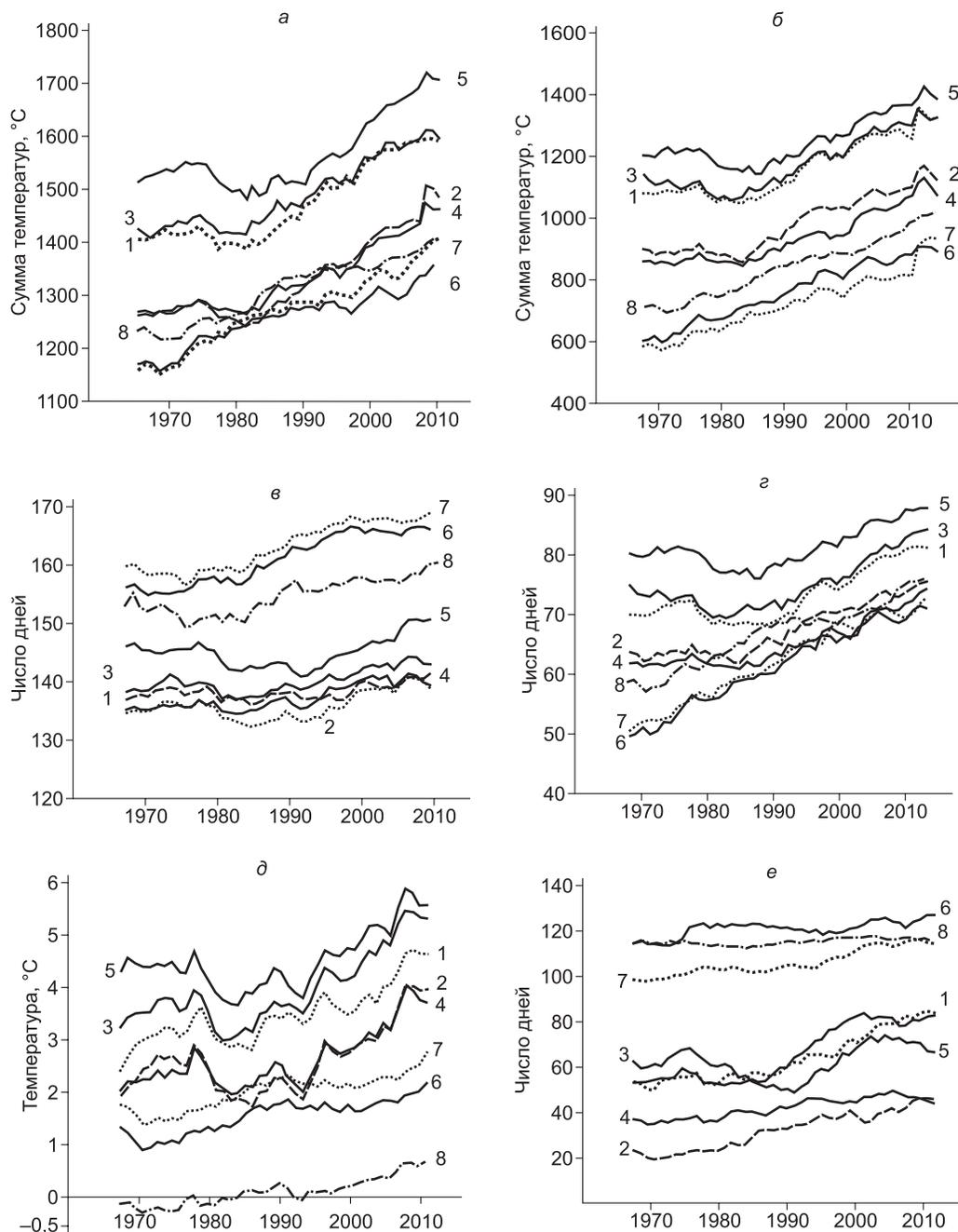


Рис. 1. Скользящие 15-летние средние значения показателей.

Суммы температур выше 0 °С (а), выше 10 °С (б); число дней с температурой выше 0 °С (в), выше 10 °С (г); средняя температура мая (д); длительность безморозного периода (е). 1 – Верхоянск, 2 – Оймякон, 3 – Усть-Мома, 4 – Сусуман, 5 – Сеймчан, 6 – Магадан, 7 – Ола, 8 – Ямск (Брохово).

Fig. 1. Sliding 15-year means of the heat supply indicators.

The sums of temperatures above 0 °C – a, above 10 °C – b; the number of days with temperatures above 0 °C – v and above 10 °C – g; the mean temperature of May – d; the frost-free days – e. 1 – Verkhoyansk, 2 – Oymyakon, 3 – Ust-Moma, 4 – Susuman, 5 – Seimchan, 6 – Magadan, 7 – Ola, 8 – Yamsk (Brohovo).

Для получения диапазонов варьирования рассматриваемых характеристик в начале XXI в. к данным самых «теплых» и самых «холодных»

(за период с 1931 по 1960 гг.) станций были прибавлены средние значения прироста показателей для соответствующей части гиперзоны.

Например: температура июля на самой теплой из 18 станций Охотского побережья, осредненная за 1931–1960 гг., составила 13,0 °С, а на самой холодной – 11,0 °С [9]. Прирост этого показателя на 4 из 18 станций к 2000–2015 гг. варьировал от 1,0 до 1,2 °С (в среднем 1,1 °С). Добавив эту величину к названным выше значениям, получим, что температура июля, осредненная за 2000–2015 гг. на Охотском побережье должна была варьировать от 12,1 до 14,1 °С (табл. 2).

Расчеты проведены по ежедневным данным о средней и экстремальной температурах воздуха, степени покрытия снегом окрестностей метеостанции и высоте снега. Используемый в работе термин «станции-аналоги» относится к метеостанциям за пределами северо-востока Азии, у которых показатели теплообеспеченности совпадают с таковыми в гиперзоне. Положение станций-аналогов на схемах (рис. 2 и 3), позволяет оценить географическое распространение условий теплообеспеченности, характерных для гиперзоны.

Результаты

Среди рассмотренных показателей быстрее всего росла температура мая (табл. 1, рис. 1, д). В верховьях Индигирки она повышалась со скоростью 79 % за 10 лет, а на побережье от 17 до 30 % за 10 лет (от значений для периода 1931–1960 гг.). В результате к началу XXI в. этот показатель в континентальных районах вырос с 1–2 до 4–5 °С. Сильный подъем отмечался также у минимальных температур июля в континентальной части гиперзоны (до 63 % за 10 лет), на побережье их прирост не превышал 6 % за то же время.

Прирост длительности безморозного периода сильно зависит от местных условий: если на м/ст Усть-Мома за 60 лет она увеличилась с 52 до 82 сут, то на м/ст Коркодон и Сеймчан ее изменения статистически недостоверны. В среднем же число дней без мороза в континентальных районах росло почти вдвое быстрее, чем на побережье.

Суммы температур выше 10 °С изменились противоположным образом. Их средний прирост в континентальных районах составляет 1,5–4 %, а на побережье 4–9 % за 10 лет. Стабильнее всего оказались годовые максимумы температур: на половине континентальных станций их рост находится на нижней границе до-

стоверности, а на всех станциях побережья недостоверен, в первую очередь, из-за больших межгодовых колебаний.

Сдвиг дат наступления и рост числа дней с температурами выше 0, 5 и 10 °С и в приморском, и в континентальных районах происходил медленнее, чем повышение температуры. Длительность теплого периода в бассейне верховий Индигирки менялась на 0,6–1 %, а суммы температур выше 0 °С – на 2–3 % за 10 лет. Так же соотносятся изменения сумм температур выше 5 и 10 °С и периодов их регистрации. В общем случае число дней с температурой выше какого-либо порога растет тем сильнее, чем порог выше, а для дат перехода (в период подъема) зависимость обратная – чем выше порог, тем устойчивей даты наступления соответствующих температур.

Даты схода снега и период его отсутствия, ощутимо влияющие на температурный режим почв, зависят от многих факторов, главные из которых высота снежного покрова и температуры мая. В последние 60 лет росли оба показателя [15], при этом их влияние компенсировало друг друга, в результате чего и даты схода снега, и период его отсутствия изменились мало. Однако на побережье названные показатели сильно варьируют: на малоснежных участках (м/ст Ола) в начале XXI в. снег сходил в среднем на 24 сут раньше, чем 60 лет назад, а на трех других станциях эти изменения статистически недостоверны.

Обсуждение

Изменение зональной и поясной принадлежности гиперзоны

Положение границ климатических поясов тесно связано с суммами температур выше 10 °С. Те регионы, где они выше 1000 °С, относятся к умеренному поясу, с более низкими – к субарктическому [16]. В середине XX в. названный критерий был превышен лишь на отдельных станциях в долинах Яны, Индигирки и Колымы, а на побережье эти суммы едва достигали 850–860 °С. В 2000–2015 гг. в континентальных районах сумма температур превысила 1000 °С повсеместно, что позволяет считать теплый сезон уже не «умеренно холодным», а «умеренно теплым». На побережье сумма в 1000 °С была преодолена лишь на наиболее теплых станциях.

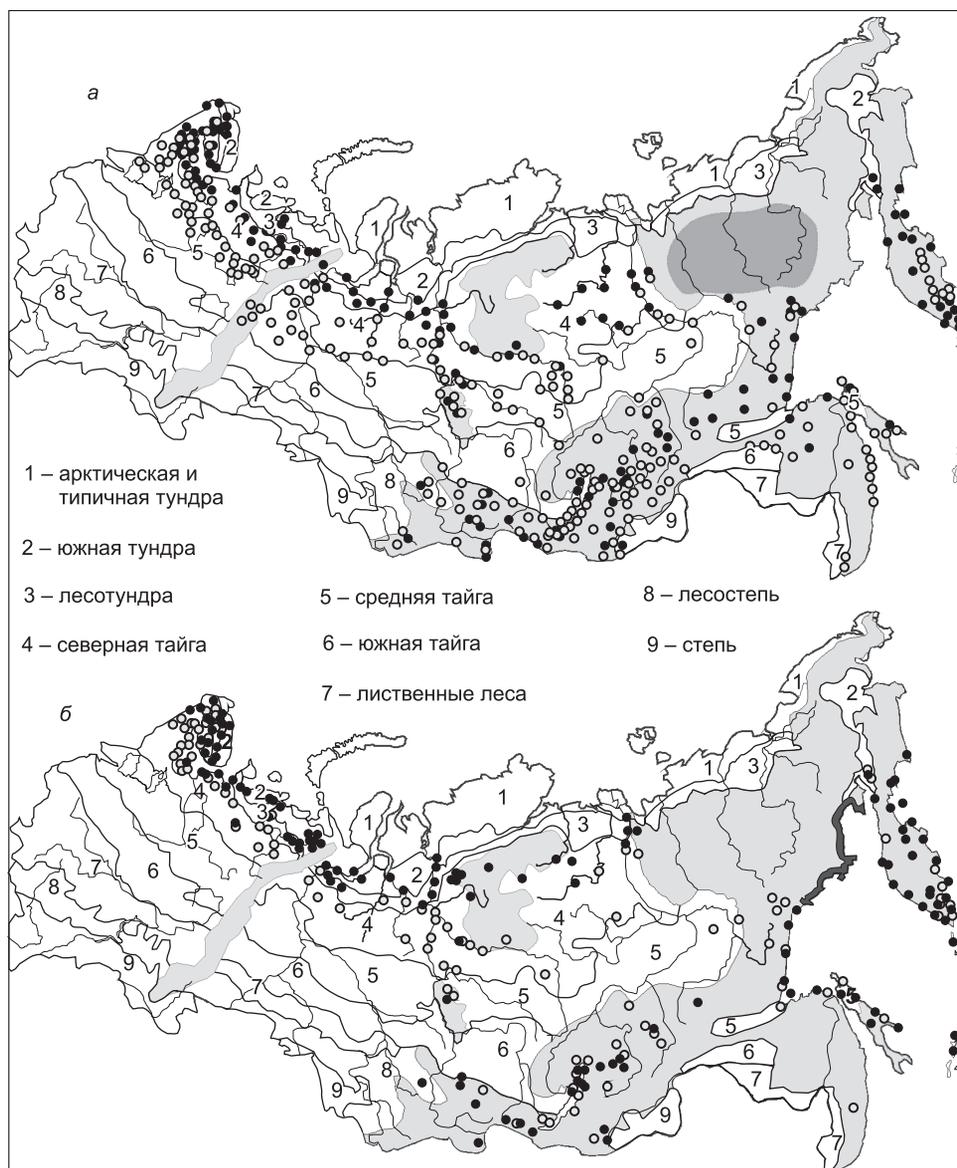


Рис. 2. Положение станций-аналогов континентальной (а) и приморской (б) частей гиперзоны Северо-Востока по суммам температур выше 10 °С.

Залитые кружки – м/ст с суммами такими же, как в 1931–1960 гг, не залитые – как в 2000–2015 гг. Серые залитые контуры – области с вертикальной поясностью. Сплошные линии – границы зон и подзон: 1 – южной тундры, 2 – лесотундры, 3, 4, 5 – северной, средней и южной тайги, 6 – лиственных лесов, 7 – лесостепи [18]. Темная заливка на рис. а – континентальная часть гиперзоны, темная полоса вдоль берега моря на рис. б – приморская часть, ширина ее территории показана вне масштаба.

Fig. 2. The location of weather stations – analogous of the continental (a) and coastal (b) parts of the North-east hyperzone in terms of sums of temperature above 10 °C.

A filled circles – weather stations with the same sums as in 1931–1960, not filled in – as in 2000–2015. The gray filled-in contours – mountainous areas with vertical zonation. Solid lines – boundaries of zones and subzones: 1 – southern tundra, 2 – forest tundra, 3, 4, 5 – northern, middle and southern taiga, 6 – deciduous forest, 7 – forest-steppe [18]. The dark shading – the continental part of the hyperzone. The dark strip along the seashore – the coastal part of the hyperzone, its width is shown off-scale.

В середине XX в. станции-аналоги континентальной части гиперзоны по суммам температур выше 10 °С выявлены на равнинных территориях европейской территории России (ЕТР) и Сибири, которые относились к подзоне северной

тайги, а станции-аналоги приморской части – в лесотундре и южной тундре [9, 17, 18]. В начале XXI в. станции-аналоги тех же частей гиперзоны обнаружены в средней и северной тайге соответственно (рис. 2). Отмеченный сдвиг на-

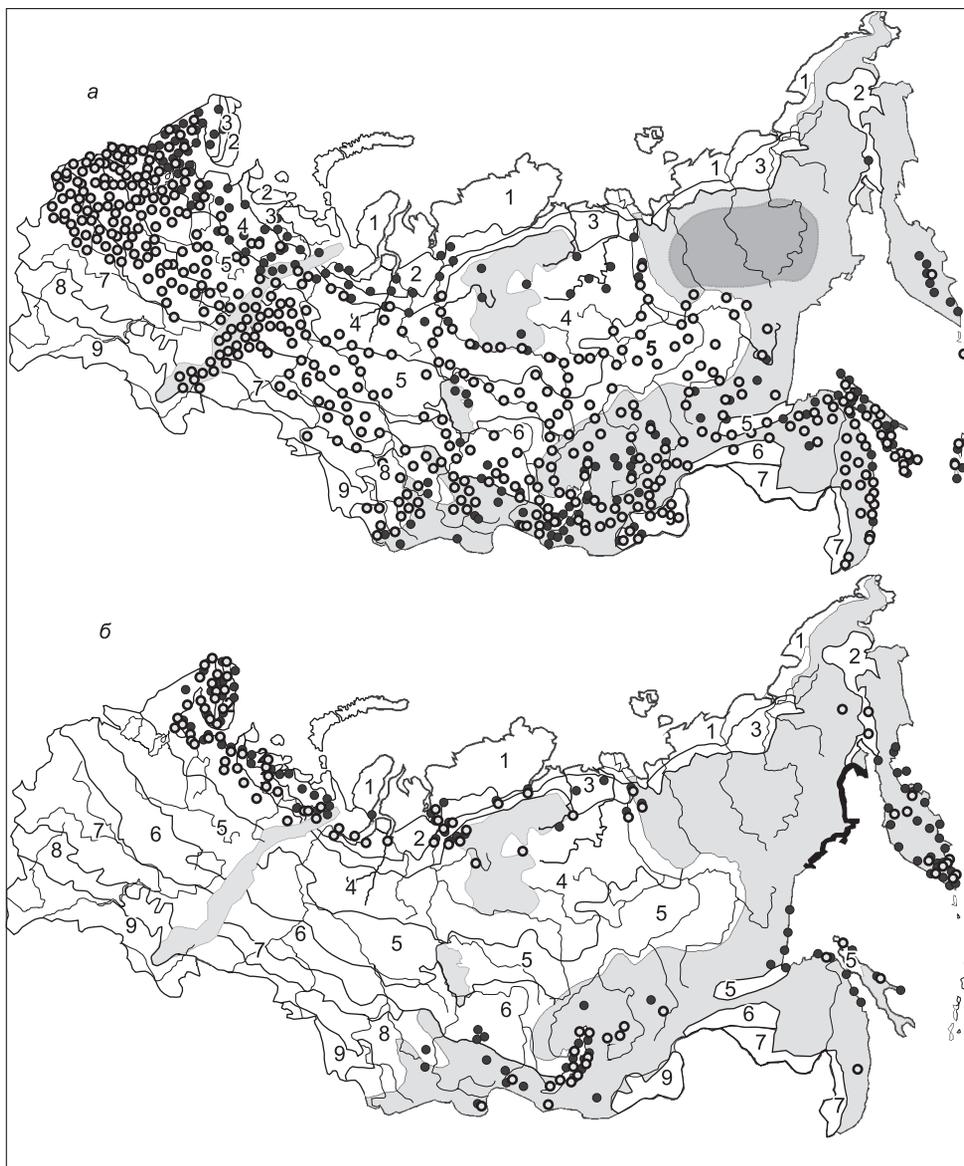


Рис. 3. Положение станций-аналогов континентальной (а) и приморской (б) частей гиперзоны по средней температуре самого теплого месяца. Усл. обозн. см. рис. 2.

Fig. 3. The location of the weather stations-analogs of the continental (a) and coastal (b) parts of the hyperzone in terms of mean temperature of the warmest month. For symbols see Fig. 2.

званных зон и подзон может быть оценен как весьма значительный. Например, на ЕТР фитомасса при переходе от лесотундры и южной тундры к северной тайге возрастает с 25–100 до 51–150 т/га, а различие между северной и средней тайгой по этому показателю почти двукратное (50–150 и 150–300 т/га соответственно) [19].

На пике лета зональная привязка станций-аналогов изменилась еще сильнее. Температуры июля в континентальной части гиперзоны соот-

ветствуют не северной, а южной тайге, а на западе ЕТР – зоне лиственных лесов (рис. 3). Изменения на побережье выражены слабее: станции-аналогии «переместились» из лесотундры и южной тундры в северную тайгу. Подчеркнем, что сказанное о сдвиге зональной привязки станций относится только к показателям теплообеспеченности, а не ко всему комплексу факторов (условия зимы, увлажнение, характер почв и др.), которые совместно определяют зональный облик растительности.

**Абсолютные (°С за 10 лет или сутки за 10 лет – 1)
и относительные (% от данных за 1931–1960 гг. за 10 лет – 2)
изменения показателей теплообеспеченности в период с 1931–1960 по 2000–2015 гг.**

Table 1

**Absolute (°C for 10 year or day for 10 year – 1)
and relative (% for 10 year of the mean values for 1931–1960 – 2)
changes in heat supply indicators in the period from 1931–1960 to 2000–2015**

Показатель Indicator		Бассейны верховий рек Basins of river upstream						Охотское побережье Okhotsk sea coast	
		Яны Yana		Индиگیرки Indigirka		Колымы Kolyma		1	2
		1	2	1	2	1	2		
Средняя температура, °С Mean temperature of, °С	Май/May	0,6	22	0,5–0,6	22–79	0,3–0,4	17–30	0,2–0,3	9–33
	Июнь/June	<i>0,2</i>	1,4	<i>0,2–0,4</i>	1,3–2,1	<i>0,1–0,3</i>	0,9–1,7	0,3–0,4	2,2–4,3
	Июль/July	0,4	2,2	0,3–0,4	1,8–2,4	0,3–0,6	2,0–2,6	0,2–0,3	1,5–1,8
	Август/August	0,4	2,3	<i>0,2–0,3</i>	1,6–1,8	<i>0,2–0,3</i>	1,5–1,7	0,2–0,3	1,0–1,8
	Сентябрь/September	<i>0,1</i>	<i>1,3</i>	<i>0,2–0,4</i>	6,2–9,4	<i>0,2–0,3</i>	3,4–10	<i>0,1–0,2</i>	0,9–2,1
Экстремумы июля, °С Extreme July temperature, °С	Мин./Min.	0,6	35	0,9–1,1	20–63	<i>0,2–0,4</i>	3,3–42	0,3–0,4	2,7–6,3
	Макс./Max	<i>–0,1</i>	0,4	0,3	1,0–1,6	0,3–0,6	0,9–1,3	<i>0,1–0,3</i>	0,7–3,6
Суммы температур выше ..., °С Sums of temperature above ..., °С	0	41	4,3	41–47	1,9–3,0	39–47	2,4–3,0	36–47	1,8–2,5
	5	42	4,4	47–49	3,2–3,6	38–46	2,6–3,1	35–47	8,0–8,7
	10	53	3,0	46–56	3,2–3,6	42–53	1,4–4,2	51–66	4,0–9,0
Дни с температурой выше, чем ..., сут Days with temperature, above ..., day	0	<i>1,3</i>	1,0	<i>1,1–1,6</i>	0,6–1,0	<i>0,0–1,4</i>	0,2–1,2	1,6–2,8	1,6–1,7
	5	1,8	0,8	2,0–2,2	1,4–1,8	1,5–2,0	0,7–1,2	<i>1,3–2,4</i>	0,9–1,1
	10	3,1	1,0	2,4–3,1	1,0–1,3	1,7–2,9	0,6–1,2	4,3–4,8	2,8–6,5
Даты перехода температур через ..., сут Dates of temperature transition through ..., day	0	1,4	–	1,6–2,0	–	1,4–2,4	–	1,0–1,4	–
	5	1,4	–	1,0–1,2	–	0,8–1,2	–	0,6–1,0	–
	10	0,4	–	0,2–0,8	–	1,2–1,6	–	0,8–1,6	–
Даты схода снега, сут Date of snow loss, day		2,3	–	0,8–2,0	–	0,0–1,2	–	–0,4–3,7	–
Период, сут Period, day	без снега / snowless	2,4	2,1	<i>0,7–1,9</i>	1,3	0,0–1,1	1,0–2,0	<i>–0,2–5,0</i>	0,1–0,8
	без мороза/ frost free	6,6	3,7	5,2–8,0	9,6–22	0,3–4,4	1,2–6,8	<i>0,5–3,8</i>	0,9–2,7

Примечание. Верховья Яны – данные м/ст Верхоянск; Индиگیرки – Оймякон, Усть-Мома; Колымы – Сусуман, Среднекан, Сеймчан, Коркодон, Зырянка; побережье – бух. Нагаева, Ола, Ямск (Брохово), м. Алевина. Курсив – статистически недостоверные значения, прочерк – нет данных.

Note. Headwaters of Yana – according to Verkhoyansk w/st; Indigirka – Oymyakon and Ust-Moma; Kolyma – Susuman, Srednekan, Seymchan, Korkodon, Zyryanka; coast – Nagaeva Bay, Ola, Yamsk (Brokhovo), cape Alevina. Italics – statistically unreliable values, dash – no data.

Положение станций-аналогов на рис. 2 и 3 позволяет сравнить изменение показателей теплообеспеченности в гиперзоне за 60 лет (т. е. во времени) с различием тех же показателей в пространстве на равнинах ЕТР и Сибири в 1931–1960 гг. Важно отметить, что положение станций-аналогов в 2000–2015 гг. не будет полностью совпадать с показанным на рис. 2 и 3, так

как скорость потепления в разных регионах различается [1], но учет этих изменений не входит в задачу работы.

Изменение теплообеспеченности приморской и континентальной частей гиперзоны

Число дней и суммы температур выше 10 °С, а также даты перехода через 0 °С индикаторы, рост которых выравнивает условия в

**Варьирование показателей теплообеспеченности
Охотского побережья и континентальных районов за период наблюдений**

Table 2

Variation of the heat supply indicators of the Okhotsk sea coast and continental areas during study period

Показатель Indicator		2000–2015				1931–1960	
		Континентальные районы Continental regions	Охотское побережье Okhotsk sea coast	Общая часть диапазонов, % Mutual part of ranges, %			
				Все м/ст All weather stations	Ниже 500 м Below 500 a.s.l	Все м/ст All weather stations	Ниже 500 м Below 500 a.s.l
Средняя температура, °С Mean temperature, °С	Май/May	1,3–5,6	0,3–2,8	59	31	100	100
	Июнь /June	10,9–14,3	6,6–10,2	–	–	–	–
	Июль/July	15,1–17,5	12,1–14,1	–	–	–	–
	Август/ August	10,9–13,1	11,5–13,9	65	65	57	57
	Сентябрь/ September	2,1–4,5	5,3–9,6	–	–	–	–
Экстремумы июля, °С Extremal July temperature in °С	Минимум Minimum	0,5–6	2–7	80	78	60	100
	Максимум Maximum	29–33	23–28	–	–	–	–
Суммы температур выше, чем ..., °С Sums of temperature above ..., °С	0	1359–1658	1235–1473	72	38	76	67
	5	1298–1612	1115–1378	51	20	63	49
	10	969–1387	769–1096	65	28	33	15
Дни с температурой выше чем ..., сут Days with temperature. above ..., day	0	130–146	155–170	–	–	–	–
	5	104–121	109–124	63	88	60	82
	10	66–87	53–83	58	77	38	23
Даты перехода температур через ..., °С Dates of temperature transition through ..., °С	0	1.05–13.05	1.05–12.05	100	100	75	75
	5	15.05–25.05	25.05–8.06	–	–	10	–
	10	27.05–11.06	19.06–2.07	–	–	–	–
Даты схода снега, сут Date of snow loss, day		30.04–15.05	30.04–16.05	100	100	100	100
Период, сут Period, day	без снега snowless	142–163	158–192	16	24	–	–
	без мороза frost free	43–103	68–123	64	76	55	65

Примечание. Полужирным шрифтом выделена величина перекрытия диапазонов тех показателей, у которых оно к началу XXI в. выросло. Прочерк – отсутствие общих частей диапазонов. Общая часть диапазонов приморской и континентальной частей гиперзоны в 1931–1960 гг. по [11].

Note. The overlap of the ranges of indicators, which have become less different at the beginning of the 21st century, is shown in bold. A dash indicates the absence of common parts of the ranges. Common parts of the ranges of the coastal and continental parts of the hyperzone in 1931–1960 according to [11].

гиперзоне. Два первых показателя на побережье росли быстрее, чем в континентальной части: в начале XXI в. перекрытие диапазонов сумм тем-

ператур между ними увеличилось с 33 до 65 %, а числа дней – с 38 до 58 % (табл. 2). Даты начала теплого сезона перестали различаться благо-

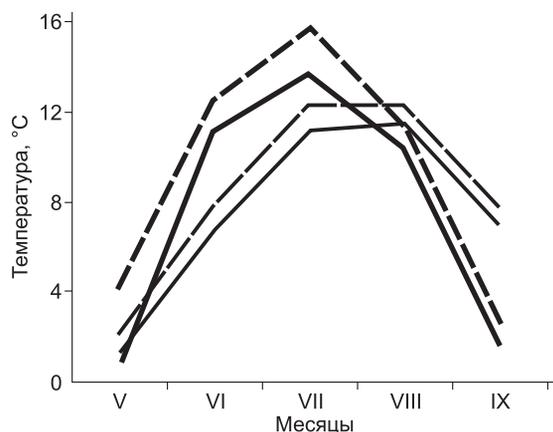


Рис. 4. Сезонный ход температур на м/ст Оймякон (жирные линии) и бух. Нагаева (тонкие). Средние за 1931–1960 гг. значения – сплошные линии, за 2000–2015 гг. – штриховые.

Fig. 4. Seasonal variation of temperatures at Oymyakon (bold lines) and Magadan (thin lines) weather stations. Average values for 1931–1960 – solid lines, for 2000–2015 – dashed ones.

даря тому, что на побережье они сдвигались на более ранние сроки медленнее, чем в континентальной части.

Столь малые различия средних многолетних значений названных показателей свидетельствуют о том, что в отдельные годы нарушается базовое положение климатологии, по которому вдали от моря лето должно быть теплее, чем на побережье. С 1980 по 2000 г. в верховьях Колымы на м/ст Сусуман суммы температур и число дней с температурой выше 10 °С были ниже, чем на м/ст бух. Нагаева в течение восьми и четырех сезонов соответственно.

Длительность периода без мороза и минимальные температуры июля выравниваются в пределах гиперзоны за счет их более быстрого подъема в континентальных районах. Наиболее ярко это проявляется в верховьях Индигирки: если в середине XX в. период без мороза в Оймяконе чаще, чем в половине лет был короче 30 сут, то за 2000–2015 гг. он отвечал этому критерию всего 4 раза, среднее значение достигло 46 сут, а максимум за все время наблюдений составлял 81 сут (2014 г.). В Оймяконе рост этого показателя не самый большой среди восьми континентальных станций (см. табл. 1), поэтому в среднем за 2000–2015 гг. на всех станциях в верховьях Яны, Индигирки и Колымы период без мороза должен был длиться более 30 сут.

Сходные изменения произошли и с минимальными температурами июля: на всех станци-

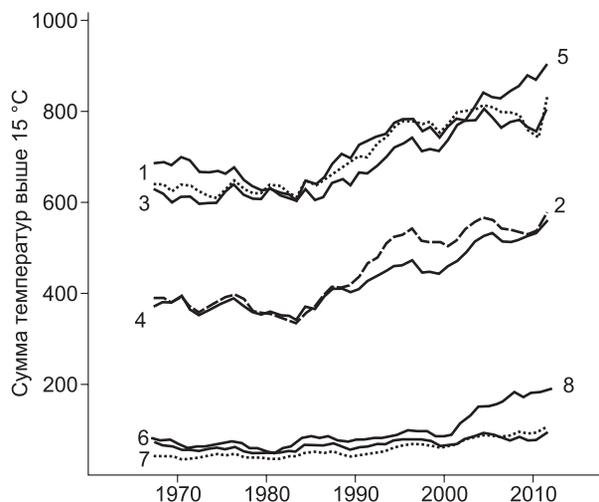


Рис. 5. Скользящие 15-летние средние значения сумм температур выше 15 °С. Усл. обозн. см. рис. 1.

Fig. 5. Sliding 15-year means of the sum of temperatures above 15 °C. For symbols see in Fig. 1.

ях средние за 2000–2015 гг. значения были выше 0 °С, хотя в отдельные годы температура падала до –3...–4 °С. Сказанное, однако, нельзя распространить на всю континентальную часть северо-востока Азии: в замкнутых горных котловинах период без ночных заморозков может быть на 25–30 сут короче, а минимумы на 4–5 °С ниже, чем на бровках террас и в открытых, без препятствий стоку холодного воздуха речных долинах, где, как правило, располагаются метеостанции [20].

Длительность периода без снега – еще один показатель, различия которого между континентальной и приморской частями гиперзоны сократились. В середине XX в. на самых многоснежных участках побережья (м/ст Балаганное) и в самых малоснежных частях континентальных районов (м/ст Усть-Нера, Дусканья) этот период был одинаков (153 сут). К 2000–2015 гг. в континентальных районах он вырос на 11–18 сут, а на побережье – всего на 1–7 сут, в результате чего диапазоны длительности бесснежного периода перекрылись на 16 %.

Средние температуры теплых месяцев в разных частях гиперзоны различаются так же или сильнее, чем 60 лет назад (рис. 4). К началу XXI в. различие температур июля между самой теплой станцией побережья и самой холодной станцией континентальных районов увеличилось в 10 раз и составило 1,0 °С. Перекрытие диапазонов температур мая за тот же период со 100 % сократи-

**Соотношение характеристик теплообеспеченности
в приморской и континентальной частях гиперзоны за период наблюдений**

Table 3

The relation of some heat supply indicators in coastal and continental parts of the hyperzone at the beginning and end of the period under consideration

Показатель Indicator		Континентальные районы Continental regions	Охотское побережье Okhotsk sea coast	Общая часть диапазонов, % Mutual part of ranges, %
		1931–1960	2000–2015	
Средняя температура июля, °С Mean July temperature, °С		13,1–15,5	12,1–14,1	48
Даты перехода температур через ..., °С Dates of temperature transition through ..., °С	5	20.05–30.05	25.05–08.06	36
	10	01.06–16.06	19.06–02.07	–
		2000–2015	1931–1960	
Дни с температурой выше чем ... , сут Days with temperature. above ... , day		131–146	140–155	40

лось до 59 %, а различия между средними температурами июня, августа и сентября почти не изменились.

Температуры выше 15 °С в начале XXI в. отмечались почти ежегодно на всей континентальной части гиперзоны в течение 2–3 недель и более. В 1931–1960 гг. такие условия складывались лишь на отдельных участках долин верховий Колымы, Яны и Индигирки на высотах меньше 500 м н. ур. м, а потому не рассматривались как атрибут гиперзоны [11].

За 60 лет в долинах названных рек эти суммы выросли в 2–2,5 раза, и даже на отметках выше 500–600 м н. ур. м. составили более 500 °С, превысив уровень самых теплых станций в середине XX в. (рис. 5). На побережье в 2000–2015 гг. среднее число дней с температурами выше 15 °С варьировало от 1 до 6, а сами суммы превышают 100 °С лишь на м/ст. Ямск (Брохово).

Рост остальных показателей на самых теплых участках долин Яны, Индигирки и Колымы, расположенных ниже 500 м н. ур. м., примерно такой же, как на всем высотном профиле (см. табл. 2). В начале XXI в., как и на 60 лет ранее, эти долины по температурам мая, суммам температур выше 0, 5 и 10 °С отличаются от побережья сильнее, чем вся континентальная часть гиперзоны; по другим показателям (числу дней без мороза и дней с температурами выше 5 и 10 °С), напротив, сходны с побережьем.

Рост показателей, не совпадавших в разных частях гиперзоны и в середине XX в., и в

начале XXI в., привел к положению, при котором теплообеспеченность более холодной части гиперзоны в начале XXI в. вышла на уровень, типичный для ее более теплой части 60 лет назад (табл. 3).

Температуры июля на побережье, осредненные за любой период, ниже, чем в верховьях Яны, Индигирки и Колымы. Однако, в начале XXI в. они мало уступали тем, что были в континентальных районах на отметках выше 500 м н. ур. м. 60 лет назад. Теплый период в континентальных районах короче, чем в приморских, но в среднем за 2000–2015 гг. в Сеймчане он составил 150 сут, что на 5 сут больше, чем в середине XX в. на м/ст Ямск (Брохово), и лишь на сутки меньше, чем в бух. Нагаева.

Варьирование сумм температур выше 10 °С на побережье в 2000–2015 гг. не выходит за рамки, в которых оно происходило 60 лет назад в континентальных районах (769–1096 и 754–1157 °С соответственно), тогда как степень перекрытия их диапазонов за тот же срок выросла с 33 до 65 %.

Завершая раздел, подчеркнем, что сходство между двумя частями гиперзоны за период с 1931 по 2015 г. не было всего по двум из 19 рассмотренных показателей: в континентальной части суммы температур выше 15 °С много больше, а переход через 10 °С всегда происходит раньше, чем на побережье. Описанный механизм выравнивания теплообеспеченности подкрепляет представление о высокой степени

сходства условий теплого сезона между континентальными и прибрежными районами гиперзоны.

Заключение

За последние 50–60 лет теплообеспеченность континентальных районов и Охотского побережья северо-востока Азии значительно увеличилась. Суммы температур выше 0 °С выросли на 17 и 14 %, а температур выше 10 °С – на 18 и 37 % соответственно. Рост этих показателей привел к тому, что станции-аналоги всех частей гиперзоны по суммам температур выше 10 °С в начале XXI в. по сравнению с их положением в середине XX в. следует искать южнее на подзону. На ЕТР аналоги континентальной части гиперзоны вместо северной тайги теперь локализованы в средней, а приморской – не в лесотундре и южной тундре, а в северной тайге.

Еще сильнее потепление сказалось на пике теплого сезона. По температуре июля в начале XXI в. станции-аналоги континентальной части гиперзоны можно уверенно относить не к северной, как в середине XX в., а к средней и южной тайге, а на западе ЕТР – даже к зоне лиственных лесов. Бывшие южно-тундровыми и лесотундровыми станции-аналоги Охотского побережья теперь находятся в пределах северной тайги.

Разная скорость роста показателей теплообеспеченности изменила их соотношение в приморских и континентальных районах гиперзоны. У одних, частично совпадающих индикаторов (температура мая, сумма температур выше 0 и 5 °С) сходство уменьшилось; у других (минимальная температура июля, сумма температур выше 10 °С, число дней с температурой выше 5 и 10 °С, длительность периодов без мороза и снега, дата перехода через 0 °С весной), напротив, возросло. Изменились и различия показателей, которые не имели общих значений: температура июня и июля, длительность теплого сезона, дата перехода температур через 5 °С весной стали различаться больше, чем 60 лет назад, а температура сентября, годовой максимум температур и дата перехода через 10 °С – меньше.

К выравниванию условий в пределах гиперзоны ведет рост даже тех показателей, которые одинаково сильно различались и в середине XX в., и в начале XXI в. Среднее за 2000–2015 гг. число дней с температурой выше 10 °С на по-

бережье стало почти таким же, как в бассейнах верховий Индигирки, Яны и Колымы 60 лет назад, а длительность теплого сезона в этих бассейнах выросла до значений, типичных для побережья в середине XX в. Таким образом, текущее потепление не разрушает гиперзону, а лишь изменяет соотношение показателей теплообеспеченности в разных ее частях.

Как при сохранении существующих климатических трендов, так и, вероятно, при смене их знака ожидать возрастания различий между условиями теплообеспеченности в приморских и континентальных районах северо-востока Азии, приводящего к распаду гиперзоны, не приходится.

Несмотря на существенный рост теплообеспеченности с середины XX до начала XXI в., оценить влияние потепления на изменение господствующей в ландшафтах растительности затруднительно. Считается, что время, за которое растительность приходит в равновесие с изменившимся климатом, составляет более 100 лет [21]. Поэтому не только периода 2000–2015 гг., послужившего для расчета современных показателей, но и всех лет, в течение которых шло потепление, для такого анализа недостаточно.

Однако высокая устойчивость растительности гиперзоны к изменениям климата общеизвестна, в первую очередь она обязана широчайшей экологической резистентности доминантов растительности – лиственницы, кедрового стланика, ольховника, кустарниковых и древовидных берез, ив, чозении [11].

Таким образом, на ландшафтах гиперзоны изменение теплообеспеченности описанного масштаба, даже если оно продлится до конца XXI в., сказаться не должно.

Литература

1. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. 1050 с. URL: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014. (дата обращения 15.02.2019).
2. Мелешко В.П., Мирвис В.М., Говоркова В.А. Насколько наблюдаемое потепление климата России согласуется с расчетами по объединенным моделям общей циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология. 2007. № 10. С. 5–19.
3. Сиротенко О.Д., Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажненно-

сти и продуктивности агросферы России // Метеорология и гидрология. 2007. № 8. С. 90–103.

4. *Сточките Ю.В., Василевская Л.Н.* Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на крайнем северо-востоке России // Географический вестник. 2016. № 2 (37). С. 84–96. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-2-84-96.

5. *Василевская Л.Н., Сточките Ю.В., Федорова А.Г.* Изменение сезонных температур почвы на северо-востоке России // Климатология и гляциология Сибири. Материалы второй междунар. научной конф. (Томск 20–23 окт.). Томск: Изд-во ЦНТИ, 2015. С. 220–222.

6. *Сточките Ю.В., Василевская Л.Н., Шкаберда О.А.* Соотношение между трендами изменений температуры почвы и воздуха на крайнем Северо-Востоке России // География и регион. Материалы междунар. научн.-практ. конф. (23–25 сентября 2015). Пермь, 2015. Т. IV. С. 147–152.

7. *Ушаков М.В.* Современные изменения термического режима в районе государственного природного заповедника «Магаданский» // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 4. С. 93–98.

8. *Ушаков М.В.* Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 81–91. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-81-91.

9. *Справочник по климату СССР.* Л.: Гидрометеоздат, 1964–1967. Вып. 1–3, 8, 9, 12, 13, 17, 20–25, 27–29, 33, 34. Ч. II.

10. *Справочник по климату СССР.* Л.: Гидрометеоздат, 1967–1968. Вып. 1–3, 8, 9, 12, 13, 17, 20–25, 27–29, 33, 34. Ч. IV.

11. *Алфимов А.В., Берман Д.И.* Северо-Восток Азии как температурная гиперзона и ее изменения за последние 60 лет. Сообщение 1. Температурный режим теплого сезона на северо-востоке Азии // При-

родные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. № 4. С. 67–81. DOI: 10.31242/2618-9712-2021-26-4-67-81

12. *ВНИИГМИ-МЦД.* Температура воздуха (Электронный ресурс). URL: <http://meteo.ru/data/156-temperatura> (дата обращения: 20.02.2019).

13. *Груза Г.В., Ранькова Э.Я.* Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.

14. *Дроздов О.А., Орлова В.В., Швер Ц.А.* К вопросу об оптимальной длительности ряда осреднения при климатологических исследованиях // Труды ГГО. 1965. Вып. 181. С. 14–45.

15. *Василевская Л.Н., Сточките Ю.В.* Анализ многолетней изменчивости атмосферных осадков и высоты снежного покрова на северо-востоке России (1966–2014) // Ученые записки Казанского ун-та. Сер. Естеств. науки. 2017. Т. 159, кн. 4. С. 681–699.

16. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* Классификация климатов СССР // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1959. № 3. С. 3–19.

17. *Базилевич Н.И., Гребенчиков О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.

18. *Атлас СССР* / Под ред. Л.Н. Месяцовой. М.: ГУГК, 1984. 260 с.

19. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.

20. *Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР* / Под ред. Н.К. Клюкина. Магадан, 1960. 400 с.

21. *Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен-голоцен* / Под ред. А.А. Величко. М.: Геос, 2009. 120 с.

Поступила в редакцию 14.09.2021

Принята к публикации 20.01.2022

Об авторах

АЛФИМОВ Аркадий Васильевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем Севера, Дальневосточное отделение Российской академии наук, 685000, Магадан, ул. Портовая, 18, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6493>, e-mail: arcalfimov@gmail.com;

БЕРМАН Даниил Иосифович, профессор, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем Севера, Дальневосточное отделение Российской академии наук, 685000, Магадан, ул. Портовая, 18, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2137-1324>, e-mail: dberman@mail.ru

Информация для цитирования

Алфимов А.В., Берман Д.И. Северо-Восток Азии как температурная гиперзона и ее изменения за последние 60 лет. Сообщение 2. Рост теплообеспеченности гиперзоны в конце XX – начале XXI вв. //

DOI 10.31242/2618-9712-2022-27-1-57-69

North-East of Asia as the temperature hyperzone and its alteration over the past 60 years

Communication 2. Increase of the heat in the hyperzone in the late 20th to the early 21st century

A.V. Alfimov*, D.I. Berman

*Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, Magadan, Russia
arcalfimov@gmail.com

Abstract. *We have compared and estimated warm season conditions over the Okhotsk sea coast and upper parts of the Kolyma, Indigirka and Yana rivers basins in 2000–2015 and 1931–1960. The similarity of the heat supply indices of the regions made it possible to unify them into a temperature hyperzone. The heat supply of the hyperzone in the middle of the 20th century corresponded to the conditions of the forest-tundra and northern taiga, but nowadays it is similar to the northern and middle taiga conditions, moreover at the peak of the summer it corresponds to the southern taiga and deciduous forests. However, the landscapes are unlikely to change drastically, taking into account the high ecological plasticity of the vegetation cover dominants. Due to the warming in the continental and coastal regions of the hyperzone, similarity of some indicators (mean temperatures of May and July, sums of temperatures above 0 and 5 °C, the number of days with temperatures above 0 °C and transition dates over 0 °C in spring) has decreased, but of others (annual maximums, days with temperatures above 10 °C and their sums, the number of the frost-free days) has increased. The warming does not dismantle the notion of hyperzone but rectifies it only.*

Keywords: global warming, North-east of Asia, continental and coastal regions, heat supply, open forest.

Acknowledgements. *The research was supported by the Russian Fund for Basic Research (project № 19–04–00312a).*

References

1. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy federacii.* M., 2014. 1050 p. URL: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014 (data obrascheniya 15.02.2019).
2. *Meleshko V.P., Mirvis V.M., Govorkova V.A.* Naskolko nablyudaemoe poteplenie klimata Rossii soglasuetsya s raschetami po obedinennym modelyam obshchey cirkulyatsii atmosfery // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2007. No. 10. P. 5–19.
3. *Sirotenko O.D., Gruza G.V., Rankova E.Ya., Abashina Ye.V., Pavlova V.N.* Sovremennye klimaticheskie izmeneniya teploobespechennosti, uvlazhnennosti i produktivnosti agrosfery Rossii // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2007. No. 8. P. 90–103.
4. *Stochkute Yu.V., Vasilevskaya L.N.* Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozdukha i pochvy na kraynem Severo-vostoke Rossii // *Geograficheskiy vestnik.* 2016. No. 2 (37). P. 84–96. DOI: 10.17072/2079-7877-2016-2-84-96.
5. *Vasilevskaya L.N., Stochkute Yu. V., Fedorova A.G.* Izmenenie sezonnykh temperatur pochvy na severo-vostoke Rossii // *Klimatologiya i glyatsiologiya Sibiri. Materialy vtoroy mezhdunarodnoy nauchnoy konf. (Tomsk 20–23 okt.)* Tomsk: Izd-vo CNTI, 2015. P. 220–222.
6. *Stochkute Yu.V., Vasilevskaya L.N., Shkaberda O.A.* Sootnoshenie mezhdru trendami izmeneniy temperatury pochvy i vozdukha na kraynem severo-vostoke Rossii // *Geografiya i region. Materialy mezhdunarodnoy. nauch.-prakt. konf. (23–25 sentyabrya 2015), Perm, 2015. Vol. IV.* P. 147–152.

7. *Ushakov M.V.* Sovremennye izmeneniya termicheskogo rezhima v rayone gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Magadanskiy» // *Trudy Karelskogo nauchnogo centra RAN.* 2017. No. 4. P. 93–98.
8. *Ushakov M.V.* Sovremennye izmeneniya termicheskogo rezhima vegetatsionnogo i zimnego periodov na Chukotke // *Geograficheskiy vestnik.* 2017. No. 2 (41). P. 81–91. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-81-91.
9. *Spravochnik po klimatu SSSR.* L.: Gidrometeoizdat, 1964–1967. Vyp.1–3, 8, 9, 12, 13, 17, 20–25, 27–29, 33, 34. Ch. II.
10. *Spravochnik po klimatu SSSR.* L.: Gidrometeoizdat, 1967–1968. Vyp.1–3, 8, 9, 12, 13, 17, 20–25, 27–29, 33, 34. Ch. IV.
11. *Alfimov A.V., Berman D.I.* Severo-vostok Azii kak temperaturnaya giperzona i ee izmeneniya za poslednie 60 let. Soobshchenie 1. Temperaturnyy rezhim teplogo sezona na severo-vostoke Azii // *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktiki.* 2021. No. 4. P. 67–81. DOI: 10.31242/2618-9712-2021-26-4-67-81
12. *VNIIGMIGMI-MCD* Temperatura vozdukh (Elektronnyy resurs). URL:<http://meteo.ru/data/156-temperatura> (data obrascheniya 20.02.2019).
13. *Gruza G.V., Rankova E.Ya.* Obnaruzhenie izmeneniy klimata: sostoyanie, izmenchivost i ekstremalnost klimata // *Meteorologiya i gidrologiya.* 2004. No. 4. P. 50–66.
14. *Drozdov O.A., Orlova V.V., Shver C.A.* K voprosu ob optimalnoy dlitelnosti ryada osredneniya pri klimatologicheskikh issledovaniyakh // *Trudy GGO.* 1965. Iss. 181. P. 14–45.
15. *Vasilevskaya L.N., Stochkute Yu.V.* Analiz mnogoletney izmenchivosti atmosferykh osadkov i vysoty snezhnogo pokrova na severo-vostoke Rossii (1966–2014) // *Uchenye zapiski Kazan. un-ta. Ser. Yestestvennie nauki.* 2017. Vol. 159, b. 4. P. 681–699.
16. *Grigorev A.A., Budyko M.I.* Klassifikatsiya klimatov SSSR // *Izvestiya AN SSSR. Ser. geograph.* 1959. No. 3. P. 3–19.
17. *Bazilevich N.I., Grebenshchikov O.S., Tishkov A.A.* Geograficheskie zakonomernosti struktury i funktsionirovaniya ekosistem. M.: Nauka, 1986. 297 p.
18. *Atlas SSSR* /Pod red. L.N. Mesyacevoy. M.: GUGK. 1984. 260 p.
19. *Bazilevich N.I.* Biologicheskaya produktivnost ekosistem severnoy Yevrazii. M.: Nauka, 1993. 293 p.
20. *Prikladnoy klimatologicheskoy spravochnik Severo-Vostoka SSSR* /Pod red. N.K. Klyukina. Magadan, 1960. 400 p.
21. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Pozdnyy pleystotsen-golotsen* /Pod red. A.A. Velichko. M.: Geos, 2009. 120 p.

Submitted 14.09.2021

Accepted 20.01.2022

About the authors

ALFIMOV, Arcady Vasilievich, Cand. Sci. (Geography), leading researcher, Institute of Biological Problems of the North, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 18 Portovaya st., Magadan 685000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-6493-8183>, e-mail: arcalfimov@gmail.com;

BERMAN, Daniil Iosifovich, professor, Dr. Sci (Biology), chief researcher, Institute of Biological Problems of the North, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 18 Portovaya st., Magadan 685000, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-2137-1324>, e-mail: dberman@mail.ru

Citation

Alfimov A.V., Berman D.I. North-East of Asia as the temperature hyperzone and its alteration over the past 60 years. *Communication 2.* Increase of the heat in the hyperzone in the late 20th to the early 21st century // *Arctic and Subarctic Natural Resources.* 2022, Vol. 27, No. 1. P. 57–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-1-57-69>