

УДК 551.581

*Н.Ф. Харламова, О.В. Останин*

## Обзор современного термического режима Алтае-Саянского экорегиона и возможные прогнозы

*N.F. Kharlamova, O.V. Ostanin*

## Review of Up-to-date Thermal Regime of the Altai-Sayan Ecoregion and Possible Prognosis

Представлен обзор состояния современного климата и предложены прогнозные варианты на 2029 г. для территории Алтае-Саянского экорегиона в виде анализа расчетных данных и серии карт годовой и сезонной температур приземного воздуха.

**Ключевые слова:** температура современного периода, прогноз 2029 г., Алтае-Саянский экорегион (АСЭР).

There is an overview of the modern climate and various forecasts till 2029 for the territory of the Altai-Sayan ecoregion as an analysis of estimated data and maps of annual and seasonal surface air temperatures.

**Key words:** temperatures of the modern climate, forecasts to 2029 year, the Altai-Sayan ecoregion.

В рамках проекта ПРООН-ГЭФ-МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона» проводится работа по созданию документа «Изменение климата и биоразнообразие в российской части АСЭР (Стратегия сохранения)», в котором должен быть представлен обзор состояния современного климата и предложены варианты прогноза [1; 2]. Сформирован банк данных наблюдений на станциях государственной наблюдатель-

ной сети Роскомгидромета (<http://www.meteo.ru>) за период 1966(1963)–2009 гг. и рассчитаны годовая температура приземного воздуха ( $T_{\text{год}}$ ) и температуры сезонов в календарных рамках, характеризующие современное состояние климата (табл. 1). Зимний сезон включает декабрь предыдущего года. Среднегодовые значения относятся к календарному году, т.е. интервалу времени с января по декабрь текущего года.

Таблица 1

Сезонная и годовая температуры воздуха (средняя за 1966–2009 гг.)

№	Метеостанция	Параметры			$T_{\text{год}}$	Температура сезонов			
		широта	долгота	высота		весна	лето	осень	зима
1	Барнаул	53°26'	83°31'	183	2,2	2,9	18,2	2,5	-14,6
2	Змеиногорск	51°09'	82°10'	354	2,8	3,2	17,9	3,2	-13,0
3	Усть-Кокса	50°16'	85°37'	977	-0,3	1,8	15,0	0,1	-18,1
4	Аккем	49°55'	86°32'	2050	-3,7	-3,7	8,3	-3,8	-15,6
5	Кара-Тюрек	50°02'	86°27'	2600	-5,4	-6,3	5,9	-5,4	-16,0
6	Кош-Агач	50°00'	88°40'	1759	-4,4	-1,7	13,2	-4,1	-25,2
7	Яйлю	51°46'	87°36'	482	3,9	3,6	15,6	4,0	-7,4
8	Ненастная	54°45'	88°49'	1186	-2,0	-2,6	11,6	-2,4	-14,6
9	Кузедеево	53°20'	87°11'	293	1,7	2,5	16,9	2,0	-14,7
10	Неожиданный	53°17'	89°04'	527	-0,5	0,3	15,1	-0,6	-16,9
11	Мугур-Аксы	50°23'	90°26'	1850	-2,4	-1,3	12,8	-2,4	-18,7
12	Абакан	53°46'	91°19'	254	1,4	3,0	18,0	1,4	-16,7
13	Минусинск	53°43'	91°42'	254	1,5	3,0	18,1	1,6	-16,6
14	Красноярские Столбы	55°54'	92°43'	530	-0,1	0,0	15,1	-0,6	-14,8
15	Оленья Речка	52°48'	93°14'	1404	-2,9	-2,8	11,0	-2,9	-16,6
16	Верхняя Гутара	54°13'	96°58'	983	-2,2	-1,8	12,4	-2,3	-17,3
17	Орлик	52°30'	99°49'	1376	-4,6	-3,2	11,8	-4,7	-22,1
18	Кызыл	51°43'	94°30'	626	-1,8	1,9	18,6	-0,9	-26,5
19	Тоора-Хем	52°28'	96°06'	919	-4,2	-1,5	13,4	-4,3	-24,5
20	Эрзин	50°16'	95°07'	1100	-3,6	-1,8	17,2	-1,0	-28,7
21	Нижнеудинск	54°53'	99°02'	410	-0,7	0,7	15,8	-0,5	-18,8
22	Сосновка	51°09'	94°31'	947	-2,0	0,8	16,0	-1,6	-23,1

Рассчитаны аномалии (отклонения) температуры, характеризующие темпы изменения климата в пределах АСЭР, с использованием двух методик. Первая (традиционная) построена на определении параметров линейных трендов (табл. 2), которые позволяют рассчитать температуру на заданный период (2029 г.). Максимальные значения температуры предполагаются в межгорных котловинах Тывы (Кызыл, Эрзин, Тоора-Хем) и Алтая (Кош-Агач).

Вторая методика предложена А.Б. Шмакиным и Н.Ф. Харламовой исходя из анализа характера изменений термического режима в течение периода 1966–2009 гг., наиболее обеспеченного качествен-

ной информацией. Важнейшим является выбор двух периодов, «нормы» температуры которых позволят определить величину потепления, при этом начальный период должен заканчиваться до начала современного потепления, а продолжительность обоих – быть максимально близкой к рекомендуемой Всемирной метеорологической организацией – 30 лет. В качестве начального предложен двадцатилетний период 1966–1985 гг., с которым сравнивается период 1990–2009 гг., совпадающий с условной границей начала современного потепления (1989 г.). Разница среднемноголетних значений  $T_{год}$  и  $T_{сезонов}$  представлена в таблице 3.

Таблица 2

Оценки линейного тренда годовой температуры приземного воздуха за 1963–2012 гг., где  $b, ^\circ\text{C}/10$  лет – коэффициент линейного тренда,  $D\%$  – вклад тренда в дисперсию

№	Метеостанция	$b$ – коэффициент линейного тренда, $^\circ\text{C}/10$ лет	$D$ – вклад тренда в дисперсию, %	Величина изменения (повышения $T$ ) за 50 лет
1	Барнаул	0,4	19,0	1,8
2	Змеиногорск	0,4	24,5	2,1
3	Усть-Кокса	0,4	32,9	2,2
4	Аккем	0,3	29,4	1,7
5	Кара-Тюрек	0,3	17,3	1,3
6	Кош-Агач	0,5	31,0	2,6
7	Яйлю	0,4	26,0	1,9
8	Ненастная	0,4	24,4	1,8
9	Кузедеево	0,5	31,0	2,3
10	Неожиданный	0,4	40,0	2,2
11	Абакан	0,4	32,2	2,2
12	Минусинск	0,4	31,3	2,2
13	Мугур-Аксы	0,5	40,6	2,4
14	Оленья Речка	0,3	31,4	1,7
15	Верхняя Гутара	0,4	37,9	2,0
16	Орлик	0,4	37,7	1,9
17	Кызыл	0,7	64,5	3,5
18	Тоора-Хем	0,7	70,3	3,7
19	Эрзин	0,7	53,1	3,4
20	Нижнеудинск	0,4	36,0	2,3
21	Сосновка	0,5	54,6	2,7

Таблица 3

Средние годовые и сезонные аномалии температуры приземного воздуха:  $vT, ^\circ\text{C}$  – отклонения средних за 1990–2009 гг. от средних за 1966–1985 гг.

№	Метеостанция	$vT, ^\circ\text{C}$ (аномалии)				
		год	сезоны			
			весна	лето	осень	зима
1	2	3	4	5	6	7
1	Барнаул	1,286	1,783	0,518	0,648	2,195
2	Змеиногорск	1,158	1,623	0,525	0,675	2,480
3	Усть-Кокса	1,313	1,435	0,730	0,803	2,720
4	Аккем	0,954	1,303	0,960	0,791	1,407
5	Кара-Тюрек	0,818	1,042	0,717	0,85	1,117
6	Кош-Агач	1,318	1,697	0,987	0,947	2,720
7	Яйлю	1,221	1,328	0,778	0,698	1,791
8	Ненастная	1,058	1,878	0,618	0,585	1,728
9	Кузедеево	1,229	1,671	0,702	0,708	2,548
10	Неожиданный	1,147	1,492	0,773	0,74	2,277

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
11	Мугур-Аксы	1,292	1,558	1,657	1,100	1,415
12	Абакан	1,237	1,495	0,798	0,685	2,55
13	Минусинск	1,271	1,418	0,620	0,585	3,057
14	Красноярские Столбы	0,985	1,432	0,682	0,245	1,880
15	Оленья Речка	1,107	1,714	0,842	0,975	1,849
16	Верхняя Гутара	1,110	1,538	1,028	0,588	1,960
17	Орлик	1,107	1,535	1,090	0,930	1,328
18	Кызыл	1,739	1,967	1,087	1,298	3,028
19	Тоора-Хем	1,907	2,067	1,487	1,558	3,168
20	Эрзин	1,912	2,303	1,368	1,325	3,148
21	Нижнеудинск	1,388	1,763	1,230	0,635	2,013
22	Сосновка	1,483	1,727	1,018	0,993	2,090

Сравнительный анализ таблиц 2 и 3, представляющих величины потепления на основе 50-летних линейных трендов, определенные как разница между показателями за ближайшие 20-летние периоды, показывает, что наибольшее потепление происходило в межгорных котловинах Тывы (Кызыл, Эрзин, Тоора-Хем). В период 1990–2009 гг. отмечалось заметное повышение зимней температуры и в Минусинской котловине, идентичное ее уровню в Чуйской (Кош-Агач). Значительное повышение летней температуры наблюдалось также в среднегорной зоне гор Тывы (Мугур-Аксы).

На следующем этапе осуществлялось моделирование термических условий с использованием ArcGIS 10.0 и цифровой модели рельефа SRTM (1984 г.) на основе метода регрессии [3; 4]. Рассчитаны эмпирические зависимости температуры приземного воздуха от физико-географических характеристик местности: высоты ( $h$ ), широты ( $\varphi$ ) и долготы ( $\lambda$ ):

$$T = f(h, \varphi, \lambda).$$

На карте годовой температуры воздуха за современный период 1966–2009 гг. (рис. 1) отчетливо прослеживается зональность распределения, осложненная как макромасштабным воздействием Алтае-Саянской горной страны (снижение  $T_{\text{год}}$  по сравнению с равнинами вследствие высотного положения), так и мезоклиматическими особенностями межгорных котловин и горных склонов. Максимальные годовые температуры воздуха характерны для предгорных и низкогорных территорий Алтая от Змеиногорска (2,8 °С) до Турочака (1,5 °С), Салаирского кряжа и Горной Шории (Кузедеево, 1,7 °С), а также для отдельных невысоких межгорных котловин: Кузнецкой (2,0 °С), Минусинской (1,5 °С), Уймонской (Усть-Кокса, -0,3 °С) и др. Отопляющее влияние крупного водоема и повышенная повторяемость фенотических процессов приводят к росту  $T_{\text{год}}$  до максимальных значений в регионе на побережье Телецкого озера (Яйлю, 3,9 °С). С увеличением высоты днища котловин наблюдается закономерное снижение годовой температуры воздуха до -1,8 °С (Тувинская, Кызыл) и ниже: -3,6 °С (Убсунурская,

Эрзин), -4,2 °С (Тоджинская, Тоора-Хем), -4,4 °С (Чуйская, Кош-Агач), что объясняется большей продолжительностью и низкими температурами холодного периода года, а также максимальной близостью к центру формирования Азиатского антициклона. Наиболее холодными территориями являются среднегорья и высокогорья, где годовая температура понижается до -5÷-10 °С (Катунский, Северо- и Южно-Чуйский хребты, Восточный Саян и др.).

С целью пространственной визуализации районов с различными темпами потепления построена карта средних годовых аномалий температуры воздуха (рис. 2). Наиболее значительное повышение температуры наблюдалось в межгорных котловинах Хакасии и Тывы, высокогорьях и среднегорьях Восточного Саяна. Меньшие величины аномалий отмечались в котловинах Алтайской горной области. Соответственно центр потепления в степных межгорных котловинах был сдвинут к востоку АСЭР, и в целом площадь, охваченная наибольшим потеплением (более 1,25 °С), оказалась максимальной в восточной части АСЭР. В то же время в среднегорной и высокогорной зонах Алтая повышение температуры было практически соизмеримым с Саянами.

Для построения прогнозных карт предложены различные варианты расчета (табл. 4). Определена величина изменения  $T_{\text{год}}$  за 20 лет на основе 50-летнего линейного тренда (табл. 2), рассчитаны аномалии  $T_{\text{год}}$  (Аномалия) как разница между средними многолетними температурами двух соседних 20-летних периодов. Соотношение двух значений показало, что величины действительно наблюдавшихся положительных аномалий годовой температуры воздуха в пределах АСЭР в 1990–2009 гг. превысили значения по линейным трендам на 26–30% в межгорных котловинах (Кызыл, Кош-Агач, Тоора-Хем) и на 60–61% в Оленьей Речке, Кара-Тюреке, Яйлю. Для построения прогнозных карт на 2029 г. итоговые оценки (Прогноз ср) рассчитаны как среднее из двух показателей (табл. 4).

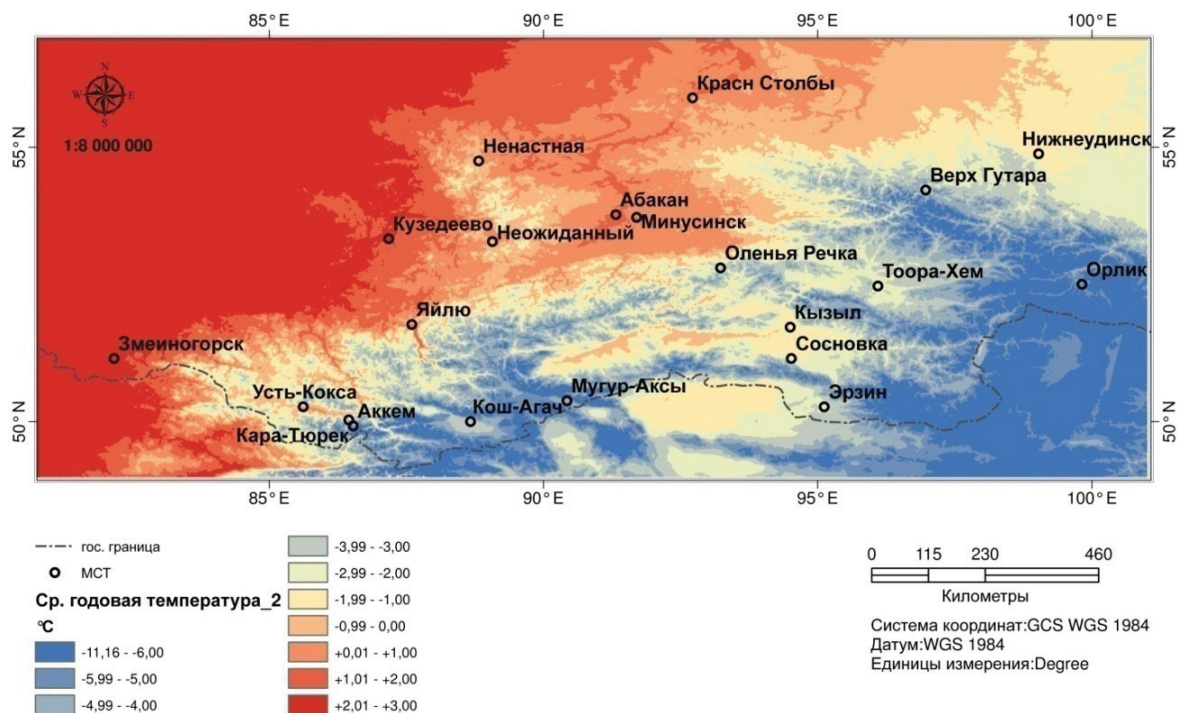


Рис. 1. Средняя годовая температура приземного воздуха (1966–2009 гг.)

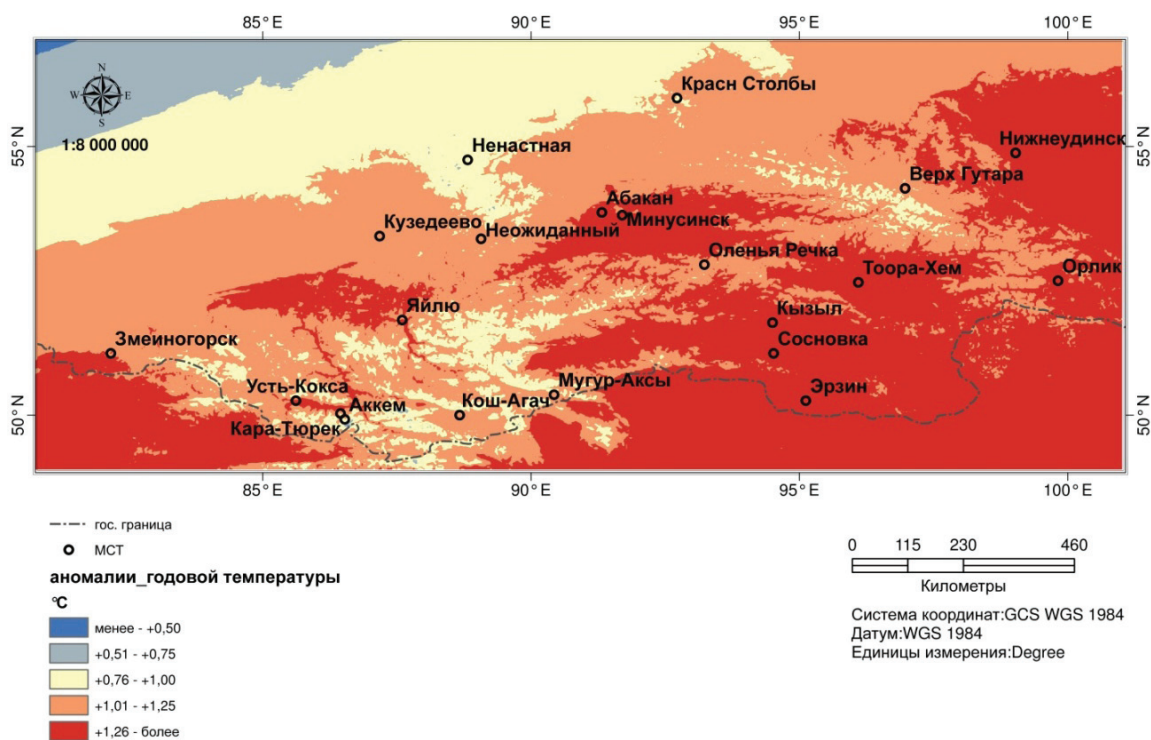


Рис. 2. Средние годовые аномалии температуры приземного воздуха за 1990–2009 гг. по отношению к 1966–1985 гг.

По окончании наблюдаемого 20-летнего периода (к 2029 г., рис. 3) возможно максимальное повышение годовой температуры воздуха в Убсунурской, Тоджинской и Тувинской котловинах. Заметно теплее станет в межгорных котловинах Алтая: Чуйской, Уймонской, а также Кузнецкой и Минусинской. На

побережье Телецкого озера повышение годовой температуры ожидается в несколько меньших пределах. Меньшая скорость потепления предполагается для высокогорий Алтая и Саян, тем не менее их годовая температура повысится на 20% по сравнению с современной.



Таблица 4

Годовая температура воздуха (значения аномалий, рассчитанные различными способами; варианты прогнозов)

№	Метеостанция	$T_{\text{год}}$ (1966–2009 гг.)	Величина изменения $T_{\text{год}}$ за 20 лет на основе линейного тренда	Аномалия ( $T_{1990-2009} - T_{1966-1985}$ )	Величина превышения наблюдаемой аномалии по сравнению с трендовым показателем, %	Прогноз 1	Прогноз 2	Прогноз ср
1	Змеиногорск	2,8	0,8	1,2	38	4,5	4,0	4,2
2	Усть-Кокса	-0,3	0,9	1,3	55	1,6	1,0	1,3
3	Аккем	-3,7	0,7	1,0	42	-2,3	-2,7	-2,5
4	Кара-Тюрек	-5,4	0,5	0,8	61	-4,2	-4,6	-4,4
5	Кош-Агач	-4,4	1,0	1,3	27	-2,5	-3,1	-2,8
6	Яйлю	3,9	0,8	1,2	61	5,6	5,1	5,4
7	Ненастная	-2,0	0,7	1,6	46	-0,4	-0,9	-0,7
8	Кузедеево	1,7	0,9	1,2	37	3,5	2,9	3,2
9	Неожиданный	-0,5	0,9	1,1	33	1,1	0,6	0,9
10	Мугур-Аксы	-2,4	0,9	1,3	37	-0,5	-1,1	-0,8
11	Абакан	1,4	0,9	1,2	42	3,2	2,7	2,9
12	Минусинск	1,5	-	1,3	-	3,4	2,8	3,1
13	Кр. Столбы	-0,1	0,6	1,0	59	1,4	0,9	1,1
14	Оленья Речка	-2,9	0,7	1,1	60	-1,2	-1,7	-1,5
15	Верх. Гутара	-2,2	0,8	1,1	39	-0,6	-1,1	-0,9
16	Орлик	-4,6	0,8	1,1	46	-2,9	-3,4	-3,2
17	Кызыл	-1,8	1,4	1,7	26	0,8	-0,0	0,4
18	Тоора-Хем	-4,2	1,5	1,9	30	-1,4	-2,3	-1,9
19	Эрзин	-3,6	1,4	1,9	41	-0,8	-1,6	-1,2
20	Нижнеудинск	-0,7	0,9	1,4	36	1,4	0,7	1,1
21	Сосновка	-2,0	1,1	1,5	27	-0,3	-0,5	-0,4

Примечание: Прогноз1 =  $T_{1990-2009} + \text{Аном}$ ;  
 Прогноз2 =  $T_{1966-2009} + \text{Аном}$ ;  
 Прогноз ср = (Прогноз1 + Прогноз2)/2

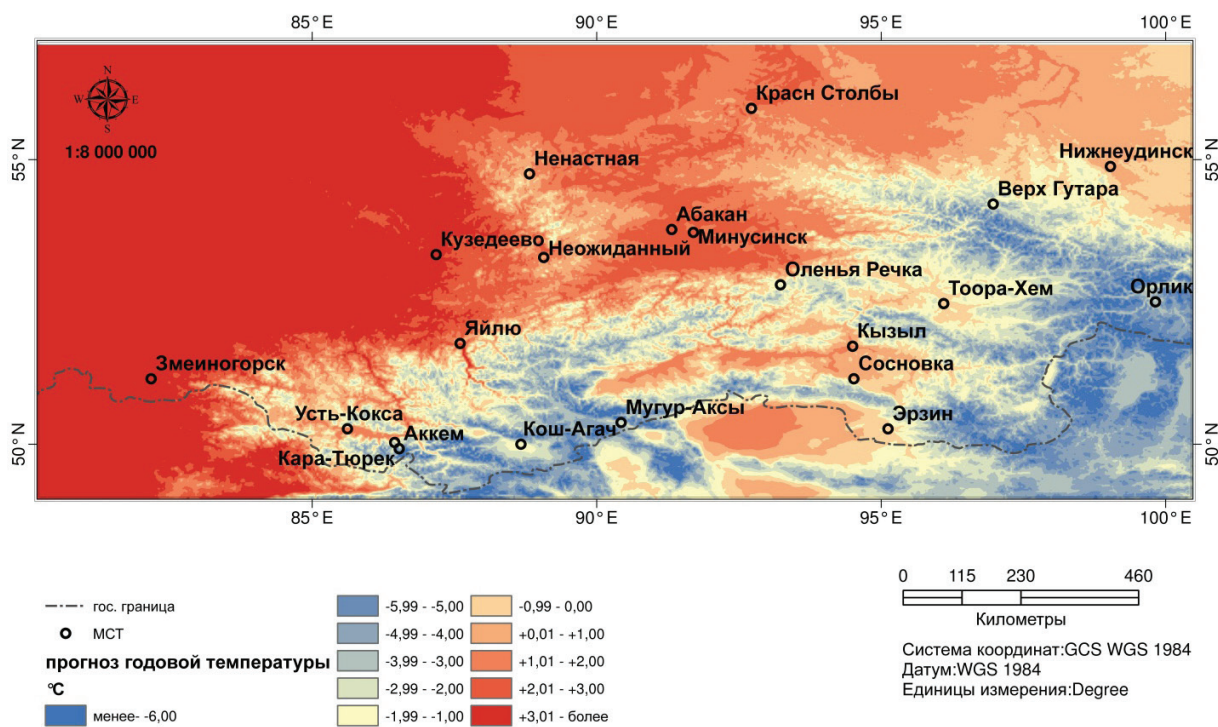


Рис. 3. Прогноз годовой температуры приземного воздуха на 2029 г.

Наблюдавшиеся аномалии температуры лета оказались минимальными в предгорьях Алтая, Горной Шории, Саян и максимальными – в среднегорьях Западного Саяна, а также в восточных котловинах Тывы. Повсеместно повышение температуры летнего сезона отмечалось в значительно меньших пределах по сравнению с весной и в особенности зимой (до 2 раз), однако в высокогорьях Алтая, среднегорьях Кузнецкого Алатау и Саян летняя температура увеличилась значительно сильнее осенней.

К 2029 г. карта распределения летней температуры предполагается идентичной современной: наиболее теплое лето сохранится в межгорных котловинах Тывы, Хакасии, а также в предгорьях Алтая и Горной Шории. И только на отдельных участках высокогорий Катунского, Северо- и Южно-Чуйского хребтов, Западного и Восточного Саяна температуры лета не превысят 4,0 °С.

Наиболее пестрое распределение температурного фона в пределах АСЭР характерно для переходных сезонов года. Ожидаемое повышение температуры весны будет значительным, пространственное распределение очагов максимальной и минимальной температур сохранится аналогичным современному.

Изменение температуры осеннего сезона ожидается в несколько меньших пределах по сравнению с весной, а распределение теплых и холодных районов, как и для весны, повторяет современное.

На карте температуры зимы за период 1966–2009 гг. заметные различия можно наблюдать в отдельных частях Алтае-Саянской горной страны, поскольку Алтай и Кузнецкий Алатау в большей степени, чем Саяны и Тувинское нагорье, испытывают влияние западных воздушных масс и дальше расположены от центра Азиатского антициклона. Поэтому их климат менее континентален, что проявляется в уменьшении амплитуды температур за счет менее суровой зимы и более прохладного лета, особенно в межгорных котловинах.

Температуры воздуха зимой изменяются в больших пределах при продвижении с запада на восток и по мере поднятия вверх по склонам: от -13 в наиболее теплых предгорьях Северо-Западного Алтая, -15 в предгорьях и низкогорьях Горной Шории, Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна до -19 в среднегорьях Западного Саяна, -23 °С в среднегорьях Восточного Саяна на границе с Тувинской котловиной. Значительное воздействие оказывает ориентация котловин по отношению к преобладающим ветрам, определяющая повторяемость фенных, способствующих значительному повышению температуры воздуха зимой. Именно данным эффектом объясняется повышенный фон температуры воздуха в меридионально и субмеридионально ориентированных долинах у северных подножий Белухи и других районах, а также аномально теплая зима восточных побережий Телецкого озера (-8 °С, Яйлю). В то же время повсеместно вследствие контрастности рельефа и наличия межгорных котловин, в которых холодный воздух застаивается зимой, отчетливо выражены температурные инверсии, усиливающиеся с приближением к центру формирования Азиатского антициклона: от -25 в Чуйской до -27 в Тувинской и -29 °С в Убсунурской котловинах. Прогнозная карта показывает возможное повышение температуры на 2–3 °С в предгорьях, низко-, средне- и высокогорьях и максимальное – на 3–4 °С – для межгорных котловин Тывы и Алтая.

Полученные результаты свидетельствуют о значительных изменениях термического режима в пределах территории Алтае-Саянского экорегиона, наблюдавшихся в течение 1990–2009 гг., а также ожидаемых к концу следующего 20-летнего периода (2029 г.). Возможны дальнейшее сокращение площади современного оледенения, уменьшение речного стока, изменение условий существования отдельных уязвимых видов растений и животных и другие негативные последствия происходящих климатических изменений.

## Библиографический список

1. Харламова Н.Ф. Тенденции изменения климата Алтае-Саянского региона // Изменение климата и непрерывное сохранение биоразнообразия в Алтае-Саянском экорегионе. – Барнаул, 2010.
2. Харламова Н.Ф. Оценка состояния и тенденций изменения термического режима территории российской части Алтае-Саянского экорегиона // Географическое образование в Сибири : материалы Всероссийской научно-практической конференции (Барнаул – Горно-Алтайск, 10–13 ноября 2011 г.) / отв. ред. Г.Я. Барышников. – Барнаул, 2011.
3. Михайлова Л.А., Харламова Н.Ф. Геоинформационное моделирование климатических параметров на примере Сибирского региона // Ползуновский вестник. – 2006. – №4–2.
4. Михайлова Л.А., Харламова Н.Ф., Михайлов Н.Н. Геоинформационные технологии при изучении региональных климатических изменений // Изменения состояния окружающей среды в странах Содружества в условиях текущего изменения климата / отв. ред. В.М. Котляков. – М., 2008.