

**ТРЕНДЫ НОВЕЙШИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ  
НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ**

**Ю.В. Робертус<sup>1</sup>**, К.С. Савенко<sup>1</sup>, М.С. Достовалова<sup>2</sup>

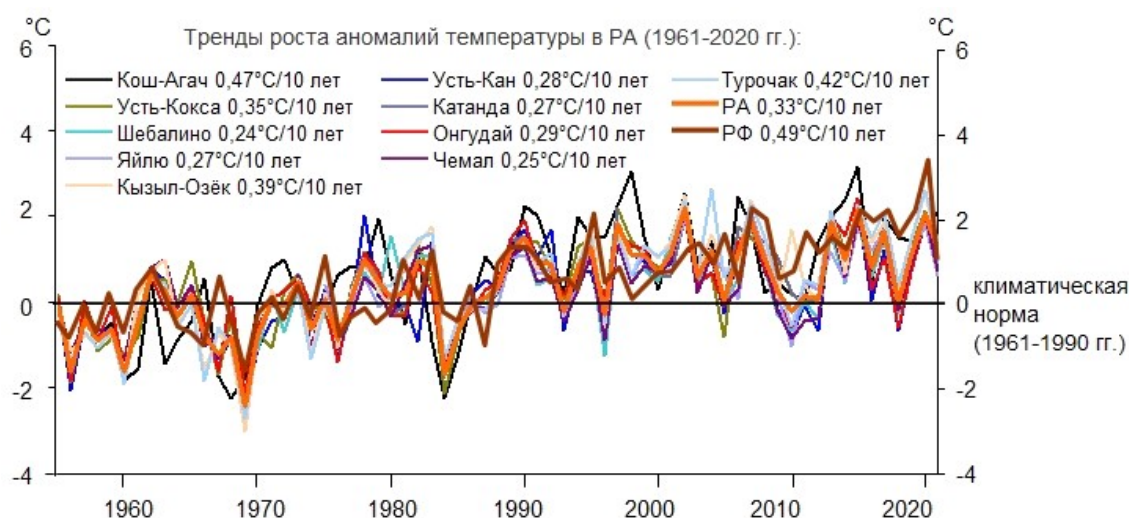
<sup>1</sup>Горно-Алтайский филиал ИВЭП СО РАН

<sup>2</sup>Горно-Алтайское отделение филиала «СРЦ ГМСН»

Глобальное изменение климата (ГИК) и его экологические и социально-экономические последствия являются актуальной проблемой современности. Согласно шестому оценочному докладу МГЭИК, изменения климата являются широкомасштабными, быстрыми и усиливающимися. Начиная с 1900 г. каждое из последующих четырёх десятилетий было более теплым по сравнению с предыдущим. Так, аномалии прироста глобальных приземных температур в первые два десятилетия XXI века (2001-2020 гг.) по сравнению с доиндустриальным периодом (1850-1900 гг.) достигли 0,84-1,10°C. В последнее десятилетие (2011-2020 гг.) температура воздуха над сушей повысилась уже на 1,34-1,83°C, над океаном – на 0,60-1,01°C [МГЭИК. Изменение климата, 2021].

Отмечается, что региональные показатели прироста температуры в приземном слое воздуха в основном выше глобальных. Так, в докладе об особенностях климата на территории РФ за 2021 г. отмечается, что скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976-2021 гг. (45 лет) составляет 0,49°C/10 лет, и в 2021 г. отклонение от средних показателей климатической нормы (1961-1990 гг.) составило +1,35°C. Для Западной Сибири показатель прироста в этот период составил около 0,39°C/10 лет, в Забайкалье – 0,41°C/10 лет, в Республике Алтай (РА) – 0,33°C/10 лет [Доклад об особенностях климата на территории РФ, 2021].

Более детальная оценка региональных особенностей изменения основных климатических параметров на территории республики показала, что в северной и южной части региона происходит более интенсивный прирост температуры. Например, скорость роста температуры в Чуйской котловине (Кош-Агач) составляет 0,47°C/10 лет, а в низкогорной северной части в районе метеостанций Кызыл-Озёк и Турочак – 0,39-0,42°C/10 лет (рис. 1).



**Рис. 1. Сравнение распределения среднегодовых аномалий температуры и трендов их роста на метеостанциях РА и в РФ в период 1960-2021 гг.**

В первом приближении, исходя из графиков и трендов роста температуры, можно говорить о сходстве тенденций изменения температуры в приземном слое воздуха на территории Республики Алтай, Российской Федерации и, скорее всего, в мире в целом. То есть наблюдаются в основном однотипные межгодовые колебания температур при разной скорости их прироста. Это может говорить о сходстве факторов, влияющих на изменение температурного режима, и проявлении локальных особенностей местных климатов, с разной интенсивностью реагирующих на внешние возмущения.

Наиболее интенсивный прирост глобальных температур фиксируется с середины 90-х гг. С этого времени на территории РА скорость увеличения среднегодовой температуры воздуха в среднем достигла 1,0°C за десятилетие. Однако во втором десятилетии XXI века, напротив, для большинства районов республики и региона в целом наблюдалось небольшое снижение уровня аномалий среднегодовых температур (на 0,1-0,4°C).

Одной из возможных причин может быть «Сибирская область похолодания», единственная на территории России зона снижения зимних температур, расположенная в районе границы Алтайского края и Казахстана. До 2014 г. здесь наблюдалось снижение температуры относительно нормы (в центре максимум -0,54°C) и расширение границ зоны, но в настоящее время процесс похолодания значительно менее выражен (2021 г. – -0,2°C) [Доклад об особенностях климата на территории РФ, 2021].

Есть также предположение о связи периодов потепления и похолодания глобального климата с циклами солнечной активности. Так, [Власов и др., 2022] отмечают, что, вероятнее всего, температурные изменения на Земле идут с некоторым запозданием. С начала 90-х годов прошлого века интенсивность потока энергии Солнца, приходящей на Землю, медленно шла на спад в соответствии с 200-летним и 11-летним циклами. Предполагается, что уже в течение 25-го солнечного цикла (с декабря 2019 г. по примерно 2030 г.), т.е. в пределах ближайших 10 лет, можно ожидать смену фазы роста глобальной температуры на фазу спада.

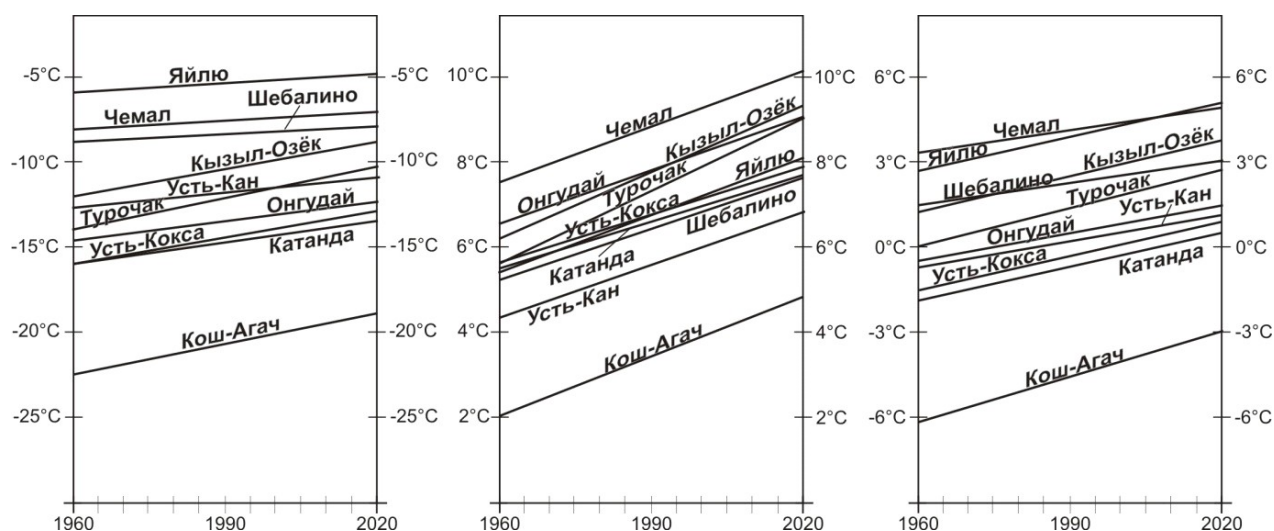
Корреляционная связь между среднегодовой температурой воздуха на метеостанциях региона (1955-2020 гг.) и циклами солнечной активности (число Вольфа) выражена неотчетливо. Так, в начале и чаще в конце солнечных циклов наблюдаются наименьшие значения среднегодовых температур. Коэффициент корреляции для региона в целом и для большинства метеостанций имеет отрицательное значение близкое к значимому – -0,10 – -0,17 (при  $p = 0,05$ ;  $r = 0,20$ ), на станциях Усть-Кокса и Кызыл-Озёк значимое – -0,21. Положительные связи наблюдаются на станциях Яйлю и Шебалино с периодом данных 1970-2020 гг. При смещении периода анализируемых данных к 1970 г. на других станциях корреляционные связи также меняются на положительные с небольшим снижением уровня значимости.

Ранее тесная зависимость термического фактора с гелиофизическими и гидрохимическими показателями была установлена на примере крупнейшего водоема региона – Телецкого озера [Робертус, Шевченко, 2009] (табл. 1). Что является прямым доказательством влияния солнечной активности на температурный режим околосредней поверхности – основной индикатор ГИК.

Подобные зависимости также подтверждаются работой [Meehl и др., 2009] группы ученых во главе с Джеральдом Мелом из Американского национального центра атмосферных исследований. Таким образом, выявленная для периода 2010-2019 гг. фаза замедления роста температуры в большинстве районов РА имеет вероятность смениться на фазу её сни-

#### 1. Связь температура воды Телецкого озера и приземного воздуха с гидрохимическими показателями воды и гелиофизическими параметрами [Робертус, Шевченко, 2009]

Параметры	Насыщение O <sub>2</sub>	Содержание в воде			Гелиофизические параметры		
		CO <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	W	10.7 см	ГКЛ
Температура воды	-0,59	-0,41	<b>0,65</b>	<b>0,70</b>	<b>0,95</b>	<b>0,93</b>	<b>-0,93</b>
Температура воздуха	<b>-0,67</b>	<b>-0,66</b>	0,37	<b>0,79</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>	<b>-0,72</b>

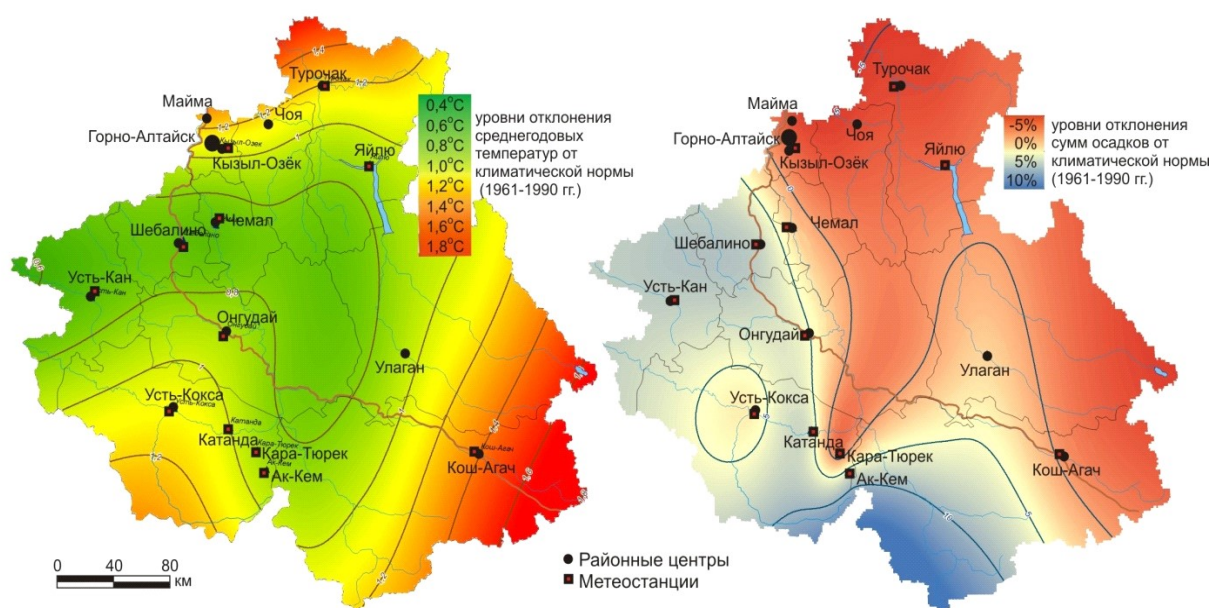


**Рис. 2.** Тренды изменений зимней (слева), весенней (в центре) и среднегодовой (справа) температуры воздуха на метеостанциях РА в 1960-2020 гг.

жения в нынешнем и последующем десятилетии. Однако, исходя из существующих тенденций роста годовых температур на территории региона к середине XXI столетия, всё же ожидается их прирост ещё на  $1^{\circ}\text{C}$  ( $0,2-0,3^{\circ}\text{C}/10$  лет  $\times 3 = 0,6-0,9^{\circ}\text{C}$ ).

Важно также отметить, что в разрезе сезонов года наиболее интенсивные изменения в температурном режиме произошли в зимний и особенно весенний периоды. Наиболее проявлены изменения во все сезоны года в районе метеостанции Кош-Агач, т.е. в высокогорной части республики (рис. 2).

В целом анализ пространственных закономерностей изменения среднегодовых и среднесезонных температур воздуха на территории Республики Алтай показал зависимость изменений температуры не столько от высоты местности (увеличивается с севера на юг), сколько от распространения преобладающих влагонасыщенных воздушных масс (приходят с запада) (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение отклонений от нормы среднегодовой температуры воздуха (слева) и количества осадков (справа) на территории РА в 1991-2020 гг.

2. Отклонения от нормы сумм годовых и сезонных осадков  
в бассейнах стока рек Бия, Катунь, Чарыш

Метеостанции (абс. отметки)	Отклонения от нормы 1961-1990 г. в мм (%)				
	год	зима	весна	лето	осень
<b>р. Бия</b>					
Турочак (327 м)	-34,0 (-4,2%)	-6,0 (-2,7%)	3,0 (2,1%)	-13,0 (-4,5%)	-18,0 (-11,4%)
Яйлю (480 м)	-23,0 (-2,6%)	4,0 (3,0%)	14,0 (7,7%)	-32,0 (-7,7%)	-9,0 (-5,2%)
Улаган (1230 м)	-9,0 (-3,0%)	7,0 (20,6%)	0 (0%)	-28,0 (-16,5%)	-9,0 (-20%)
<b>р. Катунь</b>					
Кызыл-Озек (331 м)	-21,0 (-2,8%)	-3,0 (-1,9%)	18,0 (13,8%)	-20,0 (-6,3%)	-16,0 (-11%)
Чемал (420 м)	12,0 (2,3%)	6,0 (10,0%)	10,0 (10,5%)	12,0 (4,4%)	-16,0 (-17,0%)
Онгудай (833 м)	21,0 (5,7%)	11,0 (27,5%)	8,0 (12,5%)	10,0 (5,0%)	-8,0 (-12,5%)
Катанда (949 м)	28,0 (6,8%)	2,0 (3,0%)	9,0 (11,7%)	25,0 (13,2%)	-8,0 (-10,7%)
Усть-Кокса (978 м)	18,0 (3,9%)	7,0 (9,2%)	1,0 (1,2%)	18,0 (8,8%)	-8,0 (-8,8%)
Шебалино (865 м)	42,0 (8,3%)	18,0 (34,0%)	4,0 (4,1%)	34,0 (12,9%)	-14,0 (-15,4%)
Кош-Агач (1760 м)	-0,7 (-0,6%)	-2,9 (-17,1%)	0,8 (6,7%)	5,2 (6,5%)	-3,8 (-25,3%)
<b>р. Чарыш</b>					
Усть-Кан (1037 м)	31,0 (9,2%)	-2,0 (-5,3%)	7,0 (10,6%)	34,0 (20,0%)	-8,0 (-12,9%)

Однако морфоструктура рельефа всё же оказывает существенное влияние на перераспределение потоков солнечной энергии и воздушных масс, что видно при сравнении температурных «аномалий» речных долин и котловин. В частности, в последних максимальные отклонения температуры воздуха от климатической нормы наблюдаются зимой (до +2°C), в долинах весной (до +1,5°C). При этом для речных долин с часто повторяющимися в холодный период года фёнами (Чемал, Яйлю и т.д.) характерны более низкие уровни повышения температуры – до 1,3°C.

В целом похожий характер проявлен в распределении отклонений от нормы среднегодового количества осадков. Они более неравномерны во времени и пространстве, но предварительно можно говорить, что годовая сумма в основном убывает в районах с умеренным и избыточным увлажнением (до -5%) и увеличивается в среднем на 6 % (максимум +9 % Усть-Кан) в котловинах и в долинах с фёнами (рис. 3). Исключение – Кош-Агач, но там годовая сумма осадков снизилась всего на 1 мм.

Более интенсивные изменения в режиме осадков наблюдаются в их сезонном распределении. Так, характерной особенностью является повсеместное увеличение их количества весной и снижение осенью (табл. 2). В зимний и летний периоды закономерности не однозначны. По бассейнам крупных рек наблюдается довольно существенное увеличение годовой суммы осадков для верховья и среднего течения р. Катунь (порядка +100 мм), менее интенсивное для верховий р. Чарыш (+31 мм) и снижение для р. Бия (-66 мм). Подобные тенденции могут привести к созданию паводковых явлений, особенно на фоне роста суточных максимумов осадков и совпадения с весенним половодьем, как в случае 2014 г.

Интересно также отметить, что поверхностный анализ изменения скорости ветра на территории региона свидетельствует о её снижении примерно с 50-60-х гг. XX в. При этом наиболее интенсивно снижается скорость ветров в зимний период в низкогорье – в среднем в 1,5 раза, в районе станции Чемал – в 2 раза. В высокогорье на метеостанции Кара-Тюрек скорость ветра снижается в весенне-летний период (в 1,1-1,4 раза).

Таким образом, имеющиеся данные позволяют предварительно говорить о том, что на территории РА в последние десятилетия происходят заметные изменения всех основных климатических параметров. Устойчиво повышается температура воздуха, перераспределяются атмосферные осадки с пока слабо проявленной тенденцией к аридизации климата в южной части региона, а также происходит снижение интенсивности местных тёплых вет-

ров фёнов, которые в низкогорной северной части региона создают своего рода буферную прослойку, препятствующую вторжению холодного воздуха из Восточной Сибири.

### **Литература**

*Власов В.И., Дагкесаманский Р.Д., Потапов В.А., Тюльбашев С.А., Чашей И.В.* О долгосрочных изменениях параметров солнечного ветра и солнечной активности с возможным приложением к проблеме глобального климата // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2022, № 1, с. 10-15.

*Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год.* URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf>.

*МГЭИК. Изменение климата, 2021 год: Резюме для политиков.* Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. URL: <https://www.ipcc.ch/>

*Робертус Ю.В., Шевченко Г.А.* Зависимость гидрохимических показателей Телецкого озера и его притоков от солнечной активности // Вестник ТГПУ, 2009, вып. 11 (89), с. 194-197.

*Meehl G.A., Arblaster J.M., Matthes K., Sassi F., Loon H.V.* Science. 28 Aug 2009. Vol. 325. Issue 5944. P. 1114-1118. URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1172872>.