

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА АРКТИКИ В 2023–2024 ГОДАХ ПРИ ГЛОБАЛЬНОЙ АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Изменения приповерхностной температуры воздуха

Репрезентативным показателем температурного режима Арктики является средняя приповерхностная температура воздуха. Глобальная приповерхностная температура воздуха (ПТВ), зафиксированная в 2023 году, оказалась наибольшей за период инструментальных наблюдений, а 2024 год стал еще более теплым, рекорд 2023 года по данным Copernicus Climate Change Service (<https://climate.copernicus.eu>) был превышен на 0,12 °C. Рекордными стали аномалии ПТВ в низких и средних широтах и в Северном полушарии, но в Арктике подобная аномалия отсутствовала (рис. 1), хотя здесь должно наблюдаться ее увеличение (арктическое усиление).

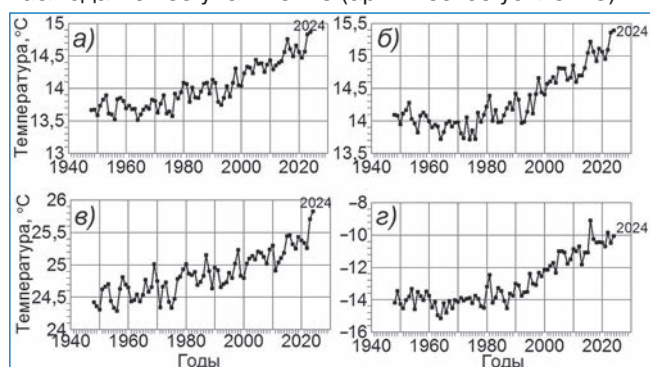
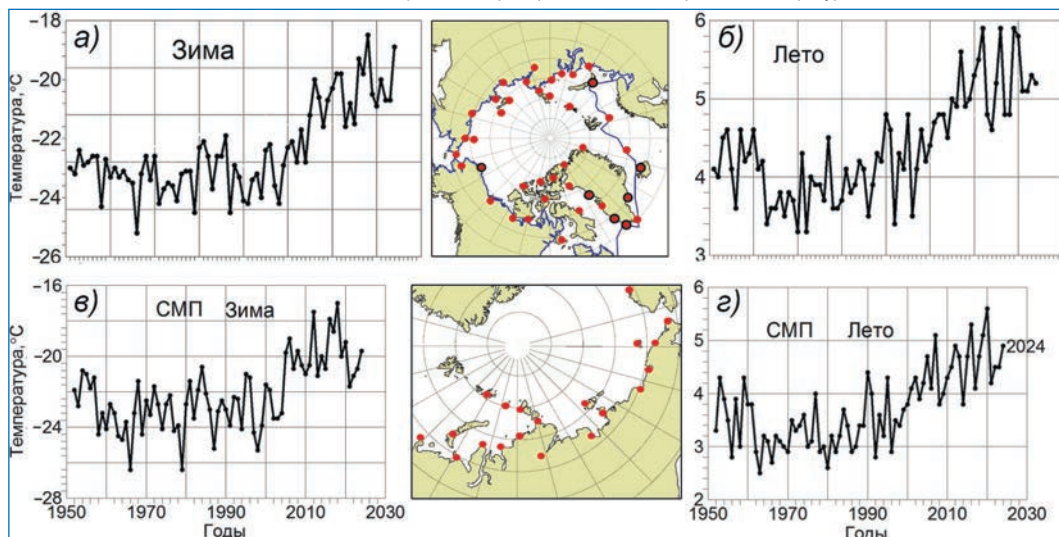


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха глобальная (а), в Северном полушарии (б), в низких широтах (0–30°с. ш.) (в), в Арктике (70–90°с. ш.) (г). Расчеты по данным <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis>

В Арктике температура воздуха повышается с 1990-х годов (рис. 2). К 2020 году температура воздуха зимой выросла более чем на 4 °C, а летом на 2 °C. В морях Северного морского пути (СМП) повышение зимой составило 6 °C, а летом — почти 3 °C. Абсолютный максимум отмечен зимой в 2018 году, а летом в 2020 году, после чего температура понизилась. В 2024 году намечилось повышение температуры, которое может продолжиться в последующие два-три года.

Рис. 2. Средняя температура воздуха в морской Арктике зимой (а), летом (б) и в морях СМП зимой (в), летом (г). На врезках положение метеостанций, по которым рассчитывалась средняя температура



Изменения морского ледяного покрова в Северном Ледовитом океане и на акватории Северного морского пути

Сокращение морского ледяного покрова является наиболее обсуждаемым проявлением глобального потепления в Арктике. Современный период сокращения хорошо документирован по данным измерений со спутников. В Северном Ледовитом океане площадь, занятая льдом на сезонном минимуме в сентябре, уменьшилась с 1980 года по 2012 год в 2,2 раза. При этом сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (см. рис. 3а).

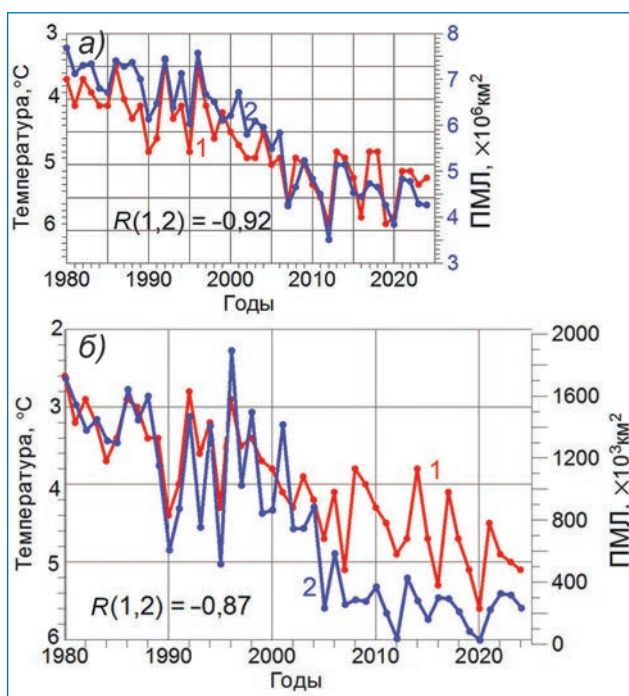


Рис. 3. Площадь, занятая морским льдом в сентябре (2), и летняя температура воздуха (1) на акватории Северного Ледовитого океана (а) и морей Северного морского пути (б) в 1980–2024 годах.

На акватории арктических морей, по которым проходит СМП, площадь, занятая льдом в сентябре (см. рис. 3б), сокращалась с 1996 года вместе с ростом летней температуры воздуха и за десять лет уменьшилась в восемь раз, с 1892 тыс. км² до 234 тыс. км². В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км² в 2020 году. Зимой сокращение площади морского ледяного покрова много меньше, чем летом. От максимума в марте 1982 года до минимума в марте 2016 года сокращение составило 9 % в СЛО и около 1 % в морях СМП.

Индикатором влияния температуры воздуха на состояние ледяного покрова в морской Арктике, помимо температуры воздуха в летние месяцы (рис. 3), служит температура воздуха в холодную половину года, с октября по апрель, или сумма градусо-дней мороза (СГДМ) за эти месяцы. СГДМ характеризует условия нарастания льда, влияние которых сказывается в период летнего уменьшения ледовитости морей с июля по сентябрь и на состоянии льда перед началом замерзания в октябре (рис. 4).

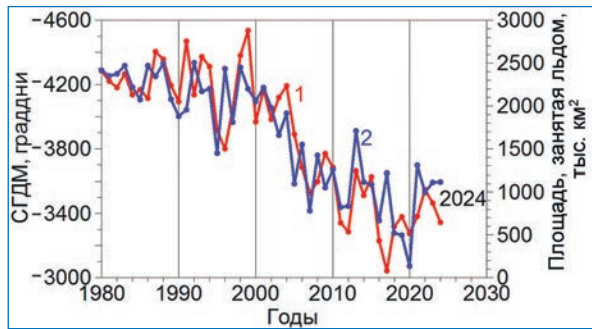


Рис. 4. СГДМ (1) и площадь, занятая льдом (2), в октябре в морях СМП

Влияние из низких широт на Арктику

Потепление в Арктике развивается под влиянием роста притока тепла и влаги из более низких широт. На переносы влияют аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в низких широтах, где запасается основная часть притока тепла от Солнца. Наибольшее влияние оказывают аномалии ТПО в тропической Северной Атлантике (рис. 5).

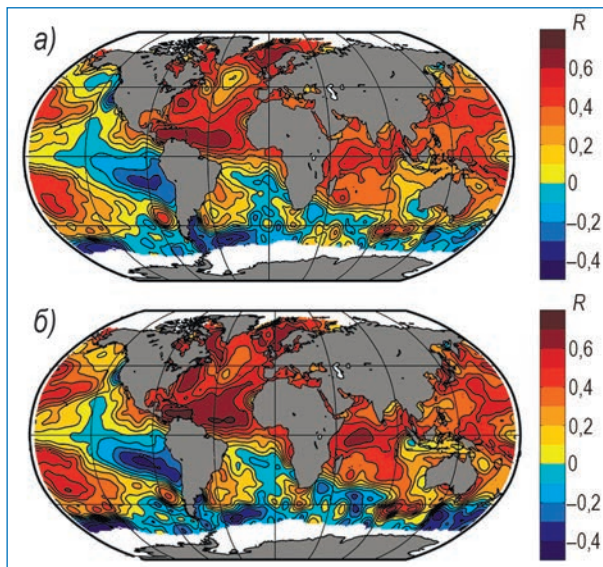


Рис. 5. Коэффициенты корреляции между аномалиями температуры поверхности океана в октябре и средними сезонными аномалиями ПТВ в Арктике (70–87,5° с. ш.) летом (а) и осенью (б) с трехлетним запаздыванием аномалий в Арктике

При повышении температуры верхнего слоя океана растет уровень океана, поэтому можно ожидать связь аномалий температуры воздуха в высоких широтах с аномалиями уровня океана. Для исследования связи выбраны пункты наблюдений за уровнем океана в областях тропической Атлантики (пункт Ки-Уэст (Флорида)) и индо-тихоокеанских тропиков (пункт Манила (Филиппины)). В таблице приведены коэффициенты корреляции и запаздывания аномалий температуры относительно аномалий ТПО и уровня океана (в годах).

Таблица

Корреляция аномалий температуры поверхности и уровня океана с приповерхностной температурой воздуха в Арктике с учетом запаздывания аномалий ПТВ

Аномалия океана	70–87,5° с. ш. Арктика	ПТВ Зап. Арктика, 70–87,5° с. ш., 20–120° в. д.
ТПО Сев. Атлантика октябрь	0,74 (+4) осень	0,70 (+3) лето
Уровень, Ки-Уэст, осень	0,77 (+4) осень	0,68 (+2) осень
Уровень, Манила, осень	0,84 (+6) осень	0,76 (+5) осень
Аномалия океана	ПТВ Вост. Арктика, 70–87,5° с. ш., 120–180° в. д.	Период, годы Источник данных
ТПО Сев. Атлантика октябрь	0,66 (+3) осень	1979–2022 HadISST, NCEP
Уровень, Ки-Уэст, осень	0,77 (+3) осень	1948–2022, PMSL, NCEP
Уровень, Манила, осень	0,83 (+6) осень	1979–2022 PMSL, NCEP

Примечание. В скобках — запаздывание аномалий ПТВ относительно аномалий ТПО и уровня (в годах)

Довольно высокие коэффициенты корреляции в таблице и запаздывания аномалий ПТВ относительно аномалий в океане позволяют рассмотреть аномалии ПТВ и уровня как предикторы прогностического уравнения регрессии. Заметим, что коэффициенты корреляции между аномалиями ТПО и уровня ниже, чем между ними и аномалиями ПТВ, что позволяет использовать оба предиктора в одном уравнении. Подобное уравнение построено для ПТВ осенью в морях СМП как уравнение регрессии с предикторами ТПО в тропической Северной Атлантике и уровнем океана. Уравнение и оценки опытного прогностического расчета по данным за 1950–2022 годы:

$$T_{\text{СМП}}(g_{iv}) = 2,2844t_{na}(g_{iv} - 4) + 0,0042H_m(g_{iv} - 5) - 38,0865,$$

где $T_{\text{СМП}}$ — средняя ПТВ в сентябре–ноябре в морях СМП (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря) по данным 21 метеостанции на побережье и островах за 1955–2027 годы; t_{na} — аномалия средней температуры поверхности океана в области тропической Северной Атлантики (5,5–23,5° с. ш., 15–57,5° с. ш.) осенью за 1951–2023 годы; H_m — средний за сентябрь–ноябрь уровень океана в п. Манила (14,5° с. ш., 120,97° в. д.) за 1950–2022 годы; g_{iv} — год.

Характеристики уравнения: $R = 0,81$ — коэффициент множественной регрессии; $A = 74\%$ — оправдываемость; $E = 20\%$ — эффективность прогностического уравнения на обучающей выборке 1950–2022 годов. На рис. 6 показаны расчетные и фактические значения ПТВ.

Из расчетов, как показывает рис. 6, следует, что аномальное значение ТПО и уровня океана в тропиках может проявиться в осенней температуре воздуха на трассе СМП к 2027 году.

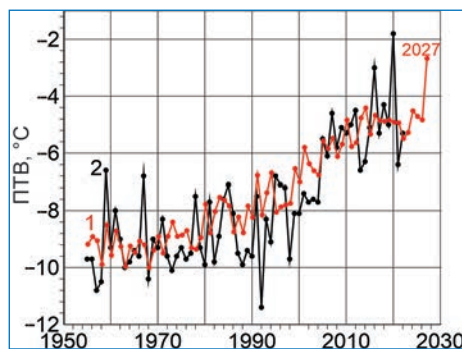


Рис. 6. Расчет (красная линия) и фактические значения (черная линия) средней температуры воздуха осенью в морях СМП

В заключение остановимся на климатическом парадоксе — отсутствии аномалии температуры воздуха в Арктике при аномалии глобальной температуры вопреки закону арктического усиления. Причина связана с происхождением глобальной аномалии температуры 2023 года, продолжившейся и в 2024 году. Вначале аномалии проявились в температуре поверхности океана

(ТПО) в тропиках, превысившей обычные отклонения от средней температуры в 3 раза под влиянием необычно высокой светимости Солнца в эти годы, более чем в два раза превышавшей стандартные отклонения от средней светимости. Под влиянием резко повысившейся температуры поверхности океана сформировалась аномалия температуры воздуха, распространившаяся почти до умеренных широт (см. рис. 1). В соответствии с влиянием аномалий ТПО в низких широтах, достигающим Арктики через 3 года, аномалия температуры воздуха проявится здесь в 2026–2027 годах. О развитии аномалии 2023–2024 годов можно прочесть в Докладе «Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год» в разделе «6. Северная полярная область». Другим следствием рассмотренного парадокса является заключение о необходимости внимательнее относиться к воздействиям Солнца на аномалии климата, которые не могут найти объяснения в антропогенном влиянии.

*Г.В. Алексеев, Н.Е. Иванов, Н.Е. Харланенкова,
Н.И. Глок (АНИИ)*

ОБ ОЦЕНКЕ УЯЗВИМОСТИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В АРКТИКЕ

Освоение и развитие Российской Арктики является одним из приоритетных направлений социального и экономического развития страны, обеспечения ее национальной безопасности и защиты своих суверенных прав. Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) имеет площадь более 9 млн кв. км, в этом регионе проживают около 2,4 млн человек (1,6 % от населения страны). Здесь создается более 10 % валового внутреннего продукта Российской Федерации (РФ) и обеспечивается более 20 % общероссийского экспорта. Российская Арктика обладает уникальной транспортной сетью с портами, расположенными в непосредственной близости к перспективным месторождениям нефти и газа на шельфе и к рынкам Европы и Америки. Правительство РФ в лице Минвостокразвития реализует на территории АЗРФ масштабные инфраструктурные и социальные проекты, требующие огромных материальных, людских и технологических ресурсов и, что очень важно, соответствующего климатического обслуживания.

Следует отметить, что природные, климатические, экономические и демографические условия АЗРФ делают ее уникальным регионом, имеющим существенные отличия от других регионов нашей страны. К числу отличительных особенностей АЗРФ относятся экстремальные природно-климатические условия, постоянный ледяной покров и дрейфующие льды в арктических морях, очаговый характер экономической деятельности и хозяйственного освоения территорий, низкая плотность населения, высокая ресурсоемкость и зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива, продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов России, удаленность от основных промышленных центров страны. Для региональных природно-климатических условий характерны низкий радиационный баланс, близкие к 0 °C средние приповерхностные температуры воздуха

(ПТВ) летних месяцев при отрицательной среднегодовой температуре, наличие ледников и многолетнемерзлых пород, преобладание тундровой растительности и арктических пустынь. Суровые климатические условия Арктики естественным образом не способствуют успешному экономическому развитию региона, освоению обнаруженных больших запасов минеральных ресурсов и формированию соответствующей инфраструктуры. Однако современное изменение климата, демонстрирующее в последние десятилетия беспрецедентные масштабы и темпы, в планетарном масштабе крайне неоднородно, и его проявления варьируются от региона к региону. Арктика в этом отношении также является уникальной: здесь темпы роста ПТВ примерно в четыре раза превышают общемировые показатели. Количество и интенсивность осадков, характеристики снежного покрова и морского льда (его толщина и площадь), интенсивность таяния вечной мерзлоты также демонстрируют быстрые и широкомасштабные изменения. Для АЗРФ характерен рост повторяемости и интенсивности событий, связанных с быстрой потерей морского льда, таянием континентального ледяного покрова, сильными осадками, затоплением внутренних водоемов, прибрежной эрозией и лесными пожарами. Происходит увеличение случаев с экстремально высокими температурами и снижение числа случаев экстремально холода. Холодные периоды, длящиеся более 15 дней, почти полностью исчезли в Арктике с 2000 года. Потепление Арктики может благоприятно повлиять на экономическое развитие региона. Согласно имеющимся оценкам, одним из секторов с большим потенциалом является Северный морской путь (СМП). Суммарный положительный эффект от развития СМП вследствие таяния льдов, вызванного потеплением, оценивается в более чем 500 млрд руб.

Происходящие под влиянием изменения климата преобразования в Арктике воздействуют на живую и не-