

## МОНИТОРИНГ КЛИМАТА АРКТИКИ В 2022 ГОДУ

Современное потепление в Арктике развивается параллельно с глобальным и полушарным потеплением, максимум которых был отмечен в 2020 году. В последующие два года средняя годовая температура остается ниже этой отметки. Изменения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) в Арктике определяются по данным метеорологических станций (рис. 1), наблюдения на которых начались в разные годы.

В период с 1901 по 1951 год большая часть станций находилась в приатлантической Арктике и на прилегающей территории к северу от 60° с. ш. Изменения ПТВ на этих станциях отражают влияние Атлантического многолетнего колебания (рис. 2). Максимальная температура зимой отмечена в 2020 году, а летом — в 2016 году.

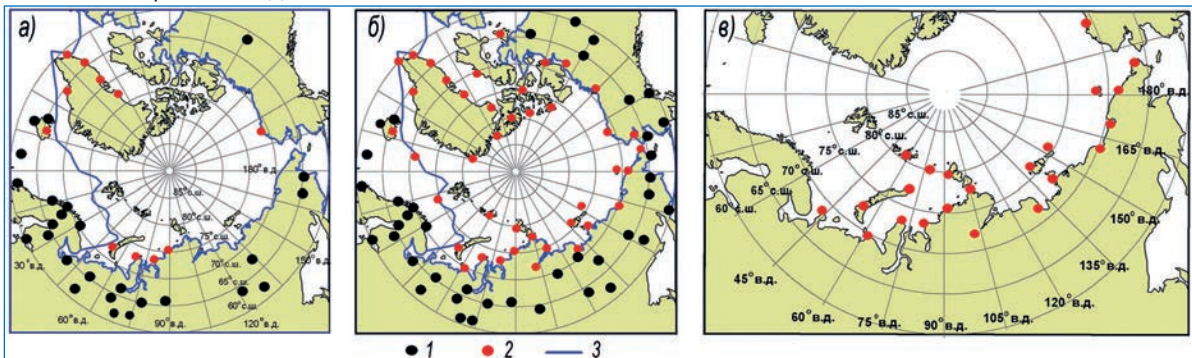


Рис. 1. Метеостанции, работающие с 1901 года (а), с 1951 года (б), станции в районе трассы Северного морского пути с 1952 года (в). 1, 2 — метеостанции в Арктике к северу от 60° с. ш., 2 — станции в морской Арктике, 3 — зимняя граница морского льда

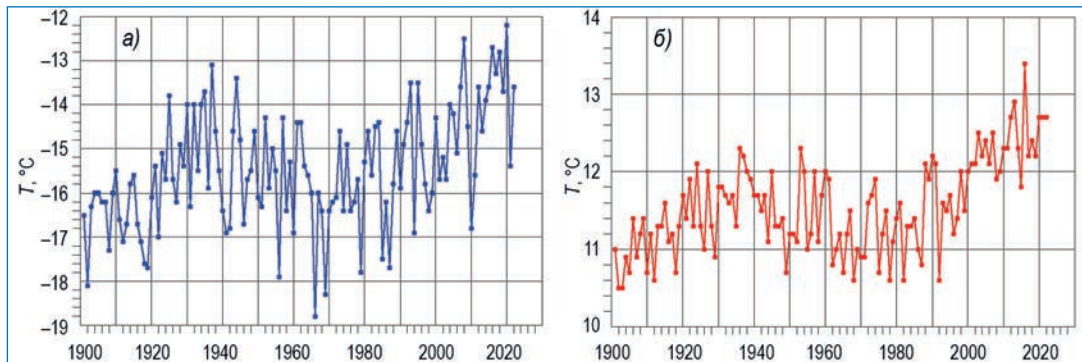


Рис. 2. ПТВ зимой (а) и летом (б) по данным 32 станций к северу от 60° с. ш.

Начало современного потепления на рис. 2 приходится на 1990-е годы. Более точно начало потепления в конце 1990-х годов видно по большему числу метео-

станций, действующих с 1951 года (рис. 3). Зимой после максимума 2016–2018 годов наметилось понижение температуры, а летом — остановка ее роста.

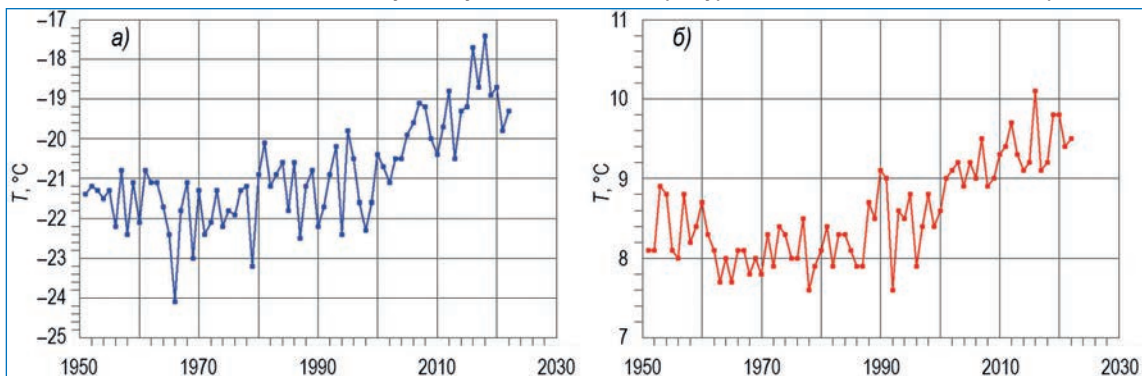


Рис. 3. ПТВ зимой (а) и летом (б) к северу от 60° с. ш. по данным 81 станции

В морской Арктике (рис. 1б) приповерхностная температура воздуха также начала повышаться во второй половине 1990-х годов (зимой — с 1998 года, а летом —

с 1996 года, согласно рис. 4). Зимний максимум также пришелся на 2016–2018 годы, а летом повышение ПТВ сменилось 3–4-летними колебаниями.

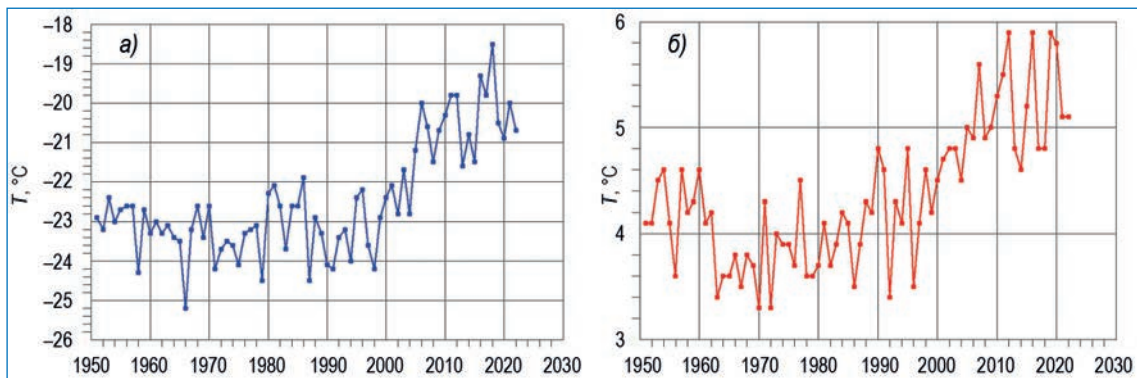


Рис. 4. ПТВ зимой (а) и летом (б) в морской Арктике по данным 41 станции

На акватории арктических морей, по которым проходит Северный морской путь (СМП), изменения температуры воздуха определены по данным 24 метеостанций, расположенных на побережье и островах (рис. 1в). Здесь наряду с большей межгодовой измен-

чивостью ПТВ отмечаются те же особенности, что и во всей морской Арктике. Начало потепления также приходится на 1998 год зимой и на 1996 год летом с абсолютным летним максимумом в 2020 году и зимним в 2018 году (рис. 5).

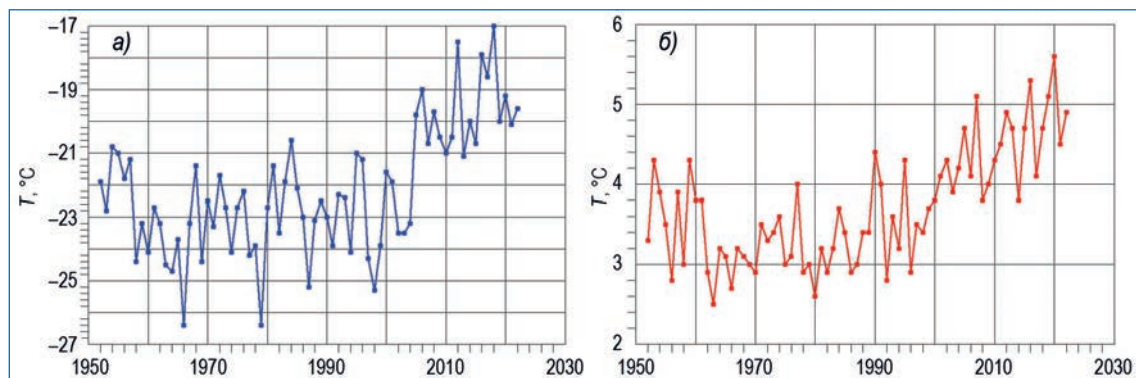


Рис. 5. ПТВ зимой (а) и летом (б) на акватории морей СМП по данным 24 станций, расположенных на островах и берегах морей

Тренды ПТВ в морской Арктике и в районе СМП за 1989–2020 годы представлены на рис. 6. Сезонные изменения трендов над рассматриваемыми районами морской Арктики показывают минимум в июле и максимум в ноябре. Увеличение тренда в апреле после спада от января к марту связано с началом радиационного прогрева при отсутствии таяния снега и льда, а уменьшение в мае–июле — с интенсивным таянием снега и льда и прогревом освобождающейся ото льда воды. Последующий рост трендов указывает на растущее влияние поступления тепла из океана, достигающее максимума в октябре–ноябре.

Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морского льда (рис. 7). Тренды ледовитости (площадь, занятая морским льдом) во все месяцы отрицательны, кроме отдельных незначимых, близких к нулю трендов в арктических морях с февраля по апрель. Минимальные по абсолютной величине тренды приходятся на апрель, а максимальные — на октябрь. Рост трендов с мая по июль противоположен уменьшению трендов температуры в эти месяцы, что подтверждает охлаждающее влияние растущего таяния снега и льда и прогрева воды в эти месяцы.

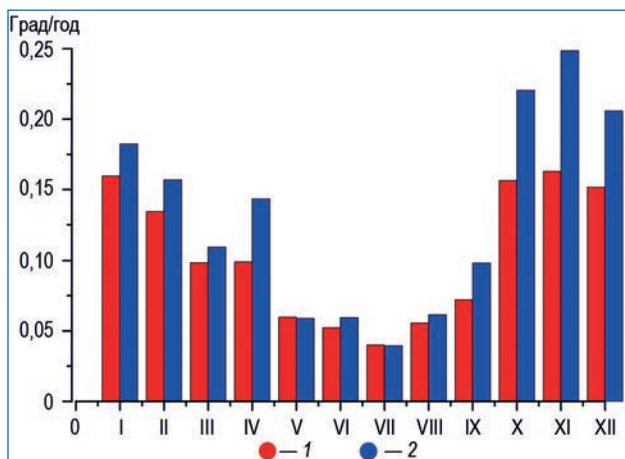


Рис. 6. Тренды среднемесячной температуры воздуха в морской Арктике за 1989–2020 годы. 1 — Северный Ледовитый океан; 2 — моря СМП (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское)

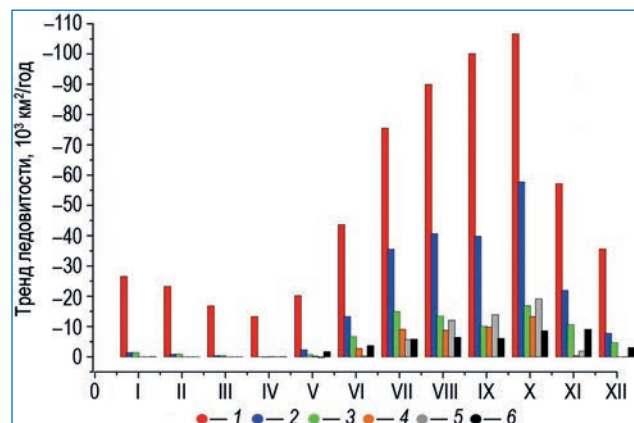


Рис. 7. Тренды ледовитости в Северном Ледовитом океане и в арктических морях СМП за 1989–2020 годы. 1 — Северный Ледовитый океан; 2 — моря СМП (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское); 3 — Карское море; 4 — море Лаптевых; 5 — Восточно-Сибирское море; 6 — Чукотское море

Зимой сокращение ледовитости в СЛО, в отличие от изменения температуры воздуха, меньше, чем летом. Сокращение от максимума 1982 года до минимума в 2016 году зимой составило 9 %, а летом от максимума 1980 года до минимума 2012 года — 54 %. При этом лет-

нее сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (коэффициент корреляции 0,93, рис. 8). В 2022 году летняя температура воздуха в морской Арктике была ниже на 0,7 °С относительно 2020 года, а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26 %.

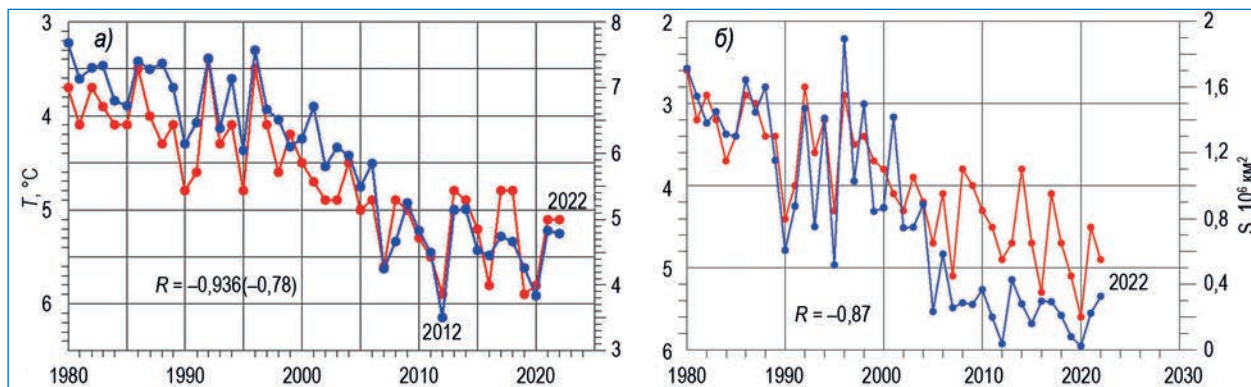


Рис. 8. Площадь, занятая морским льдом в сентябре и температура воздуха летом в Северном Ледовитом океане (а) и в морях СМП в сентябре (б). Шкала температуры перевернута.  $R$  — коэффициент корреляции между температурой и ледовитостью, в скобках между отклонениями от тренда

Еще заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории сибирских арктических морей (Карское–Чукотское моря), по которым проходит СМП. Данные метеорологических станций на побережье и островах морей показывают повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 год почти на 10 °С, а летней —

почти на 3 °С (рис. 5). Значительно сократилась сумма градусо-дней мороза, отражающая разрастание ледяного покрова на акватории морей в холодную часть года с октября по апрель, влияющее на последующее летнее таяние и сокращение площади морских льдов (рис. 9).

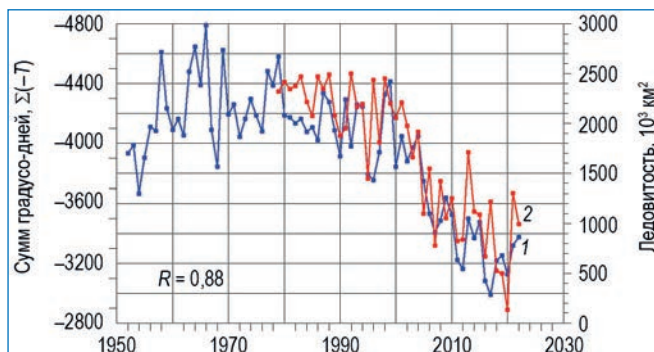


Рис. 9. Сумма градусо-дней мороза за октябрь–апрель по данным о средней ПТВ на 24 станциях на побережье и островах морей СМП (1) и ледовитость морей СМП в октябре 1979–2022 годов (2).  $R$  — коэффициент корреляции между (1) и (2)

Площадь, занятая морским льдом на акватории морей в конце летнего сезона, в сентябре, быстро сокращалась с 1996 года и за десять лет, к 2005 году, уменьшилась более чем в три раза — с 1892 до 234 тыс. км<sup>2</sup>. В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. км<sup>2</sup> в 2016 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. км<sup>2</sup>). С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, сплоченность и толщина которых достигают максимума в апреле.

К факторам, влияющим на потепление в Арктике, относятся: приток тепла, водяного пара и увеличение нисходящей длинноволновой радиации в морской Арктике, которое замедляет нарастание морского льда зимой. Индикаторами являются общее содержание водяного пара в атмосфере, нисходящее тепловое излучение на поверхности и сумма градусо-дней мороза на поверхности, которые тесно связаны друг с другом и с параметрами ледяного покрова. Более 50 % межгодовой изменчивости максимального объема льда связано с изменениями нисходящей длинноволновой радиации, зависящей от температуры воздуха и со-

держания водяного пара в атмосфере, подверженных влиянию притоков из низких широт. Это второй фактор, управляемый атмосферной циркуляцией, которая является основной причиной усиления изменчивости и трендов температуры воздуха в высоких широтах Северного полушария.

Третий фактор — повышение температуры поверхности океана (ТПО) в низких широтах. Изменения ТПО в тропической Северной Атлантике и ледовитость СЛО и на СМП в сентябре связаны с запаздыванием ледовитости на 4 года. Рассчитанные климатические параметры, индикаторы и индексы занесены на сайт ААНИИ в раздел Мониторинг климата Арктики вместе с публикациями результатов мониторинга и причин наблюдаемых климатических изменений.

*Г.В. Алексеев, Н.Е. Иванов,  
А.Е. Вязилова, В.Ф. Радионов,  
В.М. Смоляницкий (ААНИИ)*