

уменьшения этого шума применяется сглаживание изображения по полосам обзора и их границам: удаление флуктуаций яркости в направлении по азимуту и дальности по методике, предложенной Европейским космическим агентством (ЕКА). Из значений интенсивности сигнала вычитаются значения шума, предоставляемые во вспомогательных метаданных для каждого РСА-снимка. Это улучшает качество изображения, но в полосе EW1 сохраняется значительный остаточный шум. Информация о границах диапазонов EW1–EW5 извлекается из вспомогательных метаданных снимка. По стандартному алгоритму шумоподавления ЕКА, значения σ на HV-поляризации с фиксированными шагами пикселей извлекаются в направлении по дальности РСА-изображений для EW1 и EW2 + EW3. Затем отношения для каждой пары (EW1 против EW2 + EW3) вычисляются и усредняются. Этот динамический усредненный коэффициент применяется для коррекции значений σ полосы EW1.

Процедура подавления шума существенно влияет на значения обратного рассеяния начальных видов льда / темного ниласа и особенно невзволнованной водной поверхности, создавая отрицательные значения, поэтому в анализ включают минимально допустимый уровень шума. Затем спекл-шум изображения уменьшается с помощью применения фильтра Гаусса. На этом этапе также применяется маскирование областей суши, которые в дальнейших расчетах не участвуют. Значения УЭПР в дБ для обоих каналов нормируются в заданном диапазоне. Диапазон определяется непосредственно по РСА-снимкам, выбранным для дальнейшего обучения алгоритма, путем построения гистограмм распределения значений УЭПР для каждого снимка и выбора минимального и максимального значения УЭПР по средним минимумам и максимумам всех снимков.

Примеры использования радиолокационных данных для обнаружения НСЛ

В ноябре 2021 года из-за ранних сроков образования ледяного покрова в ледовый плен на трассе СМП попали более 20 судов. РСА-изображения Sentinel-1 были использованы для обнаружения НСЛ, которые могли бы быть рекомендованы судоводителям для вывода судов из районов тяжелой ледовой обстановки, не прибегая к ледокольной проводке.

Классифицированные снимки (рис. 2) иллюстрируют тяжелую ледовую обстановку, сложившуюся в этом районе СМП в конце ноября. Практически вся акватория уже покрыта льдом, пространства чистой воды и разводий занимают крайне малый процент, безледокольная проводка судов не реальна. Снимок от 1 декабря, классифицированный методом НС, показал, что тяжелые ледовые условия сохраняются, транспортные суда не имеют возможности самостоятельно продолжить движение.



Рис. 2. Композиция трех классифицированных РСА-изображений Sentinel-1 от 27.11.2021 года, Карское море и море Лаптевых. Точками обозначено положение судов, оказавшихся в ледовом плену. Цвета: зеленый — лед, синий — разрывы, заполненные водой или начальными видами льда

Приведенный пример подчеркивает важность организации в период ледообразования спутникового радиолокационного мониторинга акватории СМП на ежесуточной основе. Реализации такого плана мешает пока отсутствие в РФ собственных радиолокационных спутников природо-ресурсного назначения. Вместе с тем хорошие перспективы для мониторинга нарушений сплошности ледяного покрова связаны в РФ с эксплуатацией КА «Арктика-М», запущенного на высокоэллиптическую орбиту в феврале 2021 года «Арктика-М» позволяет обеспечить в течение суток многократную съемку одного и того же участка российской Арктики в оптическом диапазоне, что даст возможность построения композитных карт ледяного покрова за одни сутки по большей акватории, открытой от облачности (с учетом облачной динамики). Также повысится точность построения полей скорости льда, картирования разрывов, прогноза зон сжатия ледяного покрова, учитывая высокую скорость изменчивости процессов сжатия.

Выводы

Построенные в автоматизированном режиме по спутниковым данным детальные ледовые карты с нанесенными нарушениями сплошности (разводьями, трещинами, полыньями) могут быть задействованы в оперативном режиме, в частности для прокладки маршрутов судов во время проводок.

Спутниковые карты НСЛ могут использоваться для верификации методик прогнозирования НСЛ.

Наличие оперативных спутниковых данных о реальной ледовой обстановке и прогностической информации о НСЛ позволит существенно повысить эффективность плавания по СМП.

*В.Г. Смирнов, И.А. Бычкова,
Н.Ю. Захваткина (АНИИ)*

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА АРКТИКИ В 2021 ГОДУ

Изменения климата в Арктике привлекают особое внимание в связи с усилением здесь глобального потепления и таянием морских льдов. В слежении за изменениями важная роль принадлежит наблюдениям на метеорологических станциях, большая часть которых поддерживается Росгидрометом. При оценке температуры в Арктике обычно относят область севернее 60° с. ш. Акватория Северного Ледовитого океана с мор-

ским льдом на поверхности занимает область севернее 70° с.ш., поэтому мы оцениваем температуру и в этой области, а также в области максимального распространения морского льда (морская Арктика).

Температуры воздуха в северной полярной области (СПО) и в арктических морях по данным 250 метеорологических станций (рис. 1) понизилась по сравнению с 2020 годом, и 2021 год оказался среди не самых теплых

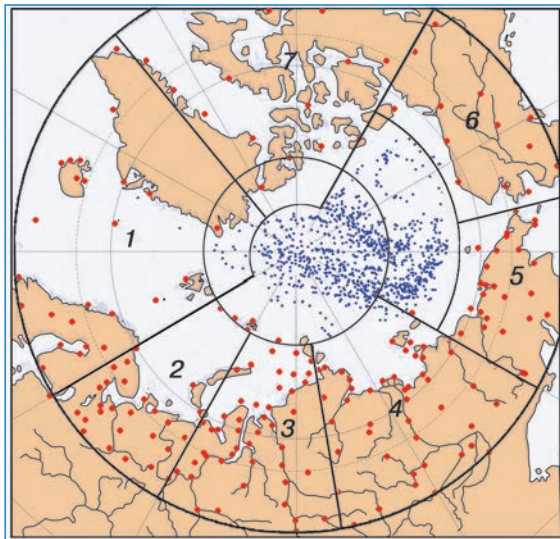


Рис. 1. Сеть метеорологических станций (красные точки), дрейфующих станций и буев (синие точки) в СПО и границы климатических районов: 1 — Атлантический; 2 — Североευропейский; 3 — Западносибирский; 4 — Восточносибирский; 5 — Чукотский; 6 — Аляскинский; 7 — Канадский

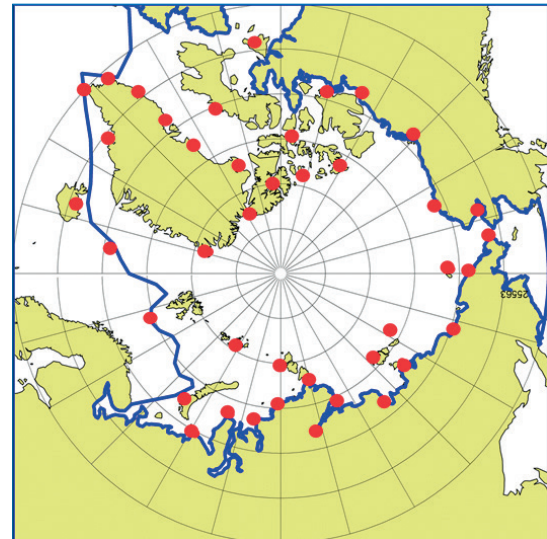


Рис. 2. Морская Арктика.

Красные точки — метеорологические станции, синяя линия — граница зимнего распространения морского льда

лет (табл. 1) за период с 1936 года. Заметим, что в 2021 году средняя температура на земном шаре и в Северном полушарии также понизилась.

Таблица 1

Аномалии температуры воздуха (отклонение от нормы за 1961—1990 годы) на территории СПО и отдельных широтных зон в среднем за сезоны 2021 года, °С

Широтная зона, ° с. ш.	Зима		Весна		Лето	
	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг	Аномалия	Ранг
70—85	3,6	4	2,7	9	1,2	7
60—70	0,0	26	1,8	11	1,5	4
60—85	1,6	12	2,3	8	1,4	5

В районах арктических морей и на территории суши севернее 70° с. ш. зимой 2020/21 года отмечались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха. Весной в районах арктических морей наблюдались только положительные аномалии температуры. Наиболее высокие значения положительных аномалий обнаруживались в районе Карского моря. Летом наиболее высокая температура воздуха (аномалия +2,9 °С) отмечена в Восточной Сибири, которая оказалась самой высокой с 1936 года. В районах арктических морей в течение 1936–2021 годов основное повышение температуры зимой отмечается в районах Чукотского моря и моря Бофорта. Линейный тренд здесь составляют 3,18 и 4,30 °С за 86 лет. Весной рост температуры в районах морей Карского и Чукотского составил около 3,27 °С за 86 лет.

В многолетних изменениях сезонных сумм осадков в СПО наблюдается статистически значимое увеличение со средней скоростью около 3,17 мм/10 лет в холодном сезоне 1936–2021 годов. При этом рост осадков преимущественно отмечается в Атлантическом секторе и на востоке Канадского. В теплом сезоне в большинстве районов присутствует тренд к уменьшению осадков.

Морская Арктика

Особый интерес представляют изменения температуры воздуха над областью морской Арктики, включающей покрытую льдами в зимний период акваторию Северного Ледовитого океана (рис. 2). Изменения тем-

пературы в этой области влияют в первую очередь на зимнее разрастание и летнее таяние морского ледяного покрова. Для оценки изменений термического влияния на ледяной покров выбраны данные 41 станции на островах и побережье Северного Ледовитого океана, откуда начинается летнее отступление морских арктических льдов.

На рис. 3 показаны средние за зиму и лето значения приповерхностной температуры воздуха (ПТВ) на станциях в морской Арктике с 1951 по 2021 год. С середины 1990-х годов по 2020 год температура повысилась зимой более чем на 4 °С, а летом — почти на 2,5 °С. После 2019 года ПТВ зимой понизилась к 2021 году на 2 °С. Летом понижение ПТВ в эти годы составило 0,7 °С.

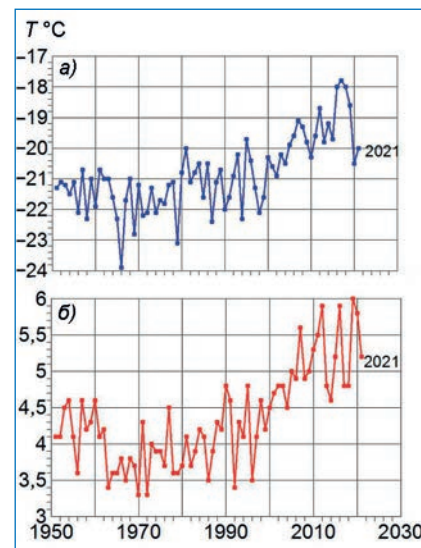


Рис. 3. Средняя за декабрь—февраль (а) и за июнь—август (б) приповерхностная температура воздуха на 41 станции в морской Арктике в 1951–2021 годах

Замедление роста ПТВ и начало понижения более очевидно в изменениях средней по 7 ПТВ на 7 станциях с началом наблюдений в 1901 году (рис. 4). Эти изменения объясняются наложением колебания с периодом около 70 лет на положительный тренд глобального потепления.

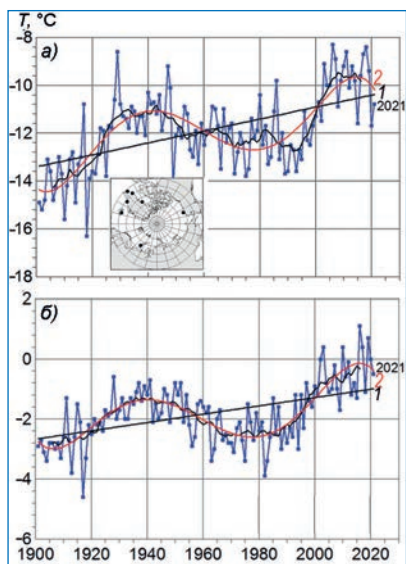


Рис. 4. Температура воздуха зимой (а) и летом (б) в 1901—2021 годах на 7 станциях (на врезке) в морской Арктике. 1 — скользящее осреднение за 11 лет; 2 — полином 5-й степени

Потепление в морской Арктике сопровождается сокращением площади морского льда (рис. 5).

Зимой сокращение площади морского льда, в отличие от изменения температуры воздуха, меньше, чем летом: зимой сокращение от максимума 1982 года до минимума в 2016 году составило 9 %, а летом — от максимума 1980 года до минимума 2012 года 54 %. При этом летнее сокращение тесно связано с ростом летней температуры воздуха (коэффициент корреляции 0,93, рис. 5). В 2021 летняя температура воздуха в морской Арктике понизилась на 0,7 °С относительно 2020 года, а площадь, занятая льдом в сентябре, выросла на 26 %.

Еще заметнее потеплело в 2010-е годы на акватории сибирских арктических морей (Карское — Чукотское моря), по которым проходит Северный морской путь. Данные метеорологических станций на побережье и островах морей (рис. 6) показывают повышение зимней температуры воздуха с 1970-х годов по 2016 году почти на 10 °С, а летней почти на 3 °С (рис. 7).

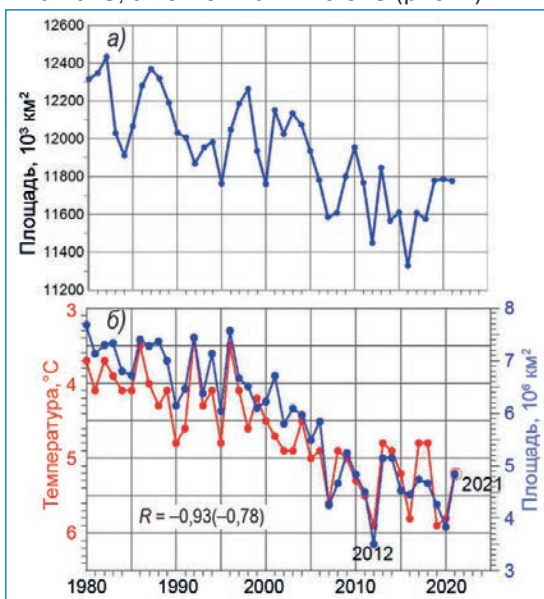


Рис. 5. Площадь, занятая морским льдом в Северном Ледовитом океане в марте (а) и в сентябре (б). Красным нанесена летняя температура воздуха в морской Арктике. R — коэффициент корреляции между температурой и площадью льда, в скобках между отклонениями от тренда

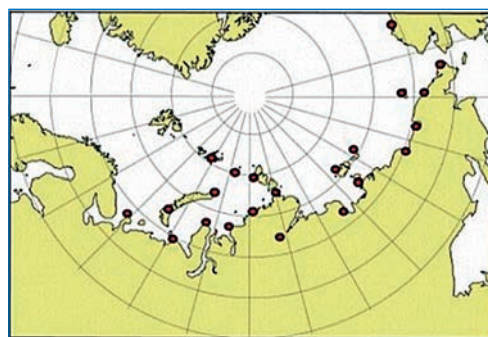


Рис. 6. Метеорологические станции на побережье и островах арктических морей, через которые проходит Северный морской путь

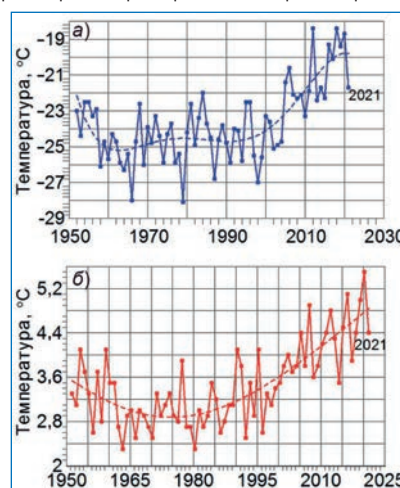


Рис. 7. Температура воздуха на акватории сибирских арктических морей зимой (а) и летом (б) в 1951—2021 годах. Пунктир — полином 5-й степени

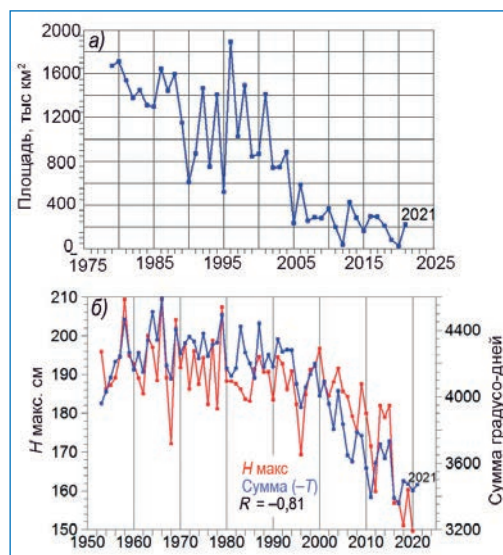


Рис. 8. Морской лед на акватории сибирских арктических морей, через которые проходит Северный морской путь. а — площадь, занятая морским льдом в сентябре; б — сумма градусо-дней и максимальная толщина припайного льда (в апреле) на метеорологических станциях на побережье и островах морей.

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 восемь раз — с 1892 до 234 тыс. кв. км. В последующие годы площадь льда колебалась вблизи этого уровня с минимальным значением 26,3 тыс. кв. км в 2020 году, превысившим предшествующий минимум 2012 года (37 тыс. кв. км). В 2021 году площадь льда возросла до 222,7 тыс. кв. км (рис. 8а).

С ноября по июнь моря покрываются сплоченными льдами, концентрация и толщина которых достигает максимума в апреле. Индикатором роста толщины льда в морях служит сумма градусо-дней мороза (сумма отрицательных температур воздуха с октября по апрель), которая тесно связана (коэффициент корреляции 0,81) со средней толщиной припайного льда на этих же станциях (рис. 8б).

Таким образом, основная особенность климата Арктики в 2021 году — замедление или даже приостановка потепления и сохранение с 2007 года летней площади морского льда в арктических морях на уровне около 200 тыс. кв. км после быстрого сокращения с 2001 года.

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

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ЭКСПЕДИЦИИ NABOS-2021 НА НЭС «АКАДЕМИК ТРЁШНИКОВ»

Основная информация об экспедиции NABOS-2021 (Nansen and Amundsen Basins Observational System) была представлена в статье «Экспедиция NABOS-2021 на НЭС «Академик Трёшников» в четвертом выпуске Информационно-аналитического сборника «Российские полярные исследования» за 2021 год. В данной статье приведена краткая информация об основных результатах океанографических, гидрохимических и ледоисследовательских работ, выполненных в ходе экспедиции.

Районом исследований являлась северная часть морей Лаптевых и Восточно-Сибирского и примыкающие к ним районы котловин Нансена, Амундсена и Макарова Арктического бассейна СЛО. Запланированный маршрут был ограничен с юга исключительной экономической зоной Российской Федерации (рис. 1, врезка), а впоследствии дополнительно скорректирован в соответствии с ледовой обстановкой (рис. 1).

Целью океанографических и гидрохимических работ являлось исследование механизмов трансформации атлантических вод (АВ), поверхностного слоя и галоклина и оценка пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик и их роли в формировании современных климатических из-

менений. Наиболее интересным среди прочих оказывается квазиширотный разрез, состоящий из разрезов № 2, № 3 и № 4 (42 CTD-станции из 103 выполненных), поскольку он охватывает значительную часть района исследований и отражает основные особенности распределения океанографических параметров изучаемого региона. Выполненный вдоль континентального склона от 126° до 180° в. д., он идет через южную оконечность хребта Ломоносова до хребта Менделеева (рис. 2).

Поверхностный слой западной части разреза до хребта Ломоносова характеризовался положительными значениями температуры, что обусловлено радиационным прогревом в летний период. Значения температуры в нем постепенно убывают в восточном направлении от 1,9 до 0 °С. Значения солёности изменяются незначительно в пределах 32–33 psu. К востоку от хребта Ломоносова значения температуры составили –1,6...–1,7 °С. Значения солёности на поверхности были меньше 31–31,5 psu. Выклинивание на востоке разреза водной массы с температурой выше –1,6 °С и относительно невысокой солёностью (30–33 psu) на глубинах 20–40 м говорит о наличии здесь вод тихоокеанского происхождения, что подтверждают результаты гидрохимического анализа на

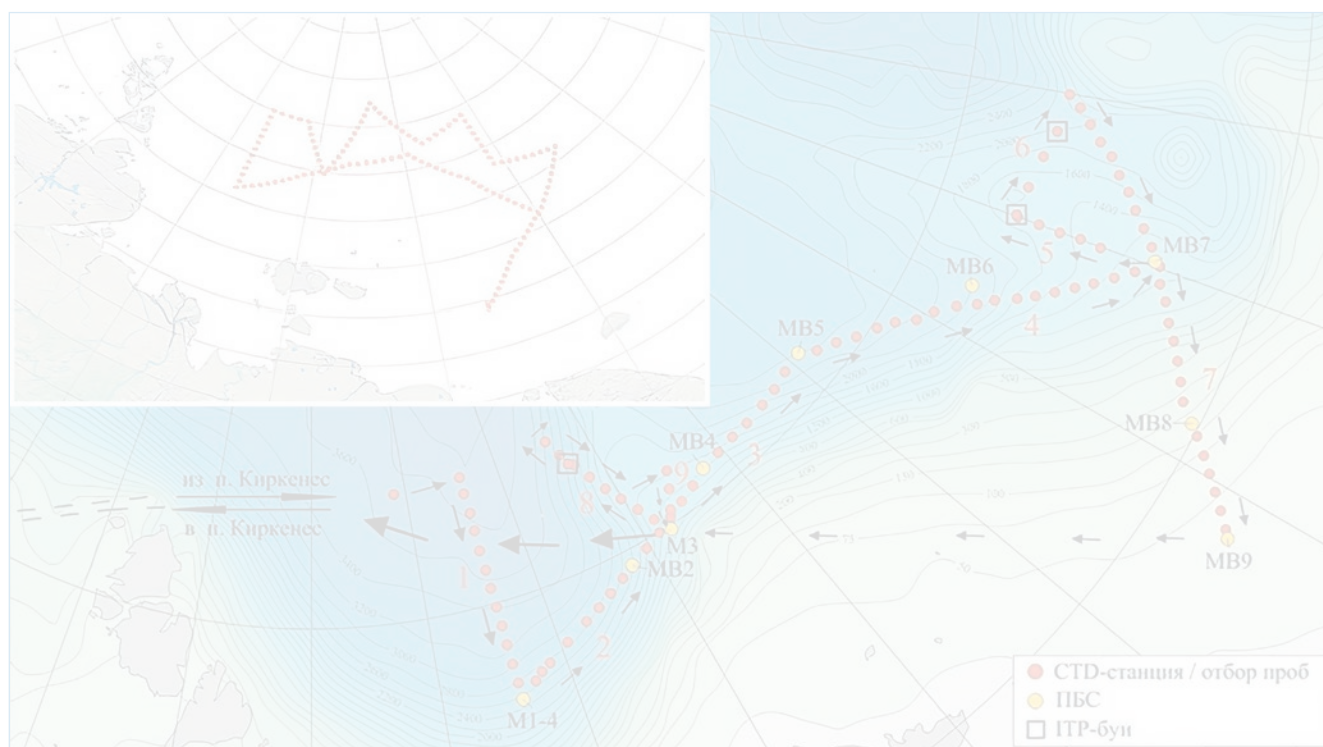


Рис. 1. Запланированный (врезка) и фактический маршрут экспедиции