

цированной циркумполярной глубинной воды. При этом на бровке шельфа и в верхней части склона у дна обнаруживается практически не трансформированная шельфовая вода, формирующая область сильных горизонтальных градиентов, отделяющую ее от наблюдающейся мористее ЦГВ, имеющей на этих глубинах относительно высокую температуру (выше 0,5 °С). Эта область высоких горизонтальных градиентов, именуемая Антарктическим склоновым фронтом, выделяется сложной термохалинной структурой, определяемой значительным количеством интрузий, линз, вихрей, что, благодаря достаточно близкому расположению точек зондирования на разрезе, хорошо выражено на представленных рисунках.

Единичный разрез не позволяет достоверно определить горизонтальные масштабы процессов и образований, но позволяет с известной долей уверенности предполагать, что этот регион может являться еще одним регионом формирования антарктической донной воды и в любом случае вносить свой вклад в вентиляцию циркумполярной глубинной воды. Анализ архивных данных в сопоставлении с данными нашего

разреза позволяет предположить, что более активно процессы формирования АДВ протекают восточнее выполненного разреза, мористее бухты Миловзорова. Учитывая перспективу более частого и длительного пребывания судов ААНИИ в море Моусона в предстоящий период, кажется целесообразным расширить натурные исследования в восточном направлении. В целом первые шаги в новом этапе исследований режима вод района моря Моусона кажутся обнадеживающими и дают возможность надеяться на интересные перспективы в определении роли района в климатически важных процессах.

В завершение с благодарностью отметим, что успешное выполнение океанографических работ на разрезе в малоизученном в гидрографическом плане районе моря Моусона стало возможным благодаря заинтересованному и ответственному отношению к научным исследованиям экипажа судна во главе с О.Г. Калмыковым.

*Н.Н. Антипов, В.П. Бунякин, С.В. Кашин,  
В.Л. Кузнецов, И.А. Чистяков (ААНИИ)*

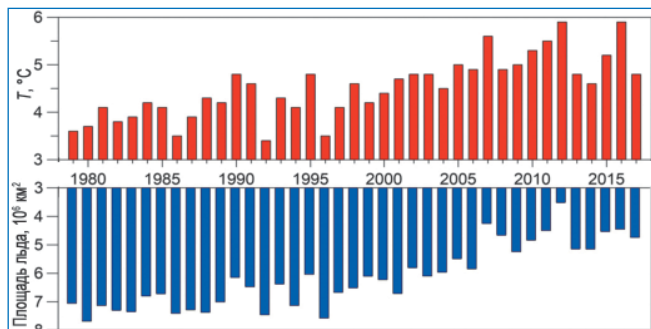
## ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ В АРКТИКЕ

### Мониторинг климатических изменений

Глобальное потепление обычно характеризуют ростом средней по полушарию и по всему земному шару приповерхностной температуры воздуха относительно ее среднего значения. Для Северного полушария и для всего земного шара этот рост в 2016 году составил 1,06 °С и 0,77 °С соответственно, что оказалось самыми высокими значениями с начала наблюдений. В Арктике 2016 год также оказался самым теплым за весь период наблюдений, особенно зимой. Летом средняя температура в 2016 году стала второй в ряду теплых летних сезонов. В 2017 году обе температуры понизились, причем больше летом. В целом в арктических широтах потепление в 3–4 раза больше, чем в среднем по полушарию или земному шару.

Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морских льдов, которая за последние 20 лет уменьшилась в сентябре почти вдвое. В 2012 году был отмечен абсолютный минимум площади льда в сентябре, равный 3,41 млн км<sup>2</sup>. В 2017 году сентябрьский минимум составил 4,64 млн км<sup>2</sup>, что является восьмым значением в ряду минимальных значений за период с 1979 года. Сокращение площади льда в сентябре и повышение летней температуры воздуха находятся в тесном согласии (коэффициент корреляции –0,92), испытывая при этом значительные межгодовые колебания (рис. 1).

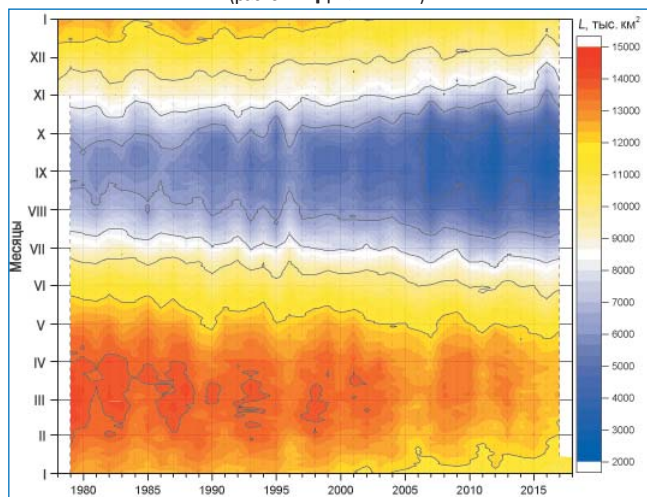
Рис. 1. Средняя температура воздуха летом и площадь льда в сентябре в Северном Ледовитом океане



Сокращение площади льда в форме квазилинейного отрицательного тренда, равно как и в форме уменьшения числа положительных аномалий и увеличения числа отрицательных аномалий, в последние десятилетия характерно в целом для всей северной полярной области и всех сезонов года, что иллюстрирует рис. 2.

Одновременно с сокращением площади льда происходит уменьшение его толщины вследствие исчезновения значительной части многолетних льдов и уменьшения толщины однолетних льдов. Однако данный процесс является следствием как термических (уменьшение сумм градусодней мороза), так и динамических факторов (в основном увеличение скоростей трансарктического дрейфа и выноса льдов в Атлантику и сокращение времени нахождения льдов в круговороте Бофорта). Уменьшение ледовитости и толщин льда в совокупности приводят к уменьшению объемов льда, что иллюстрируется изменчивостью сезонного хода данного параметра по данным диагностической модели морского льда – океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института

Рис. 2. Сезонный ход ежедневной ледовитости северной полярной области по данным наблюдений SSMR-SSM/I-SSMIS, алгоритм NASATEAM (расчет МЦД МЛ ААНИИ)



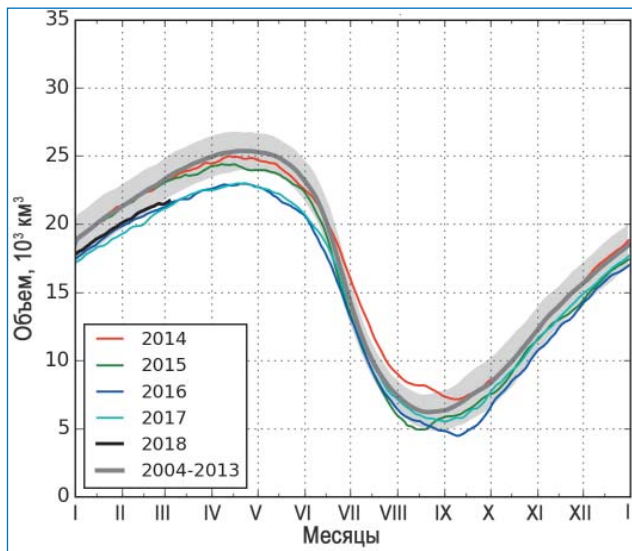


Рис. 3. Ежедневные оценки сезонного хода объема морского льда СЛО на основе расчетов средневзвешенной толщины льда совместной модели морского льда – океана HYCOM/CICE Датского метеорологического института с 1 января 2004 года по 5 марта 2018 года

за период 2004–2018 годов (Madsen K.S., Rasmussen T.A.S., Ribergaard M.H., Ringgaard I.M. High resolution sea ice modelling and validation of the Arctic with focus on south Greenland waters, 2004–2013 // Polarforschung. Vol. 85 (2). P. 101–105. doi:10.2312/polfor.2016.006.), представленной на рис. 3.

На потепление Арктики и особенно на сокращение площади морских льдов влияет поступление теплой и соленой воды из Северной Атлантики в Баренцево и Гренландское моря. Межгодовые изменения в переносе тепла из Северной Атлантики в Арктику отражаются в колебаниях температуры воды на Кольском разрезе в Баренцевом море, которые подтверждают сильное влияние притока атлантической воды на морской ледяной покров в приатлантической Арктике (рис. 4).

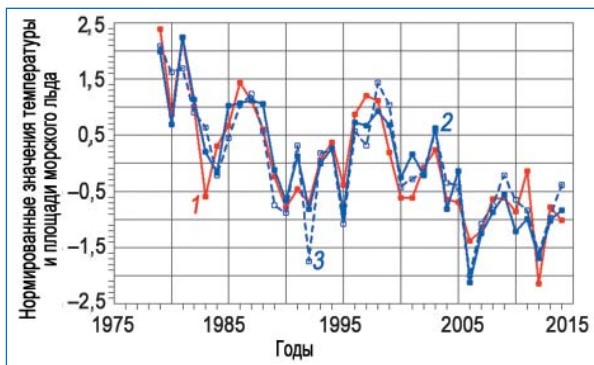


Рис. 4. Температура воды на Кольском разрезе (1), площадь морского льда в СЛО (2) и в Баренцевом море (3) в мае.

Коэффициенты корреляции между температурой воды и площадью льда равны  $-0,92(-0,83)$  для Северного Ледовитого океана и  $-0,87(-0,76)$  для Баренцева моря. В скобках указаны коэффициенты корреляции после удаления тренда. Тесная связь между температурой воды и площадью льда сохраняется в течение всего периода роста площади льда с декабря по май (табл. 1).

Таблица 1

Корреляция между температурой воды в слое 50–200 м на Кольском разрезе и площадью льда в Баренцевом море (1979–2014 гг.)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI
Коэффициент	-0,83	-0,82	-0,70	-0,78	-0,87	-0,83
Месяц	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Коэффициент	-0,67	-0,48	-0,26	-0,28	-0,44	-0,7

## Механизмы потепления

Расчеты меридиональных атмосферных переносов тепла (МАПТ) и влаги на различных изобарических поверхностях по данным реанализа ERA/Interim, выполненные в работе (Алексеев Г.В., Кузьмина С.И., Уразгильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на усиление потепления в Арктике в зимний период // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 1. С. 43–63), показали, что основной приток явного и скрытого тепла в высокоширотную Арктику в зимний период поступает через атлантическую часть ее южной границы по  $70^\circ$  с.ш. (от  $0^\circ$  до  $80^\circ$  в.д.) в слое от поверхности до 750 гПа с максимумом на 1000 гПа. Вклад этого притока в межгодовую изменчивость средней зимней температуры воздуха на поверхности в области  $70\text{--}90^\circ$  с.ш. составляет более 50 %.

Летом основной вклад в потепление вносят радиационные притоки тепла к поверхности, в частности нисходящая длинноволновая радиация вследствие роста содержания водяного пара, а перенос тепла и влаги через  $70^\circ$  с.ш. не влияет на температуру воздуха и содержание водяного пара в нижней тропосфере, где преобладает вынос водяного пара из Арктики (рис. 5).

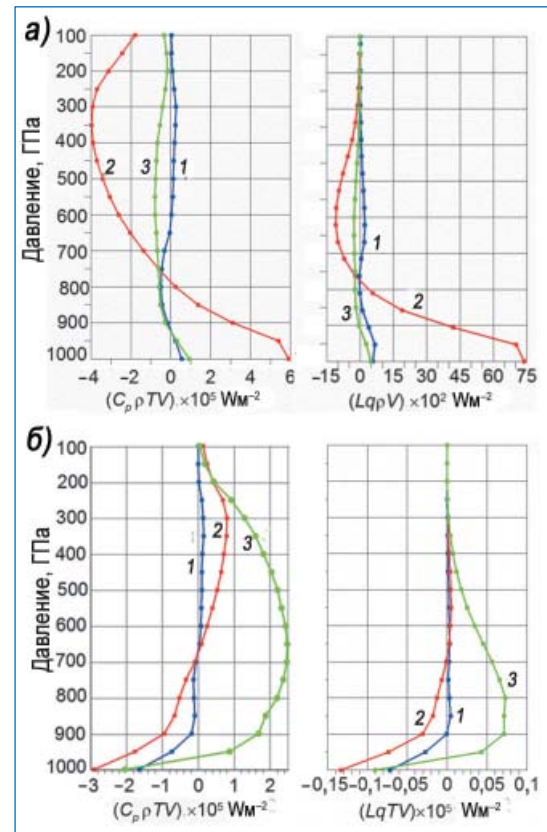


Рис. 5. Вертикальные профили средних меридиональных переносов явного и скрытого тепла через  $70^\circ$  с.ш. зимой (а) и летом (б). 1 – средний перенос через весь круг широты, 2 – через атлантическую часть ( $0\text{--}80^\circ$  в.д.), 3 – через тихоокеанскую часть ( $200\text{--}230^\circ$  в.д.)

Многолетние изменения общего содержания водяного пара в арктической атмосфере показывают рост во все месяцы года параллельно с сокращением площади льда, в то время как перенос водяного пара через  $70^\circ$  с.ш. в летние месяцы не увеличивается.

Летнее сокращение площади льда ведет к росту содержания водяного пара и нисходящей длинноволновой радиации. Отсюда можно оценить обратное влияние этого процесса на сокращение площади льда в линейной приближении зависимостей между ними. В результате такой оценки получено (Алексеев Г.В., С.И. Кузьмина, Л.П. Бобылев, А.В. Уразгильдеева, Н.В. Гнатюк.

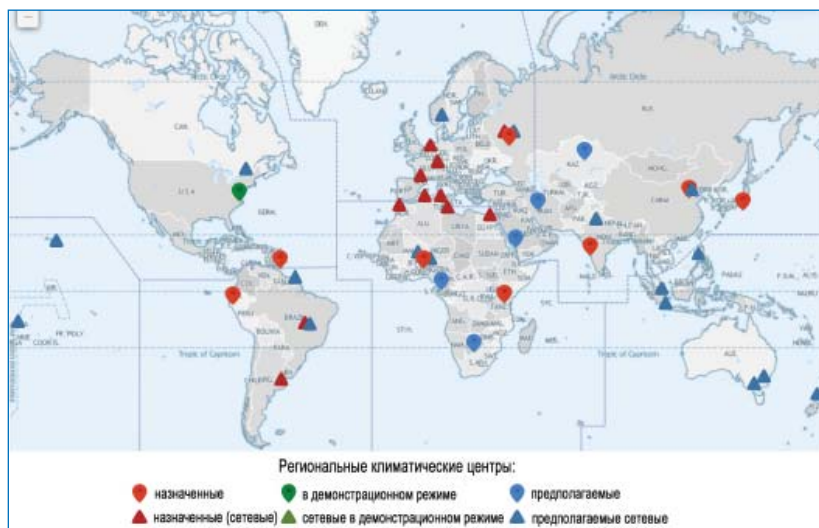


Рис. 6. Действующая на 2017 год система РКЦ ВМО  
(<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcaspr/cc/rcc.php>)

Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на летнее потепление в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 3 (113). С. 67–77, что от 30 до 40 % летней аномалии площади морского льда в Арктике формируется за счет обратной связи «сокращение площади – рост содержания водяного пара – увеличение нисходящей ДВР – сокращение площади».

#### Предсказуемость межгодовой изменчивости

Причины межгодовой изменчивости меридиональных атмосферных переносов тепла в Арктику связаны с изменениями циркуляции атмосферы в Северном полушарии, которые происходят под влиянием внешних воздействий на пространственно-временное распределение атмосферных циркуляционных структур. Наиболее вероятным внешним воздействием на циркуляцию и, следовательно, на меридиональный атмосферный перенос тепла являются аномалии температуры воды на поверхности океана в низких широтах, где запасается основная часть притока тепла от Солнца.

В недавно выполненных исследованиях (Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Глок Н.И. Влияние аномалий температуры океана в низких широтах на атмосферный перенос тепла в Арктику // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 1. С. 106–123; Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Глок Н.И., Вязилова А.Е., Иванов Н.Е., Смирнов А.В. Влияние Атлантики на потепление и сокращение морского ледяного покрова в Арктике // Лед и снег. 2017. № 57(3). С. 381–390) установлено влияние аномалий ТПО в низких широтах Атлантического, Индийского и Тихого океанов на зимний атмосферный перенос тепла в Арктику, температуру воздуха и площадь льда в Северном Ледовитом океане, которое проявляется спустя 2–3 года. Механизм влияния включает взаимодействие циркуляции океана и атмосферы, посредством которого климатический импульс от аномалий ТПО воздействует на Арктику. Предполагается, что аномалии ТПО в низких широтах океанов усиливают меридиональную составляющую атмосферной циркуляции, ослабляют Северо-Атлантическое колебание в атмосфере, что способствует уменьшению потерь тепла океаном и все это вместе увеличивает океанический перенос тепла в системе Гольфстрим, Северо-Атлантическое, Западно-Шпицбергенское и Норвежское течения. Конечное звено — усиление океанического притока тепла в Норвежское и Баренцево моря и атмосферных переносов в Арктику. Предсказуемость межгодовой изменчивости климата в Арктике следует из зависимости от колебаний притоков атмосферного и океанского тепла из низких широт, изменяющихся под влиянием аномалий ТПО в тропических океанах. Участие в переносах океанской циркуляции ведет

к запаздыванию в реакции характеристик климата Арктики на несколько лет, что определяет возможную заблаговременность прогнозирования.

#### Развитие климатического обслуживания

В соответствии со стратегическими задачами Всемирной метеорологической организации (ВМО) на 2016–2019 годы (резолюция 10.1/1 17 Конгресса ВМО, 2015 год) адресное климатическое обслуживание для полярных регионов должно выполняться в форме Полярных региональных климатических центров (ПРКЦ). В 2016 году 68-м Исполнительным советом ВМО принято решение о реализации ПРКЦ для Арктического региона в форме сети (АркРКЦ-сеть) с узлами (центрами) в региональных ассоциациях (РА) ВМО, а именно: PAII — Российская Федерация (координатор узла), PAIV — Канада (координатор узла) и США, PAVI — Норвегия (координатор узла и проекта в целом на 2017–2019 годы), Дания, Исландия, Финляндия, Швеция.

Концепция Российского узла АркРКЦ подготовлена ААНИИ в марте 2015 года и предусматривает коллективное осуществление функций узла ААНИИ (координатор), ГГО, ВНИИГМИ-МЦД и Гидрометцентром России аналогично функционирующему в Росгидромете Северо-евразийскому климатическому центру (СЕАКЦ). Каждый из узлов климатического центра будет регионально (в пределах РА) выполнять большинство из рекомендованных функций и иметь одну из обязательных панарктических функций узлов (для PAII — это климатический мониторинг и подготовка панарктического бюллетеня, для PAIV — долгосрочное прогнозирование, для PAVI — управление данными). Запуск демонстрационного этапа АркРКЦ запланирован на 15–17 мая 2018 года в ходе первой сессии Панарктического регионального климатического форума (ПАРКОФ), Оттава, Канада. Необходимо отметить, что создание АркРКЦ тесно связано с реализацией таких программ ВМО, как Глобальная рамочная конвенция по климатическому обслуживанию (ГРОКО), Глобальная служба по криосфере (ГСК), Информационная система ВМО (ИСВ), равно как и с взаимодействием ВМО и Арктического совета. В настоящее время ААНИИ и другие члены консорциума НИУ по созданию узла АркРКЦ имеют необходимый потенциал по выпуску панарктического бюллетеня, планируемое содержание которого должно включать картированные и табличные значения климатически значимых параметров атмосферы, морского льда, океана и криосферы Арктики с 1–3-месячной дискретностью.

Г.В. Алексеев, В.М. Смоляницкий (ААНИИ)