

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 сохранения 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 STD-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

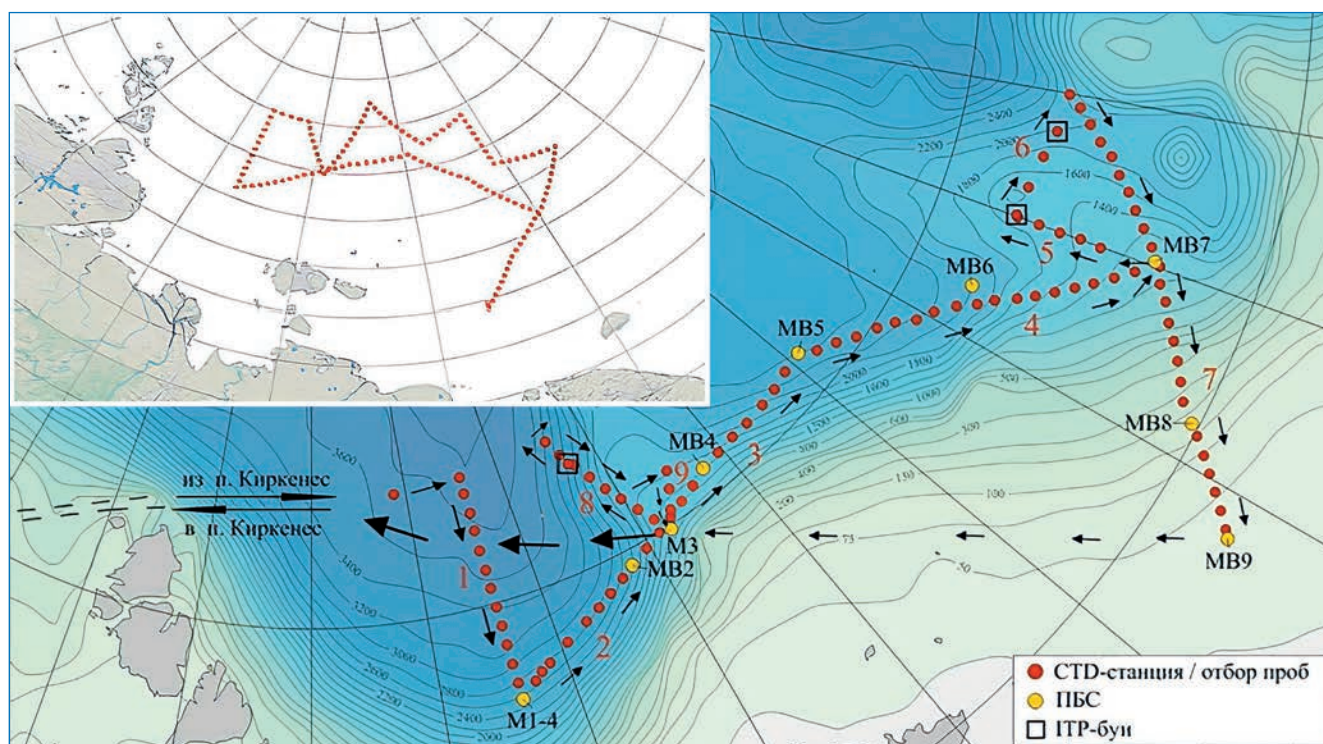


Рис. 1. Запланированный (врезка) и фактический маршрут экспедиции

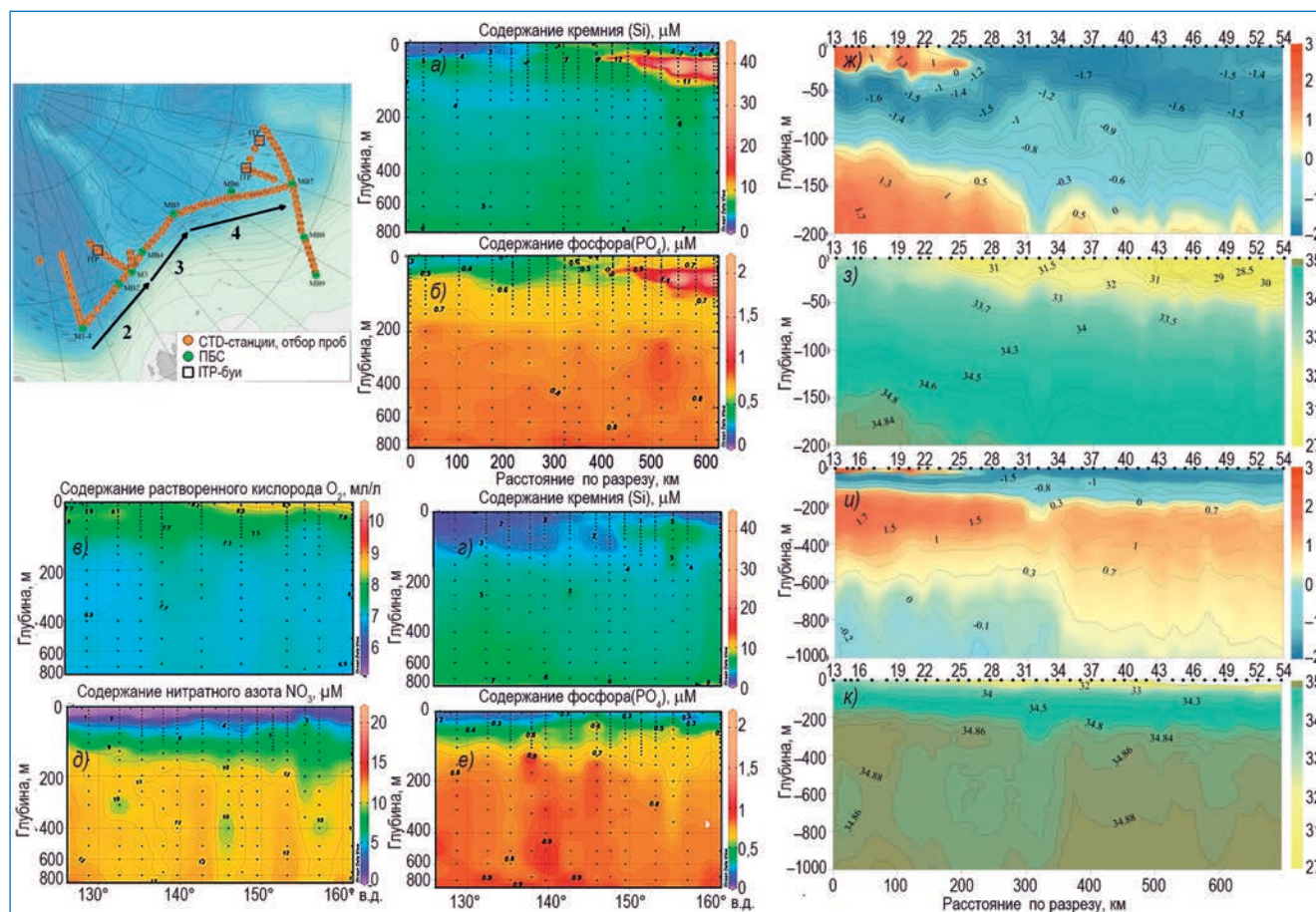


Рис. 2. Распределение гидрохимических и гидрофизических характеристик на разрезах № 2, № 3 и № 4:

а — кремний (разрез № 4), б — фосфаты (разрез № 4), в — растворенный кислород (разрезы № 2 и № 3), г — кремний (разрезы № 2 и № 3), д — нитраты (разрезы № 2 и № 3), е — фосфаты (разрезы № 2 и № 3), ж — температура в слое 0—200 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), з — соленость в слое 0—200 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), и — температура в слое 0—1000 м (разрезы № 2, № 3 и № 4), к — соленость в слое 0—1000 м (разрезы № 2, № 3 и № 4). На врезке стрелками указано направление разрезов слева направо

биогенные элементы и растворенный кислород. В целом тихоокеанские водные массы начинают проследиваться в восточной части акватории в слое от 30 до 100 м начиная со 175° в. д., а наибольшего развития они достигают на северо-восточной части, где их мощность достигает 100 м, а расположены они на глубинах от 50 до 150 м.

Значительное распреснение верхних 10 м (соленость менее 28,5 psu) на ст. № 43–51, вероятно, обусловлено и летними процессами ледотаяния, и влиянием речных вод, поступающих сюда с юга, что проявляется в повышенном содержании кремния в пробах воды.

Положение верхней границы АВ было зафиксировано на глубинах 110–130 м к западу от хребта Ломоносова и 150–200 м в восточной части разреза. Ядро АВ постепенно заглублялось в слое от 180–350 м с максимальными значениями температуры до 1,95 °С — на самых западных точках разреза до слоя 220–450 м и температурой, не превышающей 1,2 °С. Мощность слоя АВ варьировала от станции к станции, в целом увеличиваясь от запада к востоку. Минимальные значения наблюдались на станциях № 15 и № 23 около 500 м, максимальное, почти 1200 м — на станциях № 43 и № 49.

К западу от хребта Ломоносова на глубинах больше 1000 м температура изменяется от –0,2 до –0,7 °С, а соленость от 34,88 до 34,945 psu. К востоку от хребта температура на глубинах более 1500 м не опускается ниже –0,43 °С, а соленость у дна достигает значений более 34,956 psu.

В районе ст. № 32 был зафиксирован вихрь с центром на горизонте около 100 м. Температура в центре

вихря составила –0,8 °С, соленость 34,2 psu. Также вихрь выражен в распределении биогеохимических элементов и растворенного кислорода в районе этой же станции. Прохождение вихря привело к опусканию верхней границы АВ в этом районе с 150 до 270 м.

Одной из основных задач экспедиции также была работа с притопленными автономными буйковыми станциями. Так, была успешно поднята одна ПАБС, установленная в 2018 году в предыдущей экспедиции NABOS. С нее были получены трехлетние ряды данных температуры и солености с 6 горизонтов (55, 125, 200, 250, 400 и 600 м), профили скоростей и направлений течений в слое от поверхности до порядка 700 м, а также скорость и направление дрейфа льда. Было установлено 9 ПАБС, 6 из которых во льдах, на двухлетний срок.

Целями судовых специальных наблюдений за распределением элементов ледяного покрова, осуществляемых визуально и с использованием цифрового телевизионного комплекса, являлись: сбор данных для анализа межгодовой и сезонной изменчивости основных характеристик ледяного покрова, валидации данных спутникового зондирования, анализа ледовых условий плавания в высоких широтах, закономерности распределения характеристик ледяного покрова и их влияние на эксплуатационные аспекты движения судов и ледоколов различных типов для решения ряда важных прикладных задач, пополнение базы данных ледовых условий плавания в Арктическом бассейне, а также обеспечение работ экспедиции ледовой информацией.

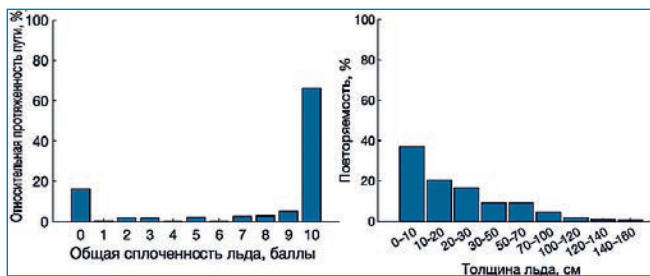


Рис. 3. Распределение сплоченности (слева) и толщины льда (справа) по всему пути следования экспедиции во льдах

Наблюдения были открыты 13.09.2021 в 13:07 UTC в непосредственной близости от кромки льдов (в точке с координатами 80°53' с. ш. 71°24' в. д.) и продолжались непрерывно по ходу всего движения судна во льдах с перерывами только в нескольких непродолжительных выходах на чистую воду: 16–19.09.2021, 07–08.10.2021, 11–14.10.2021. Ледовые наблюдения завершились с выходом на чистую воду в Карском море (15 октября в точке с координатами 81°32' в. д. 76°43' с. ш.). Результатом визуальных наблюдений стало выделение 612 однородных ледовых зон по пути следования экспедиции. Ледовую обстановку на пути плавания в большинстве случаев можно охарактеризовать как сложную. На рис. 3 приведено распределение сплоченности и повторяемость толщины льда.

Как видно из гистограммы, 66 % пути во льдах были пройдены во льду сплоченностью 10 баллов. Выделение 16 % на сплоченность 0 (от 0 до 1) баллов связано с наличием по пути следования довольно протяженных зон с отдельно плавающими льдинами, сплоченность в которых обычно определяется как 0,1 балла. Поскольку моменты пересечения кромки, где обычно отмечаются такие зоны, было несколько, на сплоченность льда от 0 до 1 балла приходится такой значительный процент протяженности пути.

Высокая повторяемость небольших толщин льда (до 30 см) объясняется тем, что визуально толщина льда оценивается только по пути плавания, для которого характерен выбор более легких условий, с наличием разводий, разрывов, зон с преобладанием молодого льда. Так, повторяемость льда с толщиной 0–10 см в 37 % объясняется отнесением к этой категории начальных видов льда, таких как сало или ледяные иглы, которые могут занимать обширные акватории в прикормочных зонах, а также ниласа, встречавшегося довольно часто, поскольку шел активный процесс ледообразования, в том числе в разводьях, по которым двигалось судно. Толщина остаточного льда варьировала от 30–50 см до свыше 160 см, в отдельных случаях (торосистые образования) свыше 300 см. В целом по 9 % приходится на толщину льда 30–50 и 50–70 см (на каждую градацию), на толщину свыше 70 см приходится 8 % протяженности пути.

В ходе наблюдений лед оценивался по пути и по району плавания, однако в большинстве расчетов используются только оценки по пути плавания, поскольку

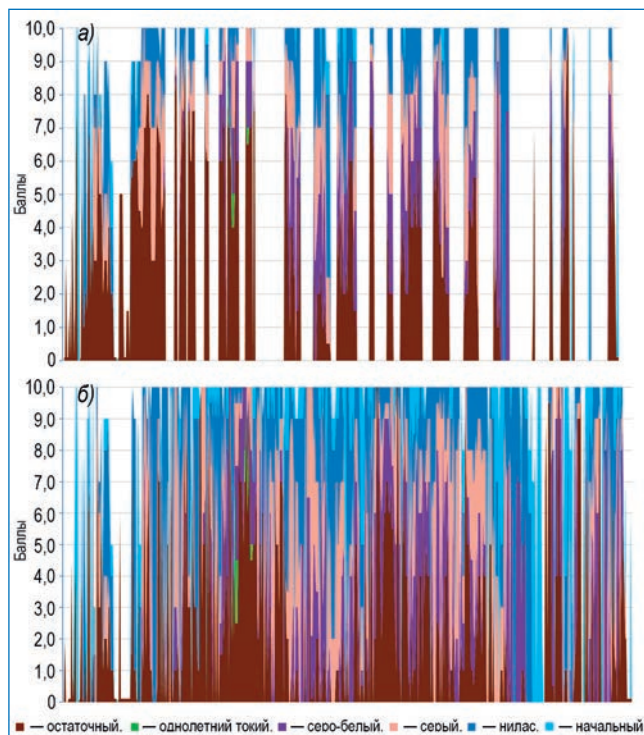


Рис. 4. Однородные ледовые зоны по маршруту следования экспедиции, описанные по району (а) и по пути (б) следования

данные по району имеют большое количество пропусков из-за плохой видимости и ночного времени. Тем не менее, поскольку судно выбирает более легкие условия для продвижения, лед по району может наблюдаться более тяжелый, чем по пути.

На рис. 4 можно оценить изменения ледовых условий по всему маршруту следования, наблюдавшихся по пути и по району. Даже при наличии пропусков в наблюдениях по району заметно большее количество остаточных льдов, чем по пути следования, что характеризует ледовые условия по району как более тяжелые, чем отмечающиеся по пути.

Были организованы три ледовые станции, в рамках которых было установлено три ИТР-буя (Ice Tethered Profiler), два ледовых масс-балансовых буя IMBV, проведены подспутниковые эксперименты определения толщины ледяного покрова с помощью пассивного микроволнового радиометра (PMR), аналогичного установленному на спутнике AMSR2, отобраны пробы снега и морского льда на гидрохимический анализ, проведен океанографический подледный эксперимент по измерению тонкой структуры температуры верхнего слоя океана непосредственно подо льдом.

*Н.А. Куссе-Тюз, Е.В. Блошкина,
И.А. Гангнус, А.Б. Тимофеева (АНИИ)*

КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ОАЗИСЕ ШИРМАХЕРА (ЗЕМЛЯ КОРОЛЕВЫ МОД, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) В СЕЗОН 67-Й РАЭ

В ходе летнего полевого сезона 67-й РАЭ в ноябре и декабре 2021 года на посадочной площадке станции Новолазаревская (Земля Королевы Мод, Восточная Антарктида), озерах и ледниках оазиса Ширмахера, а так-

же на участке трассы следования санно-гусеничного похода в сторону барьера выполнялись комплексные геофизические, буровые и геодезические работы. Их основной задачей являлось обеспечение безопасности