

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИИ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА РЕТРОСПЕКТИВНЫХ РАСЧЕТОВ НА МОДЕЛИ NEMO, ДАННЫХ ОКЕАНСКОГО РЕАНАЛИЗА И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

В последние годы в АНИИ для исследования изменчивости структуры вод Северного Ледовитого океана (СЛО) и процессов, протекающих в его толще, а также построения обоснованных гипотез будущих изменений развивается технология синтеза данных на основе различных источников информации. Используемый подход позволяет восполнять недостатки различного рода используемых данных. Как известно, накопленные натурные данные в этом районе Мирового океана характеризуются своей значительной пространственно-временной неоднородностью, в то время как данные, полученные с помощью современных численных моделей океана, лишены этого недостатка. Численные модели позволяют реконструировать поля океанографических параметров и дают целостное представление о структуре вод Арктического бассейна. В свою очередь, модели океана пока не воспроизводят в полной мере весь спектр физических процессов, протекающих в его водной толще, в том числе из-за использования упрощенных параметризаций процессов подсеточного масштаба. Таким образом, для получения детальной и объективной информации о состоянии морской системы Арктики представляется целесообразным использовать преимущества данных различных методов исследований, учитывая и устраняя их объективные недостатки, а значит, проводить комплексную оценку на основе совместного анализа натуральных данных, данных океанского реанализа и модельных расчетов.

В 2022 году такая комплексная оценка эволюции термохалинных параметров была осуществлена для района архипелага Северная Земля. В основу исследования легли временные серии значений температуры и солена-

сти морской воды, полученные за три года непрерывных измерений с 2015 по 2018 год с семи притопленных автономных буйковых станций (ПАБС) АК1–АК7 (рис. 1). Эти ПАБС были установлены на шельфе и континентальном склоне бассейна Нансена к северу от мыса Арктический острова Комсомолец (рис. 2). Для этого региона СЛО для аналогичного периода были подготовлены данные продукта глобального океанского реанализа GLOBAL\_REANALYSIS\_PHY\_001\_030 (<https://doi.org/10.48670/moi-00021>) и результаты ретроспективных расчетов на региональной конфигурации модели NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean: <https://www.nemo-ocean.eu>).

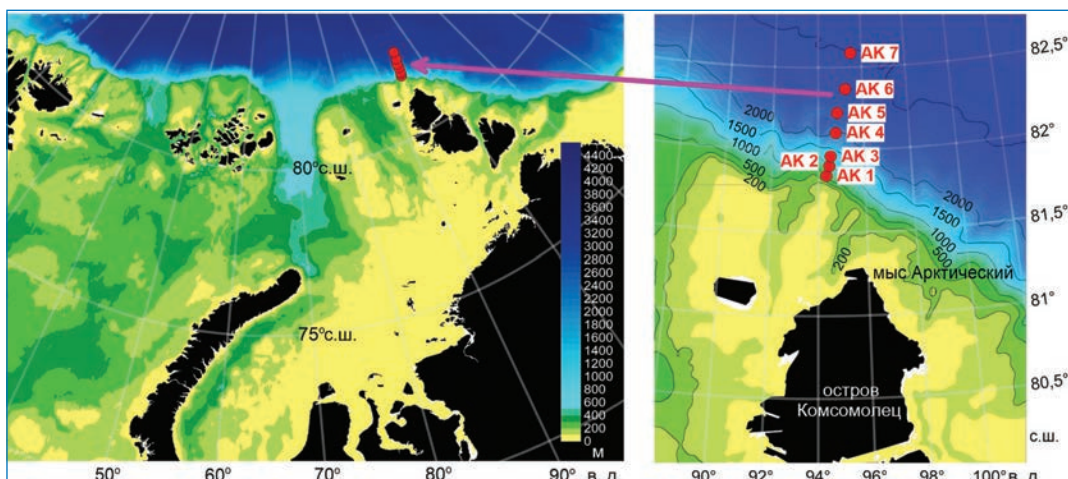
Данные глобального океанского реанализа располагаются в узлах стандартной регулярной сетки с шагом по пространству приблизительно 8 км. Адаптированная в АНИИ под условия СЛО региональная модель NEMO в отличие от океанского реанализа имеет большую дискретизацию расчетной сетки и выдает более детализированную информацию о распределении океанографических величин. В нее заложена криволинейная расчетная сетка, дающая разрешение по пространству менее 3 км в арктических морях России. При этом она имеет 74 расчетных уровня по вертикали, тогда как океанский реанализ предоставляет пользователям океанографические данные на 50 стандартных горизонтах.

Все используемые данные были синхронизированы между собой и подвергнуты дополнительной обработке. Для получения комплексной оценки современного состояния водной толщи СЛО привлекаются различные методы обработки и анализа океанографических данных. Так, в 2022 году был применен вейвлет-анализ, а имен-



Рис. 1. Постановка долговременной заякоренной ПАБС. Фото из архивов АНИИ

Рис. 2. Положение ПАБС (АК1–АК7) в районе архипелага Северная Земля и рельеф дна исследуемого района



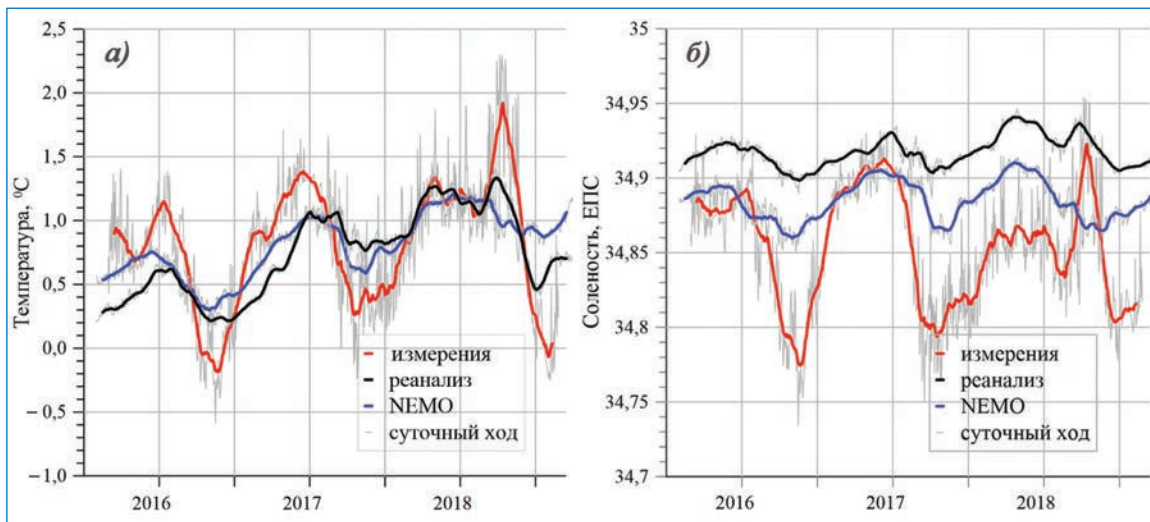


Рис. 3. Временной ход температуры (а) и солёности (б) на основе месячного скользящего осреднения на ПАБС АК2 на горизонте 270 м по данным измерений, модели NEMO и океанского реанализа

но — метод вейвлет-преобразования временных рядов, который позволяет количественно оценить временные закономерности в рядах данных.

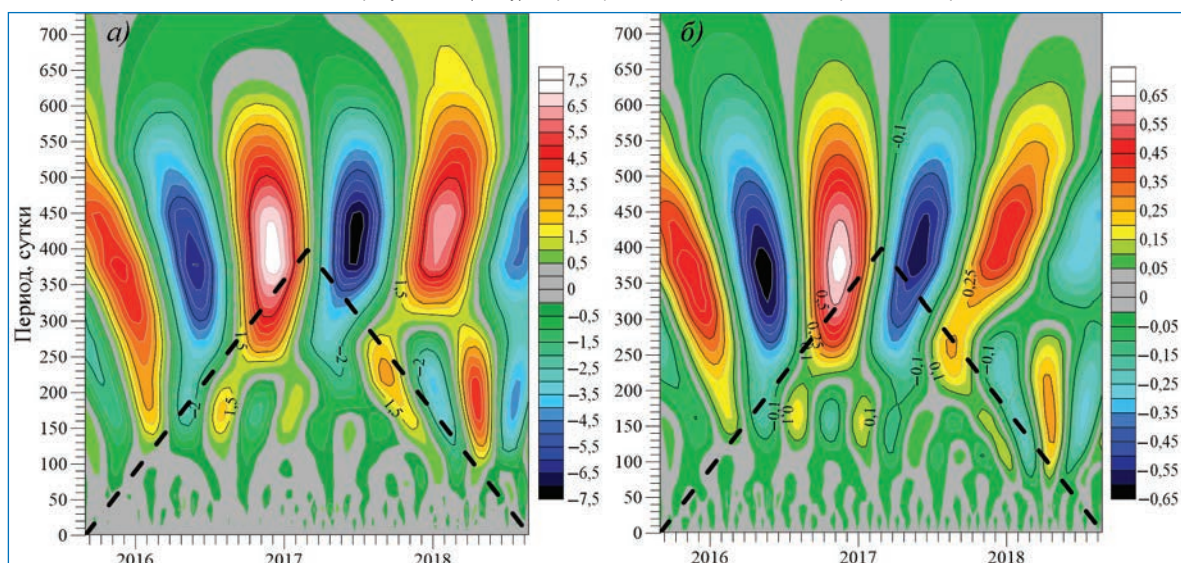
При проведении комплексной оценки эволюции термохалинных параметров в районе архипелага Северная Земля в слое атлантических вод на основе прямых контактных измерений на ПАБС в записях температуры станций АК1–АК5 был выделен ярко выраженный годовой цикл (рис. 3). Этот цикл характеризуется наличием синхронных экстремумов с минимумом в мае–июне и максимумом в ноябре–декабре. В записях солёности аналогичная закономерность была отмечена на АК2 и АК4. Временные ряды солёности на станциях АК3, АК5 и АК6 не анализировались. Они оказались слишком короткими, поскольку датчики солёности стали выдавать ошибочные значения через 2–3 месяца с момента установки ПАБС. Только в мае 2018 года выявленная закономерность в сезонном цикле была нарушена в связи с возможным прохождением «теплой волны», когда минимум сменился максимумом. Похожие циклы в сезонном ходе, но со значительно меньшей амплитудой колебания были получены и на глубоководных станциях АК6 и АК7. Анализ временных серий данных океанского реанализа и ретроспективных расчетов на региональной модели

NEMO на аналогичных горизонтах в точках расположения ПАБС показал, что распределение температуры и солёности в целом совпадает по фазе с их распределением по данным инструментальных измерений (рис. 3). При этом прослеживалось занижение амплитуды колебаний термохалинных параметров, а средние величины солёности были завышены по сравнению с наблюдениями.

Подробности о цикличности во временных рядах исследуемых океанографических величин были получены, исходя из анализа вейвлет-скейлограмм. Период изменчивости, близкий к одному году, который также был отмечен выше при анализе графиков временного хода величин температуры и солёности на всех ПАБС, был выявлен на всех скейлограммах термохалинных параметров (рис. 4), за исключением скейлограммы солёности для станции АК1. Полугодовой период выделялся только на некоторых горизонтах (рис. 4). Изменчивость с периодом 80–90 суток прослеживалась на скейлограммах температуры глубоководных горизонтов ПАБС.

Для исследования эволюции временной изменчивости термохалинных параметров вблизи архипелага Северная Земля также были привлечены реконструированные поля гидрофизических величин океанского реанализа и модельных расчетов с акватории, значи-

Рис. 4. Вейвлет-скейлограммы (Морле) температуры (а) и солёности (б) на ПАБС АК2 на глубине 270 м. Пунктирной линией обозначена область статистической значимости результатов (снизу). Серым цветом показаны зоны с доверительной вероятностью менее 5 %



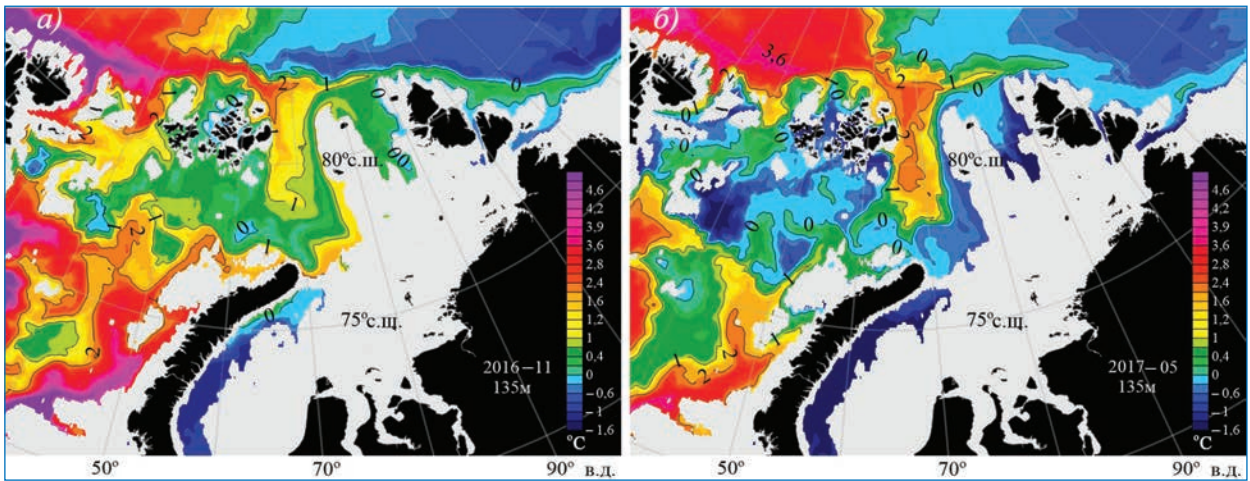


Рис. 5. Распределение среднемесячной температуры воды по данным океанского реанализа на глубине 135 м в ноябре 2016 года (а) и в мае 2017 года (б)

тельно превышающей размер акватории исследуемого района, с целью понимания и выявления процессов, приводящих к проявлению описанной выше временной изменчивости. Приведенные ниже рисунки (рис. 5 и 6) отчетливо демонстрируют наличие сезонного цикла и позволяют воссоздать траекторию перемещения сезонного сигнала.

Таким образом, проведенная комплексная оценка эволюции термохалинных параметров на основе результатов совместного анализа ретроспективных расчетов на модели NEMO, данных океанского реанализа

и данных наблюдений в районе архипелага Северная Земля в целом подтверждает гипотезу об адвективной природе переноса сезонного сигнала — гипотезу о переносе данного сигнала в слое атлантических вод по мере распространения этой водной массы вдоль траектории ее движения в восточно-атлантическом секторе СЛО (Ivanov V., Repina I. The Effect of Seasonal Variability of Atlantic Water on the Arctic Sea Ice Cover // Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. Vol. 54. № 1. P. 65–72).

*А.В. Даньшина, В.В. Иванов, А.В. Смирнов (АНИИ)*

Рис. 6. Распределение среднемесячной компоненты скорости течения U (в ноябре 2016 года (а), в мае 2017 года (в)) и V (в ноябре 2016 года (б), в мае 2017 года (г)) по данным региональной модели NEMO на горизонте 135 м

