

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН И В ЗАПАДНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ

В 2014 году Министерство образования и науки РФ инициировало выполнение проекта «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне РФ». Исполнителями проекта стали ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета и пять институтов Минобрнауки и РАН. Проект рассчитан на период 2014–2016 годов (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.610.21.0006

яние всех компонентов климатической системы, в разной степени испытывающих влияние глобального потепления. Для надежной оценки изменений климата и разработки методов климатического прогноза необходимо наличие продолжительных наблюдений за состоянием климатической системы в регионе. Наиболее продолжительные наблюдения за состоянием атмосферы проводятся на метеорологических станциях. В начале XX столетия в регионе архипелага Шпицберген и Западной Арктической зоны РФ было всего три таких станции.

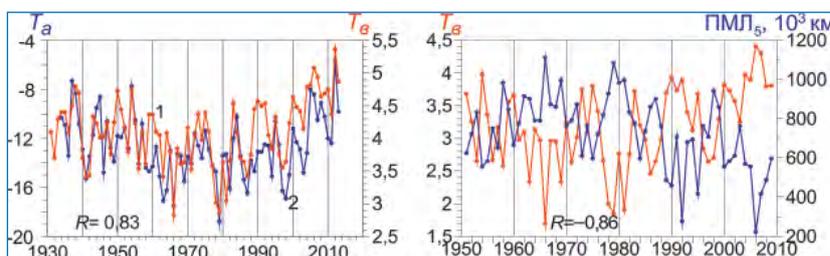


Рис. 1. Слева – среднегодовая температура воды на разрезе по Кольскому меридиану (красная линия) и зимняя температура воздуха над Баренцевым морем (синяя линия).  
Справа – температура воды (красная линия) и площадь льда в мае (синяя линия).  
 $R$  – коэффициенты корреляции.

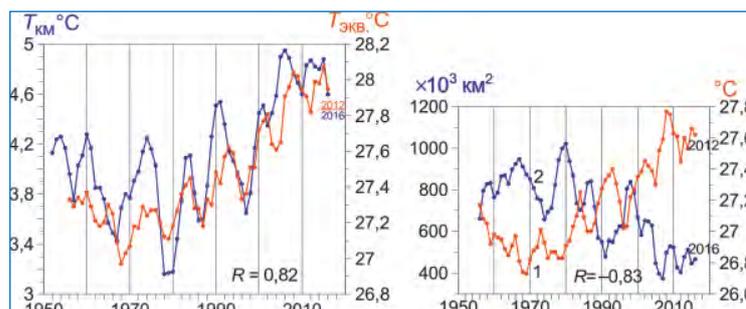
от 20.10.2014 уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61014X0006). В нем поставлена задача разработать новые высокоточные методы и программные средства мониторинга и прогноза состояния атмосферы, гидросферы, криосферы и сейсмической активности в этом полярном регионе, которые должны быть реализованы в виде экспериментальных аппаратно-программных комплексов (ЭАПК). Предполагается создание шести таких аппаратно-программных комплексов, среди которых экспериментальный комплекс мониторинга и прогноза климатических изменений в регионе (ЭАПК «Климат»), разрабатываемый в ААНИИ.

Количество станций возросло с середины 1930-х годов, после чего стали возможны оценки средней температуры над Баренцевым и Карским морями.

Данные наблюдений за состоянием морской среды в регионе, прежде всего за температурой воды и за ледовитостью Баренцева и Карского морей, имеются, соответственно, с 1900 года и с 1928 года. Наиболее длинные ряды температуры и солёности в различных слоях воды имеются на разрезе по Кольскому меридиану (Карсаков А.Л. Океанографические исследования на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море за период 1900–2008 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. 139 с.). Состояние водных масс Баренцева и Карского морей характеризуется данными о температуре и солёности морской воды на разных глубинах, охватывающими всю их акваторию. Эти данные получены из наблюдений на океанографических станциях, выполнявшихся с 1930-х годов по настоящее время.

Климатическая система в регионе включает атмосферу, морскую среду с морским льдом на поверхности, ледники, снег и многолетнюю мерзлоту — основные составляющие арктической криосферы. Поэтому объектом мониторинга и прогнозирования является состо-

Рис. 2. Слева – температура воды в приэкваториальной части Северной Атлантики в октябре и среднегодовая температура воды на разрезе по Кольскому меридиану.  
Справа – температура воды в экваториальной части в октябре (красная линия) и площадь льда в Баренцевом море в мае (синяя линия).  
Все ряды сглажены скользящим осреднением по 3.



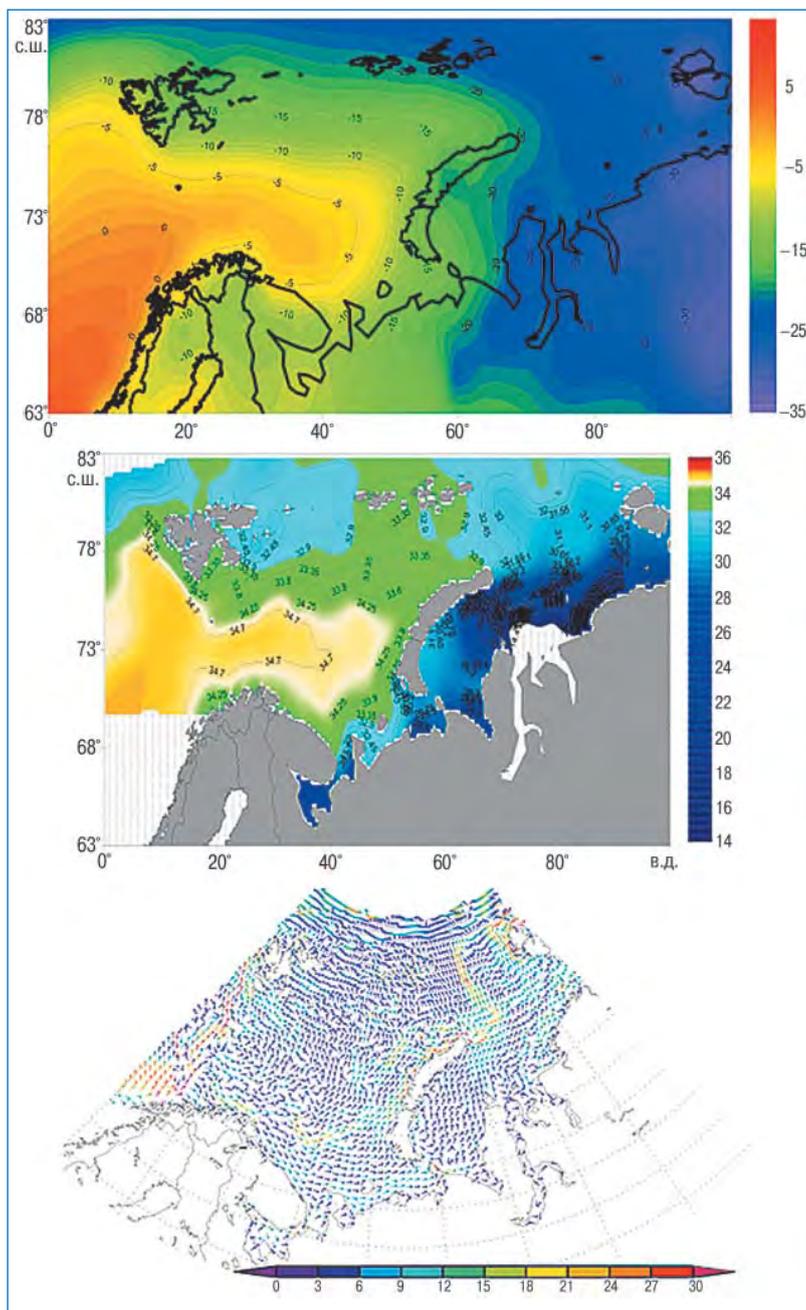


Рис. 3. Сверху вниз: климатические поля температуры воздуха в феврале (период с 1979 по 2014 год), солености воды на поверхности в августе (период с 1951 по 2014 год), скорость течений на поверхности в марте (период с 1994 по 2013 год) на акватории Баренцева и Карского морей.

Сегодня важным источником климатической информации являются данные реанализов, представляющие значения характеристик атмосферы и океана в узлах регулярной сетки с разной дискретностью по пространству за различные периоды времени от начала инструментальных наблюдений, от 1948 года (реанализ NCEP), от 1958 года (реанализ ERA), от 1979 года (реанализ ERA/Interim). Данные реанализов имеют глобальное покрытие, включающее регион Баренцева и Карского морей. Они используются в проекте для детального пространственного описания климата приповерхностных слоев атмосферы и моря за разные периоды, для оценки долговременной изменчивости климатических характеристик и при разработке методов прогноза климата.

Данные о наземной криосфере в регионе включают сведения о 1615 ледниках на архипелаге Шпицберген,

представленные на сайте <http://www/pinro.ru/n22/index/phpstructure/labs/labhidro/>.

Распространение исследования атлантического влияния на Баренцево море на всю Северную Атлантику выявило некоторую область в приэкваториальной ее части (координаты 0° – 20° с.ш., 40° з.д – 8° в.д), где изменения температуры воды проявляются в изменениях ледовитости и температуры воды Баренцева моря спустя четыре года (рис. 2). Установленные зависимости между температурой воды и характеристиками климата в регионе послужили основанием для разработки методов прогноза этих характеристик.

ЭАПК «Климат» включает специализированную базу данных, которая содержит детальное количественное описание климата в регионе и за его пределами (метеорология, океанография, морские льды, наземная кри-

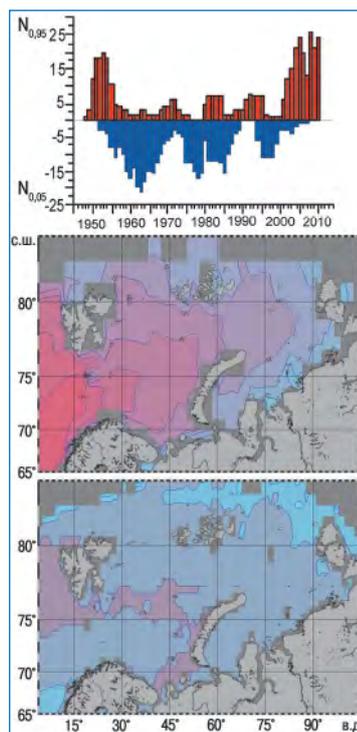


Рис. 4. Сверху вниз: изменение повторяемости 5- и 95-процентной обеспеченности аномалий температуры воздуха зимой в районе Баренцева моря; высоты волн 0,1-процентной обеспеченности, возможные раз в 10 лет; брызговое обледенение судов (класса СРТ) в виде степени обледенения от 1 до 3, возможное раз в году на акватории Баренцева и Карского морей.

общей площадью 33958,934 км<sup>2</sup>, о годовых и сезонных атмосферных осадках, полученные на основе материалов Климатического проекта глобальных осадков, Глобальной климатической инициативы, полученных космическими системами ICESat, Cryosat-2 и при наземных наблюдениях в зоне архипелага Шпицберген.

Выполненные на первом этапе исследования показали определяющее влияние температуры воды, поступающей из Северной Атлантики в Баренцево море, на изменения климата в регионе Баренцева моря (рис.1), и заметный ее вклад в Карском море. Репрезентативным показателем этого влияния служат данные о температуре воды на разрезе по Кольскому меридиану,

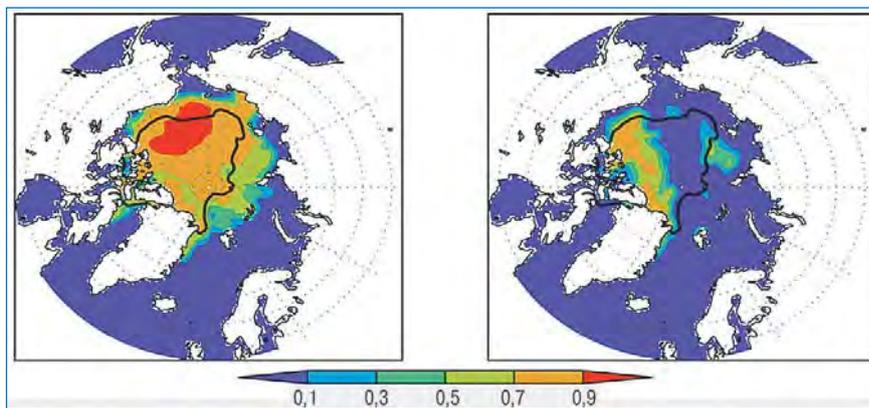


Рис. 5. Морской ледяной покров в Арктике в сентябре 2021 года (слева) и 2026 года (справа) по расчетам на глобальной модели климата ИВМ РАН. Цветом показана сплоченность. Черная линия – положение кромки льда в сентябре 2012 года.

осфера), оценки наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменений и повторяемости опасных гидрометеорологических явлений. Климатические карты всех характеристик построены за период наблюдений и за десятилетия, что позволяет проследить динамику изменений климата в регионе. Примеры климатических карт показаны на рис. 3.

Оценки повторяемости опасных гидрометеорологических явлений разной обеспеченности представлены в виде цифровых рядов, графиков, цифровых карт пространственного распределения опасных и экстремальных гидрометеорологических явлений (высоты волн разной обеспеченности, экстремальные скорости течений на разных глубинах и др.). Примеры показаны на рис. 4.

В ЭАПК «Климат» помещены климатические прогнозы для региона, оценки потенциально опасных глобальных и региональных климатических изменений в зоне архипелага Шпицберген и в Западной Арктической зоне РФ на период до 2070 года, прогностические карты распределения морского ледяного покрова в Баренцевом и Карском морях по результатам расчетов на нескольких глобальных моделях климата. Примеры оценки изменения морского ледяного покрова в будущем показаны на рис. 5.

Для прогноза межгодовых колебаний основных характеристик климата региона разработаны и включены в ЭАПК статистические модели прогноза с заблаговременностью от двух месяцев до четырех лет. Примеры расчетов по моделям приведены на рис. 6, 7.

Содержащееся в ЭАПК «Климат» детальное количественное описание основных характеристик климата в регионе и их изменений, оценки повторяемости опасных гидрометеорологических явлений, прогнозы климатических изменений природных условий могут быть полезны природопользовательским и природоохранным организациям, работающим в регионе Шпицбергена, Баренцева и Карского морей. Аппаратно программный комплекс может быть установлен на компьютере пользователя с соответствующим описанием и инструкциями, обеспечивающими быстрое извлечение и представление необходимой климатической информации.

Разработка ЭАПК проводится при финансовой поддержке Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в Западной Арктической зоне Российской Федерации».

*Г.В. Алексеев (ААНИИ)*

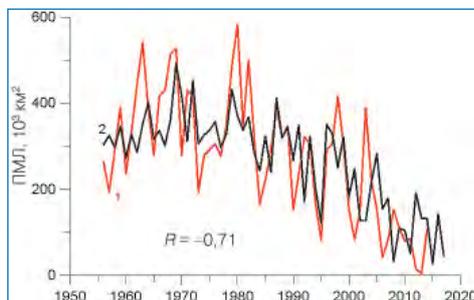


Рис. 6. Ретроспективный расчет площади льда в июле (черная линия) в Баренцевом море по модели прогноза с заблаговременностью 4 года в сравнении с наблюдениями (красная линия).

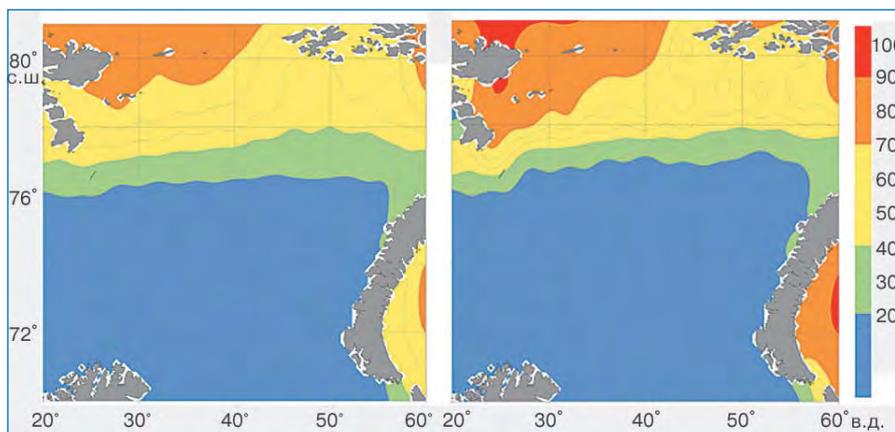


Рис. 7. Ретроспективный прогноз среднемесячной сплоченности льда в июне 2005 года (слева) и фактическая сплоченность (справа) с заблаговременностью 2 месяца.