

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКЕАНА И АТМОСФЕРЫ В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ПО ПРОГРАММАМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НЭВ, «ПОЛЭКС-СЕВЕР», «РАЗРЕЗЫ» В 1960—1980-е ГОДЫ

д-р геогр. наук Г.В. АЛЕКСЕЕВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: alexgv@aari.ru

К середине 1960-х годов по мере развития знаний о процессах в атмосфере и океане укреплялась идея о необходимости учета их взаимодействия в развитии методов долгосрочных прогнозов погоды и колебаний климата. Прогностической направленности гидрометеорологических исследований в высоких широтах в СССР всегда придавалось особое значение, поэтому перспектива улучшения качества прогнозов при учете взаимодействия океана и атмосферы привлекла внимание специалистов ААНИИ.

В 1967 г. под руководством А.Ф. Трёшникова в ААНИИ был разработан план «Натурного эксперимента по взаимодействию океана и атмосферы» (НЭВ) (Трёшников и др., 1968). Его целью было исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы на акватории Северо-Европейского бассейна и прилегающей Северной Атлантики до линии мыс Фарвелл — 50° с.ш., 10° в.д. (рис.1).

Выбор района был обоснован его положением на пути встречных потоков теплых атлантических и холодных арктических водных и воздушных масс, которыми обмениваются Арктика и Северная Атлантика, и развитием интенсивных процессов обмена между ними. Здесь еще в 1930-е годы были начаты первые советские экс-

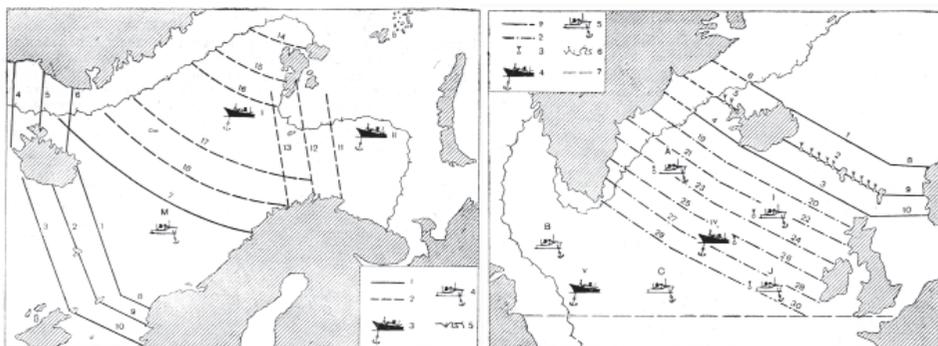


Рис.1. Схема работ в Северо-Европейском бассейне (слева) и в Северной Атлантике (справа) по плану НЭВ.

Слева: 1 — разрезы судна «А», 2 — разрезы судна «Б», 3 — корабли погоды НЭВ, 4 — международные корабли погоды, 5 — кромка льда. Справа: 1 — разрезы судна «А», 2 — разрезы судна «Д», 3 — буйковые станции, 4 — корабли погоды НЭВ, 5 — международные корабли погоды, 6 — кромка льда, 7 — граница НЭВ.

педиционные исследования, продолжавшиеся до 1939 г. включительно и имевшие целью выяснить влияние водообмена между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном на арктический лед и климатические условия вдоль трассы Северного морского пути (Тимофеев, 1944).

Первые экспедиции в Северную Атлантику и Северо-Европейский бассейн по плану НЭВ были выполнены в 1968—1970 гг. на научно-исследовательских судах «Профессор Визе» и «Профессор Зубов» (Борисов и др., 2006).

В 1970 г. при обсуждении международной Программы исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) было решено планировать и проводить наблюдения в полярных областях Земли в рамках предложенной программы НЭВ, включив ее в ПИГАП в виде подпрограммы под названием «Полярный эксперимент» (ПОЛЭКС). В 1971 г. на конференции стран — участниц ПИГАП программа ПОЛЭКС по предложению академика Е.К. Федорова была принята и стала, таким образом, международной.

Одна из главных задач «Полярного эксперимента» состояла в количественной оценке роли атмосферы и океана в формировании энергетического баланса полярных областей Земли (Борисенков, Трешников, 1970). Кроме того, ПОЛЭКС был направлен на исследование процессов крупномасштабного взаимодействия атмосферы и океана в полярных областях и изучение механизмов, которые формируют крупномасштабные долгопериодные изменения гидрометеорологических процессов в Арктике и Антарктике.

Осуществление теоретических и экспериментальных работ по программе ПОЛЭКС началось в 1971—1972 гг. В плане на эти годы предусматривались изучение энергетики атмосферных процессов, разработка теоретических основ для гидродинамического моделирования атмосферной циркуляции и проведение научно-методических работ с научно-исследовательских судов на специальных полигонах. Итоги выполнения этих исследований были представлены в докладе А.Ф. Трешникова на заседании ГКНТ СССР 30 мая 1973 г. (Трешников, 1973).

В докладе, в частности, были приведены результаты анализа энергетических характеристик Северной полярной области с использованием представления о среднем энергетическом уровне атмосферы (Борисенков, Нагурный, 1970). В области численных экспериментов были представлены работы по развитию малопараметрических моделей циркуляции атмосферы и океана. На полигонах Северной Атлантики были проведены работы с целью изучения пространственно-временной структуры основных гидрофизических полей, а также механизмов взаимодействия атмосферы и океана с помощью специальной аппаратуры, предназначенной для определения составляющих теплового баланса. Вместе с тем, было отмечено, что без информации о крупномасштабных и долговременных процессах, протекающих на акватории океана, однозначная интерпретация явлений, наблюдаемых на ограниченных акваториях, в большинстве случаев невозможна. В связи с этим при дальнейшей реализации программы ПОЛЭКС на первый план была выдвинута задача проведения крупномасштабных долговременных натурных экспериментов.

Был предложен ряд таких экспериментов, и в частности натурный эксперимент «Центры действия атмосферы и океана в арктической области», который предполагал исследования очагов взаимодействия океана и атмосферы и связанных с ними крупномасштабных структур в атмосфере (центров действия) и в океане (океанические круговороты). Концепция очагов взаимодействия («география взаимодействия») (Бо-

рисенков, Трешников, 1970)) получила развитие при разработке программы «Разрезы» (Программа ..., 1981), где были использованы решения обратной задачи обнаружения очагов влияния на погоду и климат на территории России с использованием гидродинамической модели циркуляции атмосферы (Марчук, Скиба, 1976). Обнаруженные таким образом очаги взаимодействия океана и атмосферы были названы энергоактивными областями океана (ЭАЗО) и одна из этих областей располагалась в Северо-Европейском бассейне (Алексеев и др., 1985).

Эксперимент «Автоколебания гидрометеорологического режима Северного Ледовитого океана» был предложен исходя из предположения о взаимодействии процессов в Северном Ледовитом океане, Северной Атлантике и в атмосфере над ними, приводящем к возникновению автоколебаний с периодом 6—8 лет. Эксперимент «Водообмен между Северным Ледовитым, Атлантическим и Тихим океанами» был направлен на мониторинг расходов воды, тепла и соли через проливы, соединяющие эти океаны. Эксперимент «Параметризация процессов в атмосфере и океане при наличии ледяного покрова» должен был предоставить данные о процессах энерго-массообмена в системе океан — лед — атмосфера для последующей их параметризации в моделях циркуляции атмосферы и океана.

Для реализации программ натуральных экспериментов был предложен план экспедиционных исследований на ближайшие годы, который осуществлялся в 1974—1975 гг. в рейсах научно-исследовательских судов, в воздушных высокоширотных экспедициях (ВВЭ) «Север» в Арктический бассейн, посредством постановки автономных буйковых станций. За этот период было выполнено до 10 рейсов научно-исследовательских и экспедиционных судов (Борисов и др., 2006), начаты крупномасштабные океанографические съемки Арктического бассейна ВВЭ «Север» (Константинов, Грачев, 2000). Вместе с тем, ощущалась необходимость объединения исследований по программам отдельных экспериментов в рамках крупномасштабного эксперимента на всей Северной полярной области, скоординированного с реализуемой в этот период Программой исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП).

В 1975 г. программа такого эксперимента, названного «ПОЛЭКС-Север-76» (Программа ..., 1976), была разработана под руководством А.Ф. Трешникова с учетом предложений от НИУ ГУГМС и АН СССР и одобрена в декабре 1975 г. на заседании Научного совета ГУГМС по проблеме «Изучение океанов и морей» и на Бюро Научного совета по проблеме «Изучение океанов и морей и использование их ресурсов» ГКНТ. Главной целью эксперимента было оценить вклад переноса тепловой энергии в атмосфере и океане в тепловой баланс системы океан — атмосфера в высоких широтах Северного полушария и, таким образом, более точно определить составляющие теплового баланса системы.

Эксперимент предполагалось проводить в марте — августе 1976 г. по нескольким направлениям (подпрограммам), включающим: радиационные исследования для определения радиационного баланса системы Земля — атмосфера, поверхности океана и льда и радиационных характеристик атмосферы с учетом распределения по вертикали облачности, водяного пара, углекислого газа, озона и аэрозолей; определение адвекции тепла в атмосфере, океане и изменения энтальпии системы океан — атмосфера; определение составляющих энергообмена между атмосферой и океаном, а также по ряду сопутствующих подпрограмм исследований, необходимых для научного обеспечения основных подпрограмм (методики, детализация процессов и др.).

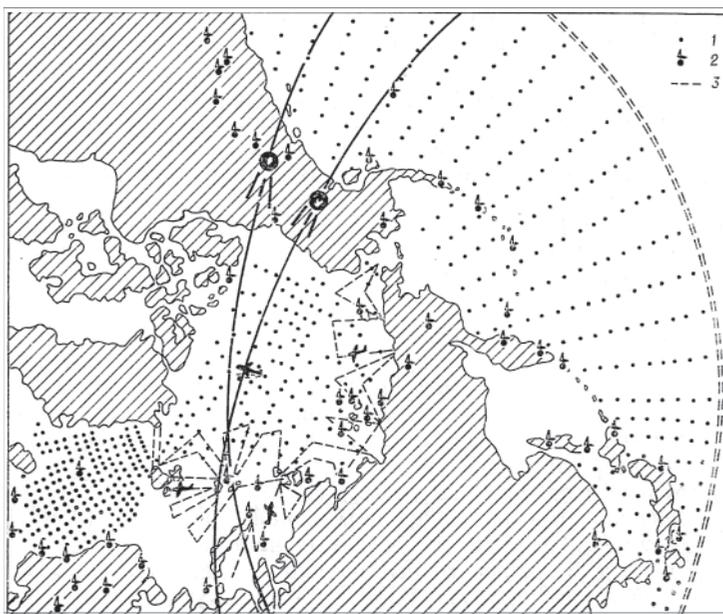


Рис. 2. Схема эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» (Трёшников, 1979).
 1 — океанографические станции, 2 — аэрометеорологические станции,
 3 — маршруты летающих обсерваторий.

В запланированные сроки в 1976 г. под руководством А.Ф. Трёшникова начался крупнейший в истории исследований Северной полярной области натурный эксперимент «ПОЛЭКС-Север-76». В работах, развернутых на акватории Северного Ледовитого океана и Берингова моря (рис. 2), приняли участие научно-исследовательские суда ААНИИ, других институтов Гидрометслужбы и других ведомств, авиация для выполнения океанографической съемки в Арктическом бассейне, ледовой разведки и атмосферных исследований.

При организации выполнения эксперимента вся область была разделена на три района – Северо-Европейский (без Баренцева моря), Арктический (Арктический бассейн, арктические моря и Баренцево море), Северо-Тихоокеанский (к северу от 30° с.ш.). В наиболее полной форме эксперимент был осуществлен в Северо-Европейском районе, где шестью научно-исследовательскими судами были выполнены три последовательные крупномасштабные океанографические съемки (1100 гидрологических станций), измерения течений на буйковых станциях и комплекс исследований атмосфер.

В Арктическом районе высокоширотной экспедицией «Север-28» была выполнена океанографическая съемка на регулярной сетке станций, покрывающей акваторию Арктического бассейна и северные части арктических морей (143 гидрологические станции) и ряд сопутствующих экспериментов для исследования процессов в атмосфере и морских льдах.

В Северо-Тихоокеанском районе четырьмя научно-исследовательскими судами ДВНИИГМИ были выполнены океанографическая съемка обширной акватории севернее 30° с.ш. (1063 океанографических станции) и комплекс метеорологических и аэрологических исследований.

В результате выполнения эксперимента был получен большой массив данных наблюдений в атмосфере и океане Северной полярной области. Океанографические данные представили практически синоптическое по океаническим меркам распределение океанологических полей в Северной полярной области при смене климатических режимов, особенно заметной в Тихоокеанском районе (Hare, Mantua, 2000).

Оценки переноса тепла в океане и атмосфере в Северо-Европейском бассейне подтвердили определяющую роль океанического притока тепла в этот район для формирования климатических и погодных условий в Арктике и на европейской части страны, о чем высказывал предположение еще В.Ю. Визе (Визе, 1937). Наблюдения в этом регионе заложили прочный фундамент для дальнейших исследований рассматриваемых процессов в режиме мониторинга в рамках как программы ПОЛЭКС, так и последующих программ.

Океанографическая съемка Арктического бассейна весной 1976 г. позволила установить важные особенности структуры и циркуляции водных масс и получить представление об их изменениях по сравнению с данными, полученными в результате выполненных ранее (в 1955—1956 и 1973—1975 гг.) съемок. Была установлена тенденция к ослаблению циркуляции и понижению температуры воды в бассейне. Были обнаружены области формирования и распространения холодных промежуточных вод (Никифоров и др., 1977, 1979). Они располагаются на периферии Арктического бассейна к северу от архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля, Гренландии и Канадского Арктического архипелага (рис. 3).

Промежуточные воды с более низкой температурой и более высокой соленостью, чем в верхнем слое, образуются зимой при интенсивном ледообразовании, сопровождающемся конвективным перемешиванием (Никифоров и др., 1977), глубина

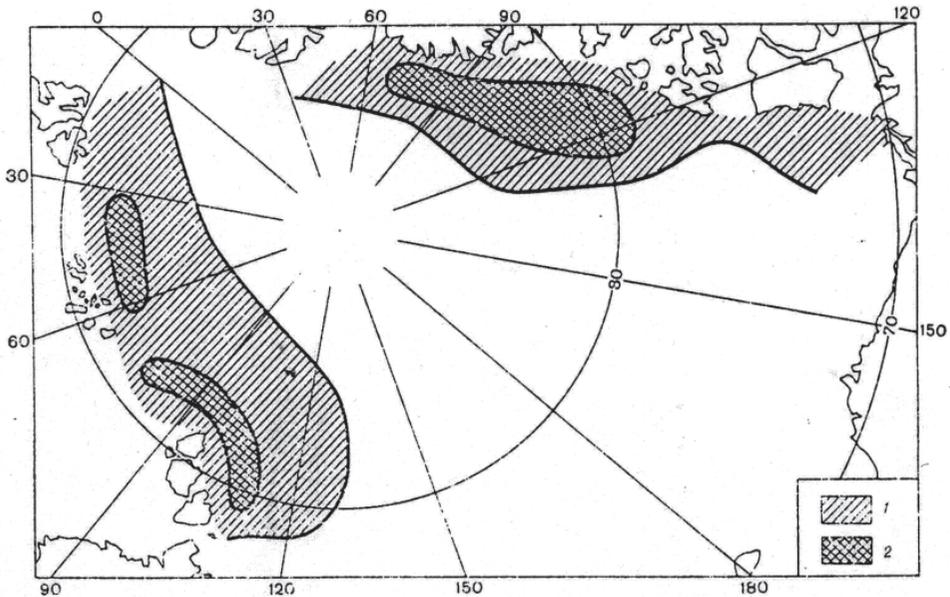


Рис. 3. Зоны образования и распространения зимних промежуточных вод в Арктическом бассейне (Никифоров и др., 1979).
1 — зона образования вод, 2 — ареал вод.

которого достигает верхней границы воды атлантического происхождения. Как правило, холодные промежуточные воды не перемешиваются с водами атлантического происхождения, а распространяется над ними на север от районов образования, сохраняя свои характеристики.

Были установлены значительные межгодовые колебания теплосодержания в слое воды атлантического происхождения в Арктическом бассейне, обусловленные в основном изменениями толщины слоя; более длительные, многолетние изменения теплосодержания вызваны, прежде всего, изменениями температуры слоя. С изменениями в поступлении атлантических вод через пролив Фрама связаны и климатические изменения антициклонического круговорота в Арктическом бассейне. Отмечена также консервативность крупномасштабной структуры водных масс и их циркуляции, изменения которой проявляются в интенсивности процессов (Никифоров и др., 1979).

Полученные весной 1976 г. данные океанографических наблюдений в Арктическом бассейне были использованы при подготовке атласа «Северный Ледовитый океан» (Атлас океанов, 1980) и «Атласа Арктики» (1985). Позднее они вошли в цифровые сеточные массивы климатических океанографических данных для Северного Ледовитого океана (EWG 1997, 1998, 2000), а наследие эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» было использовано при разработке части программы «Разрезы», относящейся к Норвежской энергоактивной зоне.

Программа «Разрезы» разрабатывалась под руководством академика Г.И. Марчука в 1979—1981 гг. Научные основы программы обсуждалась на совещании с участием А.Ф. Трёшников и сотрудников ААНИИ в Новосибирске в 1979 г. Основная научная задача этой программы также заключалась в исследовании взаимодействия океана и атмосферы в целях долгосрочного прогноза погоды и короткопериодных изменений климата. Для оценки аномалий температуры поверхности океана, теплосодержания верхнего деятельного слоя и изучения физических механизмов их формирования в Мировом океане было выделено пять энергоактивных зон.

Одна из них, названная Норвежской энергоактивной зоной (НЭАЗО), располагалась на акватории Норвежского моря южнее параллели 71° с.ш. (Программа ..., 1981). Учитывая результаты эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76» в Норвежском и Гренландском морях, выполненного на сетке разрезов до параллели 79° с.ш., было решено распространить область исследований на эту акваторию и продолжить наблюдения в Северо-Европейском бассейне по объединенной программе «ПОЛЭКС-Север/Разрезы» (Алексеев и др., 1985). Была принята схема океанографических наблюдений на регулярной сетке станций, покрывающей оба моря. Кроме того, проводились наблюдения на регулярной учащенной сетке станций в районах климатически активных процессов, таких как область глубокой конвекции в Гренландском море, круговорот над Лофотенской котловиной, Фареро-Шетландский канал и др. (рис. 4).

На первом этапе экспедиционных работ по объединенной программе «ПОЛЭКС-Север/Разрезы» в 1981—1985 гг. в рейсах НИС ААНИИ и других организаций было выполнено 12 628 океанографических станций, проведено 11 563 метеонаблюдений, большое число актинометрических и аэрологических наблюдений. Анализ этих данных и результатов съемок за 1976—1979 гг. позволил существенно дополнить представления о структуре и изменчивости характеристик вод Норвежского и Гренландского морей (Структура ..., 1989). Впервые были получены характеристики

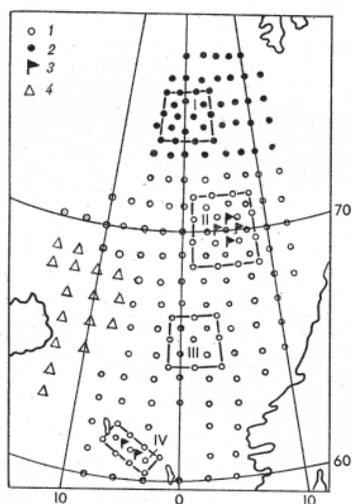


Рис. 4. Схема размещения океанографических станций на акватории Северо-Европейского бассейна (Структура ..., 1989).

1 — станции, выполняемые по программе «Разрезь»; 2 — по программе «ПОЛЭКС-Север»; 3 — буйковые постановки; 4 — станции, выполнявшиеся до 1984 г. I — полигон «Купол»; II — полигон «АЦ-вихрь»; III — полигон «М»; IV — полигон «Фареро-Шетландский пролив».

пространственной и временной изменчивости характеристик вод в глубоководных котловинах, выявлены области наибольшей изменчивости, связанные с фронтальными зонами и круговоротами, проведена типизация фронтальных разделов и рассмотрены механизмы их формирования (Кораблев, 1987).

В марте 1984 г. было зафиксировано развитие глубокой конвекции в Гренландском море (Нагурный и др., 1985). В районе Лофотенской котловины Норвежского моря в мае — июне 1985 г. была выполнена подробная океанографическая съемка, включающая инструментальные наблюдения за течениями. Были определены пространственные размеры ядра атлантических вод, достигающих в этом районе больших глубин и являющихся потенциальным источником повышенной теплоотдачи из океана в атмосферу. Аномально глубокое проникновение сезонного сигнала и наличие условий стратификации, благоприятных для развития глубокой конвекции, поставили этот район в ряд важных климатообразующих областей Северо-Европейского бассейна. Совершенствовалась и методика экспедиционных исследований, были выработаны рекомендации по проведению мониторинга на вихреразрешающей сетке станций (Алексеев, 1984; Алексеев, Николаев, 1987).

К 1989 г. число крупномасштабных съемок в Норвежском и Гренландском морях достигло 30, а число локальных полигонов в областях наиболее активных океанических процессов превысило 50. Таким образом были значительно расширены возможности диагноза, анализа и моделирования изменчивости. Более детально были представлены климатические океанические структуры — стационарные круговороты в глубоководных впадинах, системы гидрологических фронтов, теплые и холодные течения, кромка морских дрейфующих льдов (Структура..., 1989; Иванов, Макштас, 1987). Показана высокая корреляция положения этих структур в различных слоях и зон повышенной временной изменчивости. Характеристики крупномасштабной

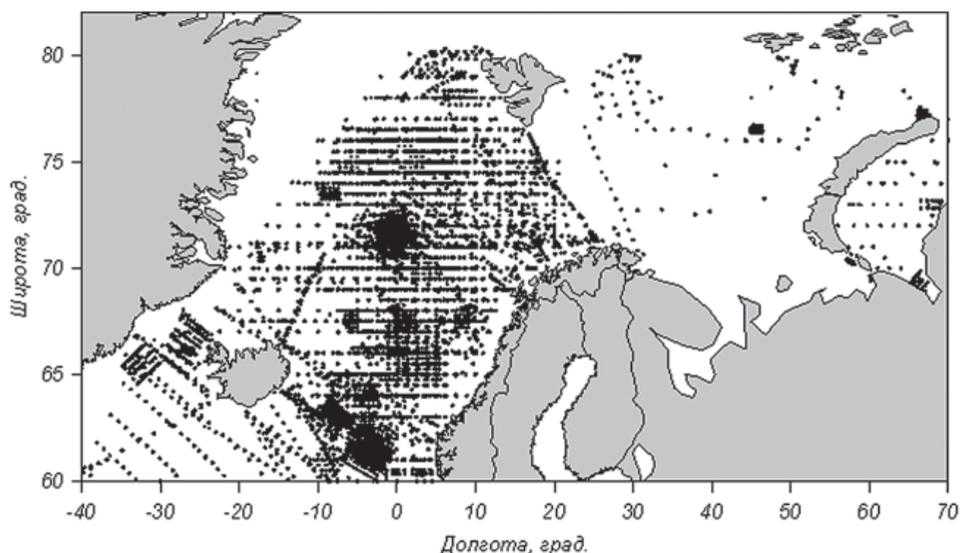


Рис. 5. Положение океанографических станций, выполненных в 1968—1993 гг. по программам НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы», а также океанографические станции в Баренцевом и Карском морях, которые выполнялись в рамках других программ.

временной изменчивости по данным наблюдений на регулярной сетке станций были получены впервые.

Следует отметить, что крупномасштабные съемки с привлечением нескольких судов выполнялись только в программах «ПОЛЭКС-Север» и «ПОЛЭКС-Север/Разрезы», а также во время проведения наблюдений в рамках международного геофизического года в 1958 г. Разработанная стратегия натуральных экспериментов позволила не только получить новые данные о структуре и изменчивости крупномасштабных океанографических полей, но и выявить не известные ранее особенности локальных океанографических структур и процессов в Северо-Европейском бассейне.

Полный массив результатов океанографических наблюдений за период выполнения национальных программ в Норвежском и Гренландском морях составили данные 42 крупномасштабных съемок (4408 станций), 17 полигонов в зоне глубокого проникновения атлантических вод в Лофотенской котловине, 19 полигонов в центральной части Гренландского моря, большого числа наблюдений в проливах, фронтальных и прикромочных зонах дрейфующих льдов (рис. 5). Эти данные составили основу базы океанографических данных Северо-Европейского бассейна, которая в настоящее время включает данные более 700 000 станций (Кораблев и др., 2007).

Собранные океанографические данные составляют уникальную информационную основу для диагностики, анализа и моделирования океанических процессов и их взаимодействия с процессами в атмосфере. На их основе получены оценки теплосодержания деятельного слоя в центральной части Норвежского моря с учетом вклада теплообмена с атмосферой (20 %) и адвекции (80 %). Уточнены характеристики сезонной и межгодовой изменчивости полей океанографических параметров и положение областей максимальной изменчивости.

На основании анализа положения и интенсивности фронтальных разделов сделан вывод о формировании системы фронтов различной конфигурации в зависимости от

конкретных гидрологических условий. Рассмотрены результаты многомерной классификации водных масс и характеристики их временной изменчивости. Проведен статистический анализ значимости вертикальных, горизонтальных и временных корреляционных связей для полей аномалий температуры воды и солёности. Установлены сезонные изменения взаимосвязей и выделены ключевые узлы со значимой корреляцией.

Проанализированы океанографические и метеорологические условия развития глубокой конвекции в Гренландском море. Впервые с использованием математической модели воспроизведены основные закономерности трансформации поля плотности в конвективном круговороте, ведущие к развитию глубокой конвекции. Серия натуральных съёмок в Лофотенской котловине выявила сложные динамические процессы на нижней границе линзы атлантических вод, включающие взаимодействие локальных антициклонических вихрей и крупномасштабной циркуляции.

Научные итоги отечественных натуральных исследований в Северо-Европейском бассейне по программам НЭВ, «ПОЛЭКС-Север», «Разрезы» подведены в многочисленных публикациях, включающих ряд монографий и сборников статей (ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1, Ч2, 1979; Николаев, 1981; Алексеев, 1984; Структура..., 1989; Закономерности..., 1994; Взаимодействие..., 1991 и др.). Итоги исследований в Арктическом бассейне и арктических морях нашли отражение в серии обобщающих публикаций (Проблемы Арктики и Антарктики, 1976; ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1, Ч2, 1979; Трёшников, 1979; Никифоров, Шпайхер, 1980; Вертикальная структура..., 1989) и в работах представляющих, в частности, оценки составляющих теплового баланса системы океан — атмосфера в Арктике (Доронин, 1974; Макштас, 1984; Хрол, 1992).

Тепловой баланс верхнего слоя Арктического бассейна поддерживается потоками тепла через его границы при активном участии притоков в этот слой и стоков через него пресных и солёных вод. Радиационный баланс на поверхности составляет в среднем за год около 3 Вт/м^2 и отрицателен (Хрол, 1992) в противоположность остальной части Мирового океана за исключением акватории, прилегающей к побережью Антарктиды. Суммарный за год поток тепла на поверхности Арктического бассейна также направлен из океана в атмосферу, что характерно для энергоактивных областей океана.

Вопрос об источниках тепла, отдаваемого в атмосферу через поверхность Арктического бассейна, давно являлся предметом дискуссий. Одни исследователи полагали, что главный источник — тепло от нижележащих вод атлантического происхождения и, в меньшей степени, от вод тихоокеанского происхождения. Другие (Трёшников, 1959; Тимофеев, 1960) считали, что основной источник — это тепло превращения избытка пресной воды в этом слое в морской лёд, выносимый затем за пределы Арктического бассейна. Уточнённые оценки вклада внутренних источников тепла были получены по данным наблюдений на дрейфующих станциях «Северный полюс» в 1970—1980-х годах. Г.В. Алексеев и А.Я. Бузуев (1973, 1974) показали, что осолонению верхнего слоя за счёт процессов зимнего ледообразования в среднем на 0,60 % соответствует вымерзание слоя пресной воды толщиной 80 см. Поступление пресной воды в верхний слой, оценённое как в результате прямых измерений стаивания снега, льда и осадков, так и по летнему распреснению воды, составляет 53 см. Превышение зимнего вымерзания над поступлением пресной воды летом (27 см) удивительно близко к величине среднего слоя пресной воды (29 см) на единице по-

верхности Арктического бассейна, соответствующего годовому выносу льда через пролив Фрама по данным К.Огарда и Е.Кармака (1989).

Измерения нарастания многолетнего льда в зимний период одновременно с оценками осолонения верхнего слоя показали, что процесс вымерзания пресной воды связан с нарастанием молодых льдов в разводьях в большей степени, чем с увеличением толщины старых льдов. В конечном итоге увеличение массы льда зимой сопровождается выделением тепла, соответствующего среднему за этот период потоку, равному 12 Вт/м^2 , из которых примерно 7 Вт/м^2 обеспечиваются вымерзанием «местной» пресной воды и 5 Вт/м^2 — вымерзанием пресной воды, поступившей с осадками и речным стоком. Расчетная климатическая оценка суммарного потока тепла на поверхности за такой период составляет $12,7 \text{ Вт/м}^2$ (Хрол, 1992). Оценки суммарного потока тепла с поверхности дрейфующего льда по данным метеорологических измерений зимой (Макштас, 1984) находятся в пределах $11\text{—}12 \text{ Вт/м}^2$ в среднем за четыре зимних месяца. Таким образом, поток тепла из океана в атмосферу над Арктическим бассейном формируется с активным участием процессов образования и таяния льда.

Если оценить составляющие теплового баланса атлантических вод в целом, основываясь на вкладе атлантических вод в поддержание солевого баланса Арктического бассейна и используя метод солевого баланса, примененный Е.Г. Никифоровым и А.О. Шпайхером (1980) для расчета потоков соли в СЛО, и оценки водообмена через пролив Фрама (Тимофеев, 1960; Никифоров, Шпайхер, 1980), то суммарное поступление тепла от атлантических вод составит примерно $1/5$ тепла, выделяющегося при вымерзании избытка пресной воды в верхнем слое. С учетом того, что основная часть тепла от атлантических вод поступает в верхний слой на периферии Арктического бассейна, можно заключить, что полученные оценки не противоречат предположению о малом вкладе атлантических вод в тепловой баланс верхнего слоя непосредственно в Арктическом бассейне.

Комплексные натурные исследования океана, морских льдов, атмосферы и взаимодействия между ними, выполнявшиеся в 1970—1980-е годы в Арктике по программам НЭВ, ПОЛЭКС, «Разрезы», были продолжены 2000-е годы в рамках исследований по национальным и международным проектам, кульминацией которых стало выполнение натурных экспериментов по программе Международного полярного года 2007/08, при разработке планов и реализации которых широко использовался опыт и результаты крупномасштабных исследований 1970—1980-х годов (Итоги МПГ..., 2013).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.В. (1984). Натурные исследования крупномасштабной изменчивости в океане. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 112 с.

Алексеев Г.В., Бузуев А.Я. (1973). Боковое таяние льда в разводье // Труды ААНИИ. Т. 307. С.169—178.

Алексеев Г.В., Бузуев А.Я. (1974). К определению зимнего нарастания льда в разводьях с учетом торошения // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 45. С. 125—127.

Алексеев Г.В., Николаев Ю.В. (1987). Натурные исследования в Норвежской энергоактивной зоне в 1981—1985 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 63. С. 5—14.

Алексеев Г.В., Николаев Ю.В., Романцов В.А. (1985). Норвежская энергоактивная зона океана // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 5. С. 45—62.

- Атлас Арктики (1985) / Под ред. А.Ф. Трёшникова. —М.: Изд-во ГУГК СССР. 204 с.
- Атлас океанов (1980). Северный Ледовитый океан / Под ред. В.Г. Горшкова. —М.: Изд-во МО СССР, ВМФ. 190 с.
- Борисенков Е.П., Нагурный А.П.* (1970). Об аналогах энергетических уровней об атмосфере и океане // Труды ААНИИ. Т. 296. С. 92—97.
- Борисенков Е.П., Трёшников А.Ф.* (1970). О роли полярных районов в проблеме глобальных исследований циркуляции атмосферы и океана // Труды ААНИИ. Т. 296. С. 5—21.
- Борисов Б.Г., Корнилов Н.А., Папченко В.С.* (2006). Научно-исследовательский и экспедиционный флот ААНИИ / Под ред. И.Е. Фролова. —СПб.: ААНИИ. 232 с.
- Вертикальная структура и динамика подледного слоя океана (1989) / Под ред. Л.А. Тимохова. —Л.: Гидрометеиздат, 1989. 141 с.
- Взаимодействие океана и атмосферы в Северной полярной области (1991) / Под ред. А.Ф. Трёшникова и Г.В. Алексеева. —Л.: Гидрометеиздат. 176 с.
- Визе В.Ю.* (1937). Современное состояние вопроса о ледовых прогнозах // Проблемы Арктики. №1. С. 67—80.
- Доронин Ю.П.* (1974). Влияние ледяного покрова на теплообмен атмосферы с океаном // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 43—44. С. 52—59.
- Закономерности крупномасштабных процессов в Норвежской энергоактивной зоне и прилегающих районах (1994) / Под ред. Г.В. Алексеева и П.В. Богородского. —СПб.: Гидрометеиздат, 216 с.
- Иванов Б.В., Макитас А.П.* (1987). Особенности энергообмена между океаном и атмосферой в прикомочных зонах дрейфующих морских льдов // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 8. С. 222—227.
- Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований (2013) / Под ред. А.Н. Чилингарова, А.И. Бедрицкого, В.Г. Дмитриева. М. —СПб.: ООО «Паулсен». 220 с.
- Константинов Ю.Б., Грачев К.И.* (2000). Высокоширотные воздушные экспедиции «Север» (1937, 1941—1993 гг.) / Под ред. В.Т. Соколова. —СПб.: Гидрометеиздат. 176 с.
- Кораблев А.А.* (1987). Система фронтальных разделов Норвежской НЭАЗО // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 8. С. 380—386.
- Кораблев А.А., А.В.Пнюшков А.В., Смирнов А.В.* (2007). Создание океанографической базы данных для мониторинга климата в Северо-Европейском бассейне Арктики // Труды ААНИИ. Т. 447. С. 85—108.
- Макитас А.П.* (1984). Тепловой баланс арктических льдов в зимний период. —Л.: Гидрометеиздат. 66 с.
- Марчук Г.И., Скиба Ю.Н.* (1976). Численный расчет сопряженной задачи для моделей термического взаимодействия атмосферы с океаном и континентом // Изв. АН СССР. ФАО. Т. 12. №5. С. 16—24.
- Нагурный А.П., Богородский П.В., Попов А.В., Священников П.Н.* (1985). Интенсивное образование холодных донных вод на поверхности Гренландского моря // Доклады АН СССР. Т. 284, №2. С. 478—480.
- Никифоров Е.Г., Блинов Н.И., Лукин В.В.* (1977). Новые данные о природе промежуточных водных масс Арктического бассейна // Труды ААНИИ. Т. 338. С. 17—31.
- Никифоров Е.Г., Блинов Н.И., Лукин В.В.* (1979). Некоторые результаты экспедиционных исследований по программе «ПОЛЭКС-Север-76» // ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат. С.129—146.
- Никифоров Е.Г., Штайхер А.О.* (1980). Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. —Л.: Гидрометеиздат. 259 с.

- Николаев Ю.В.* (1981). Роль крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании аномалий погоды. —Л.: Гидрометеоздат. 51 с.
- ПОЛЭКС-Север-76. Ч.1. (1979) / Под ред. Трёшников А.Ф. и др. —Л.: Гидрометеоздат. 251с.
- ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 2. (1979) / Под ред. Трёшников А.Ф. и др. —Л.: Гидрометеоздат. 193с.
- Проблемы Арктики и Антарктики (1976). —Л.: Гидрометеоздат. Вып. 47. 170 с.
- Программа исследования атмосферы и океана в целях изучения короткопериодных изменений климата (программа «Разрезы»). (1981) / Под ред. Г.И. Марчука // Итоги науки и техники. Атмосфера, океан, космос — программа «Разрезы». Т. 1. 60 с.
- Программа натурального полярного эксперимента 1976 года (ПОЛЭКС-Север-76) (1976). —Л.: Репрогр. ААНИИ. 115 с.
- Структура и изменчивость крупномасштабных океанологических процессов и полей в Норвежской энергоактивной зоне (1989) / Под ред. Ю.В.Николаева, Г.В. Алексева. —Л.: Гидрометеоздат. 128 с.
- Тимофеев В.Т.* (1944). Водные массы Норвежского и Гренландского морей и их динамика. —М.— Л.: Изд-во Главсевморпути. 264 с.
- Тимофеев В.Т.* (1960). Водные массы Арктического бассейна. —Л.: Гидрометеоздат. 190 с.
- Трёшников А.Ф.* (1959). Поверхностные воды в Арктическом бассейне // Проблемы Арктики. № 7. С. 5—14.
- Трёшников А.Ф.* (1979). Основные задачи и итоги национального натурального эксперимента «ПОЛЭКС-Север-76»// ПОЛЭКС-Север-76. Ч. 1. Л.: Гидрометеоздат. С. 7—15.
- Трёшников А.Ф.* (1973). Итоги и перспективы полярного эксперимента (доклад на заседании ГКНТ 30 мая 1973 года). —Л.: Репрогр. ААНИИ. 43 с.
- Трёшников А.Ф.* (1979). Основные итоги исследований в океанических районах полярных широт (программа «ПОЛЭКС») / Успехи советской океанологии. Материалы Первого съезда советских океанологов. —М.: Наука. С. 146—156.
- Трёшников А.Ф., Борисенков Е.П., Никифоров Е.Г., Мустафин Н.В., Чаплыгин Е.И., Шнайхер А.О.* (1968). Натурный эксперимент по проблеме взаимодействия океана и атмосферы // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып.28. С. 5—20.
- Хрол В.П.* (1992). Атлас энергетического баланса Северной полярной области. —СПб: Гидрометеоздат. 72 с.
- Aagaard K., Carmack E.C.* (1989). The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation // J.Geophys. Res. V. 94. P. 10, 14485—14498.
- Environmental Working Group (EWG) (1997). Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean: Oceanography Atlas for the Winter Period. Boulder, National Snow and Ice Data Center, CO.
- Environmental Working Group (EWG) (1998). Joint U.S. Russian Atlas of the Arctic Ocean: Oceanography Atlas for the Summer Period. Boulder, National Snow and Ice Data Center, CO.
- Environmental Working Group (EWG) (2000). Joint U.S. Russian Arctic Atlas. The Arctic Climatology Project. Arctic Meteorology and Climate Atlas. NSIDC/CIRES.
- Hare S.R., Mantua N.J.* (2000). Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Progr. Oceanog. V. 47. P. 103—146.