

УДК 92+551.465.4

МОРСКИЕ БИОЛОГИ – ФИЗИКЕ ОКЕАНА

Н.М. Адров

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Дан краткий исторический очерк биоокеанологических исследований XIX–XX вв. в контексте построения схем-моделей движения и трансформации водных масс океана. Представлены образцы физико-географических разработок схем циркуляции океанских вод на примере Баренцева моря как наиболее показательного этапа взаимодействия Атлантики и Арктики. Догадки морских биологов о природе циркуляции вод, миграции живых обитателей и дрейфе плавучего льда используются для разработанной в Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра РАН климатологической схемы адвективной (горизонтальной) составляющей трансформации водных масс.

Ключевые слова:

миграция, биоиндикация, водные массы, термогалинная трансформация, стратификация, энерговлагообмен, адвекция, конвекция, рециркуляция.



Последние десятилетия XIX в. и первые – XX в. стали переломными в морских исследованиях на Севере. Это был период окончательных географических открытий на всей нашей планете, закрывший «белые пятна» Северной Земли и Земли Франца-Иосифа, неожиданных открытий глубин Арктического океана в экспедиции норвежского «Фрама» и открытия богатейших рыбных промыслов российским «Андреем Первозванным» – первым в мире научно-промысловым экспедиционным судном. Главными действующими лицами этих событий стали биологи-ровесники, рожденные в 60-х гг. XIX в.: наш Николай Михайлович Книпович и норвежский Фритъоф Нансен, предоставившие две принципиально

разные физические модели течений на примере Баренцева моря [1], к которым мы обратимся, как к основополагающим для дальнейших разработок схем циркуляции на том же Баренцевом море, поскольку этот район Мирового океана, площадью 1.4 млн км², представляет собой универсальный пример сочетания всех физических механизмов взаимодействия полного набора геосфер от самой океаносферы, до атмо-, крио-, гидро-, лито- и биосферы, а во второй половине XX в. – и ноосферы.

Глобальные представления физических процессов имеют довольно длительную историю, связанную с дальними плаваниями парусного килевого флота и плоскодонных ледовых судов – поморских лодий, шедевров архангельского судостроения. «Физические» задачи северных промысловиков решались подобно аналогичным задачам их просвещенных потомков, знанием биологии морских объектов добычи и сопутствующими наблюдениями за сухопутными и «воздухопутными» живыми обитателями. К физике океанологических явлений более всего имели отношение морские млекопитающие и птицы, мигрирующие на очень большие расстояния. Именно эти биоиндикаторы океанских и атмосферных систем циркуляции стали самыми очевидными трассерами течений и циклонов системы Гольфстрима, начиная от тропических и умеренных широт и заканчивая северной оконечностью Шпицбергена. Они же зачастую подводили самых великих и вдумчивых исследователей естественной природы, особенно загадочной в заполярных широтах Северного Ледовитого океана.

Там полдень в севере, ина в магните сила.
Бездонный Океан травой как луг покрыт;
Погибель в ночь и в день со всех сторон грозит.
Сам лед, что кажется толь грозен и ужасен,

От оных лютых бед даст ход вам безопасен.
Колумбы росские, презрев угрюмый рок,
Меж льдами новый путь отворят на восток,
И наша достигнет в Америку держава ...
М.В. Ломоносов.

Как свидетельствовал Михаил Васильевич: «С северной стороны Шпицбергена перелетают гуси через высокие льдом покрытые горы: из сего явствует, что далее к полюсу довольно есть пресной воды для плавания и травы для корму*». Взвесив практически все «за» и «против» существования безледного режима морской Арктики, он сделал следующее теоретическое заключение: «Рассудив о Северном океане, на который солнце хотя и косвенными лучами целые полгода сияет почти беспрестанно, подумать невозможно, чтобы от них не согревался чувствительно; подлинно, что зимою для долговременного отсутствия теплоты солнечной должен он мало прохладяться, но прохладение зимнее летнего нагревания превысить не может». Главным физическим свойством вод, интересующим первого русского профессора химии (1745) и создателя первой химической лаборатории (1748), была солёность. «Разная солёность воды, – замечает Ломоносов, – показывает прибавляясь отдаление от берегов и льдов, убывая – значит к ним приближение, внезапно чувствительная воды пресность значит в близости великой реки устья». Здесь проявилась поразительная интуиция Ломоносова в отношении правильного выбора принципа решения научной проблемы. В данном случае, такой проблемой явилась классификация вод: морских, прибрежных и ледовых. Вызывает удивление вовсе не логичность выше приведенного утверждения о влиянии речного стока и таяния плавучих арктических льдов на морские воды, а глубокая осмысленность избранного параметра морской воды, научное значение которого до сих пор остается на самом высоком уровне.

Но одно дело предлагать суждения, а другое – создавать на основе выявленных природных связей практические расчетные методы, что станет самой тяжкой и насущной заботой специалистов нашего времени. Собственно говоря, на создание способов перевоплощения правильных качественных описаний в конкретные количественные выражения и направлены все наши предшествующие и последующие рассуждения и приводимые примеры из истории исследований Баренцева моря, а заодно и всего Мирового, но сначала наиболее близкого и загадочного Северного Ледовитого океана, который обратил на себя такое пристальное внимание морских держав в «золотом» XVIII, «серебряном» XIX и «стальном», «жестоком» XX в. [2].

Проблемы представлений адвекции как горизонтального и конвекции – как вертикального перемещения частиц воды вместе с растворенными солями, взвесями и живыми планктонными организмами, за которыми следовали активные пловцы нектона, требовали совмещения наблюдений за поведением живых организмов и измерений физических свойств вод. Догадки о связях физической и биологической природы водных масс [3] давали богатые возможности построения моделей, главным инструментарием которых были знания особенностей поведения и миграции живых организмов. Все географы далекого прошлого опирались на биологические данные, потому что физических приборов было крайне мало, да и глобальные масштабы не давали возможностей охватить даже незначительные части Мирового океана, занимающего, как известно, 71% площади земного шара.

Наиболее изученным объектом Мирового океана послужила система Гольфстрима, название которой так же условно, как и все физические и математические понятия естественной среды нашего обитания на Земле. Изначально правильно угаданное родство дальнего субтропического течения, начинающего свой путь в Саргассовом море и в своем великом шествии достигшего самых северных пределов мореплавания, напоминает угаданную когда-то связь приливо-отливных колебаний уровня моря с фазами Луны. В первую половину XIX в. только-только появились точные навигационные приборы, еще не было надежных, морских инструментов для измерения физических и химических свойств воды, а масштабы гидрографических съемок были недостаточно обширными для того, чтобы связать воедино

* Здесь и далее сохраняется оригинальная орфография, пунктуация и стиль цитируемых источников.

фрагменты наблюдаемых отклонений дрейфа парусных судов от истинного курса – достоверных показателей стационарных морских течений – в единую глобальную систему циркуляции, по которой путешествовали самые крупные на Земле млекопитающие.

В 1513 г. появилось первое описание Гольфстрима, выполненное бывшим помощником Христофора Колумба, губернатором Пуэрто-Рико (с 1509 г.) Понсом де Леоном, который отправился в «биологическое» плавание в поисках «источника молодости» и «реки жизни», которые должны были исцелить стареющего конкистадора от приобретенных в бесконечных морских скитаниях недугов. В 1575 г. Андре Теве объяснял зарождение Гольфстрима потоком воды через Флоридский пролив, подпитываемым крупными реками (как, например, Миссисипи), впадающими в Мексиканский залив (на самом деле, поток Гольфстрима в десятки раз превосходит сумму расходов всех рек на земном шаре). Почти через 100 лет молодой нидерландский географ Бернард Варениус, творец бессмертной «Всеобщей географии», английское издание которой дважды выходило под редакцией самого Ньютона, а в России было издано по указу Петра I, и автор первого расчленения Мирового океана на Атлантический, Индийский, Тихий, Южный и Гиперборейский, опубликовал описания всех известных в то время поверхностных течений. А первой схемой течений, на которой показан Гольфстрим, была карта Атанасиуса Кирхера (1602–1680), вычерченная им в 1665 г. Автор этой замечательной модели циркуляции океана – немецкий ученый монах-иезуит, в то же время естествоиспытатель, математик и физик, теоретик вулканизма и циркуляции воды внутри тела Земли, – направил поток системы Гольфстрима вглубь нашей планеты через огромное жерло на северном ее полюсе и тем самым вернул ушедшие в Арктику атлантические воды на «круги своя». Как всегда в истории, самые фантастические и вздорные донаучные модели имеют рациональные научные составляющие. В данном случае это правильно понятый источник движений водных масс – тепло, который был помещен в глубине преисподней, потому что по тогдашнему расхожему мнению солнечного тепла было недостаточно для нагрева глобальных «рек в океане», а о переходе тепловой энергии в механическую тогда не имели ни малейшего представления. К тому же, вольно или невольно, не чуждым теологии Кирхером была поставлена проблема рециркуляции (противоположных компенсационных течений) водных масс в глобальном масштабе, а заодно и конвекции, по причине которой должен существовать вертикальный круговорот веществ в океане. Это если смотреть с позиции гидромеханики, а с точки зрения гидрогеологии схема Кирхера близка к современной картине выделения ювенильных вод твердой корой Земли, что еще раз ненавязчиво свидетельствует о том, что неправильные и наивные «ненаучные» схемы ученых прошлого являются хотя и незрелыми, но реальными плодами настоящей научно-исследовательской деятельности, и для их созревания нужно всего лишь некоторое время и большое желание освободиться от мифов.

Суждения биологов-естествоиспытателей XIX в. о водах Арктики были противоречивыми и раскололи лагерь интересующихся на две части, одна из которых преувеличивала роль гольфстримовских вод и считала Северный Ледовитый океан проницаемым для них, а другая, более осторожно мыслящая, преуменьшала возможности могучего атлантического течения и скептически относилась к возможности обильного заселения «ледяного погребка» живыми обитателями.

Экспедиции К.М. Бэра, считающего заполярные воды «ледяным погребом», открыли этап высокопрофессиональных научных исследований северных вод и земель благодаря исключительной одаренности и огромной эрудиции этого выдающегося ученого – основателя эмбриологии. Он заполнил пробел в деле изучения растительного и животного мира Северного Ледовитого океана и впервые дал его научное описание как части биосферы, идея которой была им предвосхищена понятием "экономики природы". Анализ метеорологических и геологических данных Новой Земли привел Бэра к выводу о существовании замкнутого ледового массива и повышенной ледовитости Карского моря по сравнению с Баренцевым. Дружный союз с адмиралом Ф.П. Литке – тоже ярким противником штурма севморпути – непробиваемой стеной стал поперек дороги жаждущих прорыва через арктические льды, несмотря на беспрекословное признание могущества и дальнего действия «Гольфштрёма».

В 60-е годы XIX в. предположения о влиянии Гольфстрима на воды Мурмана высказывались русскими естествоиспытателями А. Миддендорфом, Ф. Яржинским, Н. Данилевским и М. Сидоровым. На заседании Русского географического общества под председательством П.П. Семёнова-Тян-Шанского 17 марта 1870 г. консерватор Зоологического музея при Санкт-Петербургском университете Фёдор Фаддеевич Яржинский объявил об открытии у Мурманского берега «ветви Гольфштрёма», которую он обнаружил еще в 1869 г. по данным температуры морских вод. Особенно большое значение имело участие авторитетного ученого, известного независимостью взглядов и бескомпромиссностью, акад. А.Ф. Миддендорфа, принявшего активное участие в проверке гипотезы неукротимой проницаемости Гольфстрима. Уже 29 сентября 1870 г. Миддендорф выступил в Петербурге с докладом, в котором поведал о главном теплом «атлантическом» течении Баренцева моря, впервые названным им Нордкапским, и о его огромной роли в смягчении климата заполярных широт. Другой наш соотечественник Николай Павлович Андреев, не допуская проникновения теплых атлантических вод далее мыса Св. Нос, проследил сезонные и межгодовые колебания оси Нордкапского течения. Н.П. Андреев, судовой врач с «Бакана», в 1880 г. был награжден медалью Русского географического общества за гидрологические работы в Белом море. Во время подхода вод Нордкапского течения к Варангер-фиорду, как отмечал Андреев, там наблюдался интенсивный промысел рыбы. Если же течение обходило п-ов Рыбачий стороной, промысел перемещался к берегам Мурмана. Таким образом, используя биологическую и гидрометеорологическую информацию, он выработал одно из первых прогностических правил, которое утверждало: чем больше юго-западных ветров наблюдается в Норвегии зимой и весной, тем хуже летний промысел рыбы у берегов Норвегии и лучше – у берегов Мурмана, и наоборот.

Начиная с XVIII в., но главным образом в XIX в. четко обозначились интересы рыбопромысловой эксплуатации морей. Связанные с ними гидробиологические исследования стали требовать учреждения научных стационаров. Во второй половине XIX столетия создаются морские биологические станции в Британии, Франции, Нидерландах и Дании. А первая биологическая станция была организована Антоном Дорном в Неаполе в 1870 г. Почти одновременно с ней в 1871 г. в России по инициативе съезда русских естествоиспытателей была основана Севастопольская биологическая станция, которая в 1892 г. перешла в ведение Императорской академии наук. Морская биологическая станция на Русском Севере, организованная Петербургским обществом естествоиспытателей в 1881 г., располагалась на Соловецких островах и проводила свои первые исследования на Белом море. В 1899 г. станция переехала в Екатерининскую гавань Кольского залива в только что отстроенный и освященный город Александровск-на-Мурмане. Именно здесь, у самого выхода из Кольского залива, появился первый государственный форпост науки на Баренцевом море – родоначальник всех морских научных учреждений Мурмана.

Прибрежные биологические наблюдения на Мурмане давали не меньшую, чем плавания в открытом море, информацию о проникновении атлантических вод и приносимых ими тепловодных организмов. Приток вод из далеких субтропиков не оставлял равнодушными ни географов, ни физиков, ни биологов. Животворная магистраль, проложенная Гольфстримом, стала стержнем изучения не только Баренцева моря, но и всего Северного Ледовитого океана. Разновидности обнаруженных здесь мельчайших планктонных животных и микроскопических растений подтверждали исправную работу теплопроводных атлантических трасс в Арктике. В 1893–1894 гг. шведские ученые Х. Петтерсон, П.Т. Клеве и В.В. Экман установили приверженность морского планктона к водам с определенной соленостью и температурой. Результаты анализа биологических и гидрологических проб бесспорно указывали на то, что живые организмы могут служить индикаторами водных масс, а стало быть, и показателями безледных путей в замерзающих большей частью морских просторах Арктики.

Старая идея свободной ото льда воды получала новую, биологическую прописку. Теперь она имела более веские, гидробиологические обоснования. Да и в результате географических обобщений высокоширотных материалов наблюдений выходило, что теплые воды Гольфстрима могут растопить любые льды – это подтверждали дальние экспедиции известных мореплавателей

к берегам Гренландии, Исландии, Скандинавии, где мощные струи продолжений Гольфстрима – Северо-Атлантического, Ирмингера и Норвежского течений не только не замерзали сами, но и отепляли климат материков. Как выяснилось чуть позже, атлантические водные массы действительно почти полностью занимают глубокие впадины и крутые склоны Северного Ледовитого океана, оставляя верхний опресненный слой воды и мелководные прибрежные районы беззащитными перед арктическими морозами. Ледовый покров, составляющий по вертикали едва ли тысячную долю водной толщи, надежно изолирует глубинные водные массы от глобального охлаждения, а заодно создает непреодолимую преграду судам, не защищенным бронированной обшивкой.

Практически вся наземная жизнь (в виде птичьих базаров и лежбищ морского зверя), представляющая в заполярных районах ледовую пустыню, существует за счет биоресурсов моря. Снижение биоценотических показателей с запада на восток, начиная с момента вторжения вод системы Гольфстрима в Северный Ледовитый океан, еще раз подтверждает огромную созидательную биологическую роль Атлантического океана и угнетающее действие студеного дыхания Арктики на живые организмы. Но поскольку окончательной победы ни Атлантика, ни Арктика друг над другом одержать не могут, экосистемы Арктики постоянно бросает то в жар, то в холод. Поэтому, в отличие от стабильной антарктической биоты, которой исполнилось более 40 млн лет, они очень неустойчивы, и история арктических обитателей намного короче и мобильней, чем у их собратьев из южного полушария.

Первые исследователи Арктики не могли не догадываться о том, что такие типичные представители Арктики, как белые медведи и арктические ластоногие, не обещали безледных дорог на север и восток от кромки плавучих льдов. Правда, была надежда на китов, которые, не будучи способными к жизни в паковых льдах, все-таки достигали самых высоких широт. По-видимому, морские гиганты служили главными застрельщиками оптимистических прорывов людей к полюсу, к тому же именно китобойные суда были основными посетителями северных границ Баренцева и Гренландского морей.

Полная непроходимость северных вод для кораблей была принята международным сообществом исследователей высоких широт как свидетельство того, что источником льдов являются острова, расположенные севернее пределов плавания судов. Считалось, что поставщиком льда в Северном Ледовитом океане служит суша. Это означало, что Арктический океан не слишком глубок. Поэтому зоолог Фритьоф Нансен, более известный как арктический первопроходец и нобелевский лауреат, отправляясь в знаменитый дрейф на «Фраме», был настолько убежден в мелководности арктических вод, что не захватил с собой достаточного количества троса для измерения глубин. На борту было лишь шесть тысяч футов (1800 м) стального троса, который фрамовцы расплели и изготовили линь вдвое большей длины. Вытавив его до самого конца, они всё же не достали дна. Открытие Нансеном больших глубин вместе с гидрологическими и гидробиологическими наблюдениями стало первым серьезным фактическим материалом, заложенным в фундамент Полярной океанологии. Эта неожиданная новость предписывала Баренцеву морю роль глобального мелководного посредника между двумя океанами – Атлантическим и Северным Ледовитым. Предельно охлажденные атлантические воды, обладая максимальными величинами плотности, сползают вниз по северным склонам Баренцева моря и растекаются, заполняя подогретой начинкой необъятный, покрытый ледяной глазурью, океанский "пирог" Центрального Полярного бассейна. Первым, кто снимет с него пробу, будет Ф. Нансен, затем до "начинки" доберутся советские дрейфующие станции, гидробиологические наблюдения на которых начинал знаменитый советский полярник, академик П.П. Шишов.

Баренцево море представляло интерес не только как промежуточный этап освоения ледовых пространств, но и как неизведанный источник рыбных богатств. Следующий, более стремительный и не менее противоречивый XX в. определил две главные проблемы изучения Баренцева моря, которые в настоящее время назвали бы экологическими, но без учета губительного, тогда еще не родившегося, антропогенного вредоносного вклада – это динамика атлантических вод и эксплуатация промысловых «банок» открытой части Баренцева моря.

Известный знаток рыбных промыслов проф. Н.Я. Данилевский (1822–1885) в VI томе «Исследований о состоянии рыболовства в России», на основе обследования рыбных и зверобойных промыслов в 1859–1860 гг. по заданию Министерства государственных имуществ, недооценил масштабность животворного влияния Гольфстрима. Мнение профессора было общепризнанным не только в научных, но и правительственных кругах. Тем не менее, по официальному указанию правительства, теперь уже не Академия наук, а Департамент земледелия поручил доценту Петербургского университета Николаю Книповичу заново обследовать состояние рыболовства на Мурмане. В своем отчете Н. М. Книпович опроверг преждевременные выводы о недееспособности Гольфстрима и предложил провести экспедиции для углубленного изучения промысловых рыб и условий их обитания в теплых «Гольфштрёмовых» струях, и в мае 1899 г. начинаются работы по исследованию морских прибрежных вод Мурмана, которые совершили переворот в Полярной океанологии и стали основополагающими в построении схем физических процессов формирования водных и ледовых масс.

Для морских биологов конца XIX в. большое значение имели предшествующие плавания «Челленджера» (1872–1876), британского корабля науки, бывшего военного корвета, превращенного в большую научную лабораторию с помещениями для хранения коллекций, научной библиотекой, аквариумами и пр. Результаты исследований экспедиции для изучения «всего, что имеет отношение к океану», возглавленной эдинбургским профессором физики Чарльзом Уайвиллом Томсоном (1830–1882) и прославившей имена химика Дж.И. Бухэнэна, биологов Г.Н. Мозли и Вилменса Зума, геолога Джона Мёррея и других членов академической команды «Челленджера», окончательно разрушили надуманные, фантастические представления о жизни в океанских глубинах. В числе 76 авторов пятидесятитомника научных работ, написанных по материалам рейса, были ведущие ученые того времени: английский зоолог Томас Г. Гексли, немецкий биолог Эрнст Геккель, Александер Агассис, сын известного швейцарского зоолога и геолога Жана Луи Рудольфа Агассиса, конструктор двухстороннего трала и оснащенной замыкателем на заданной глубине сети для лова планктона, автор двух томов «Трудов Челленджера», который впервые применил стальной трос для спуска приборов под воду. После возвращения судна домой не только экипаж, но и всё человечество узнало глубины всех океанов (кроме самого близкого нам, Северного Ледовитого) и смогло явственно представить себе грандиозные объемы древней колыбели жизни на своей планете. О внутреннем физическом устройстве океаносферы тоже были получены важные физические, химические и биологические данные. Родилась новая морская наука – океанография, которая в отличие от своей строгой матери – гидрографии (на отцовство претендовали все естественные науки) позволяла себе многие вольности и фантазии. Долгожданная и считающаяся обильной океанографическая информация, обросшая массой выдуманных и почти бытовых деталей физики океана, завоевала большой авторитет в среде ученых, хотя на самом деле она была лишь каплей в море последующих массивов научных исследований океана и грандиозных схем циркуляции водных масс. Прославленный в научных и государственных кругах рейс английского корвета, подобно любому крупному мероприятию сильной державы, стимулировал более активное отношение к научным изысканиям у стран-соперниц. В 1886–1889 гг. Россия провела подобную экспедицию на "Витязе", а в конце века эстафету комплексных наблюдений пионеров океанографии приняли главные наши герои – баренцевоморские исследовательские суда.

Проясняющиеся особенности биологии Баренцева моря дали не менее богатую, чем океанографические данные, информацию о динамике водных масс различного происхождения. Особенно это касалось тех организмов-индикаторов, которые могут существовать только в узких океанических пределах температуры и солености. Обнаружив те или иные формы фито- или зоопланктона, использующиеся в качестве экологических показателей водных масс, можно было сказать, откуда они прибыли в Баренцево море. Обоюдная подпитка информацией о том, как движутся атлантические и арктические воды и обитающие в них виды растительных и животных организмов, конечно, обогащала океанологический образ Баренцева моря, но была недостаточной. Более того, создавалось впечатление, что простые вопросы о том, что куда течет,

успешнее решаются на основе биологической, а не гидрологической информации. Недаром первые схемы циркуляции были предложены исследователями биологической ориентации – Книповичем, Гёбелем, Дерюгиным, Аверинцевым.

О влиянии Гольфстрима на рыбный промысел писал один из первых заведующих Мурманской биологической станцией, доктор биологических наук Сергей Васильевич Аверинцев (1875–1957). Его материалы были опубликованы в «Известиях Архангельского общества изучения Русского Севера». Он заведовал МБС и проводил зоологические работы в Мурманских морских водах с 1904 г. по 1908 г., а впоследствии руководил экспедициями на траулерах «Дельфин» и «Кумжа». Занимаясь проблемами миграций донных рыб, Аверинцев уловил связь между распределением трески и придонной температурой вод Баренцева моря.

Другой выдающийся морской биолог, Константин Михайлович Дерюгин (1878–1938), был автором обширных научно-исследовательских работ в Кольском заливе на шхуне «Александр Ковалевский» в 1908–1909 гг. Одаренность Дерюгина и его «географическое чутье» распространились на 12 посещенных им морей Союза, на которые ему удалось снарядить 50 научных экспедиций. Годы плодотворных морских исследований с 1920 г. по 1937 г. даже называли «дерюгинским периодом». Именно баренцевоморские воды помогли ученому использовать его блестящие знания экологии организмов для районирования Баренцева моря. В своем монументальном труде «Фауна Кольского залива», который А.П. Семенов-Тянь-Шанский характеризовал как «истинный праздник», Дерюгин не только описал морских обитателей, но сделал подробнейший анализ геологического, океанографического и метеорологического материала. Привлекая многочисленные отечественные и зарубежные публикации и наблюдения Мурманской биологической станции, Дерюгин поднимает проблемы качественной оценки адвективных (горизонтальных) и конвективных (вертикальных) перемещений вод с помощью данных температуры и солености. Большое внимание уделяется связям изменчивости термогалинной структуры водной толщи с периодическими приливо-отливными колебаниями уровня моря, сезонными расходами пресного стока и непериодическими колебаниями интенсивности течений в системе Гольфстрима: «При дальнейших, более детальных гидрологических исследованиях Кольского залива, было бы в высокой степени желательно, путем тщательных и непрерывных наблюдений за целый ряд лет, учесть степень влияния этих колебаний в напоре гольфштримных вод, так как только в этом случае некоторые местные гидробиологические явления получат правильное объяснение». К.М. Дерюгин в работах 1924 г. и последующих лет, используя данные разреза по Кольскому меридиану, пересекающему Мурманское, продолжающее Нордкапское течение, на фактическом материале измерений температуры воды пришел к убеждению в том, что положение струй теплых течений в Баренцевом море не определяется рельефом дна. Им же была обнаружена сопряженность интенсивности течений северной и южной ветвей Нордкапского течения.

С 1899 г. по 1902 г. Мурманской биологической станцией заведовал еще один очень талантливый биолог А.К. Линко. Он первый указал на характер строения губ Кольского залива, представляющих собой ямы, отгороженные барьерами, в своих фундаментальных работах 1906–1913 гг. он поднял массу проблем, которые могли быть разрешены только в будущем, а главное – осуществил первую попытку создания специальной количественной шкалы для оценки биопродуктивности водоема. Александр Кельсиевич Линко (1872–1912) – автор первой в России монографии, посвященной морскому планктону, считается основателем планктонологии Баренцева моря и, несмотря на короткую 40-летнюю жизнь, стал классиком для морских биологов. Он выяснил, что наиболее распространенный в водах Баренцева моря вид зоопланктона *Calanus finmarchicus*, известный всем рыбакам, промысляющим сельдь, как ее главный пищевой объект – мелкий рачок «калянус», является биологическим индикатором вод атлантического происхождения. После смерти Линко его исследования продолжили Л.Л. Брейтфус и К.М. Дерюгин, а *C. finmarchicus*, после того как получил развитие обширный сбор проб планктона, начавшийся в конце 20-х гг., был признан самым распространенным видом зоопланктона Баренцева моря и даже биологическим символом его вод.

Леонид Львович (Людвигович) Брейтфус (1864–1950) – доктор естественных наук Берлинского университета, – одновременно с руководством Мурманской научно-промысловой экспедиции был уполномоченным «Российского общества спасения на водах» на Мурмане.

Впоследствии работал в Главном гидрографическом управлении и международном обществе «Аэроарктик». Действительный статский советник Л. Л. Брейтфус за заслуги в изучении Русского Севера был награжден орденами Св. Анны 3-й степени, Св. Станислава 4-й степени и медалью Имп. Русского географического общества им. графа Литке. Главным соавтором научно-экспедиционной деятельности Брейтфуса в 1902–1906 гг. был его старший товарищ, активный деятель и исследователь Кольского Севера – Герман Фёдорович Гёбель (1844–1910) – орнитолог, собравший сведения о 198 видах птиц, с 1883 г. по 1890 г. возглавлявший «Первое Мурманское китобойное и иных промыслов товарищество». По данным отчета по Мурманской экспедиции за 1904 г. он в 1906 г. издал Карту разветвлений Нордкапского рукава Гольфштрёма в Баренцевом море в масштабе 1 : 6000000.

В работах Г. Гёбеля и Л. Брейтфуса 1903–1908 гг. говорилось о значительной изменчивости положений и интенсивности Нордкапского течения: «Нордкапское теплое течение, под влиянием вращательного движения земли, входит сплошной струей в Баренцево море и стремится через его водные массы сравнительно низкой температуры в восточном направлении, отделяя при вступлении в него рукав У1 и минуя Медвежий о-в пятый рукав, направляющийся от этого острова к цифре IX нашей карты (рукав этот у нас не обозначен). Достигнув приблизительно 30 меридиана, эта грандиозная струя, постоянно расширяясь в северо-восточном и юго-восточном направлениях, начинает разделяться на три части, а именно: южную, в состав которой входит Мурманское течение (I) и II рукав, среднюю (рукава III-a, III-b) и северную, или течение Франца Иосифа (IV). Это деление обуславливается стремящимися навстречу теплым водам холодными водами, которые, врезываясь в виде бухт в теплое атлантическое течение между III и IV рукавами, характеризуются отрицательными температурами под Кольским меридианом, между тем, как между III и II рукавами под этим меридианом замечается лишь понижение положительной температуры, которая только изредка в самых нижних слоях становится отрицательной...». Так представляли тогда фрагмент циркуляционной машины Баренцева моря биолог Гёбель и географ Брейтфус. В итоге дана «Карта разветвлений Нордкапского рукава Гольфштрёма в Баренцевом море» Г.Ф. Гёбеля, которая в принципе согласуется с картой главного автора циркуляции Баренцева моря Н.М. Книповича, отличаясь более широким распространением теплых течений Гольфстрима и попыткой отразить сложную структуру толщи с помощью набора штриховок, изображающих «следы Гольфстрима», а также его воды, расположенные в одном случае над, а в другом – под холодной водой. Фантазии биологов пошли разными направлениями, что, естественно, объясняется отсутствием фактических данных, ограничивающих возможности фантазировать.

Фантазии норвежских морских биологов и физиков – коллег по изучению Баренцева моря – значительно сдерживались строгими представлениями Бергенской школы о геострофической циркуляции воздушных и водных масс. Норвежские ученые стали авторами целого ряда классических работ по исследованию биологии, промысла и физико-химических условий, наблюдаемых в водах Баренцева моря. Исследования биологии и промысла трески начал Георг Оссиан Сарс, сын знаменитого зоолога Михаэля Сарса. Дополнительно к биологии трески он выяснил, что эта предпочитающая придонные слои рыба вымётывает огромное количество пелагических, всплывающих икринок и, не задерживаясь долго в местах нереста, идет на откорм в открытое море. Созревая до состояния «скрей», она возвращается на нерест к берегам Норвегии, в район Лофотенских островов. Икринки и личинки трески распространяются течениями по огромной акватории полярных вод и, развиваясь до состояния сеголеток (первого года своей активной жизни), «оседают» на мелководных береговых склонов и подводных возвышенностей открытого моря, решив теперь окончательно свой «квартирный вопрос». В дальнейшем, нанесенные на карту миграционные пути тресковых способствовали пониманию общей схемы адвективных перемещений атлантических вод в Баренцевом море.

Норвежским основоположником океанографического анализа структуры водных масс с помощью термогалограмм, то есть графиков вертикального распределения сочетаний температуры и солености воды от поверхности моря до максимальных глубин, стал соавтор Фриттьофа Нансена по изучению полярных вод и его же оппонент по атеистическим воззрениям на природу, будущий ученый с мировым именем Бьёрн Гелланд-Ганзен (1877–1957). В

молодости Бьёрн, воспитанный на христианском учении, занимался медициной и собирался стать хирургом, но после жестокого обморожения, полученного в экспедиции по изучению полярных сияний, прооперированные кисти рук не могли орудовать скальпелем, и он переквалифицировался в океанографы. Фритьоф Нансен заинтересовался ассистентом профессора Кристиана Биркелана, в экспедиции которого с будущим несостоявшимся хирургом случилась беда, наблюдая за четкой работой искалеченных рук на точных приборах. Сотрудничество на почве океанографии сдружило исследователей, несмотря на разницу темпераментов и противоположность взглядов на христианство и дарвинизм. Научный симбиоз двух исследователей основывался на гармоничном сочетании формальных, математических подходов Ганзена и неформальных, «идеологических» посылов Нансена, основанных на замеченных им физических закономерностях изменений водных, воздушных и ледовых масс по материалам собственных экспедиционных наблюдений и данным коллег-океанографов. Именно такое сочетание позволило их научному содружеству создать классический труд по Норвежскому морю (1909) и крупную работу «Колебание температуры моря и атмосферы в Северной Атлантике» (1920).

Сотрудничество качественных биологических и количественных физико-математических подходов в построении горизонтальных и вертикальных схем распространения вод, тепла, ледовых масс, живых организмов предоставили последователям в деле изучения океана достаточно убедительные упрощения в виде карт океанологических характеристик, плоскостей вертикальных разрезов и графиков внутригодовой изменчивости физических параметров, определяющих характеристики энергообмена водных и воздушных масс.

Совместными усилиями специалистов с биологическим и физико-математическим уклоном в исследовании океана были созданы две разные модели циркуляции: 1) экзогенная, основанная на гидродинамическом подходе, в котором Баренцево море питается энергией системы Гольфстрима, зависит от внешних факторов переноса вод из Атлантики и Арктики; 2) эндогенная, опирающаяся на термодинамические представления «местного» взаимодействия океана и атмосферы.

Следует заметить, что взгляды биологов на движение и трансформацию водных масс оказывались более объективными, чем у физиков, исключительно потому, что поведенческие реакции живых организмов гораздо более точно и объективно отражают «поведение» вод, чем следует из субъективных физических расчетов, основанных на неокеанических представлениях. Механизмы эволюционных приспособлений пассивных миграций планктона и активных миграций nekтона, можно сказать, выработали реалистичную теоретическую схему реакций на изменения окружающей среды, подобно всем остальным живым организмам, биологические циклы которых зависят от синоптической, сезонной и климатической изменчивости биохимических условий существования и сосуществования. В качестве наиболее обобщающего примера исторического вклада биологии в физику океана можно привести использование принципа эволюции Чарлза Дарвина в теории приливо-отливных колебаний его сыном – Джорджем Говардом.

Биологические работы, основанные на различных способах распознавания и классификации природных явлений, давали возможность выделения главных структурных подразделений, разделяющих адвективные и конвективные перемещения частиц в водных массах, определяемых параметрами T , S , ρ – температуры, солёности и плотности. После получения типов T , S , ρ -распределения стало ясным, что океан обладает определенной структурой, которая в отдельных слоях, значительно удаленных от поверхности раздела океан-атмосфера (глубинные воды), неизменна в течение очень большого периода времени, скажем, в пределах многих лет, в других частях – чрезвычайно изменчива (поверхностные воды), «обновляющаяся» буквально в течение нескольких дней (можно выделить верхний тонкий слой, в котором отмечается суточный ход температуры или концентрации биогенных элементов). Все остальные воды, расположенные между глубинными и поверхностными слоями, «обновляются» в течение периодов времени, занимающих промежуточное положение между сутками и годами. С адвективно-конвективным переносом связан процесс микро-, мезо- и макромасштабной рециркуляции, который в зависимости от интенсивности обменов теплом, влагой и движением

между водными и воздушными массами, определяющими термогалинную трансформацию, формирует подповерхностную стратификацию водной толщи. Микромасштабная рециркуляция характеризует синоптическую изменчивость, мезомасштабная – сезонную, макромасштабная – климатическую. В соответствии с принятым законом трансформации вод океаносферы [4]: $T_1 > T_2 > T_3$; $S_1 = S_3 > S_2$; $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3$ для изопикнической и $T_1 > T_2 > T_3$; $S_1 = S_3 > S_2$; $\rho_1 < \rho_2 = \rho_3$ – для диапикнической адвекции.

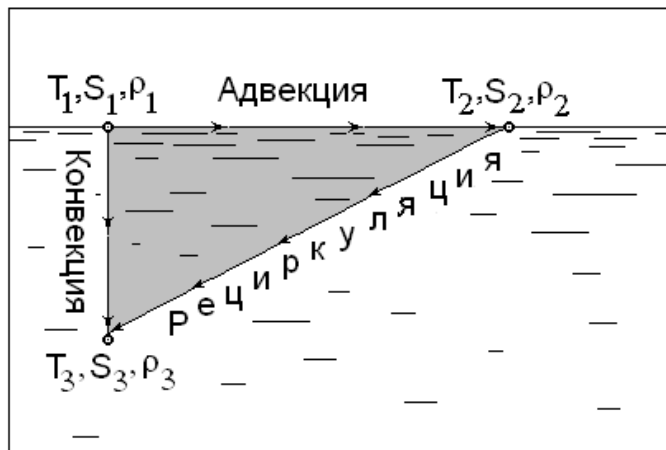


Рис. 1. Термогалинный треугольник адвективно-конвективной трансформации водных масс

Термогалинный треугольник (рис. 1) служит моделью формирования водной толщи в виде составляющих адвекции, конвекции и рециркуляции, которую в первородной форме можно назвать синоптической, потому что ее изменчивость имеет масштабы, сходные с естественными синоптическими периодами, принятыми в метеорологии.

Гидрометеорологические исследования Баренцева моря позволили на основе простой визуализации построить еще одну важную схему генеральных круговоротов (рис. 2), подтверждающих квазигеострофические принципы циркуляции в системе океан-атмосфера, реальность которых далека от чисто геострофической океанской, а является следствием принятой геострофичности атмосферы. Антициклонические переносы компенсационной природы, наблюдаемые в прибрежной полосе материка и архипелагов, являются следствием активной циклонической деятельности атмосферы над открытой частью Баренцева моря. На границе с Норвежским и Гренландским морями наблюдается восточная (меридиональный перенос) часть циклонического круговорота (Норвежская и Шпицбергенская ветви). Внутригодовой поворот векторов весной и осенью происходит в результате перестройки барической системы от активного зимнего переноса атлантических вод к летнему уравниванию расходов водных масс (восточная и северо-восточная составляющие) и от инерционного «пассивного» летнего переноса – к зимнему (юго-западная и западная составляющие).

Противоборство арктической циркумполярной системы переноса водных, ледовых и воздушных масс с широтно-меридиональным (междуширотным) переносом системы Гольфстрима (рис. 3) на значительном ее участке перед опусканием высокосолёных атлантических вод под ледовый покров Арктики можно проследить по оперативным гидрометеорологическим картам. Наиболее яркой особенностью этого взаимодействия является баланс северо-восточного переноса водных масс (соответственно, юго-западного атмосферного переноса) в период наиболее активного ее взаимодействия зимой, и обратного переноса – летом.

Самым показательным параметром энерго- и влагообмена служит стратификация термогалинных свойств и условной плотности, поскольку период максимальной активности взаимодействия океана и атмосферы выражается в отсутствии слоя скачка, а минимальной – в наличии высоких градиентов плотности. Подобно ледовому покрову, который тоже препятствует обмену всей водной толщи с ее глубинными резервами тепла (в Центральном Арктическом бассейне – это подповерхностный и промежуточный слои с положительными величинами температуры воды), слой скачка, если и не препятствует теплообмену, то служит сдерживающим

фактором обмена тепла верхней и нижней части слоев. Под энерго- и влагообменом имеются в виду составляющие режимов обмена потенциальной и кинетической энергией водных и воздушных масс на основе измерений температуры – главной характеристики энергообмена – и солености – главного параметра влагообмена между океаном и атмосферой.

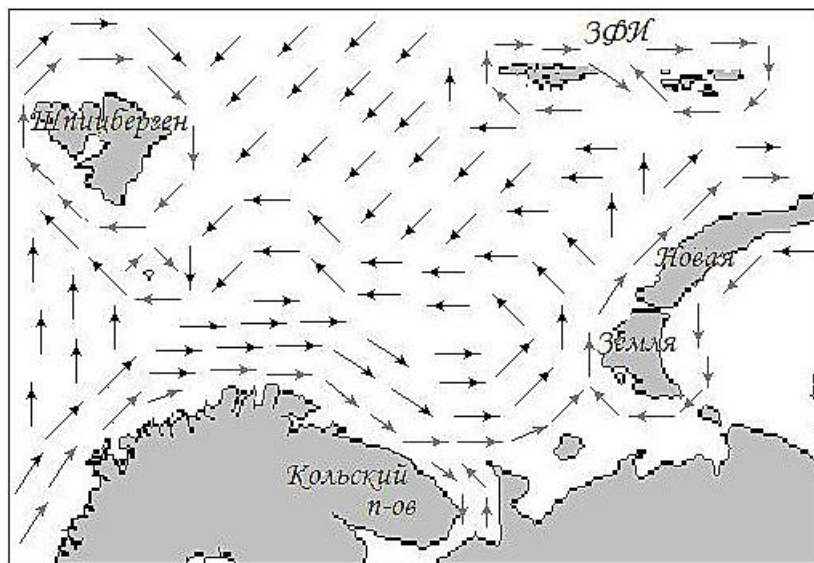


Рис. 2. Схема циклонических (открытое море) и антициклонических (прибрежные зоны материка, архипелагов и островов) движений в системе океан-атмосфера

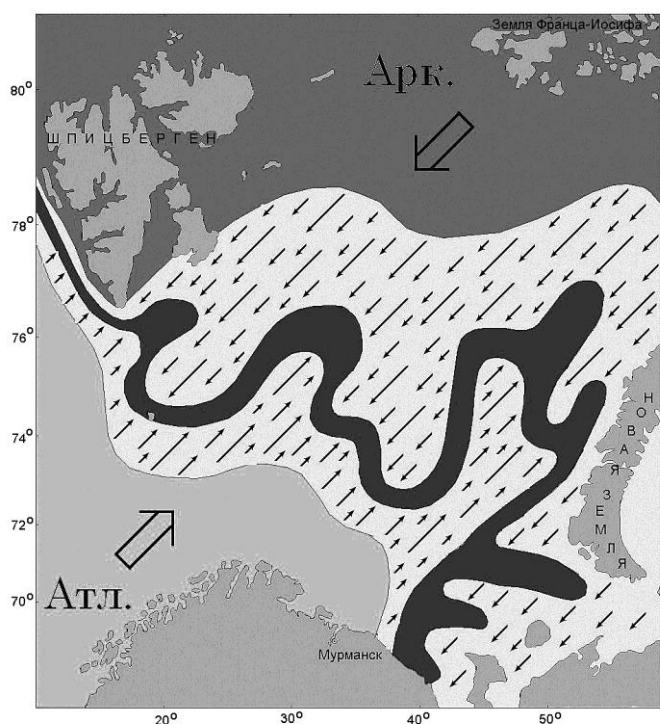


Рис. 3. Положение фронтальной зоны Баренцева моря в осенне-зимний (извилистая полоса) и весенне-летний период года: пространство, заполненное противоположно направленными векторами переноса из Атлантики и Арктики

Плотностная классификация горизонтальных подразделений водной толщи используется здесь для иного вида классификации – вертикального разделения водных масс как показателей внутригодового режима общей циркуляции вод Баренцева моря по среднестатистическим данным температуры и солености и рассчитанным по ним величинами плотности. По результатам исследований суммарных течений Баренцева моря в соответствии со сменой сезонов в верхнем слое, выделяются 4 генеральных направления адвекции в соответствии со сменой барических образований атмосферы: северо-восточное летнее направление, юго-западное – зимнее и соответственно восточное и западное направления весной и осенью (верхняя часть рис. 4).

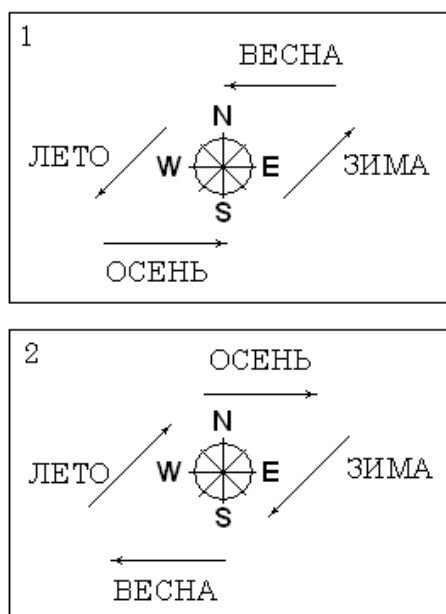


Рис. 4. Годовой компенсационный цикл адвекции в верхней (1) и глубинной (2) части водной толщи Баренцева моря

В связи с концепцией рециркуляции, в нижней части водной толщи существует компенсационный перенос вод в обратном направлении (рис. 4, нижняя часть). Поворот векторов верхнего и нижнего слоев от сезона к сезону резко отличается тем, что вверху плавный переход от весны к лету и от осени к зиме сменяется резким переходом от зимы к весне и от лета к осени, поэтому говорят об осенне-зимнем и весенне-летнем полугодических периодах. В глубинной части, наоборот, летне-осеннее полугодие сменяется зимне-весенним. Энергичный осенне-зимний период верхнего слоя определяет аномальный, то есть быстрее обычного, поворот векторов «ОСЕНЬ»–«ЗИМА» нижнего слоя, обуславливая традиционное, замеченное еще в начале XX в. Н.М. Книповичем, запаздывание передачи тепла с поверхности моря в глубь, время которого оценивается продолжительностью, соответствующей сезону. Многоликое понятие сезона имеет важнейшую биологическую составляющую годовой цикличности физико-химических условий существования и сосуществования растительных и животных организмов. В качестве физического параметра оценки сезонов в океане используется стратификация плотности фотического слоя, максимальная летом, минимальная зимой и промежуточная

– в переходные сезоны: весной и осенью.

Далее представлены ежемесячные карты сезонов среднестатистического года (рис. 5), рассчитанные по вековым данным Климатического атласа Баренцева моря, изданного ММБИ совместно с NODC.

Почти всё море находится в зимнем состоянии с декабря по апрель, то же самое для летнего периода отмечается с июля по сентябрь. В мае по окраинам моря возникают довольно обширные районы с весенним распределением плотностной стратификации, в июне они сменяются областями с летним вертикальным распределением плотности, при этом почти всё море можно назвать весенним. Самым резким переходным периодом времени между сезонами служит ноябрь, когда вся атлантическая водная масса переходит полностью на зимний режим, оставляя неатлантическим водам возможность продлить осенний период на окраинах Баренцева моря и в северной его половине. Наиболее интересным и необычным представляется октябрь, потому что южная половина моря полностью переходит к осеннему сезону, а северная – сохраняет летние условия. В итоге получается, что на зиму приходится 5 месяцев, на лето – 3, а на «промежуточные» весну и осень – по 2 месяца. Двухмесячный переходный период является тем промежуточным, можно сказать, «фронтальным» временем, в течение которого происходит общий горизонтальный, в масштабе всего моря, рециркуляционный поворот генеральных течений и наблюдается 2-месячный сдвиг сезонов (глубинное запаздывание летнего пика максимума температуры воды от поверхностного к 200-метровому горизонту).

В результате построения схем циркуляции были выявлены главные черты двухслойного строения водной толщи Баренцева моря, разделяемой термогалоупикноклином, и двух водных масс, отделяемых друг от друга фронтальной зоной – водными массами, традиционно понимаемыми как «местные» или «баренцевоморские» воды.

Обширная информация о внутригодовом распределении температуры и солёности легла в основу схемы рисунка, на котором изображены термогалинные адвективные циклы верхнего и нижнего слоев Баренцева моря в пределах температуры и солёности атлантических вод с учетом циклонической формы циркуляции в верхнем слое и антициклонической – в глубинном (рис. 6, 7).

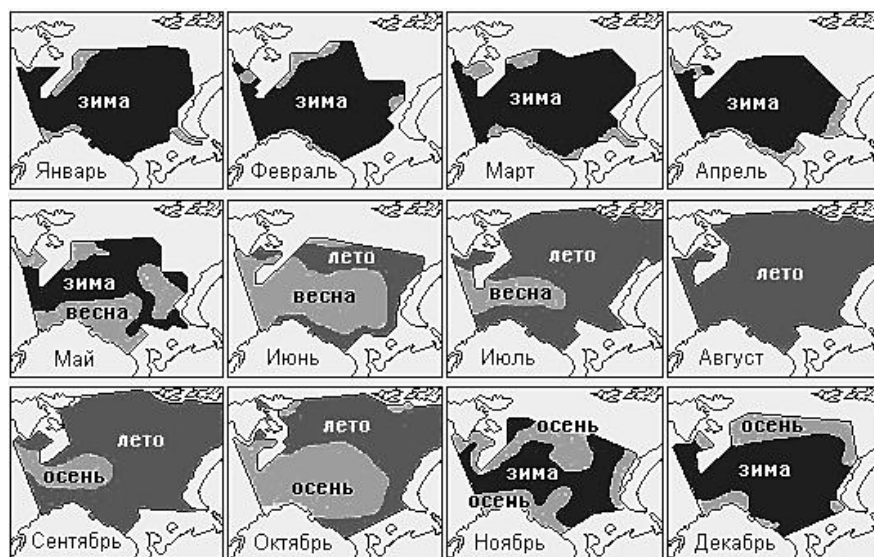


Рис. 5. Ежемесячные карты сезонов Баренцева моря, рассчитанные по данным разностей плотности воды $D_0 - D_H$

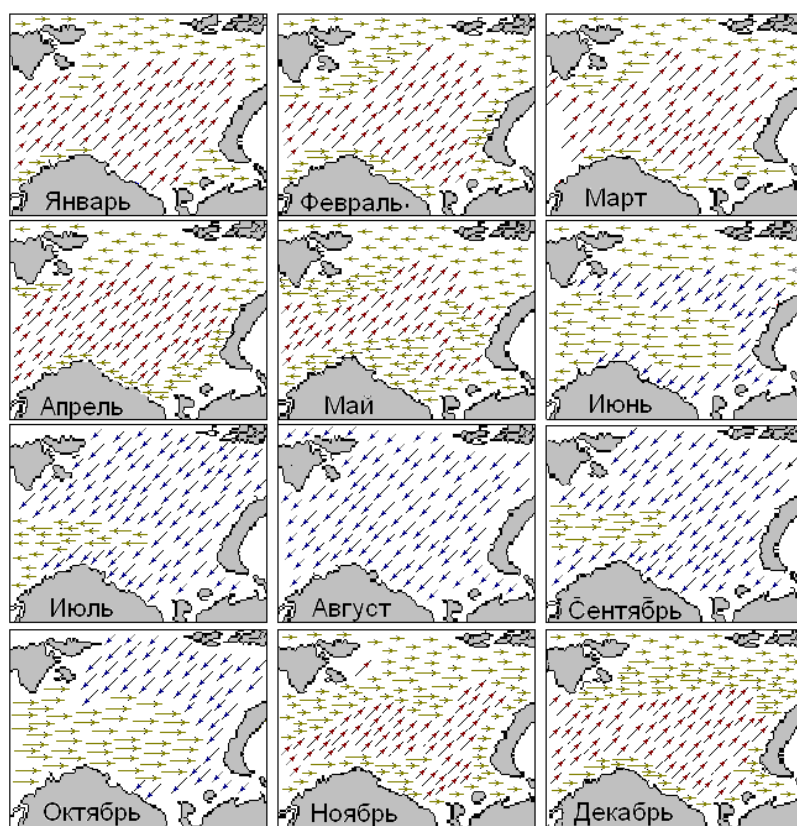


Рис. 6. Среднемноголетние ежемесячные схемы адвекции (юго-западная, западная, северо-восточная и восточная) в верхнем слое Баренцева моря по расчетам стратификации плотности [6] на основании данных Климатического атласа Баренцева моря [33]

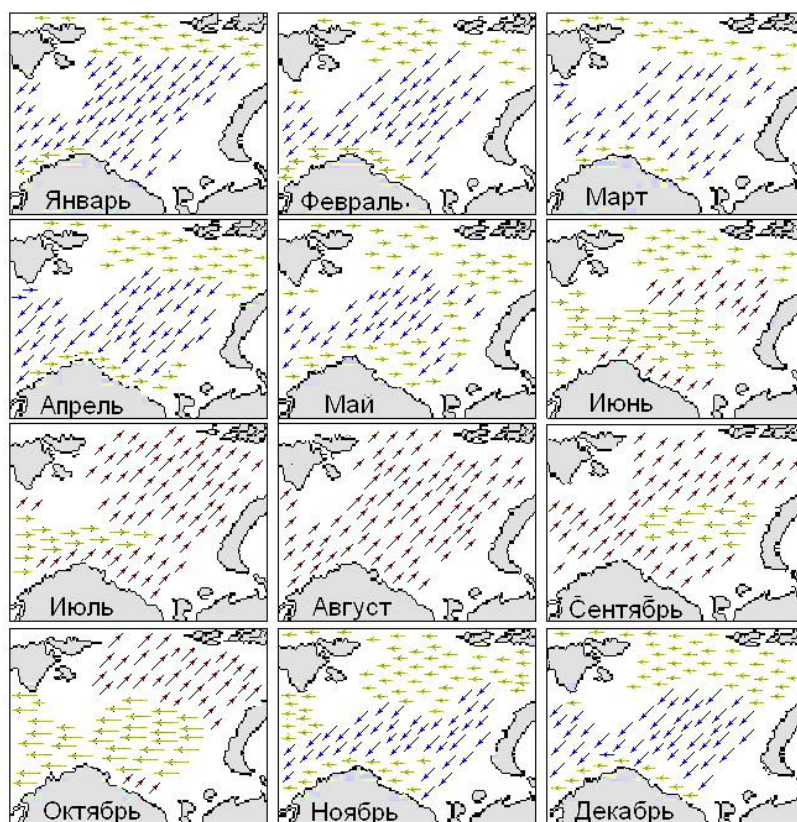


Рис. 7. Среднемноголетние ежемесячные схемы адвекции в глубинном слое Баренцева моря

Известные температурные изменения водных масс дополняются закономерными изменениями солености, которые в верхнем слое имеют минимальные значения осенью и максимальные – весной; в глубинном слое эти экстремумы меняются местами (рис. 8). Важно отметить, что продолжительность сезонов в глубинном слое отличается обратным соотношением главных (зима, лето) и переходных (весна, осень) периодов. Термогалинные циклы в верхнем и глубинном слое характеризуют внутригодовую межсезонную циркуляцию и рециркуляцию, которые в силу их разнонаправленности (циклонический в верхней и антициклональный в нижней части водной толщи) служат фактором стационарности энерговлагообмена водных и воздушных масс.

Представленные схемы, разработанные в стенах Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, значительно отличаются от предшествующих результатов моделирования морских биологов и физиков океана, принявших гидродинамические концепции адвективных и термодинамические – конвективных переносов вод, прямое объединение которых в гидротермодинамическое заменено здесь на косвенное физико-географическое.

О неразрывной связи между адвекцией и конвекцией догадывались морские биологи прошлого, реально представляющие соотношения масштабов океаносферных физических и биологических объектов исследования, и эти догадки использовались нами для построения климатологического сценария термогалинной трансформации водных масс. Все биологи и специалисты, разгадывающие тайны живой материи, используют далекие от науки, скорее присущие религии метафорические образы природных явлений, потому – дождь идет, река бежит, ветер дует, а наш океан в прошлом называли «Дышащим». Если использовать образы «рек в океане» и «очагов взаимодействия» океана и атмосферы, да еще поменять их местами, что нередко придает особую эффективность научным разработкам, то представленные выше на рисунках 6 и 7 схемы циркуляции можно трактовать следующим образом. Магистраль переноса вод в океане обладают определенной географической привязкой вследствие стабильности атмосферных барических образований, имеющих более активную составляющую над поверхностью океанов и морей и менее активную – над материками, архипелагами и островами,

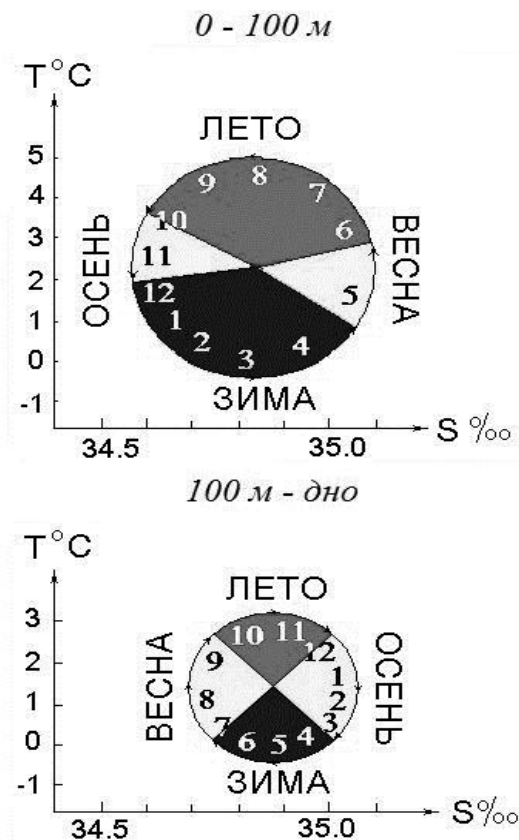


Рис. 8. Внутригодовая ротация атлантических водных масс Баренцева моря: термогалинные циклы трансформации вод верхней и глубинной части водной толщи

причем максимальной активностью характеризуются холодные периоды года, когда атмосфера получает от морских вод наибольшее количество тепла и влаги в «очагах» наиболее интенсивного взаимодействия океана и атмосферы. Очаги взаимодействия необычайно мобильны, зафиксировать их можно лишь условно, придав движениям частиц в них генеральные внутрисезонные направления поперек фронтов, ограничивающих фронтальную зону между встречающимися водными и ледовыми массами. Суммарными показателями интенсивности взаимодействия водных, воздушных и ледовых масс служит температурная, соленостная и плотностная стратификация водной толщи как результат адвективно-конвективных перемещений – различных в зависимости от сезона. Термогалинный цикл верхнего слоя в силу более высоких диапазонов температуры и солености в верхнем слое по сравнению с глубинным, характеризует более высокие затраты энергии, определяемые площадью круга верхней части рисунка, по сравнению с нижним кругом, характеризующим термогалинный цикл слоя 100 м – дно, из-за более непосредственного взаимодействия верхнего слоя водных масс океана с воздушными массами атмосферы (рис. 8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адров Н.М. Природа энергоблагообмена водных и воздушных масс Баренцева моря. Мурманск: Изд. МГТУ, 2012. 64 с. 2. Адров Н.М. Исследования Баренцева моря за 1000 лет. Мурманск: Изд-во «Север», 2002. 520 с. 3. Адров Н.М. Учение о биосфере: уч. пособие. Мурманск: Изд. МГТУ, 2010. 284 с. 4. Адров Н.М. Теория водных масс океана. Мурманск: Изд-во «Север», 2006. 480 с.

Сведения об авторе

Адров Николай Михайлович – ведущий научный сотрудник ММБИ, профессор Мурманского гос. технического университета и Мурманского филиала СПб. гос. ун-та водных коммуникаций;
e-mail: AdrovNikolay6661@yandex.ru