

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт океанологии им. П. П. Ширшова

На правах рукописи

АДРОВ Николай Михайлович

УДК 551.46

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОД СИСТЕМЫ ГОЛЬФСТРИМА

11.00.08 – Океанология

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва
1987

Работа выполнена в Отделе физической океанографии
Института океанологии им. П.П.Широва АН СССР
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: Доктор географических наук, профессор
СТЕПАНОВ В.Н.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: Доктор географических наук
ИВАНЕНКОВ В.Н.
Доктор физико-математических наук
ЛАППО С.С.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ Всесоюзный научно-исследовательский
институт морского рыбного хозяйства
и океанографии.

Защита состоит
заседании Спец
им. П.П.Широва
д. 23

С диссерт
океанологии и
Автореф

Ученый секр
Специализир
кандидат ге

14 часов на
гии
икова,

итута

ова

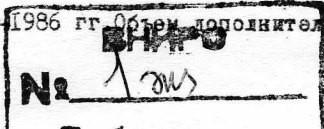
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Система Гольфстрима занимает важное место в изучении климата Атлантического и Северного Ледовитого океанов. Водные массы этой системы циркуляции являются основными источниками тепла и влаги атмосферы на обширных пространствах северного полушария. Благодаря переносу вод системы Гольфстрима Норвежское и Баренцево моря не замерзают круглый год. Проникновение атлантических вод в полярные широты обуславливает высокую биологическую продуктивность морей Северного Ледовитого океана. Разработка критериев оценки изменчивости водных масс системы Гольфстрима актуальна для решения задач гидрометеорологии и промышленной океанографии.

В качестве основных параметров водных масс используются измерения температуры, солености и кислорода. Обобщение большого количества наблюдений, имеющихся в настоящее время, позволяет рассмотреть непрерывное преобразование свойств или иначе трансформации вод. Выявление закономерностей изменения температуры, солености и кислорода открывает возможности познания природы трансформации вод в океане.

Цель работы заключается в раскрытии механизма трансформации вод системы Гольфстрима на основе статистических и функциональных зависимостей между температурой, соленостью и кислородом.

Фактический материал. Основным материалом служила информация Мирового центра данных Госкомгидромета за 1950-1975 гг. Количество станций составило более 90 тысяч. Дополнительно использовались материалы морских экспедиций Мурманского морского биологического института АН СССР, Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии, Севрибпрозраведки и Мурманского территориального управления Госкомгидромета СССР за 1976-1986 гг. Объем дополнительного материала состав-



вил приблизительно 20 тысяч станций.

Научная новизна. Впервые описано непрерывное изменение температуры, солености и кислорода в водах, переносимых течениями от п-ова Флорида до архипелага Шпицберген и о-вов Новая Земля. Разработан метод расчета норм и аномалий температуры, солености и кислорода для случая, когда между этими параметрами наблюдаются линейные зависимости. На основе линейных зависимостей между температурой и соленостью в векторном пространстве $\vec{T,S}$ построена модель термогалинной трансформации вод, описывающая в количественных терминах тепло- и массообмен между океаном и атмосферой, проведена классификация водных масс и выполнено количественное описание адвекции и конвекции в системе Гольфстрима. В векторном пространстве $\vec{T,O_2}$ на основе линейных зависимостей между кислородом и температурой построена модель термооксигенной трансформации вод, описывающая в количественных терминах обмен кислородом между океаном, атмосферой и биосферой, оценено влияние физических и биологических процессов на аэрацию вод системы Гольфстрима.

Реализация результатов работы. Метод количественной оценки границы вод системы Гольфстрима используется для выполнения научно-технической программы 0.74.01 "Мировой океан" и проекта 0.74.01.09.04 "Баренцево море".

Практическая ценность. Для исследования изменчивости термогалинных свойств вод предложено использовать в качестве нормы среднее термогалинное состояние вод, для расчета которого достаточно одной океанографической съемки. Полученные критерии трансформации вод могут быть использованы для прогнозирования гидрометеорологических и промысловых характеристик морей, подверженных влиянию циркуляции системы Гольфстрима.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на семинарах Отдела физической океанографии им. П.П.Ширшова АН СССР, на Советании пользователей океанографической информации (Обнинск, 1983), II Всесоюзном советании по краткосрочному прогнозированию (Калининград, 1985), на Всесоюзной конференции "Экология и биологическая продуктивность Баренцева моря" (Мурманск, 1986) и на IV научно-теоретической конференции по изучению открытой части Атлантического океана (Калининград, 1987).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 работ, одна из которых выполнена в соавторстве.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 106 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка и II таблиц. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 58 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении ставится задача количественного описания трансформации вод системы Гольфстрима. Обосновывается необходимость разработки методов расчета трансформации вод для практических целей.

В первой главе проведено исследование вод в пространстве φ (широта), λ (долгота), H (глубина). Для каждого месяца рассчитаны средние многолетние величины температуры \bar{T} и солености \bar{S} на разрезе вдоль системы Гольфстрима (рис.1). На рис. 2 и 3 представлены поля этих величин, рассчитанных для июля. Поля \bar{T} и \bar{S} обладают значительным сходством, которое выражается одинаковой конфигурацией изотерм и изогалии.

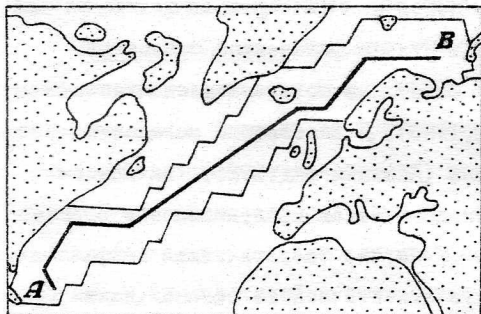


Рис.1. Акватория исследования и разрез АВ вдоль системы Гольфстрима.

Средние многолетние величины температуры и солености и аномалии от них $\Delta T = T_i - \bar{T}$ и $\Delta S = S_i - \bar{S}$, где T_i и S_i - измеренные параметры температуры и солености, обычно используются для исследования изменчивости вод.

Анализ результатов традиционных расчетов изменчивости вод показал, что при условии существования зависимости между температурой и соленостью необходимо учитывать эту зависимость, иначе результаты расчетов не могут служить критериями изменчивости вод.

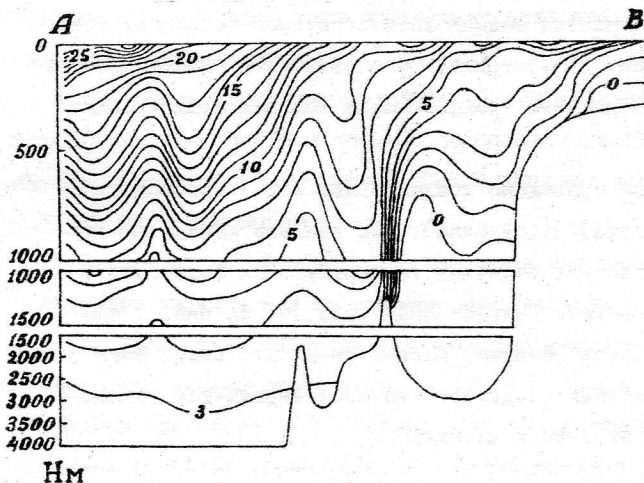


Рис.2. Поле температуры $T^{\circ}\text{C}$ на разрезе АВ в июле.

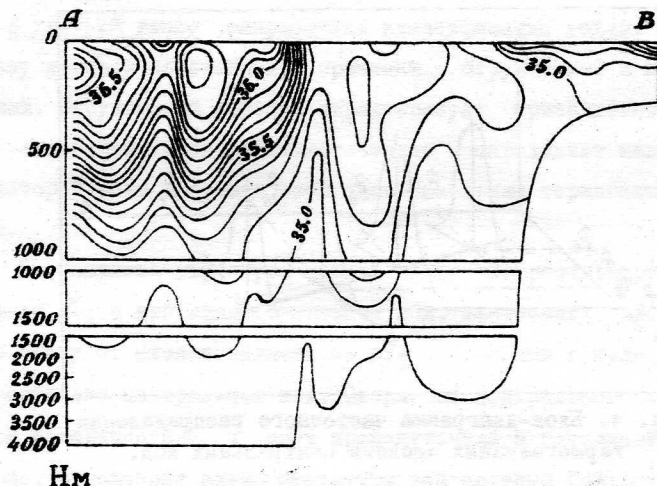


Рис. 3. Поле солености $\bar{S}\%$ на разрезе АВ в миле.

Во второй главе проведено исследование вод системы Гольф-стрима в пространстве T, S .

Анализ частотного распределения термогалинных свойств вод системы Гольфстрима показал, что закон распределения температуры и солености близок к нормальному. Это позволило использовать в качестве нормативных значений температуры \hat{T} и солености \hat{S} средние арифметические величины одной характеристики в фиксированных диапазонах другой. На рис. 4 дана схема соответствия $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3, \hat{S}_4$ и $\hat{T}_1, \hat{T}_2, \hat{T}_3, \hat{T}_4$ в водах, которые названы центральными. Зависимость между температурой и соленостью центральных вод может быть выражена линейным уравнением $a_1 T + a_2 S + a_3 = 0$, которое является аппроксимацией среднего термогалинного состояния (СТГС) водных масс.

Уравнения вида $a_1 T + a_2 S + a_3 = 0$ используются для расчета изменчивости температуры и солености вод. Оценками изменчивости вод служат аномалии температуры и солености от СТГС: $\Delta T_i = T_i - \hat{T}$
 $\Delta S_i = S_i - \hat{S}$.

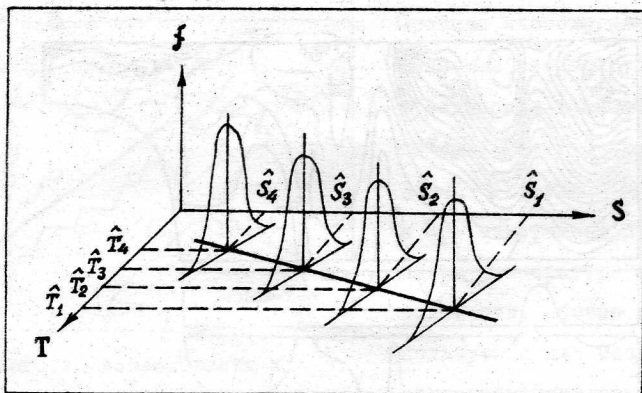


Рис. 4. Блок-диаграмма частотного распределения термогалинных свойств центральных вод.

Из уравнения $\alpha_1 T + \alpha_2 S + \alpha_3 = 0$ следует, что расчет традиционных средних многолетних величин \bar{T} и \bar{S} представляет собой частные случаи расчета: а) \hat{T} при условии $\alpha_2 = 0$, тогда $\hat{T} = \bar{T}$ и $\Delta T = T_i - \bar{T}$; б) \hat{S} при условии $\alpha_1 = 0$, тогда $\hat{S} = \bar{S}$ и $\Delta S = S_i - \bar{S}$.

Оценка ΔT_S важна для гидрометеорологического прогнозирования, так как величины $\Delta T_S > 0$ характеризуют неизрасходованное, а $\Delta T_S < 0$ - израсходованное тепло водной массы. Таким образом, поле ΔT_S определяет тепловой потенциал водных масс, то есть способность вод обогревать атмосферу.

Оценка ΔS_T важна для прогнозирования районов промысла рыб и беспозвоночных, так как она определяет принадлежность частицы воды к системе циркуляции, а системы циркуляции представляют собой определенные биотопы. Преобладание бореальных или местных объектов промысла зависит от преобладания вод с $\Delta S_T = 0$, характеризующих принадлежность к системе циркуляции открытого океана, или вод с $\Delta S_T \ll 0$, характеризующей принадлежность прибрежным и полярным водам.

В третьей главе разработана классификация водных масс, в основу которой положены два признака - структурный и климатический. Структурный признак характеризует принадлежность вод к определенному слою, а климатический - определяет акваторию, на которой воды получили свои первоначальные термогалинные свойства.

Для анализа структуры водной толщи построены вертикальные профили ΔT_S и проведена типизация вод, занимающих положение сверху и снизу от ося с величинами ΔT_S , близкими к нулю, то есть относительно центральных вод. Сверху от центрального ося расположен поверхностный, а снизу промежуточный и глубинный слои. На рис. 5 показана схема структуры вод системы Гольфстрима.

Для определения климатических признаков вод были рассчитаны уравнения термогалинной трансформации вод во всех слоях водной толщи. В результате анализа этих уравнений сделан вывод о том, что воды, получившие свои первоначальные свойства в умеренном поясе, характеризуются прямой, а воды, получившие свои первоначальные свойства в тропическом и полярном поясах, - обратной зависимостью между температурой и соленостью. Для количественной оценки трансформации вод с различными климатическими признаками введен параметр $P = \delta T / \delta S$, названный коэффициентом термогалинной трансформации. Величина δT представляет собой бюджет температуры, а δS - бюджет солености водной массы; $\delta T = T_1 - T_m$, $\delta S = S_1 - S_m$, где T_1 и S_1 - начальные, а T_m и S_m - конечные величины температуры и солености водной массы. $P = \text{const}$ в пределах одной водной массы. Если $\delta S < 0$, то $P > 0$, и наоборот если $\delta S > 0$, то $P < 0$. Противоположность знаков P и δS объясняется тем, что в системах циркуляции открытого океана обязательным условием является $\delta T < 0$ так как условие $\delta T > 0$ характеризует отсутствие теплопередачи океана в атмосферу, а значит и отсутствие трансформации вод.

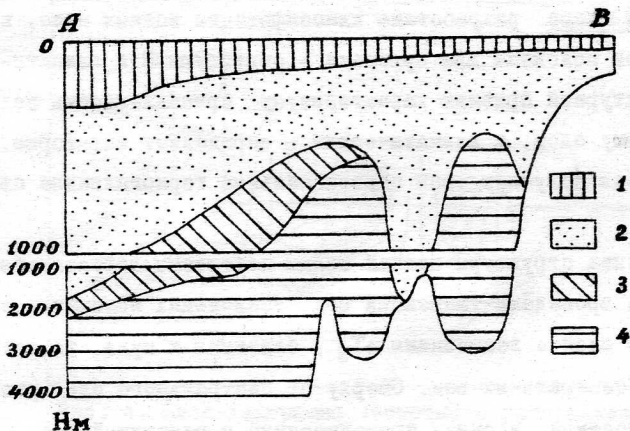


Рис.5. Структура водной толщи на разрезе АВ
1- поверхностный, 2- центральный, 3-про-
межуточный и 4- глубинный олом.

В тропических и полярных водах $P < 0$, так как низкие широты характеризуются преобладанием испарения вод океана над конденсацией водяного пара атмосферы, а высокие широты - осолонением вод, сопровождающим нарастание плавучего льда, что в обоих случаях приводит к увеличению солености, то есть $\delta S > 0$. В водах умеренного пояса $P > 0$, так как $\delta S < 0$ вследствие преобладания конденсации водяного пара атмосферы над испарением вод океана.

По точкам пересечения линий трансформации определены границы вод с климатическими признаками тропических, субтропических, субарктических и арктических вод в поверхностном, центральном, промежуточном и глубинном слоях водной толщи и построены карты водных масс системы Гольфстрима (рис.6).

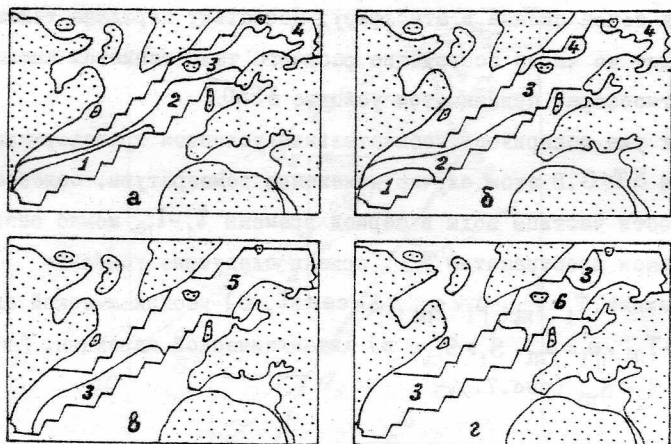


Рис.6. Карты тропических (1), субтропических (2), субарктических (3) и арктических (4) вод в поверхностном (а), центральном (б), промежуточном (в) и глубинном (г) слоях. 5-область, в которой не наблюдаются промежуточные воды, 6-область малых глубин.

В четвертой главе разработан метод расчета адвективной и конвективной составляющих термогалинной трансформации в векторном пространстве T, S .

Для разделения переноса частиц воды на адвекцию и конвекцию приняты 2 допущения, которые заключаются в следующем.

1. Причиной адвекции является работа тепловой машины океан-атмосфера. Поскольку рабочим телом этой машины служит водяной пар, то адвективная составляющая переноса вод зависит от массообмена между океаном и атмосферой, который определяется величиной бюджета солености δS водных масс.

2. Причиной конвекции является приобретение частицами воды отрицательной плавучести в результате повышения плотности при охлаждении воды, которое происходит в процессе непосредственной

передачи тепла океана в атмосферу. Поскольку передача тепла происходит не через посредство рабочего тела тепловой машины океан-атмосфера, принимается условие $\delta S=0$.

Как уже говорилось, обязательным условием трансформации является $\delta T < 0$. В этом случае изменение температуры, солености и плотности частицы воды в период времени $t_1 - t_m$ можно описать в векторном пространстве \vec{T}, S , приняв следующие условия:

а) конвекции, $T_1 > T_m$, $\rho_1 < \rho_m$, $S = \text{const}$, б) изопикнической адвекции, $T_1 > T_m$, $\rho_1 = \rho_m$, $S_1 > S_m$, в) диапикнической адвекции, $T_1 > T_m$, $\rho_1 < \rho_m$, $S_1 < S_m$ (рис. 7.).

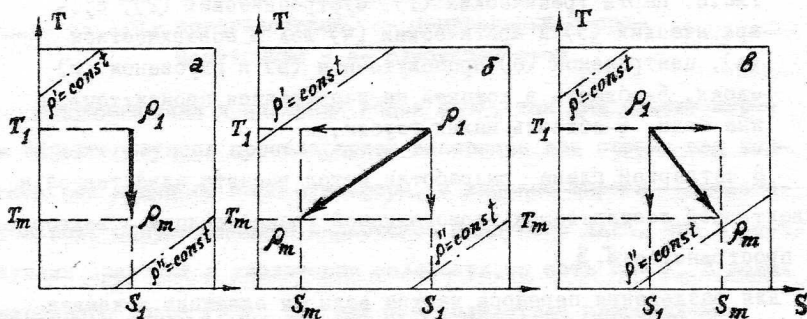


Рис. 7. Изменение температуры T , солености S и плотности ρ воды в условиях конвекции (а), изопикнической (б) и диапикнической (в) адвекции.

В системе Гольфстрима адвективный или конвективный перенос "в чистом виде" не встречается. На рис. 8 приведена модель трансформации вод системы Гольфстрима, построенная в векторном пространстве \vec{T}, S . Очевидно, что модули слагаемых векторов на рисунке, представляет собой бюджеты температуры и солености водных масс δT и δS . Наибольшая величина δT , определяемая

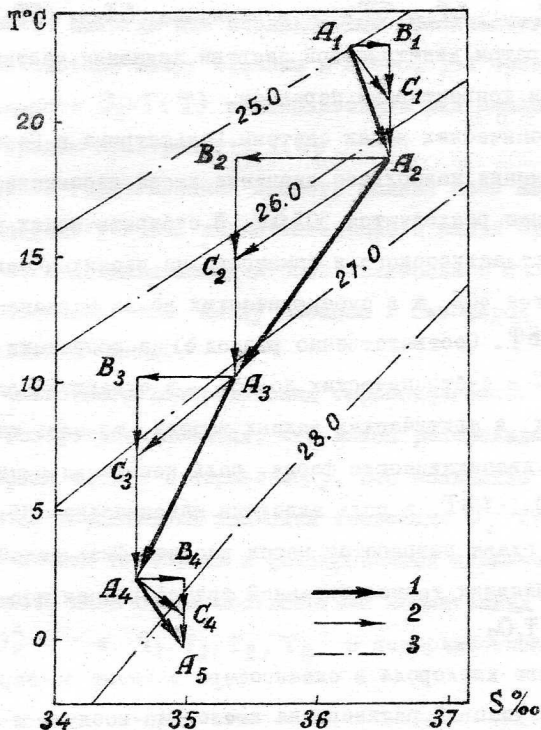


Рис. 8. T, S - диаграмма тропических $A_1 A_2$, субтропических $A_2 A_3$, субарктических $A_3 A_4$ и арктических $A_4 A_5$ вод. 1 - главные, 2 - слагаемые векторы трансформации; 3 - изопикны.

$\vec{V}_{k A_{k+1}}$, $k = 1, \dots, 5$, свойственна субтропическим и субарктическим водным массам. Субтропические воды отличаются от субарктических большей величиной δS , а, следовательно, большим значением адвективной составляющей $\vec{A}_2 C_2$ против $\vec{A}_3 C_3$ и меньшим значением конвективной составляющей $\vec{C}_2 A_3$ против $\vec{C}_3 A_4$.

На основании схемы работы тепловой машины океан-атмосфера в векторном пространстве T, S выдвинуто положение о том, что

$|B_K C_K| / |C_K A_{K+1}| = \delta T_{adv} / \delta T_{conv}$ и величина $\delta T_{adv} + \delta T_{conv}$ эквивалентна затратам кинетической энергии движения частиц воды на адвективный и конвективный переносы.

В субтропических водах системы Гольфстрима и Североатлантического течения наибольшее значение имеет изопикническая адвекция - на нее расходуется 50% δT . В субарктических водах течений Североатлантического и Ирмингера на изопикническую адвекцию расходуется 40%, а в субарктических водах Норвежского течения - лишь 25% δT . Соответственно расход δT на конвекцию увеличивается от 50% в субтропических до 75% - в субарктических водах. В тропических и арктических водных массах, то есть там, где адвекция имеет диапикническую форму, роль конвекции минимальна и составляет 10-15% δT , а роль адвекции максимальна - 85-90% δT .

В пятой главе разработан метод расчета физической и биологической составляющих термоокислительной трансформации вод в векторном пространстве T, O_2 .

Содержание кислорода в океаносфере зависит во-первых от термодинамических условий растворения кислорода воздуха и адвективно-конвективного переноса вод, то есть от взаимодействия океана с атмосферой, и во-вторых - от биологических процессов фотосинтеза растений, бактериального окисления органического вещества и дыхания гидробионтов, то есть от взаимодействия океана с биосферой.

Ставится задача количественной оценки вкладов физических и биологических процессов в наблюдаемое изменение кислорода. Для решения задачи приняты два допущения, суть которых заключается в следующем.

I. Максимальный диапазон изменения солености в пределах одной водной массы составляет 1‰, что позволяет пренебречь зависимость растворения кислорода от солености и принять

уловие $S = \text{const}$. Тогда для исследования изменчивости кислорода при взаимодействии между океаном и атмосферой правомерно применить зависимость $O_2 = \mathcal{F}(T)$ и использовать для анализа наобождения вод кислородом пространство T, O_2 .

2. Диапазон термогаличных свойств водных масс не лимитирует гидрофизические условия жизнедеятельности живых организмов, поэтому для исследования изменчивости кислорода в пространстве T, O_2 при взаимодействии между океаном и биосферой правомерно принять условия $T = \text{const}$.

Анализ частотного распределения термоокислительных свойств вод системы Гольфстрима показал, что закон распределения температуры и кислорода близок к нормальному. Это позволило использовать в качестве нормативных значений кислорода \hat{O}_2 средние арифметические величины кислорода в фиксированных диапазонах температуры. На рис.9 дана схема соответствия нормативных значений $O_2^1, O_2^2, O_2^3, O_2^4$ и T_1, T_2, T_3, T_4 в поверхностном слое.

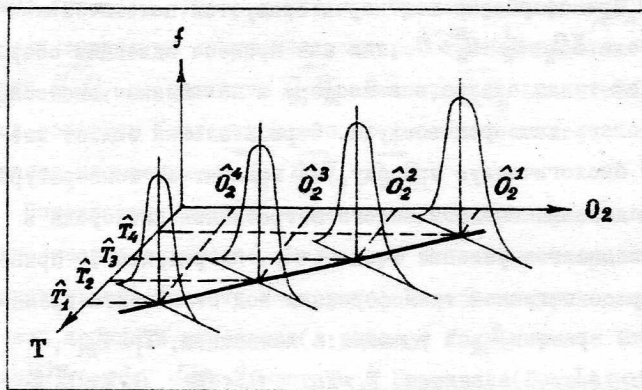


Рис.9. Блок-диаграмма частотного распределения термоокислительных свойств вод поверхностного слоя.

Зависимость между кислородом и температурой поверхностных вод выражена линейным уравнением $b_1 T + b_2 O_2 + b_3 = 0$, которое аппроксимирует среднее термоокислительное состояние водных масс. Изменчивость кислорода характеризуется разностью между наблюдаемой величиной O_2^i и нормой \hat{O}_2 : $\Delta O_2 = O_2^i - \hat{O}_2$. Из уравнения $b_1 T + b_2 O_2 + b_3 = 0$ следует, что расчет средних многолетних величин \bar{O}_2 представляет собой частный случай расчета \hat{O}_2 при условии $b_1 = 0$, тогда $\hat{O}_2 = \bar{O}_2$ и $\Delta O_2 = O_2^i - \bar{O}_2$.

На основании линейных зависимостей между кислородом и температурой, рассчитанных в поверхностных, центральных, промежуточных и глубинных водах, построена модель термоокислительной трансформации, основные положения которой освещены ниже.

Как уже было определено, обмен веществом между океаном и атмосферой в условиях конвективного переноса отсутствует, то есть в случае термоокислительной трансформации вод конвективная составляющая переноса вод характеризуется постоянством концентрации растворенного кислорода: $O_2 = \text{const}$. Адвективная же составляющая термоокислительной трансформации вод характеризуется положительным бюджетом кислорода $\delta O_2 = O_2^i - O_2^m > 0$, так как процесс адвекции сопровождается отдачей тепла океана в атмосферу и повышением способности вод абсорбировать кислород воздуха. Отрицательный бюджет кислорода, имеющий биологическую природу, не зависит от температуры, поэтому для определения биологического потребления кислорода в водах океана принимается условие $T = \text{const}$. На рисунке 10 приведены векторы термоокислительной трансформации вод от момента времени t_1 до момента времени t_m в условиях: а) конвекции, $T_1 > T_m$, $O_2^i \% > O_2^m \%$, $O_2 = \text{const}$, б) адвекции, $T_1 > T_m$, $O_2^i < O_2^m$, $O_2^i \% = O_2^m \%$ в) биологического потребления растворенного кислорода, $O_2 > O_2^m$, $O_2^i \% > O_2^m \%$, $T = \text{const}$.

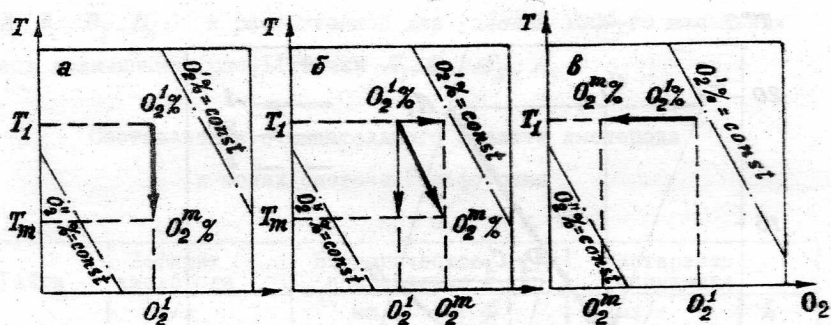


Рис. 10. Изменение температуры T , абсолютного O_2 и относительного $O_2\%$ содержания в воде кислорода в условиях конвекции (а), адвекции (б) и биологического потребления растворенного кислорода (в).

По данным статистической выборки T, O_2 -индексов вод районов Гольфстрима (ГС), Североатлантического хребта (Сх), моря Ирмингера (Им) и Норвежско-Гренландского бассейна (НГ) рассчитаны уравнения термоокислительной трансформации и построены векторы термоокислительной трансформации водных масс в районах системы Гольфстрима (рис. II). Главные векторы трансформации $\vec{A}_K \vec{B}_K, K=1, \dots, 4$ раскладываются на слагаемые векторы отрицательного бюджета кислорода $\vec{A}_K \vec{D}_K$ и адвекции $\vec{D}_K \vec{B}_K$. Вектор $\vec{A}_K \vec{D}_K$ представляет собой сумму векторов биологического потребления кислорода $\vec{A}_K \vec{C}_K$ и гипотеза насыщения $\vec{C}_K \vec{D}_K = \vec{C}_K \vec{B}_K - \vec{D}_K \vec{B}_K$.

Построенные модели термоокислительной трансформации позволяют количественно оценивать физическую и биологическую составляющие отрицательного бюджета кислорода. В таблице приведены данные расчета дефицита кислорода в районах Гольфстрима, Североатлантического хребта, моря Ирмингера и Норвежско-Гренландского бассейна. Дефицит кислорода представляет собой разность между наблюдаемой в слое минимальных концентраций кислорода (рис. II, точки

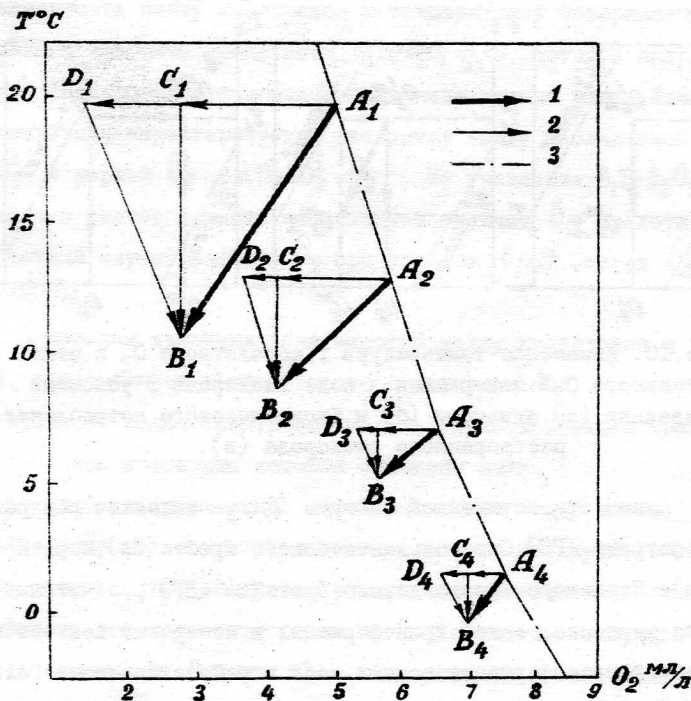


Рис. II. T, O_2 -диаграмма трансформации вод в районах Гольфстрима $\overline{A_1 B_1}$, Североатлантического хребта $\overline{A_2 B_2}$, моря Ирмингера $\overline{A_3 B_3}$ и Норвежско-Гренландского бассейна $\overline{A_4 B_4}$.

1 - главные, 2- слагаемые векторы трансформации, 3- линия 100%-го насыщения вод кислородом.

B_1, B_2, B_3, B_4) и рассчитанной для условий 100%-го насыщения вод величинами (рис. II, точки A_1, A_2, A_3, A_4).

Составляющие отрицательного бюджета кислорода
в водах системы Гольфстрима

Район	Дефицит кислорода	Биологическое потребление		Гистерезис насыщения	
	мл/л	мл/л	%	мл/л	%
ГС	3.66	2.54	69	1.12	31
Сх	2.28	1.66	78	0.62	22
Им	1.23	0.97	73	0.36	27
НГ	1.04	0.45	43	0.59	57

По данным таблицы следует, что наибольший вклад (69-78%) в дефицит кислорода вод районов Гольфстрима, Североатлантического хребта и моря Ирмингера вносят биологические процессы, а наименьший вклад (22-31%) - гистерезис насыщения. В водах Норвежско-Гренландского бассейна гистерезис насыщения (57%) преобладает над биологическим потреблением кислорода (43%).

В заключении подводятся итоги исследования трансформации вод системы Гольфстрима.

В диссертационной работе показано, что линейные зависимости между параметрами вод, измеренными в пространстве φ, λ, H , позволяют перейти от дискретных характеристик частиц воды к непрерывным характеристикам водных масс.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

I. Водная толща океана разделена на поверхностный, центральный, промежуточный и глубинный олов, принадлежность частиц воды к которым определяет структурный признак водной массы.

2. Уравнения вида $a_1T + a_2S + a_3 = 0$, рассчитанные для вод центрального слоя, служат нормативными критериями среднего термогалинного состояния водных масс.

3. Показателем тепло- и массообмена между океаном и атмосферой служит коэффициент термогалинной трансформации водной массы $P = \delta T / \delta S$, где δT - бюджет температуры, а δS - бюджет солености водной массы. Необходимое условие трансформации вод: $\delta T < 0$.

4. Положительная величина P характеризует воды умеренного пояса, а отрицательная величина - воды тропического и полярного поясов.

5. Перенос частиц определен суммой адвективной и конвективной составляющих термогалинной трансформации в пространстве T, S . Условия изопикнической адвекции: $\delta T < 0$, $\delta S < 0$, $\rho = \text{const}$. Условия дипикнической адвекции: $\delta T < 0$, $\delta S > 0$, $\text{grad } \rho = \text{const}$. Условия конвекции: $\delta T < 0$, $\delta S = 0$.

6. Уравнения вида $\delta_1T + \delta_2O_2 + \delta_3 = 0$, рассчитанные для вод поверхностного слоя, служат нормативными критериями среднего термоокислительного состояния водных масс.

7. Критерием обмена кислородом между океаном, атмосферой и биосферой служит уравнение термоокислительной трансформации центральных вод. Установлено, что бюджеты абсолютного и относительного содержания кислорода в центральных водах отрицательны: $\delta O_2 < 0$ и $\delta O_2\% < 0$.

8. Дефицит кислорода в океане складывается из биологического потребления и гистерезиса насыщения. Условия биологического потребления: $\delta O_2 < 0$, $\delta O_2\% < 0$, $T = \text{const}$. Условия гистерезиса насыщения: $\delta O_2\% < 0$, $\delta T < 0$, $O_2 = \text{const}$.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Адров Н.М. Формирование структуры вод Баренцева моря в осенне-зимний период. Комплексные исследования природы северных морей. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1982, с. 20-22.

2. Адров Н.М. Климатолого-статистическая оценка трансформации вод в системе Гольфстрима по термогалинным данным. Вопросы прикладной океанологии, вып. 124, М., Гидрометеиздат, 1985, с. 97-102.

3. Адров Н.М. Связь между термогалинной структурой вод и стратификацией растворенного кислорода в Северной Атлантике. - Вопросы прикладной океанологии, вып. 124, М., Гидрометеиздат, 1985, с. 51-56.

4. Адров Н.М. Исследование аномалий температуры воды в системе Гольфстрима. - Ин-т океанол. им. П.П. Ширшова АН СССР, М., 1984, 10 с., деп. ВИНТИ 28.01.85, № 804-85.

5. Адров Н.М. Формирование промежуточных вод в Северной Атлантике. - Ин-т океанол. им. П.П. Ширшова АН СССР, М., 1984, 7 с., деп. ВИНТИ 28.01.85, № 805-85.

6. Адров Н.М. Соленость вод океана и палеоклимат. - Всесоюзная конференция "Проблемы четвертичной палеоэкологии и палеогеографии", тез. докл., Мурманск, 1985, с. 8-9.

7. Адров Н.М. Термогалинные условия формирования водных масс. - Всесоюзная конференция "Экология и биологическая продуктивность Баренцева моря", тез. докл., Мурманск, 1986, с. 30-31.

8. Адров Н.М. Термоокисленная структура вод океана. - Всесоюзная конференция "Экология и биологическая продуктивность Баренцева моря", тез. докл., Мурманск, 1986, с. 27-29.

9. Адров Н.М., Смоляр И.В. Метод расчета границы атлантических вод в Баренцевом море. Препринт. Апатиты: Кольск. фил. АН СССР, 1987, 22 с.

А в т о р е ф е р а т

Т Р А Н Ф О Р М А Ц И Я В О Д С И С Т Е М Ы Г О Л Ь Ф С Т Р И М А

Технический редактор В.А.Ганичев

Подписано к печати 17.08.87. ПН - 06606.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 1.16. Уч.-изд.л. 1.17. Тираж 100 экз. Заказ № 336.

Ордена Ленина Кольский филиал им.С.М.Кирова АН СССР
184200, Апатиты, Мурманская область, Ферсмана, 14

Бесплатно.