

А. Д. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВОДНЫХ МАСС

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
кафедры океанологии*

Понятие о водной массе по аналогии с понятием о воздушной массе впервые было сформулировано А. Дефантом [24], который под этим понятием подразумевал однородные ограниченные или неограниченные водные объемы, характеризующиеся вполне определенными, более или менее постоянными свойствами, физическими или химическими как например, температурой или соленостью. Переход от одной водной массы к другой, по Дефанту, происходит через пограничную поверхность, и расположение таких поверхностей составляет пространственную структуру вод в море.

Прежде всего следует договориться о терминологии. Очень часто называют «водной массой» любой объем воды, без ограничения ее характеристических свойств, просто в виде указания на конкретность случая, или даже в целях литературной гладкости, чтобы не повторять слишком часто одни и те же слова. Однако необходимо резко различать понятия «водная масса», как некая индивидуальность, со свойственными именно ей физико-химическими и биологическими характеристиками, и понятие «масса воды», когда речь идет о любой воде, как о веществе, наполняющем чашу моря.

По существу понятием «водная масса» в океанологии пользуются давно, почти с первых шагов изучения океана. Достаточно указать например, на выделение вод Гольфстрима, сделанное В. Франклином еще в 1770 г., или на выделение Н. М. Книповичем атлантических вод в Баренцевом море (1906 г.).

Дефант лишь впес ясность, сформулировал те идеи, которые уже существовали. Одновременно он высказал весьма плодотворную мысль об аналогии процессов в океане и в атмосфере (правда, с этой аналогией следует обращаться осторожно, так как темпы и условия развития процессов, особенно динамических, в океане и в атмосфере имеют существенные различия, связанные с различиями в плотности, подвижности, сжимаемости и т. п.).

Однако определение Дефанта было недостаточно полным, в нем отсутствовало указание на географический характер этого понятия и не была использована характеристика динамики вод. Более полное определение понятия «водная масса» было дано автором [10]: «Водной массой следует называть некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана — отчасти источнике этой массы, — обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс, и распространяющийся, как одно, единое целое». Водная масса определяется некоторыми численными показателями, индексами, представляющими собой величины значений физических, химических и других характеристик, принимаемых в расчет. О том, как это можно сделать, будет сказано ниже. При помощи этого понятия дается некоторое

осреднение характеристик, обобщение их. Обычно при рассмотрении океанологических явлений и процессов приходится иметь дело с большим количеством различных конкретных цифр, характеризующих температуру, соленость и другие свойства вод. Во многих же случаях малые различия в значениях этих величин не представляют интереса. Тогда нередко пользуются формальным арифметическим осреднением — по времени, по клеткам (часто неточно называемых «квадратами»). Однако этот способ имеет серьезные ограничения, связанные прежде всего с необходимостью соблюдения однородности ряда осредняемых цифр. А такая однородность на практике выдерживается очень редко, поэтому сравнение цифр, полученных путем арифметического осреднения, оказывается либо совсем невозможным, либо оно имеет только ограниченный, формальный характер. Обобщение же конкретных цифр при помощи понятия о водных массах позволяет провести осреднение по существу, по реальным особенностям рассматриваемого объема воды. Таким обобщением можно отчетливее выявить основные географические закономерности формирования, размещения и взаимодействия вод океана и подойти к решению вопроса о районировании океанов и морей.

Вместе с тем, при осреднении, когда водная масса определяется какими-то интервалами значений характеристик (температура, соленость и т. п.), можно выделить значения показателей (индексов), наиболее свойственных именно данной водной массе, лучше всего ее обрисовывающих; остальные же значения в пределах всего интервала менее характерны, более разнообразны и изменчивы. Часть объема водной массы с наиболее отчетливыми индексами является ядром этой водной массы. Такое ядро, естественно, образуется обычно в области формирования водной массы, в очаге. Очаги эти расположены главным образом в областях с устойчивыми метеорологическими условиями.

Как правило, водные массы создаются на поверхности океана под влиянием климата и циркуляции вод. Но иногда водные массы могут формироваться и в толще вод. Это прежде всего — районы опускания поверхностных вод на глубину вследствие вертикальной циркуляции (например, у берегов Антарктиды). Кроме того, воды, длительно находящиеся в глубинных слоях, могут приобретать свойства самостоятельной водной массы в результате процессов трансформации.

Из очагов формирования водные массы течениями переносятся в другие районы, причем по пути под влиянием внешних условий могут изменяться характеристики их, т. е. будет происходить их трансформация. При этом характеристики в ядре водной массы будут изменяться медленнее, чем в периферийных областях. По мере движения водной массы отклонения значений характеристик от первоначальных индексов могут стать настолько большими, что придется эту сильно трансформированную водную массу признать за самостоятельную.

Проблема трансформации очень трудна, ученые еще очень недалеко продвинулись в ее решении. Интересной, хотя и весьма предварительной, является работа Ханайченко [19].

Трансформация идет в основном под влиянием трех причин: перехода водной массы из одной климатической зоны в другую, изменений внешних условий в связи с годовым циклом и смещения различных водных масс между собой.

Первого вида трансформацию можно назвать зональной. Она наиболее отчетливо проявляется в районах теплых и холодных течений, т. е. в зонах положительных и отрицательных аномалий температуры. Обычно изменения характеристик вниз по течению происходят медленно, но на больших расстояниях эти медленные изменения приводят к большим разностям в абсолютных значениях. Тогда вследствие зональной трансформации и появляется новая водная масса (как, на-

пример, водная масса Куроиси формируется из тропической). Указать, при каких значениях изменения индексов следует выделять новую водную массу, можно только в каждом конкретном случае — это является как раз одним из аспектов всей проблемы водных масс в целом.

Изменение индексов в связи с годовым циклом можно назвать трансформацией сезонной. В результате сезонной трансформации в некоторых районах, особенно в морях умеренных широт, могут происходить очень большие изменения характеристик, т. е. индексы водных масс могут очень резко различаться в разные сезоны (особенно велика разница между зимой и летом). Поэтому формально приходится рассматривать как бы различные водные массы в одном и том же районе в разное время года, хотя в этом случае нет притока инородной водной массы, а одна и та же вода изменила свои индексы. В таком случае точнее говорить не о зимней и летней водных массах, например, Черного моря, а зимней и летней модификациях, разновидностях одной водной массы. Однако в некоторых районах в годовом ходе наблюдается изменение соотношения в количестве различных водных масс (как, например, вод Куроиси и Ойясио вблизи Сангарского пролива). Наконец, трансформацию, возникающую при соприкосновении различных водных масс, можно назвать трансформацией смешения. Это смешение может идти постепенно, без резкой границы между водными массами (подобно, например, смешиванию вод Калифорнийского течения и тропических), и тогда наблюдается просто плавный переход одной массы в другую. Но во многих случаях встречаются водные массы с резко различными характеристиками (Куроиси и Ойясио, Гольфстрим и Лабрадорское течение). Тогда между водными массами образуется резко выраженная пограничная область с большими горизонтальными градиентами характеристик. Такая область носит название фронтальной. Где-то внутри нее должна проходить фронтальная поверхность, разделяющая водные массы, — но это только формально.

Довольно подробно этот вопрос рассмотрен Агеноровым [1], который предложил количественный критерий для выделения зон трансформации и фронтальных — по максимальным величинам градиентов характеристик («поверхности максоград» и «поверхности максокерл»). Несмотря на то, что градиенты в этой области велики, гораздо больше, чем внутри водной массы, в ней фактически нет разрыва непрерывности.

В таком случае эта разновидность трансформации смешения может быть выделена под названием фронтальной. Она имеет ту особенность, что может приводить к созданию третьей водной массы с показателями, промежуточными между показателями двух смешивающихся масс, но довольно далекими от них обеих (в виде примера можно назвать промежуточную распресненную прослойку в западной части Тихого океана, формирующуюся вследствие смешения вод Куроиси и Ойясио). На картах распределения характеристик на различных поверхностях — горизонтальных, изопикнических или других — довольно отчетливо намечается линия пересечения поверхности карты с фронтальной поверхностью. Эту линию называют фронтом (по аналогии с метеорологическим фронтом — линией пересечения фронтальной поверхности, разделяющей холодные и теплые воздушные массы, с поверхностью Земли).

Фронтальные поверхности (области) распространяются от свободной поверхности моря в толщу воды наклонно, но далеко от горизонтального, а нередко и довольно близко к вертикальному направлению. Эти области разделяют поверхностные водные массы друг от друга в горизонтальном направлении. Разделение же в вертикальном направлении водных масс, расположенных на разных глубинах, проходит по почти горизонтальным поверхностям, нередко также отличающимся большими градиентами. По существу это тоже фронтальные поверхно-

сти, однако так их не принято называть, а пользуются терминами «слой скачка», «максимум устойчивости», «термоклин». Наиболее резко выражены эти области в поверхностных водах в пределах деятельного слоя (20—30 м, нередко до 100—150 м, но в некоторых районах бывает и глубже).

Сочетание в пространстве водных масс и границ между ними, в том числе и фронтальных областей, составляет структуру вод отдельных районов океана. Структура отражает общие закономерности хода важнейших океанологических процессов. Структура вод в вертикальном направлении характеризуется главным образом кривыми вертикального распределения и t , S -кривыми, а горизонтальная — картами.

Таковы основные определения, связанные с проблемой водных масс. Теперь следует обратиться к вопросу о том, какие признаки могут быть использованы для выделения отдельных водных масс.

Так как по определению водная масса представляет собой некоторое единое целое, то ее следует выделять по всему комплексу признаков. Однако практически это очень трудно. Кроме того, обычно в общем комплексе признаков можно выделить некоторые — ведущие, от которых в основном зависят и многие другие признаки. Наконец, для наиболее полной характеристики водной массы можно воспользоваться более или менее полным набором признаков, определив сначала характеристики по каждой из составных частей комплекса в отдельности.

В настоящее время можно привлечь довольно много отдельных величин из всего многообразия океанологических характеристик по каждой из отраслей океанологии. Так, из физических характеристик используются температура, соленость, плотность, оптические свойства, скорость звука; в химических — растворенный кислород, сероводород, щелочность, из физико-химических — соотношение изотопов (главным образом кислорода и водорода), из геологических — минеральный состав взвеси; из биологических — состав населения (планктон, бентос, бактерии).

В одной статье нет возможности описать все существующие и возможные методы. Поэтому здесь мы ограничимся только некоторыми.

Прежде всего — об использовании кривых вертикального распределения океанологических характеристик, и в первую очередь температуры и солености. Эти кривые используются часто и дают хорошие результаты для первоначального разделения, как это показал, например, Ф. Нансен, рассматривая водные массы Северного Ледовитого океана (правда, позднее, путем применения другого метода выводы Ф. Нансена были уточнены, но не отклонены).

Возможности этого метода можно расширить, если знать уравнение кривой вертикального распределения. Однако до сих пор еще не удалось получить такое уравнение строгим теоретическим путем. Можно лишь подобрать формулы, которыми можно аппроксимировать реальные кривые. В простейшем случае это — прямая, но нередко наблюдаемые кривые могут приближаться к параболе, могут выражаться показательной или логарифмической функцией. Пользуясь в качестве примера температурой, эти четыре кривые можно описать следующими уравнениями:

- 1) $t_z = t_0 + qz$;
- 2) $t_z = t_0 + az + bz^2$;
- 3) $t_z = t_0 e^{-mz}$;
- 4) $t_z = t_0 - n \lg z$,

где z — горизонт, t_z и t_0 — температура на этом горизонте и на поверхности (свободной или на каком-либо горизонте, избранном для начала отсчета), и q , a , b , m , n — эмпирически находимые числовые коэффициенты.

Рассмотрение кривых вертикального распределения и их уравнений позволяет определять горизонты наибольших и наименьших значений океанологических характеристик, толщину слоев однородных значений и наибольших градиентов (слои скачка), а также некоторые другие данные, связанные с выделением водных масс.

Любопытно, что наш соотечественник В. Ж. Лебедев [14] очень давно применил показательное уравнение для расчета распределения температуры по вертикали. Он опирался на наблюдения в основном на озерах (Женевское, Ладожское, Байкал, Комо, Дальнее-на-Камчатке и др.) и на Каспийском море. Применяя свою формулу для океанов, В. Ж. Лебедев рассчитал температуру нижних горизонтов по температуре поверхности с ошибками $0^{\circ},3-0^{\circ},4$. Он считал, что по отклонениям фактиче-

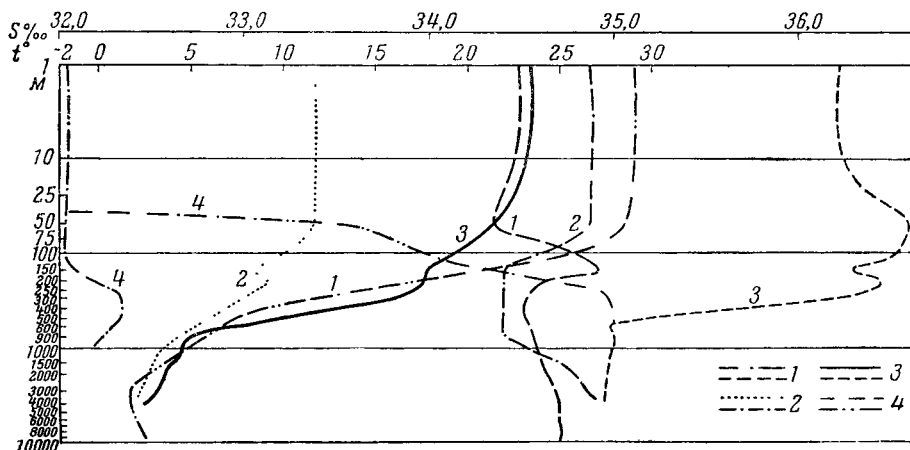


Рис. 1. Примеры логарифмических графиков вертикального распределения

1 — Тихий океан («Виллерброд Сцеллиус», X.1930, $\Phi=10^{\circ}$ N, $\lambda=127^{\circ}$ E), 2 — Индийский океан («Дискавери II», IX.1930, $\Phi=42^{\circ}$ S, $\lambda=36^{\circ}$ E); 3 — Атлантический океан («Генерал Грин», 1937, $\Phi=41^{\circ}$ N, $\lambda=47^{\circ}$ W), 4 — Северный Ледовитый океан («Сев полюс» XI.1937, $\Phi=84^{\circ}$ N, $\lambda=3^{\circ}$ E)

В условных обозначениях всюду верхняя линия — температура, нижняя линия — соленость

ской температуры от расчетной можно судить об океанологических процессах в глубинных водах. Однако эта работа, опубликованная в издании, плохо известном мороведам, не нашла развития, хотя она содержит много интересных мыслей.

Логарифмическая форма кривых была применена автором настоящей статьи в 1947 г. с целью компактного изображения кривых вертикального распределения для северной части Тихого океана. Это оказалось очень удобно, и при масштабе, например, единица логарифма глубины в 25 мм, на бумаге получается, что любая, даже самая глубокая океанологическая станция занимает на графике всего 10 см по вертикали, при чем горизонты с более значительными изменениями характеристик имеют более крупный линейный масштаб, а с менее значительными — менее крупный. Кроме того, в соответствии с существующими стандартными горизонтами точки на кривой располагаются почти равномерно даже сгущаясь на больших глубинах, где изменения температуры и солености как раз становятся очень малыми (рис. 1).

Но на таких графиках видно и другое: логарифмическая кривая — особенно для температуры — расчленяется на несколько отрезков прямых или почти прямых. Следовательно, закон распределения характеристик — особенно температуры — по вертикали дается логарифмическим уравнением $t_z = t_0 - n \lg z$, где t_0 — температура на верхнем горизонте, с которого начинается прямолинейный отрезок кривой, z — гл-

бина, n — угловой коэффициент отрезка, равный $\frac{\Delta t}{\Delta \lg z}$. Такая закономерность, наблюдаемая в большинстве случаев, несомненно должна иметь какое-то объяснение, которого пока еще нет.

Можно напомнить, что и в метеорологии существуют аналогичные формулы (изменение скорости ветра с высотой — Чэмпена-Гельмана, Монтомгери, причем последний дал аналогичную формулу и для влажности воздуха). Все это показывает, что, несмотря на отсутствие доказательства необходимости существования логарифмического закона, факт его существования в природе подмечен. Следовательно, поскольку логарифмическая кривая дает определенный закон, характеризующий изменение температуры с глубиной, постольку она может характеризовать и особенности процессов перемешивания, т. е. в известной мере она может служить показателем водных масс. Основным параметром логарифмической прямой (на графике) является ее угловой коэффициент, следовательно, именно его и можно взять в качестве показателя для выделения водных масс. Опыт использования этого показателя для северной части Тихого океана дал неплохие результаты (рис. 2) [10]. Любопытно, что этот метод был использован и позднее, с той же целью характеристики структуры водных масс [29].

Следует еще указать на возможность использования океанологических разрезов, что также с первых шагов океанологии и до наших дней находит широкое применение. На таких разрезах часто выделяются области повышенного или пониженных значений характеристики (например, температуры, солености) в толще вод. Обычно принято считать, что это объясняется вторжением потока инородной воды. Так, например, рассматривается теплая прослойка в толще вод Центрального Арктического бассейна, распресненная прослойка в северной части Тихого океана и т. д. Здесь, правда, существует трудность определения направления переноса вод прослойки.

Однако метод кривых вертикального распределения имеет тот недостаток, что в нем обычно рассматривается лишь какая-нибудь одна характеристика. Но по самому смыслу понятия о водных массах необходимо иметь некоторый комплексный показатель. Раньше всего стал применяться метод t, S -кривых, предложенный Б. Гелланд-Ганзенем еще в 1918 г. Этот метод вошел в практику очень широко, однако теория его была дана с достаточной полнотой лишь В. Б. Штокманом [21]. Он разработал теоретические основы метода t, S -кривых, исходя из уравнения $t=f(S)$ и анализа процессов перемешивания. Хотя физически эти две величины — температура и соленость — не связаны друг с другом, географически в каждом отдельном районе они взаимосвязаны, так как значения их определяются одними и теми же физико-географическими условиями. Поэтому выражение связи между этими двумя величинами формулой функциональной зависимости имеет достаточное основание. В. Б. Штокман дал правила построения «треугольника смещения» и его анализа, вытекающие из его «геометрии t, S -кривых». По сравнению с предшествующими работами эти правила позволили гораздо более объективно использовать метод. Одной из возможностей его является сравнительно простой способ отыскания t, S -индексов. Величинами (парами t и S), характеризующими ядро водной массы, являются пары, соответствующие концам и экстремумам t, S -кривой, а отрезки кривой между этими точками характеризуют процесс смешивания водных масс. Содержание метода может быть хорошо показано на чертеже «треугольника смещения». Этим способом можно обработать массивный материал и получить t, S -индексы для водных масс отдельных районов океана, построить разрезы, как это сделал, например, К. В. Морозкин [17]. Кроме самих индексов, этим методом можно определить и границы между водными массами. Метод этот имеет широкое распро-

океана по данным «Витязя» (4-й рейс МГГ, 1958). Он оказался удачным; оптика дополнила метод t, S -кривых.

К химическим признакам относятся такие, которые связаны с химическими и биологическими процессами и которые определяются химическими методами. В качестве такого химического признака используется содержание кислорода. Этот показатель обычно используют не как самостоятельный признак, а как косвенный, характеризующий течения или перемешивание вод. Однако этот признак весьма изменчив в верхних слоях, для выделения же водных масс нужно иметь сравнительно консервативные признаки, поэтому его используют при изучении глубинных слоев. Особенно выразителен этот признак при очень малом содержании или даже при полном исчезновении кислорода, когда он заменяется сероводородом. Но это наблюдается лишь в редких случаях особого, специфического режима водоемов (например, Черное море).

Более четким химическим признаком, притом преимущественно для поверхностных слоев, является щелочность или щелочно-хлорный коэффициент (Alk/Cl). Он позволяет проследивать в море распространение вод материкового стока, которые отличаются от морских вод относительно повышенным содержанием карбонатов. Наиболее отчетливо показатели этого рода характеризуют внутренние моря с большим материковым стоком [2]. К сожалению, этот метод еще не получил большого распространения, хотя в некоторых районах, например в китайских морях, где роль материкового стока имеет такое же значение, как и роль океанических вод, мог бы найти очень полезное применение. Но и для океана такой способ дает интересные результаты, как это показал Дж. Талли в своих докладах на Международном океанографическом конгрессе в Нью-Йорке [30].

Наконец, очень важными, даже решающими, химические показатели являются в оценке границ собственно морских вод вблизи берегов и устьев рек. Здесь определяющим качеством является химический состав солей, растворенных в морской воде. На примере Карского моря П. Г. Лобза [16] показала, что по этому признаку границей речных и морских вод можно принять изохалину 1‰: при большей солености господствуют хлориды, состав солей очень близок к составу морской воды, а при меньшей — преобладают карбонаты, господствует химический состав речных вод.

Химические характеристики могут быть использованы также в плане исследования переноса водных масс (течений). Здесь некоторую пользу может оказать метод изопикнического анализа [27], в котором рассматривается распределение солености в определенных изопикнических поверхностях, или метод М. Окада [26], где аналогично рассматривается распределение довольно консервативной характеристики — кремния (Si). Но эти приемы дают возможность определить скорее только динамические (точнее даже кинематические) характеристики водных масс.

К химическим методам выделения водных масс тесно примыкают методы физико-химические, из которых весьма интересен метод изотопного анализа. Именно изотопный состав является весьма консервативной характеристикой вод. Пользуясь этим методом, можно определить возраст вод (например, метод C^{14}). Правда, результаты измерения возраста таким способом оказываются не очень надежными и не всеми учеными признаются. Вероятно, более широкие перспективы может иметь изотопный анализ воды, определение содержания тяжелых компонентов водорода и кислорода, так как эти характеристики являются весьма устойчивыми. Анализ природных вод с этой точки зрения показал существенные закономерности в соотношении количества изотопов дейтерия и тяжелого кислорода [6]. Применение А. И. Бродским этого метода к водам Северного Ледовитого океана показало целесообразность его, а автором эта работа была продолжена и развита [9]. Данные 18 проб

из 12 точек оказалось возможным разделить на три группы, каждая из которых соответствует определенному району (рис. 4). К сожалению, в дальнейшем работ такого направления не было, поэтому до сих пор приходится ограничиваться только указанием на его хорошие перспективы и пожеланием его применения.

К физико-химическим же показателям следует отнести и радиоактивность — естественную и искусственную. Работы в этом направлении только начинаются, и разрозненные измерения еще никак не обобщены.

К геологическим показателям может быть отнесена минералогическая характеристика взвесей. Это новое направление исследований связано с изучением формирования донных отложений [15]. В то же время минеральный состав взвеси может дать указание на район ее происхождения, следовательно, и на течения. Правда, необходимо учитывать, что за время пребывания в толще воды частицы взвеси постепенно опускаются и растворяются, причем, вероятно, избирательно, в зависимости от размеров и состава. Эти процессы известны еще очень плохо. Поэтому такие индикаторы пока могут быть использованы лишь как дополнительные или контрольные.

Наконец — о биологических показателях водных масс. Этими показателями являются видовой и количественный состав растений и животных, населяющих море. Так как жизнь в море зависит от большого комплекса физических и химических характеристик, обобщающими весь комплекс физических и химических признаков. Один факт существования такого-то вида в данной воде указывает на целый комплекс фактов: такую-то температуру, такую-то соленость, такое-то содержание кислорода и т. п. Но так как живые организмы обладают способностью приспосабливаться к внешним условиям, то здесь примешиваются и чисто биологические особенности организмов. По степени приспособляемости организмы разделяются на эврибионтные, с широкими пределами условий существования, и стенобионтные — с узкими пределами. Соответственно различаются виды эврииндикаторы и виды стеноиндикаторы [4]. Использование видов второй группы сравнительно просто, так как пределы их существования не широки. Для первой же группы приходится учитывать количество особей, размеры, возраст, биологическую активность и т. п. Это связано с тем, что при широких пределах условий существования все же имеются более узкие рамки оптимальных условий развития вида. Далее, приходится учитывать, что отдельные виды могут характеризовать только температуру (стенотермные виды, в остальных отношениях мало ограниченные), только соленость и т. д. Такие виды Н. П. Горбунов [8] называет «термоиндикаторы», «халиноиндикаторы» и т. д. В. Г. Богоров прибавляет еще «генезисо-индикаторы» [4], т. е. виды, свидетельствующие о районе происхождения воды.

Существует различие в применении биологических индикаторов гидробионтов из группы планктона и из группы бентоса.

Планктон гораздо легче изменяется по количеству и составу в связи с изменением физических и химических условий, и продолжительность жизни планктонных организмов очень невелика. Планктон отражает условия данного сезона и данного момента. При этом планктон перено-

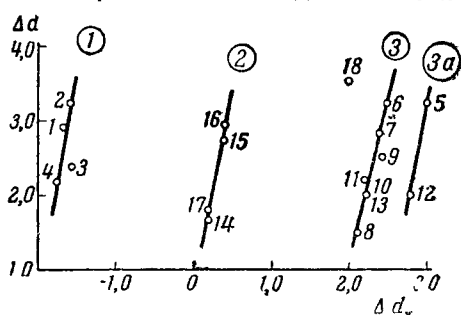


Рис. 4. График связи общей аномалии плотности (Δd) с аномалией ее за счет водорода (Δd_w)

Цифры в кружке — номера группы, без кружка — номера пробы

сится течением, и поэтому он является показателем водной массы и хода ее трансформации в океанографических координатах. Бентонические же организмы отражают, во-первых, некоторое среднее состояние океанологических характеристик (вероятно, даже среднее многолетнее), а во-вторых, — распределение в географических координатах. Естественно, что обе характеристики дополняют одна другую. Однако практически гораздо больше сделано в изучении планктонных показателей. Весьма продуктивным является введенное В. Г. Богоровым понятие о «спектрах» распределения различных групп планктона [3]. Им установлено, что распределение каждого вида планктона зависит от определенных условий, и он встречается чаще и в больших количествах в оптимальных условиях, что при значительных изменениях условий в воде меняется и состав планктона и что организмы, связанные с определенными водами, отсутствуют за пределами распространения этих вод. Примеры такого анализа можно найти по нашим арктическим морям, по калифорнийскому и другим районам Тихого океана и т. д. Имеются также и примеры использования бентоса. Так П. В. Ушаков [18] дал картину распределения берингоморских и арктических вод в Чукотском море. За последнее время стали использовать, как это сделал Крисс, и бактериальные организмы, которые тоже могут служить индикаторами водных масс [13].

Однако при использовании биологических показателей приходится сталкиваться с большими трудностями. Главной трудностью является то, что очень плохо известны экологические условия существования и развития организмов различных видов и способности их приспособления к изменению условий. Имеющиеся представления основаны почти исключительно на наблюдениях в море, и очень редко — на лабораторном эксперименте. Другая группа трудностей заключается в числовой характеристике биологического показателя. Обычно это просто название вида — теплолюбивого или холоднолюбивого и т. п. Но получить число гораздо труднее, хотя в некоторых случаях и возможно (процентное соотношение видов — спектр по Богорову).

Третья группа трудностей связана со сбором материала. Здесь прежде всего нужна полная стандартизация методов работы, приборов, частоты станций и горизонтов. Но даже и при соблюдении этих требований нет уверенности в том, что отсутствие какого-либо вида в уловах доказывает отсутствие его в море и что наличие его доказывает большое количество особей этого вида в море. Это связано с несовершенством наших приборов и нашей методики.

Таким образом, несмотря на большие потенциальные возможности, биологические показатели пока еще не могут быть решающими.

Из всего обзора следует, что нет таких признаков, которые сами по себе решали бы задачу. Поэтому приходится пользоваться комплексами признаков, выбирая какой-либо один за основной, привлекая остальные как дополнительные.

Недавно вышла очень интересная работа, которая идет по подобному пути, хотя и не посвящена прямо водным массам; — это работа В. Г. Богорова о зональности в океанах [5]. На основании сопоставления температуры и солености воды, течений, содержания биогенных веществ, планктона и т. д. были получены комплексы, характеризующие определенные зоны. Пока это сделано только для отдельных океанских разрезов, но, вероятно, такую методику можно распространить и шире.

Рассмотрев различные способы выделения водных масс, обратимся к вопросу о том, какие подразделения возможны в реальных условиях.

Прежде всего, все воды можно разбить на два типа — пресные и соленые. Назовем эти воды элементарными водными массами. Мировой океан заполнен соленой элементарной водной массой — пресная наблюдается лишь вблизи устьев рек и по сравнению с первой занимает ничтожно малый объем. Вода осадков и тающего льда быстро

смешивается с соленой, и только в исключительных случаях может ненадолго образовывать линзы пресной воды на соленой. Таким образом, дальнейшую классификацию можно вести только по отношению к соленой элементарной водной массе. Ее можно разделить прежде всего на основные океанические водные массы, которые заполняют океаны в целом. Они занимают огромные пространства и имеют весьма однородное строение на большом протяжении. Расположение очагов формирования основных океанических водных масс связано с главными чертами климата земного шара, с общей океанической и атмосферной циркуляцией. К этим основным океаническим водным массам относятся экваториальные, тропические, умеренных широт и полярные воды. Так как условия формирования вод в различных океанах не одинаковы, то следует выделять их по отдельным океанам: экваториальная атлантическая, или тропическая южно-тихоокеанская и т. д.

Далее следует назвать вторичными океаническими водными массами такие, которые образуются из основных океанических путем трансформации их под влиянием внешних влияний или путем смешивания друг с другом. К этим же вторичным океаническим следует отнести и такие, как средиземноморские в Атлантическом океане или красноморские — в Индийском; они играют существенную роль в жизни океана, но лишь в ограниченном районе, а формируются не в открытом океане, а в море, и вливаются в океан через узкий пролив. Следовательно, моря могут быть очагами вторичных океанических водных масс.

Таким образом, подразделение океанских водных масс предусматривает основные и вторичные океанические массы, фронты и области смешения.

Дальнейшее подразделение — это основные морские водные массы, заполняющие крупные части отдельных морей и наиболее характерные для этих морей. По аналогии с океаном в море тоже могут быть выделены вторичные морские водные массы. Эти массы имеют особое значение — только для данного моря — и занимают сравнительно небольшие пространства. В пределах каждой вторичной водной массы можно выделить еще массы третьего порядка и т. д. Однако такое дробление должно проводиться осторожно, так как чем дробнее деление, тем меньше интервалы индексов, тем дальше они отходят от основной цели, для которой введено само понятие, от обобщения, осреднения. Так излишней дробностью грешат работы К. Коэнума, который только в крайней западной части Тихого океана (в северной половине района Японии — Филиппины — Новая Гвинея) находит около полутора десятков водных масс.

Подводя итоги, можно сказать, что учение о водных массах открывает возможности для значительных географических обобщений, для установления комплексных взаимосвязей. Особенно полезно понятие о водных массах при районировании морей и океанов, тем более, если привлечь к рассмотрению изменчивость характеристик — годовой и многолетний ход, кратковременные периодические и непериодические изменения. В этом отношении недавно был проделан интересный опыт: выразительным показателем оказалось отношение полугодовой компоненты кривой температуры воды к годовой. Расчет, проделанный Н. И. Чалышевой на материалах по дальневосточным морям, показал хорошее сходство результатов применения этого метода с результатами выделения водных масс и районирования по другим признакам [20].

В то же время учение о водных массах не замечает собой все другие методы изучения океана. Так, например, при помощи анализа трансформации водных масс можно получить представление об общем переносе вод, но нельзя изучить течения.

Для современного этапа развития океанологии характерно внедрение методов физико-математического анализа, особенно в области фи-

зической океанологии. Но эти методы еще не в состоянии дать решения. Они дают только схемы для более или менее ограниченных случаев, причем без учета всего многообразия комплекса океанологических процессов.

Можно думать, что наиболее продуктивно изучение океанов должно идти путем комплексных обобщений, на основе успехов специализированных исследований в отдельных областях океанологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеноров В К, 1944 Об основных водных массах в гидросфере, Гидрометеоздат, Москва—Свердловск
2. Блиннов Л К, 1956 Гидрохимия Аральского моря, Гидрометеоздат, Л
3. Богоров В Г, 1944 Распространение солонатоводных фаун и планктона в сибирских полярных морях, Докл АН СССР, т XIV, № 5
4. Богоров В Г, 1945 Роль биологических индикаторов в познании гидрологического режима моря, Докл Юбилейной сессии АНИИ, Изд ГУСМП, М—Л
5. Богоров В. Г., 1959 Биологическая структура океана, Докл. АН СССР, т 128, № 4
6. Бродский А И, Скарре О К, Донцова Е И, Слуцкая М М, 1937. Изотопный состав вод и снега в южных рек, Ж физ хим, т X, стр 731
7. Бурков В А и Арсеньев В С, 1958 Опыт выделения водных масс в районе соприкосновения Куроиси и Курильского течений, Тр. Ин-та океанол АН СССР, т XXVII
8. Горбунов Ф. П., 1934 Биологические индикаторы и их значение в исследовании Арктики *Arctica*, кн II
9. Добровольский А Д, 1948 К вопросу о физико химических индикаторах для водных масс, Пробл. Арктики, № 1.
10. Добровольский А Д, 1947 Водные массы северной части Тихого океана Тис МГУ
11. Иванов-Францкевич Г Н, 1953 Вертикальная устойчивость водных слоев как важная океанологическая характеристика, Тр. Ин-та океанол АН СССР, т VII.
12. Козлянинов М В, 1959. Гидрооптические характеристики и методы их определения, Тр Ин-та океанол. АН СССР, т. XXXV.
13. Крисс А. Е., 1958 Морская гидробиология (глубоководная), Изд АН СССР, М—Л.
14. Лебедев В Н, 1912 ~~Формула, выражающая изменение температуры с глубиной в озерах и реках~~, Тр. Ова Землеведения при имп СПб ун-те, т III
15. Лисицын А П, 1955 Атмосферная и водная взвесь как исходный материал для образования морских осадков, Тр. Ин-та океанол АН СССР, т XIII
16. Лобза П Г, 1945. Солевого состав вод Карского моря и его изменение под влиянием речного стока, Докл Юбилейной сессии АНИИ, Изд. ГУСМП, М.—Л.
17. Морочкин К В, 1955 Водные массы северо-западной части Тихого океана в районе Курило-Камчатской впадины, Тр Ин-та океанол. АН СССР, т XII.
18. Ушаков П В, 1944 Донное население Чукотского моря как показатель течений, Докл Гос океанол ин-та, № 31
19. Ханайченко Н К., 1947 О видах трансформации водных масс, Метеорология и гидрология, № 1
20. Чалышева Н И, 1960. О показателе водных масс, Изв. АН СССР, Сер географ. № 5
21. Штокман В Б, 1941³ Основы теории tS -кривых, «Проблемы Арктики», ~~№ 1~~
22. Cochran E D, 1956 The frequency distribution of surface water characteristics in the Pacific Ocean, Deep-Sea Res, v 4, N 1
23. Cochran E D, 1958 The frequency distribution of water characteristics in the Pacific Ocean, Deep-Sea Res v. 5, N 2
24. Detant A, 1929 *Dynamische Ozeanographie*, Berlin.
25. Montgomery R. B., 1958. Water characteristics of Atlantic Ocean and of World ocean, Deep-Sea Res v 5, N 2
26. Okada M., 1935 A graphical method of determining Ocean currents, Bull. of the Japan Society of the Scientific Fisheries, v III, N 5
27. Parr A E, 1938 Isopycnic analysis of current flow by means of identifying properties, J Marine Res, v. 1, N 2
28. Pollak M I, 1958 Frequency distribution of potential temperatures and salinities in the Indian Ocean Deep-Sea Res, v 5, № 2
29. Tully J P, 1957. Some Characteristics of Sea Water Structure, Proceedings of the Eighth Pacific Science Congress 1953, v III Queson City, Philippines
30. Tully J P, 1959. An Estuarine Model of the Subarctic Pacific Ocean, Int Oceanogr. Congr, N-Y USA