

УДК 551.465.4

**ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА
НИЖЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

Муромцев А. М.

Вертикальная структура вод океана представляет собой объективную характеристику среды обитания живых организмов, т. е. является отражением основных факторов, которые влияют на живые организмы и определяют биологическую продуктивность вод на различных глубинах океана. К таким факторам относятся прежде всего физико-химические характеристики, основными из которых являются температурно-соленостные показатели, а также показатели содержания кислорода в различных слоях океана. Распределение последних определяется процессами непосредственного обмена веществом и энергией между океаном и атмосферой; процессами адвекции и внутримассовой трансформацией; глубинным перемешиванием двух масс вод различного происхождения. В первом случае в океане формируются первичные массы вод, во втором — вторичные.

К первичным водам относятся все поверхностные воды, охватывающие слой глубиной до 100—150 м, а в отдельных случаях — до 200 м. Характерной чертой динамики поверхностного слоя является развитие фронтальных процессов на стыке двух течений, несущих воды с различными температурно-соленостными показателями. Эти процессы проявляются тем резче, чем резче различия между встречающимися водами, т. е. чем резче горизонтальные градиенты температуры и солености во фронтальной зоне. От величины горизонтальных градиентов зависит степень уплотнения воды при перемешивании и соответственно глубина погружения сформированных во фронтальных зонах вод, которые также относятся к первичным, поскольку их формирование протекает под непосредственным воздействием процессов обмена веществом и энергией между океаном и атмосферой.

В соответствии с основной закономерностью распределения температуры и плотности воды на поверхности океана — зональностью и уменьшением первой и увеличением второй от экватора к полюсам — чем в более высоких широтах происходит фронтальное перемешивание вод, тем большая плотность смеси и тем большие глубины в океане занимает вода, погружающаяся во фронтальной зоне или в районах интенсивной конвекции и последующего уплотнения вод при перемешивании с нижележащими водами.

В соответствии со сказанным вертикальная структура Мирового океана складывается четко выраженными слоями вод различного (по географическим признакам) происхождения. В обобщенном виде она состоит из поверхностных (о которых говорилось выше), подповерхностных (от 100—150 до 300—400 м, в отдельных районах до 500—600 м), промежуточных (от 300—400 или 500—600 м до 800—1000 м, в отдельных районах до 1500 м), глубинных (от 1000—1500 до 4000—

4500 м), придонных (ниже глубинных вод до ложа океана) вод, а также вод глубоководных впадин [1—3].

Воды поверхностного слоя формируются и распределяются в полном соответствии с общей географической закономерностью — зональностью, которая нарушается лишь в отдельных районах особенностями циркуляции поверхностных вод (в субтропических и северных умеренных широтах).

Подповерхностные воды формируются в субтропических фронтальных зонах, характеризующихся относительно небольшими горизонтальными градиентами температуры и солености и высокими значениями последней, при участии конвекции или в процессе перемешивания двух различных типов подповерхностных вод на соответствующих глубинах. В первом случае образуются первичные, во втором — вторичные воды.

В зависимости от особенностей формирования первичные подповерхностные воды, погружившиеся непосредственно с поверхности океана, характеризуются полугодовыми колебаниями температуры и солености, последняя из которых в субтропических широтах отличается подповерхностным максимумом. Во вторичных подповерхностных водах колебания океанографических показателей, по-видимому, не подчинены какой-либо периодичности, связанной с изменениями в течение года теплового и водного баланса на поверхности океана.

Промежуточные воды формируются так же, как и подповерхностные, главным образом во фронтальных зонах, но расположенных в умеренных широтах, а также в процессе перемешивания на соответствующих глубинах двух и более типов вод. Промежуточные воды, погружившиеся с поверхности, являются первичными и характеризуются небольшими изменениями своих показателей в течение года. Изменения показателей уменьшаются по мере погружения и удаления от районов формирования этих вод. В водах, сформированных в процессе перемешивания на промежуточных глубинах и являющихся вторичными водами, таких колебаний не отмечается.

Формирование глубинных вод происходит за счет развития интенсивной соленостной конвекции в средиземных морях субтропических и тропических широт, а также за счет глубинного перемешивания. В Мировом океане имеется два крупных естественных испарителя — Средиземное море в Атлантическом океане и Красное море в Индийском океане. В последнем определенную роль играет также Персидское море (или Персидский залив, как его чаще называют). В этих морях формируются в результате зимней конвекции огромные массы глубинных вод, которые поступают в прилегающие океаны, перемешиваются с собственно океанскими водами и образуют слой глубинных вод, характеризующихся глубинным максимумом солености. В Тихом океане глубинные воды формируются в результате глубинного перемешивания атлантических, индоокеанских и собственно тихоокеанских глубинных вод. В результате особенностей формирования глубинные воды отличаются большой однородностью своих показателей.

Придонные воды формируются, как правило, в высоких северных и южных широтах в результате зимней конвекции и последующего перемешивания опускающихся по материковому склону Гренландии, Азии, Северо-Канадского архипелага и Антарктиды поверхностных вод.

Подповерхностные воды. Структура подповерхностных вод в северных субтропических широтах и в южных частях Атлантического, Индийского и Тихого океанов (рис. 1), включая антарктические широты идентична. В северных умеренных широтах Атлантического и Тихого океанов и в тропических широтах Индийского океана отмечаются наряду с общими чертами и некоторые отличия, связанные с локальными особенностями формирования здесь подповерхностных вод. Как указы-

валось, формирование подповерхностных вод связано с двумя основными процессами: с фронтальным перемешиванием двух типов вод и глубинным перемешиванием. При этом перемешивание различных типов вод происходит в одном случае под непосредственным влиянием атмосферы, в другом случае без него.

В первом случае в формировании подповерхностной воды участвуют два типа поверхностных вод и характеристики подповерхностной

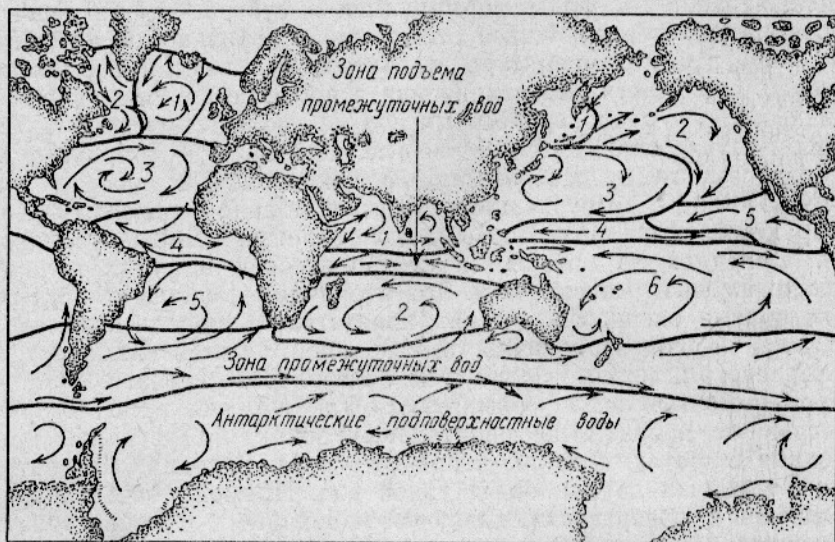


Рис. 1. Подповерхностные воды Атлантического (1—северо-восточная, 2—северо-западная, 3—северная субтропическая, 4—экваториальная, 5—южная субтропическая), Индийского (1—Аравийского моря, 2—южная субтропическая) и Тихого (1—курильская, 2—северная, 3—северная субтропическая, 4—западная экваториальная, 5—восточная экваториальная, 6—южная субтропическая) океанов.

воды соответствуют переходным значениям между этими двумя типами. Во втором случае в формировании подповерхностных вод участвуют два или несколько типов первичных подповерхностных вод и характеристики новой подповерхностной воды приобретают большую однородность. Процесс конвекции также имеет два значения. В одном случае он является основным процессом формирования подповерхностных вод, в другом играет дополнительную роль и сказывается только у верхней границы этих вод. Особенностью вод чисто конвективного происхождения являются их малая глубина залегания и сезонный характер.

В Атлантическом океане выделяется пять следующих собственно атлантических типа подповерхностных вод.

Северо-восточная подповерхностная вода простирается к северу от 40—43° с. ш. и к востоку от 143° з. д., занимая слой от 150 до 500 м. Она характеризуется температурой 5—11°C, соленостью 35,0—35,5‰ и содержанием кислорода 5,0—5,9 мл/л (80—92% насыщения). Этот тип воды формируется в результате значительной трансформации поступающей сюда с юга субтропической подповерхностной воды при ее перемешивании с окружающими водами. Эта вода относится к вторичным. Она отличается большой однородностью характеристик по вертикали. Все ее изменения происходят в горизонтальном направлении. Температура и соленость имеют наименьшие величины в северной и западной частях занимаемого ею района, где уменьшаются под влиянием перемешивания с погружающимися в североатлантической фронтальной зоне полярными водами.

Северо-западная подповерхностная вода занимает слой от 150 до 300 м в Лабрадорском районе Атлантики. Ее температура 0—4°С, соленость 34,0—34,9‰, содержание кислорода 5,0—7,2 мл/л (80—90% насыщения). Она формируется в результате смешения вод, которые погружаются в ньюфаундлендской зоне сходимости, поступающей из Бафинова моря (Бафинова залива) и северо-восточной подповерхностной воды. Это также вторичный тип воды с очень однородными по вертикали характеристиками. Участие полярных вод в формировании этого типа воды определяет ее низкую температуру и высокое содержание кислорода в северо-западной части района.

Северная субтропическая подповерхностная вода занимает центральную часть Северной Атлантики и охватывает слой от 150 до 500 м. Но по мере увеличения глубины залегания район ее распространения сокращается и на глубинах 400—500 м прослеживается лишь в западной субтропической части океана. Этот тип воды характеризуется температурой 19—21°С, соленостью 36,0—36,9‰ и содержанием кислорода 3,0—4,7 мл/л (60—82% насыщения). Она формируется в северной субтропической фронтальной зоне при погружении центральной поверхностной воды, так же как формируется аналогичный тип воды в северной части Тихого океана, и является первичной водой. В зимние месяцы при охлаждении воды на поверхности океана ее формирование протекает более интенсивно, чем летом.

Экваториальная подповерхностная вода расположена в низких тропических и экваториальных широтах, охватывая слой от 50—75 до 200 м. Ее температура 10—22°С, соленость 35,1—35,5‰, содержание кислорода 1,0—1,5 мл/л (20—60% насыщения). Эта вода формируется в результате перемешивания на соответствующих глубинах северной и южной субтропических подповерхностных вод. Относится к вторичным водам. Наименьшие температуры и содержание кислорода отмечаются на востоке, у материкового склона Африки, где к ней примешивается поднимающаяся с больших глубин промежуточная вода.

Южная субтропическая подповерхностная вода занимает центральную часть Южной Атлантики на глубинах от 150 до 500 м, на востоке — до 600 м. Формируется в южной субтропической фронтальной зоне в результате перемешивания теплых и соленых вод, поступающих с севера с относительно холодными и распресненными водами южных умеренных широт. В результате ее температурно-солёностные характеристики изменяются шире, чем у северной субтропической воды. Ее температура 10—19°С, соленость 34,8—36,0‰, содержание кислорода 4,0—5,5 мл/л (40—90% насыщения).

В Индийском океане наблюдаются два следующих основных типа подповерхностных вод.

Подповерхностная вода Аравийского моря распространяется по северной части Индийского океана, в Аравийском море и Бенгальском заливе и, очевидно, прослеживается в Андаманском море, занимая слой от 150 до 400—500 м. Ее температура 10—19°С, соленость 35,0—36,0‰, содержание кислорода 0,2—2,1 мл/л (4—30% насыщения). Формируется в Аденском заливе при перемешивании глубинных вод, поступающих из Красного моря и Персидского залива, с поверхностной водой Аравийского моря, погружающейся зимой в антициклональном круговороте вод, и частично в результате зимней конвекции. Распространение этой воды ограничивается у экватора зоной подъема южной индоокеанской промежуточной воды. Последняя, проникая через экватор в западной части океана, заметно влияет на солёность подповерхностной воды Аравийского моря. При ее выходе в океан и по мере распространения характеристики этой во-

ды несколько изменяются при перемешивании с окружающими водами.

Южная субтропическая подповерхностная вода занимает южную центральную часть Индийского океана, заполняя слой от 150 до 400 м, на западе в антициклональной циркуляции погружается до 500—600 м. Ее температура 10—18°, соленость 35,0—35,7‰, содержание кислорода от 2,17 до 4,97—5,30 мл/л (23—90% насыщения). Формируется в южной индоокеанской фронтальной зоне, так же как соответствующая вода в южной части Атлантики, т. е. при смешении южной центральной поверхностной воды и поверхностной воды умеренных широт. Относится к первичным типам вод. Субтропическая подповерхностная вода распространяется по всей ширине океана приблизительно между 35—40° и 12° ю. ш.

В Тихом океане структура подповерхностных вод несколько сложнее, чем в других океанах, и складывается следующими типами вод.

Курильская подповерхностная вода распространяется на глубинах 50—150 м в районе, заключенном между Курильскими островами и Камчаткой и приблизительно 165—170° в. д., постепенно сужаясь в южном направлении к 42° с. ш. Здесь она ограничивается зоной фронта Курошио. Достигает наибольшего распространения на глубине 100 м. Ее температура от 1 и менее до 2°С, соленость колеблется около 33,3‰, содержание кислорода 6,8—7,2 мл/л (80—90% насыщения). Этот тип воды является результатом зимней конвекции главным образом в Охотском и Беринговом морях и последующего выноса вод из этих морей в открытый океан. Частичное участие в ее формировании принимает также процесс зимней вертикальной циркуляции в прикурильском районе океана. Относится к первичным водам. Это самая холодная вода в верхних слоях северной части Тихого океана. Наиболее отчетливо она выражена в летние месяцы. Зимой эта вода в западной части района, где она прослеживается узкой полосой вдоль Курильских островов до глубины 400 м, частично сливается с поверхностной водой, чему способствует развивающаяся здесь конвекция. Но в восточной части района своего распространения она отчетливо выделяется в течение круглого года.

Северо-тихоокеанская подповерхностная вода располагается на глубинах от 100—150 до 400 м севернее 40° с. ш., проникая в восточной части океана до 22° с. ш. Ее температура 3,5—3,8°С, соленость 33,65—33,95‰, содержание кислорода 1,8—4,3 мл/л (25—65% насыщения) при уменьшении с глубиной и по мере распространения в восточном направлении. Она формируется, по-видимому, в зоне фронта Курошио и представляет собой северный поток погружающихся здесь вод. В ее формировании принимают участие Курильская и субтропическая подповерхностные воды, а также частично промежуточные воды. В результате северо-тихоокеанская подповерхностная вода обладает большой однородностью температурно-солёностных характеристик. Относится к вторичным водам. На возможность ее формирования именно в зоне фронта Курошио указывает величина содержания кислорода в различных частях района распространения при общем уменьшении от зоны фронта на север и восток.

Северная субтропическая подповерхностная вода распространяется на глубинах от 100 до 300—400 м в северной центральной части Тихого океана. Ее температура 15—20°С, соленость 34,70—35,33‰, содержание кислорода 4,5—4,8 мл/л (от 75—85 до 30—60% насыщения) при уменьшении по мере удаления от зоны погружения. Формируется в зоне субтропического фронта при погружении центральной поверхностной воды. Зимой при понижении температуры и повышении солёности на поверхности этого района процесс ее формирования протекает более интенсивно, чем летом. Относится к первичным водам. По мере увеличения глубины район ее распространения

сокращается и на глубинах 300—400 м она сосредоточивается между южными подводными склонами Японии и 20° с. ш. В верхней части слоя характеризуется подповерхностным максимумом солености.

Западная экваториальная подповерхностная вода формируется в зонах экваториального и тропического фронтов в результате смещения тропической и экваториальной поверхностных вод и последующего перемешивания с субтропической подповерхностной водой. Распространяется на глубинах от 50—75 до 150 м примерно между 2 и 8—10° с. ш. от восточной окраины Малайского архипелага до 120° з. д. Ее температура 20—25°С, соленость 34,8—34,9‰, содержание кислорода 2—3,5 мл/л (60—65% насыщения). Относится к вторичным водам.

Восточная экваториальная подповерхностная вода образуется в зоне сходимости экваториальной и перуанской поверхностных вод при последующем перемешивании с южной субтропической подповерхностной водой. Распространяется на глубинах от 50—75 до 200 м между восточной окраиной океана до 170° з. д. На востоке она отделена от поверхностной воды резким слоем скачка плотности, который сильно затрудняет вертикальный обмен между ними. Ее температура 12—15°С, соленость 34,7—34,9‰, содержание кислорода 0,0—1,9 мл/л (0,0—40% насыщения) при уменьшении в восточном направлении. Относится к вторичным водам.

Южная субтропическая подповерхностная вода располагается между зоной субтропического фронта (от 40° ю. ш.) и 2—3° с. ш., занимая слой от 100 до 500 м. По мере увеличения глубины район распространения этой воды сокращается и сосредоточивается в западной части океана. Ее температура 10—20°С, соленость 34,8—36,3‰, содержание кислорода 0,4—4,5 мл/л при наиболее низком значении в восточной части океана. Степень насыщения кислородом от 3,5 до 55—65%, на юге повышается до 75—80%. Формируется двумя путями: в результате погружения поверхностных вод в зоне субтропического фронта и при опускании с поверхности в центре антициклональной циркуляции в Тасмановом море. Кроме того, в ее формировании принимает участие зимняя конвекция, которая определяет максимум солености у верхней границы слоя этой воды. Относится к первичным водам.

Антарктические подповерхностные воды Атлантического, Индийского и Тихого океанов формируются в результате единого процесса зимнего вертикального перемешивания, но в каждом из океанов имеют свои отличительные черты. Они формируются главным образом за счет зимней конвекции и распространяются южнее 50—60° ю. ш. на глубинах от 50 до 200 м в Атлантике и до 150 м в других океанах. Этот тип первичной воды имеет отчетливый сезонный характер: зимой сливается с поверхностным слоем, летом выделяется низкими температурами и относительно высокой соленостью (в Атлантическом океане —1,3, +0,5°С и 34,4—34,6‰, в Индийском океане —1,86, —0,10°С и 34,2—34,7‰, в Тихом океане 1,87, —0,45°С и 34,0—34,6‰). Содержание кислорода 5,0—7,6 мл/л (75—95% насыщения) при наименьших величинах в антарктической подповерхностной воде Атлантического океана.

Циркуляция подповерхностных вод в общих чертах идентична циркуляции поверхностного слоя воды океанов. Она складывается из обширных субтропических антициклональных круговоротов, разделенных подповерхностными противотечениями, и циклональных круговоротов в северных умеренных и антарктических широтах.

Промежуточные воды. Структура промежуточных вод (рис. 2 и 3) в северных частях Атлантического, Индийского и Тихого океанов от-

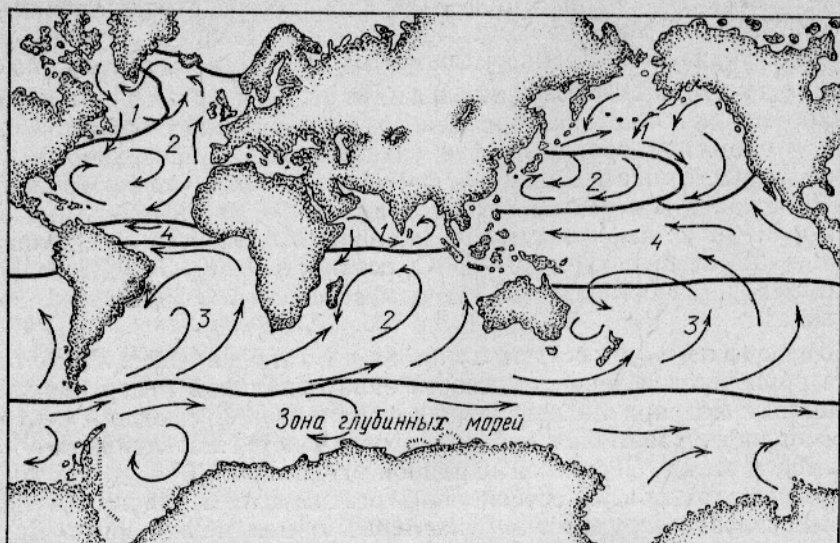


Рис. 2. Промежуточные воды Атлантического (1 — северо-западная, 2 — северная, 3 — южная, 4 — экваториальная), Индийского (1 — Аравийского моря, 2 — южная) и Тихого (1 — курило-аляскинская, 2 — северная, 3 — южная, 4 — экваториальная) океанов.

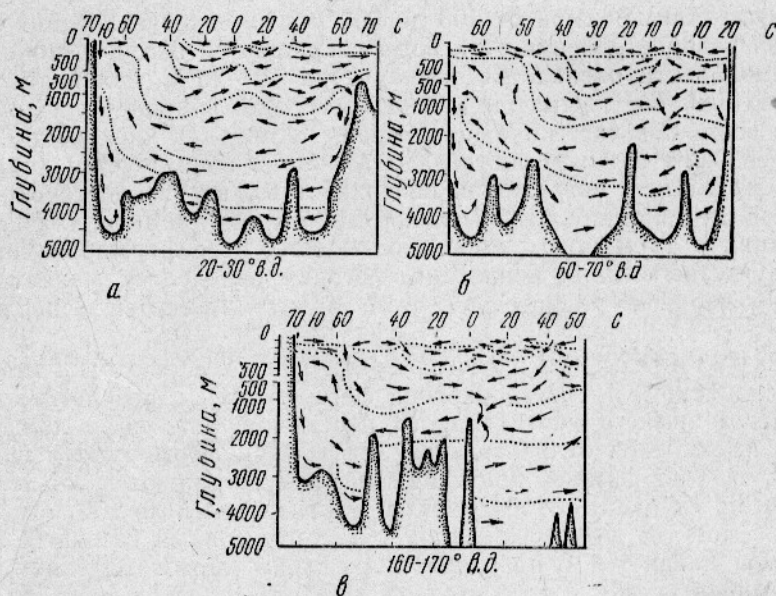


Рис. 3. Схемы вертикальной структуры и течений на меридиональных разрезах в Атлантическом (а), Индийском (б) и Тихом (в) океанах.

личается специфическими для каждого из океанов чертами, но в южных частях имеет много общего и отличается главным образом районами распространения отдельных типов вод.

В Атлантическом океане в структуре промежуточных вод выделяются следующие типы вод.

Северо-западная атлантическая промежуточная вода занимает слой от 300 до 1000 м в Лабрадорском районе океана. Ее температура 3,5—4,5°С, соленость 34,87—34,98‰, содержание кис-

лорода 5,1—6,2 мл/л (80—90 % насыщения). Формируется в результате глубинного перемешивания воды, оттекающей к северу после погружения от зоны фронта Гольфстрима с уже значительно трансформированной полярной водой, погружающейся в северной части района и определяющей здесь высокое содержание кислорода. Температурно-соленостные характеристики этой воды отличаются большой однородностью по горизонтали и по вертикали. Она относится к вторичным типам.

Северная атлантическая промежуточная вода занимает слой от 500 до 1500 м и распространяется по большей части Северной Атлантики. Ее температура от 5 до 14°С, соленость 35,0—35,9‰ и содержание кислорода 4,0—5,5 мл/л (60—92 % насыщения). Образуется в результате смешения трех основных типов вод: погружающейся в зоне фронта Гольфстрима, средиземноморской глубинной воды, поступающей в океан через Гибралтарский пролив, и северной субтропической подповерхностной воды. В результате эта вода имеет относительно высокие температурно-соленостные показатели. В северной части района ее распространения сказывается влияние перемешивания с водами, поступающими из Гренландского моря, что сказывается в повышении здесь содержания кислорода. Относится к вторичным водам.

Южная атлантическая промежуточная вода распространяется на глубинах от 500 до 1500 м по южной части океана примерно от 1—3° с. ш. до 50—55° ю. ш. и несколько южнее. На юге соединяется с промежуточными водами прилегающих Индийского и Тихого океанов. Ее температура 2,5—6°С (с наименьшим значением на юге, в зоне погружения), соленость на юге 33,8—34,2‰, на севере 34,3—34,7‰, содержание кислорода 3,0—5,5 мл/л, а у материкового склона Африки 1,0—2,5 мл/л (15—30 и 40—76 % насыщения). Формируется, как и другие аналогичные типы вод других океанов, в зоне антарктического фронта при перемешивании антарктической поверхностной и подповерхностной вод с водами умеренных широт. Ее показатели медленно уменьшаются в северном направлении, одновременно с уменьшением глубины залегания. Относится к первичным водам.

Экваториальная промежуточная вода образуется так же, как и другие промежуточные воды в северной части Атлантического океана в результате глубинного перемешивания, в котором участвуют главным образом северные и южные атлантические промежуточные воды. Она располагается на глубинах 200—400 м между 1—3° и 10—12° с. ш. Отличается большой однородностью своих показателей. Ее температура 7—9°С, соленость 34,8—34,9‰, содержание кислорода 1,0—3,5 мл/л с наименьшим значением у материкового склона Африки (насыщение 40—60%). Относится к вторичным водам.

В структуре промежуточных вод Индийского океана выделяются лишь два типа.

Промежуточная вода Аравийского моря распространяется по всей северной части океана, включая Бенгальский залив, на глубинах от 400—500 до 1000—1500 м. Ее температура 4—13°С, соленость 34,85—36,0‰, содержание кислорода 1,41—4,40 мл/л (25—60 % насыщения). Формируется в результате перемешивания нижней, наиболее плотной части глубинной воды Красного моря, поступающей в Аденский залив, с водами Аравийского моря. Благодаря особенностям формирования отличается наиболее высокой соленостью по сравнению с другими промежуточными водами открытых океанов. На юге ограничивается поступающей к экватору южной Индоокеанской промежуточной водой, при встрече с которой происходит ее интенсивное перемешивание, особенно в восточной части океана. Относится к вторичным водам, несмотря на заметный диапазон изменений ее показателей.

Южная индоокеанская промежуточная вода образуется также в зоне антарктического фронта и распространяется на глубинах от 400—600 до 1000—1500 м приблизительно между 50—55° ю. ш. и экватором, соединяясь на юге с такими же водами Атлантического и Тихого океанов. По мере продвижения к экватору эта вода постепенно выклинивается и часть ее поднимается в южных тропических широтах к поверхностному слою, другая часть проникает севернее экватора, где перемешивается с промежуточной водой Аравийского моря и поднимающимися здесь придонными водами, в результате чего образуется новый тип глубинной воды. Ее температура 3—9°С, соленость 34,2—34,8‰, содержание кислорода 1,41—4,40 мл/л (25—60% насыщения).

Структура промежуточных вод Тихого океана отличается главным образом в его северной части от других океанов и складывается следующим образом.

Курило-аляскинская промежуточная вода распространяется на глубинах от 400 до 800 м в умеренных широтах, а в восточной части океана проникает до 20° с. ш. (приблизительно восточнее 150-го меридиана западной долготы). Ее температура 3,1—3,5°С, соленость 34,0—34,26‰, содержание кислорода 0,8—1,5 мл/л (5—35% насыщения) при его уменьшении от зоны погружения в северном и восточном направлениях. Эта вода образуется, по-видимому, в тыловой части зоны фронта Куроисио, где при смешении создаются в смеси более однородные температурно-соленостные характеристики по сравнению с расположенной к югу водой. Относится к вторичным водам.

Северная тихоокеанская промежуточная вода располагается на глубинах от 300—400 до 1000—1500 м между 42 и 20° с. ш. к западу приблизительно от 150° з. д. Эта вода формируется в зоне фронта Куроисио, но на ее южной периферии при участии большой массы субтропической поверхностной и подповерхностной вод. В результате ее температура (3—5°С) несколько выше, чем Курило-Аляскинской воды, соленость 33,9—34,3‰, содержание кислорода 0,3—4,3 мл/л (4—50% насыщения) при быстром уменьшении с глубиной и более медленном уменьшении на тех же глубинах по мере удаления от зоны погружения. Относится к первичным водам.

Южная тихоокеанская промежуточная вода формируется в антарктической фронтальной зоне и занимает слой на глубинах от 500 до 1000—1500 м между приблизительно 55—60° ю. ш. и 15—18° ю. ш. Она прослеживается также несколько южнее 60° ю. ш., но на более высоких горизонтах (200—500 м). Ее температура 3—6°С, соленость 34,1—34,5‰, содержание кислорода 0,3—5,8 мл/л (10—55% насыщения) при крайних низких значениях на востоке океана и крайних высоких значениях близ зоны погружения. Относится к первичным водам.

Экваториальная промежуточная вода располагается на глубинах от 400—500 до 1000 м, севернее экватора поднимается до 150—200 м. Она прослеживается по всей широте океана между приблизительно 15—18° ю. ш. и 20° с. ш. Ее температура 4,5—6,5°С, соленость 34,55—34,65‰, содержание кислорода 0,0—2,5 мл/л (0,0—25% насыщения) при крайних низких значениях в восточной части океана. Формируется в результате смешения северной и южной тихоокеанских промежуточных вод на соответствующих глубинах в низких широтах океана, но при участии в смешении экваториальных и субтропических подповерхностных вод и глубинных вод Тихого океана. Относится к вторичным водам.

Циркуляция промежуточных вод в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах подобна циркуляции поверхностных и подповерхностных вод. В северных и южных частях океанов развиваются обширные

антициклональные круговороты, центры которых по мере увеличения глубины смещаются к западу в субтропических широтах. Эти круговороты в приэкваториальных широтах разделены широкой зоной смещения, в которой, очевидно, господствуют неустойчивые горизонтальные течения и вертикальные потоки.

Глубинные воды (см. рис. 3). Формирование, а следовательно, и структура глубинных вод в каждом из океанов отличаются своими специфическими чертами. Вместе с тем все они относятся к вторичным типам вод.

В Атлантическом океане глубинные воды делятся на верхнюю и нижнюю.

Верхняя глубинная вода формируется при непосредственном участии глубинной воды Средиземного моря, характеризующейся высокими температурой и соленостью. Поступая в океан, она частично участвует в формировании северной промежуточной воды, большей же массой погружается по материковому склону на большие глубины и участвует в образовании верхней глубинной воды и определяет наличие в Атлантическом океане глубинного максимума солености, который наиболее четко прослеживается в южной части океана. Эта вода располагается на глубинах от 1000—1500 до 2500 м, в отдельных районах в северной части океана прослеживается до 3000 м, а в антарктических широтах поднимается до 1000—1200 м. Ее температура 2,2—3,6°С, на юге уменьшается, соленость 34,91—34,99‰, на юге уменьшается до 34,84—34,88‰, в Антарктике до 34,71—34,74‰, содержание кислорода 5,0—5,9 мл/л, на юге — менее 4,5 мл/л (60—85% насыщения). С этими показателями верхняя глубинная вода распространяется по всему океану и на юге на соответствующих глубинах проникает в Индийский и Тихий океаны.

Нижняя глубинная вода распространяется по всему океану на глубинах от 2000—2500 до 4500 м. В антарктических широтах глубинные воды Атлантического океана поднимаются в циклональном круговороте к поверхностному слою, образуя в Антарктике относительно теплый и соленый слой на глубинах от 200 до 600—800 м. Эта вода формируется в крайней северной части океана в результате перемешивания поступающих сюда полярных вод с атлантическими водами. Этот процесс протекает в зоне Гренландского фронта, а также при перетекании полярных вод через пороги Девисова и Датского проливов и между Исландией и Шотландскими островами. Ее температура 2,29—2,89°С; соленость 34,82—34,89‰, на юге 34,71—34,75‰; содержание кислорода 5,2—6,4 мл/л, на юге 4,56—4,98 мл/л (60—70% насыщения).

В Индийском океане структура глубинных вод наиболее проста и представлена одним типом — северноиндоокеанской глубинной водой. Она формируется в результате глубинного перемешивания красноморской глубинной воды с промежуточными водами океана севернее экватора и распространяется на глубины от 1000—1500 до 3500 м на юг до антарктических широт, заходя частично в Тихий океан. Ее температура 1,6—2,8°С, соленость 34,68—34,78‰, содержание кислорода 3,18—4,17 мл/л (35—58% насыщения) при увеличении с севера на юг.

В Тихом океане структура глубинных вод более сложная. Она характеризуется следующими тремя типами глубинных вод.

Нижняя глубинная вода распространяется в общем северном направлении по всему Тихому океану на глубинах от 2000—2500 до 3500—4500 м. Формируется эта вода в высоких южных широтах, где поступающие из Атлантического и Индийского океанов глубинные воды перемешиваются с собственно тихоокеанскими водами, которые опускаются по материковому склону Антарктиды и проникают сюда с

севера. Участие антарктических вод в формировании нижней глубинной воды определяет относительно высокое содержание в ней кислорода. Ее температура $1,7-2,0^{\circ}\text{C}$, соленость $34,63-34,73\%$. При уменьшении в северном направлении содержание кислорода на юге $3,5-4,2$ мл/л, на севере $3,0-3,5$ мл/л ($48-57$ и $39-44\%$ насыщения соответственно).

Южная тихоокеанская верхняя глубинная вода формируется в северных тропических широтах при смешении экваториальной промежуточной воды с нижележащими водами и распространяется в южном направлении на глубинах от $1000-1500$ до $2000-2500$ м приблизительно до 65° ю. ш., где постепенно выклинивается на $200-400$ м. Ее температура $2,0-2,5^{\circ}\text{C}$, соленость $34,61-34,66\%$, содержание кислорода $2,81-3,84$ мл/л ($42-48\%$ насыщения).

Северная тихоокеанская верхняя глубинная вода образуется при опрокидывании южной глубинной воды, поднимающейся по подводному склону Алеутского хребта. Она распространяется в южном направлении приблизительно на тех же глубинах, что и южная верхняя глубинная вода, до района формирования последней и перемешивается с ней. Ее температура $2,0-2,5^{\circ}\text{C}$, соленость $34,61-34,66\%$, содержание кислорода $1,6-2,6$ мл/л ($25-35\%$ насыщения).

Движения глубинных вод уже были рассмотрены в общих чертах при характеристиках их структурных особенностей в отдельных океанах. При их сравнении можно лишь добавить, что в Атлантическом и Индийском океанах преобладает южный перенос, а в Тихом океане отмечается меридиональный взаимообмен на соответствующих глубинах, между южными и северными широтами.

Придонные воды (см. рис. 3). В структуре придонных вод рассматриваемых океанов отмечают общие черты в высоких южных широтах, где формируются антарктические придонные воды. Они образуются как результат зимнего охлаждения и осолонения при льдообразовании поверхностных вод Антарктики, их последующего погружения по материковому склону и перемешивания в процессе погружения с поднимающимися здесь глубинными водами океанов. Соответственно в каждом из океанов эти воды несколько отличаются своими показателями.

В Атлантическом океане антарктические придонные воды формируются главным образом в море Уэдделла и заполняют собой Африкано-Антарктическую котловину. Ее температура $-0,14, +0,5^{\circ}\text{C}$, соленость $34,64-34,68\%$, содержание кислорода $5,1-5,3$ мл/л ($60-64\%$ насыщения). По мере продвижения к северу по западной части океана эти воды быстро трансформируются и переходят в западную атлантическую придонную воду.

Западная атлантическая придонная вода формируется в Аргентинской котловине при перемешивании антарктической придонной воды с нижней глубинной водой и сохраняет здесь черты, близкие к антарктическим. Ее температура на юге указанной котловины $0,12-0,79^{\circ}\text{C}$, соленость $34,64-34,72\%$, содержание кислорода $4,56-4,92$ мл/л. По мере продвижения к северу эти черты быстро сглаживаются и в придонном слое западнее Северо-Атлантического подводного хребта сменяются типичными признаками нижней глубинной воды. Здесь ее температура $2,10-2,35^{\circ}\text{C}$, соленость $34,85-34,89\%$, содержание кислорода $5,2-5,9$ мл/л ($67-78\%$ насыщения). Очевидно, в северной части океана к ней примешиваются арктические воды.

Восточная атлантическая придонная вода образуется из глубинной воды, сохраняя все ее отличительные признаки. Ее температура $2,31-2,49^{\circ}\text{C}$, соленость $34,87-34,89\%$, содержание кислорода $4,4$ мл/л (около 70% насыщения). В Капской котловине, где сказывается влияние антарктической воды, ее показатели несколько меняются и характеризуются температурой $1,03-1,14^{\circ}\text{C}$, солено-

стью 34,72—34,74‰, содержанием кислорода около 4,5 мл/л (более 50% насыщения).

В Индийском океане антарктическая придонная вода образуется также в результате охлаждения поверхностной воды, ее погружения по материковому склону и перемешиванию с глубинной водой. Она заполняет южные котловины и имеет температуру $-0,07$, $+0,24^{\circ}\text{C}$, соленость 34,67—34,69‰ и содержание кислорода 4,70—5,27 мл/л (55—65% насыщения). Перемешиваясь с глубинной водой по мере продвижения к северу, она переходит в придонную воду Индийского океана.

Придонная вода Индийского океана формируется на подводных поднятиях, ограничивающих с севера антарктические котловины при перетекании через них антарктической придонной воды. Здесь в процессе перемешивания с поступающими с севера водами она приобретает свои основные показатели. Ее температура $0,2$ — $1,47^{\circ}\text{C}$, соленость 34,69—34,77‰, содержание кислорода 4,03—4,68 мл/л (50—58% насыщения). Придонная вода Индийского океана распространяется к северу по обе стороны Центрального Индийского подводного хребта и проникает в южные глубоководные части Аравийского моря и Бенгальского залива, где поднимается на более высокие горизонты.

В Тихом океане структура придонных вод подобна Индийскому океану.

Антарктическая придонная вода здесь также присуща только высоким южным широтам. Она формируется в результате погружения по материковому склону поверхностной и подповерхностной вод главным образом в районе моря Беллинсгаузена и заполняет котловину того же наименования. Ее температура $0,24$ — $0,85^{\circ}\text{C}$, соленость 34,70—34,72‰, содержание кислорода 4,6—4,7 мл/л (55—60% насыщения). Первые два показателя несколько превышают температуру и соленость антарктических придонных вод Атлантического и Индийского океанов. Так же как в последнем, при перетекании этой воды через Южно-Тихоокеанский хребет она переходит в другой тип придонной воды.

Тихоокеанская придонная вода формируется на северных склонах Южно-Тихоокеанского хребта при перемешивании антарктической придонной воды и нижней глубинной. Отсюда она распространяется по всему океану. Ее температура $1,0$ — $1,6^{\circ}\text{C}$, соленость 34,64—34,71‰, содержание кислорода 3,7—4,5 мл/л (42—48% насыщения).

Воды глубоководных впадин. Эта структурная форма отмечается ниже придонных вод в вертикальной структуре Мирового океана. Они представляют собой самостоятельный тип воды, характерные черты которого определяются особенностями процессов, развивающихся на больших глубинах. Эти особенности заключаются прежде всего в адиабатическом изменении температуры воды, обуславливающим развитие вертикальной циркуляции. В результате постоянного вертикального обмена глубоководных впадин с прилегающими придонными водами они характеризуются большой однородностью солености, относительно высоким содержанием кислорода и повышением температуры с глубиной, связанным с адиабатическими процессами. В целом они характеризуются температурой до 2°C и более, соленостью 34,69—34,73‰, близкой к солености придонных вод в данном районе, и содержанием кислорода 3,1—4,5 мл/л (41—57% насыщения).

Выводы

Рассмотренные выше особенности вертикального строения и структуры отдельных слоев океанов показывают, что каждый из них отли-

чается своими специфическими чертами. Это объясняется прежде всего различием теплового и водного балансов поверхности отдельных океанов, особенностью водообмена с прилегающими океанами и влиянием таких испарителей, как Средиземное и Красное моря. Под совокупным влиянием этих факторов наиболее сложная структура в Атлантическом океане, главным образом в его северной части. Несколько подобна ей структура северной части Тихого океана, но изолированность ее от влияния вод Северного Ледовитого океана и отсутствие такого испарителя, как Средиземное море, несколько упрощают ее по сравнению с Атлантическим океаном. Наиболее простой структурой отличается Индийский океан. Роль Красного моря в нем сказывается при формировании огромной массы глубинной воды океана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Тихого океана. Л., Гимиз, 1958. 632 с.
2. Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Индийского океана. Л., Гимиз, 1959. 438 с.
3. Основные черты гидрологии Атлантического океана. Л., Гимиз, 1963. 838 с

Vertical structure of waters in the World Ocean below the surface layer

A. M. Muromtsev

SUMMARY

The analysis of the horizontal and vertical distribution of temperature, salinity and oxygen content has revealed some regularities of formation of waters in the Atlantic, Pacific and Indian Oceans. The scheme of horizontal and vertical circulation is give .
