

## О РОЛИ ТЕРМИЧЕСКОГО И ВЕТРОВОГО ФАКТОРОВ В ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД МИРОВОГО ОКЕАНА

Неyman В.Г.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН  
117997. Москва, Нахимовский проспект, д. 36, Россия,  
e-mail: [vneiman2007@yandex.ru](mailto:vneiman2007@yandex.ru)*

Статья поступила в редакцию 18.12.2018, одобрена к печати 29.05.2019

Основное содержание работы состоит в определенной систематизации и дополнении давно существовавших, но со временем деформированных и отчасти утраченных качественных представлений о роли термического и ветрового факторов, определяющих физический механизм общей циркуляции вод Мирового океана (ОЦО). Отмечено, что концептуальные основы теории ОЦО в том или ином виде содержатся в трудах многих известных гидрофизиков прошлого столетия, однако совокупного, логически связного описания ключевых факторов, определяющих физическую модель ОЦО, в общедоступной литературе обнаружить не так просто. Предпринята попытка уточнить и конкретизировать некоторые общие представления о двух ключевых блоках, составляющих основу адекватной физической модели системы движения океанических водных масс в климатическом масштабе. Обращено внимание на то, что при использовании в аналитической практике расчетных методов анализа системы общей циркуляции необходимо учитывать не только прямое, но и косвенное, или опосредованное, воздействие термического и ветрового факторов на поверхность океана. В заключении отмечено, что, в конечном счете, неравномерным притоком тепла на поверхность океана можно объяснить природу как внешних, так и почти всех внутренних факторов, в той или иной мере способствующих возбуждению общей, или климатической, океанской циркуляции.

**Ключевые слова:** температура, соленость, течение, общая циркуляция океана, ветер, физическая модель, тепловой баланс, солнечная радиация, климатическая система

### Введение

Современные исследования природных процессов, протекающих в водной толще Мирового океана, можно условно разделить на четыре ключевых этапа. Первый из них – это рекогносцировочное обследование изучаемого объекта и получение общих исходных представлений о его основных свойствах. Далее собранные экспериментальные материалы анализируются и обобщаются, после чего служат источником исходной информации для создания физической по смыслу и качественной по формату модели исследуемого явления. Эта так называемая физическая модель конкретного природного явления дает возможность изложить в

простой и доступной форме принципиальное исходное представление о содержании, месте и роли исследуемого процесса в общей структуре динамической системы океана. Наиболее важное предназначение такой модели – дать максимально корректное текстуальное описание всех главных, событийно связанных между собой физических факторов, в своей совокупности порождающих и поддерживающих данный процесс.

После завершения работы над физической моделью наступает третий этап исследования – создание теории изучаемого процесса. Для этого привлекается доступный арсенал знаний в области классической термогидродинамики вместе с соответствующим математическим аппаратом. Наконец, четвертый, заключительный этап этого вида творчества – конструирование численной модели, адекватно воспроизводящей исследуемый процесс с помощью решения системы математических уравнений, полученных в теории, описывающей этот процесс.

Анализ изученности и степени соответствия естественной природе явления современных оценок системы общей циркуляции океана (ОЦО) показывает, что наименее продвинутыми в данном отношении являются общие представления о физической модели данного процесса, сложившиеся в воображении некоторых исследователей еще до середины прошлого века, но, к сожалению, нигде текстуально не зафиксированные. То было время завершения фазы первоначального систематического накопления первичных данных о Мировом океане, когда океанология еще окончательно не пришла на смену океанографии. С той поры в этой науке многое изменилось и настал момент, когда следует заново посмотреть на некоторые ее основополагающие постулаты, в частности, относящиеся к проблеме ОЦО.

Исходя из этих соображений, выбор цели настоящей работы оказался связан с поисками наиболее корректного подхода к решению задачи упомянутого выше второго этапа исследования системы общей циркуляции вод Мирового океана, что будет заключаться в описании некоторых основных факторов, определяющих потенциальную физическую модель данного явления.

Глядя на океан с берега, нелегко заметить на его поверхности наличие каких-нибудь течений. Тем не менее, самым общим свойством каждой частицы океанской воды является ее непрерывное движение под влиянием различных вынуждающих сил. Характер и масштабы этих сил связаны с широким спектром действующих в природной среде процессов, начиная от молекулярной диффузии в аэро-гидрофизических средах и кончая сдвиговыми возмущениями в динамике глобальной климатической системы.

При рассмотрении любых аспектов гидродинамики океана прежде всего подлежит учету то обстоятельство, что на его воду так же, как и на любой другой земной материальный объект, воздействуют термический и гравитационный факторы астрофизического происхождения. Из них наиболее энергетически значимыми являются тепло солнечной радиации и приливообразующие силы взаимодействия масс Земли, Луны и Солнца. Совокупное поступательное движение

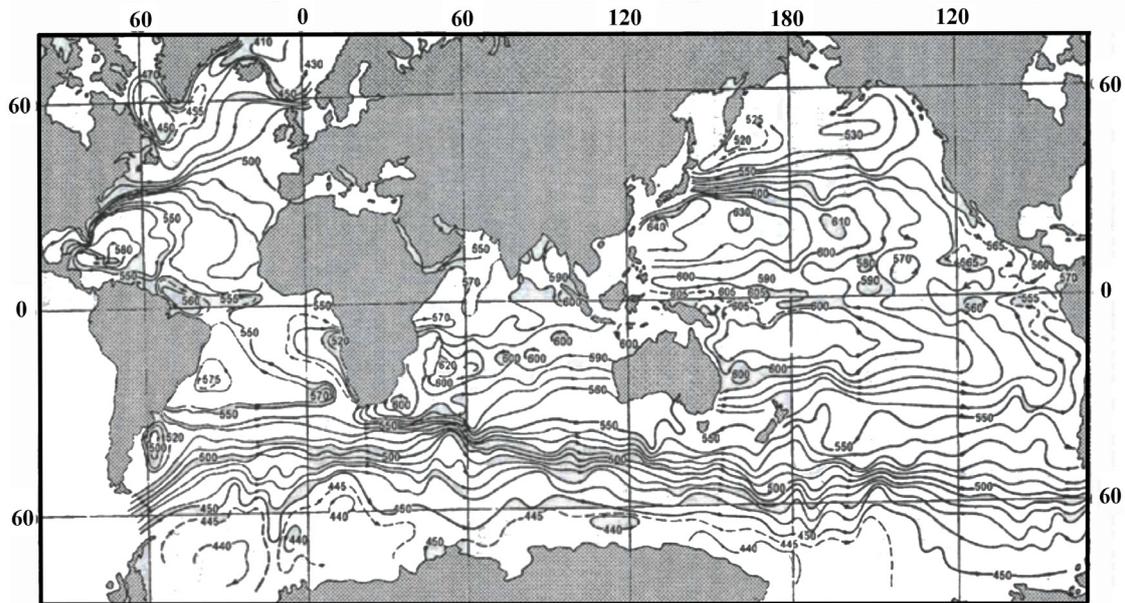


Рис. 1. Приближенное отображение условной пространственной структуры системы ОЦО. Динамический рельеф поверхности Мирового океана. Горизонталы, кратные 50, 20 и 5 дин. (см. Бурков и др., 1973).

многих водных частиц, составляющих водные массы океана, под влиянием перечисленных факторов представляется в виде разномасштабных течений, которые в разном виде изображаются на известных всем географических картах (рис. 1).

Наиболее низкочастотную моду скорости движения океанской воды принято считать основной характеристикой системы общей циркуляции океана (Ильин, Каменкович, 1963). Иначе говоря, ОЦО – это глобальная система упорядоченного движения океанской воды, осредненного за достаточно большой промежуток времени, скажем, порядка десяти лет. Заметим, что при исследовании любого поля движения вод Мирового океана скорость реального течения для заданной точки водного пространства может оцениваться как векторная сумма, слагаемая из некоторой средней скорости и конкретной, зависящей от многих факторов, случайной ее флуктуации. Таким образом, в результатах измерений и в теоретических оценках скорости морского течения, соотносимого с пространственно-временными масштабами в пределах от суток и километров до многих десятилетий и тысяч км, обязательно присутствует стационарная мода как компонента общей океанской циркуляции, имеющая, таким образом, несомненный научный и практический смысл.

Концептуальные основы теории ОЦО в том или ином виде содержатся в трудах многих известных гидрофизиков прошлого столетия, например, Х. Свердрупа и др. (Sverdrup et al., 1942), П.С. Линейкина (1957), Г. Стоммела (Stommel, 1965), В.В. Шулейкина (1968), В.Б. Штокмана (1970) и др., а также в работах наших современников: Г.И. Марчука (1972), С. Манабе и К. Брайена (1972), В.М. Каменковича (1973), А.С. Моница и В.А. Буркова (1973), А.С. Саркисяна

(1977) и др. Однако совокупного, логически связного описания ключевых факторов, определяющих физическую модель ОЦО, в общедоступной литературе обнаружить не так просто. Более того, даже в учебных пособиях по физической океанологии само базовое понятие об ОЦО упоминается лишь как обозначение некой, по сути абстрактной, структуры, используемой для умозрительной связи крупномасштабных океанских течений в рамках предполагаемой системы движения вод океана.

### Обсуждение результатов

Рассмотрим в самом общем виде некоторые ключевые элементы общей физической модели поля скорости движения вод океана, которое может характеризовать систему его общей циркуляции. Но прежде еще раз подчеркнем, что под общей океанской циркуляцией обычно подразумевается квазистационарная в масштабе многих десятилетий система упорядоченного движения вод Мирового океана, возбуждаемого и поддерживаемого действием основных астрофизических сил, а также геофизических факторов планетарного характера. К числу последних относятся: вращение Земли вокруг своей оси; наклон этой оси относительно плоскости эклиптики, приводящий к существованию климатических сезонов; распределение морских и континентальных объектов на поверхности геоида; обмен океана теплом, массой и импульсом с атмосферой.

Главным астрофизическим, или внешним, фактором, оказывающим влияние на формирование ОЦО, является тепло солнечной радиации, поступающей на земную поверхность. Действие этого фактора в общих чертах можно представить в виде трех эффектов. Во-первых, он реализуется в виде непосредственного притока тепла на поверхность океана, как за счет поступления прямой солнечной радиации, так и в процессе энергетического взаимодействия океана с атмосферой. Этот эффект проявляется в создании «первоначального» рельефа поверхности океана в виде повышения уровня в областях аккумуляции тепла и понижения его там, где плотность воды увеличивается в условиях отрицательного теплового баланса. Если бы этот эффект можно было проследить изолированно от других термодинамических факторов, то наглядное представление о нем дал бы меридиональный профиль уровенной поверхности океана с возвышением на экваторе и двумя ложбинами в полярных областях. Возникающие при этом в верхних слоях океана горизонтальные градиенты давления в обоих полушариях направлены к полюсам. При такой термобарической ситуации в океане должна возбуждаться меридиональная циркуляция с движением водных масс – от теплого к холодному – с подъемом вод в тропиках и их опусканием в высоких широтах. Это так называемая тепловая машина первого рода, по В.В. Шулейкину (1968). Однако поверхностная меридиональная термическая циркуляция в открытых частях океанов в чистом виде не реализуется, а под влиянием силы Кориолиса результирующий вектор скорости течения приобретает зональную моду, что при наличии твердых меридиональных границ приводит к возникновению соответствующих пограничных течений

(Pedloski, 1965), имеющих существенную меридиональную компоненту в обоих полушариях.

Другая роль внешнего термического фактора в процессе формирования ОЦО проявляется в воздействии на поверхность океана поля атмосферного давления. Поскольку воздух нагревается в основном от подстилающей поверхности, неравномерный приток к Земле тепла солнечной радиации (Монин, Шишков, 1979) создает аномалии в глобальном распределении атмосферного давления. Возникают два примерно симметричных относительно экватора высокоширотных минимума давления и обширный тропический максимум между ними. На этот общий фон налагаются возмущения, вызванные различной теплоемкостью материков и океана, а также их крупномасштабным взаимодействием между собой и атмосферой. В результате фактический меридиональный профиль атмосферного давления на поверхности океана имеет вид синусоиды с длиной волны в среднем около 3000 км (Монин, Шишков, 1979) с абсолютным максимумом в субтропиках и минимумами в экваториальной зоне и в умеренных широтах.

Представляется, что статическое воздействие поля атмосферного давления на уровенную поверхность сказывается на ее рельефе в гораздо меньшей степени, чем тепловой эффект. Хотя прямая количественная оценка их относительной роли весьма затруднительна, тем не менее, есть основания полагать, что они отличаются, по крайней мере, на порядок. Косвенное подтверждение такого соотношения обнаруживается, в частности, при сравнении абсолютных контрастов в полях поверхностной температуры океана и атмосферного давления с их средними характеристиками (Welander, 1968).

Воздействие крупномасштабных барических аномалий на рельеф уровенной поверхности океана выражается в том, что областям повышенного атмосферного давления всегда сопутствуют ложбины рельефа свободной океанской поверхности (Лаппо, 1979). Если обратиться к профилю среднего атмосферного давления в меридиональной плоскости океана и представить себе соответствующие ему возмущения уровня, то этот эффект получит следующее отражение в поле скорости течений: области повышенного атмосферного давления в Южном полушарии остаются справа от геострофического течения, в Северном полушарии картина должна быть противоположной. Таким образом, если рассуждать в рамках гипотезы о соответствии определенного угла наклона уровенной поверхности океана некоторому направлению вектора скорости среднего течения, то получается, что в умеренных широтах Южного полушария зональная «барическая» компонента скорости течения направлена на запад, а на всем остальном пространстве севернее Южного тропика соответствующий перенос вод происходит в восточном направлении. Следовательно, чисто термический и барический эффекты вносят разнонаправленные вклады в общую циркуляцию вод антарктической и южной субтропической областей, но в других местах они однозначны.

Если теперь указанный барический эффект соотнести с известными схемами ОЦО (Манабе, Брайен, 1972; Бурков и др., 1973), то можно прийти к заключению, что он:

- а) способствует возникновению (или усилению) прибрежного Антарктического течения западного направления (Максимов, 1958);
- б) оказывает «тормозящее» воздействие на Антарктическое циркумполярное течение, направленное на восток (Бурков, 1980);
- в) усиливает глубинный восточный перенос на остальной акватории океана (Степанов и др., 1977).

Третьим по счету, но, возможно, основным по значению источником энергии ОЦО является ветровое напряжение на поверхности океана (Будыко, 1963; Hellermann, 1968). Роль ветра в формировании поля скорости поверхностных океанских течений в наиболее ярком виде проявляется при сопоставлении соответствующих схем циркуляции атмосферы и океана (Veronis, 1973).

Отметим, что, как правило, под понятием стационарное течение на поверхности океана (Каменкович, 1973) подразумевается некоторая постоянная в определенном временном интервале компонента скорости движения воды, соответствующая рельефу (наклону) этой поверхности, создаваемому, в частности, длительным воздействием ветрового напряжения на поверхности раздела вода–воздух. На эту систему движения в каждый момент времени налагается конкретный ветер, генерирующий в верхнем слое случайную по времени (мгновенную, среднечасовую, среднесуточную и т.д.) компоненту скорости водного потока. Отсюда следует, что при расчете результирующей скорости океанского течения тангенциальное ветровое напряжение на морской поверхности следует учитывать в виде разности между его конкретным текущим значением и некоторой средней величиной ветрового напряжения, к которой адаптированы учитываемые в задаче среднее поле плотности и (или) стационарный наклон уровня.

Следует напомнить, что глобальное поле ветра, передающего свою энергию океану путем создания касательного напряжения трения на его поверхности, непосредственно связано, как и поле атмосферного давления, с одним и тем же астрогеофизическим процессом, а именно – с неравномерным притоком тепла к земной поверхности. Неудивительно поэтому, что крупномасштабная структура ветровых систем над океаном зависит главным образом от расположения областей высокого и низкого давления, которые иногда принято называть центрами действия атмосферы.

Хотя абсолютная динамическая топография изобарических поверхностей в верхнем слое океана действительно имеет много общего с горизонтальной структурой полей атмосферного давления и ветра над океаном, нельзя считать, что роль ветра здесь исчерпывается только одним фрикционным эффектом. Более того, перенос чисто дрейфовых течений, ограниченных тонким поверхностным слоем, несоизмеримо мал по сравнению с глобальным масштабом общей циркуляции, в связи с чем сами по себе ветровые дрейфовые течения не могут рассматриваться в качестве ее основной компоненты.

Гораздо большее значение для ОЦО имеют так называемые вторичные ветровые течения, проявляющиеся в виде медленных крупномасштабных бароклинных переносов, продуцируемых среднемноголетним полем ветра. Есть основания полагать (Veronis, 1973), что эти геострофические течения, полностью адаптированные к полю плотности, характеризуются нулевым балансом кинетической энергии, в котором ее диссипация восполняется за счет энергии ветра, передаваемой чисто дрейфовому течению.

Оценки среднемноголетнего, или климатического, поля скорости в океане только по полю плотности содержат в себе и результат ветрового воздействия, заключенного в адаптированном к нему наклоне изопикнических поверхностей. В случае установившегося течения, когда динамический эффект продолжительного воздействия касательного напряжения ветра на поверхность океана уравнивается соответствующим ее наклоном, характеристики среднего течения адекватно определяются по полю плотности. Полученный результат не требуется дополнять фрикционной компонентой, рассчитываемой по данным о ветре, поскольку это искусственно завышает роль ветрового эффекта в формировании поля скорости в системе общей циркуляции океана.

Следует подчеркнуть, что все сказанное выше относится к системе движения вод океана, временной масштаб которой близок к климатическому, то есть порядка десятков лет (Монин и др., 1974). При расчетах же мелкомасштабных полей скорости по средним полям плотности должен применяться иной подход – здесь необходимо сложение «мгновенной» чисто дрейфовой компоненты ветрового течения и средней градиентной компоненты, в которой отражен долгопериодный крупномасштабный эффект ветрового воздействия на океанскую поверхность.

### **Заключение**

В конечном счете, неравномерным притоком тепла на поверхность океана можно объяснить природу как внешних, так и почти всех внутренних факторов, в той или иной мере способствующих возбуждению общей, или климатической, океанской циркуляции. Так, известно, что в средних полях солености верхнего слоя океана, как и в полях температуры, имеются значительные аномалии, нарушающие зональное распределение этих характеристик. Области с повышенной соленостью поверхностной воды (в Индийском океане – Аравийское море и южный субтропический район, в двух других океанах – центральные районы южной и северной тропических областей) характеризуются превышением испарения над осадками. Процесс осолонения поверхностных вод, способствующий их уплотнению и опусканию в глубинные слои, с термодинамической точки зрения аналогичен процессу образования тяжелых холодных вод в районах с отрицательным тепловым балансом. Там, где осадки или пресный сток рек превышают испарение, создаются условия, в указанном выше смысле аналогичные тем, которые свойственны районам аккумуляции тепла солнечной радиации. Эта естественная природная аналогия

послужила некоторым авторам основанием для выделения специфического типа циркуляции – соленостного (Федоров, 1972), который, по сути, вызывается фактически той же самой причиной, что и рассмотренная выше чисто термическая циркуляция.

Заметим, что в одних областях океана «термическая» и «соленостная» моды скорости течения одинаковы по направлению, вследствие чего результирующая циркуляция усиливается, в других районах их вклады могут быть противоположными. Так, между слабосолеными и теплыми водами богатой осадками зоны затишья вблизи экватора, с одной стороны, и субтропическими областями с высоким атмосферным давлением, высокой соленостью и относительно пониженной температурой воды, с другой, термическая и соленостная циркуляции совпадают. Между субтропическим поясом относительно теплых и соленых вод и зоной повышенных осадков в области Антарктического циркумполярного течения эти два типа циркуляции противоположны по знаку обращения, но далее в сторону Антарктиды они вновь имеют одинаковую направленность.

Кроме перечисленных можно назвать еще целый ряд факторов, в большей или меньшей степени влияющих на характеристики ОЦО и отдельных крупномасштабных течений. В первую очередь, к ним относятся внутренние напряжения, возникающие в процессе взаимодействия водных масс в глубинных слоях, а также некоторые дополнительные внешние воздействия. К числу последних принадлежат, например, такие важные в динамическом отношении вторичные ветровые эффекты, как сгонно-нагонные явления, приводящие к стационарному повышению уровня у «наветренных» границ бассейнов. Океанский масштаб нагонного эффекта наиболее заметен в области устойчивых пассатных ветров, создающих наклон уровня с востока на запад, который отражается в системе ОЦО (Pedloski, 1965) в виде вдольбереговых пограничных течений, замыкающих планетарные субтропические круговороты вблизи западной периферии океанов.

В этой связи отметим особые условия Индийского океана, где в отличие от других океанов пояс пассатных ветров ограничен южной тропической зоной. Классическая картина интенсификации направленного к северу пограничного течения вблизи западного берега, наблюдаемая в Тихом океане и в Атлантике, в среднемноголетней общей циркуляции Индийского океана отсутствует. Поэтому можно предположить, что мощное летнее Сомалийское течение по своей физической природе не является точным аналогом западных пограничных течений – Гольфстрима и Куроисио, а имеет несколько иное происхождение, связанное с планетарными сезонными колебаниями гидрофизических полей (Нейман и др., 1997). Не исключено, что первоначальный импульс, возбуждающий Сомалийское течение, возникает в связи с периодическим сезонным усилением Южного пассатного течения, которое создает дополнительный наклон уровня у восточноафриканского побережья южнее экватора.

Поскольку приведенный индоокеанский пример вторичного эффекта ветрового воздействия на структуру крупномасштабных течений относится

к процессам гораздо меньшего временного масштаба, его нельзя отнести к факторам, определяющим ОЦО. Совершенно очевидно, что сезонные изменения океанографических полей при изучении подобных явлений глобального порядка по относительно коротким рядам данных должны приниматься во внимание как энергетически значимые возмущения, сравнимые по амплитуде с межгодовыми колебаниями общей циркуляции (Монин и др., 1974). При наличии достаточно длинных рядов наблюдений эффекты энергонесущих глобальных возмущений типа сезонных и межгодовых колебаний при расчете средних распределений проявляют себя подобно некоторой сглаживающей функции. Например, за счет сезонного перераспределения атмосферного давления над северной частью Индийского океана южно-азиатский летний минимум зимой заменяется максимумом, а в экваториальном районе в это время возникает барическая ложбина. В результате среднегодовые поля ветра и суммарных поверхностных течений в этой части Мирового океана представляют собой размытые слабоградиентные динамические структуры без явных признаков упорядоченных крупномасштабных переносов (Нейман, Бурков, 1989).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН тема № 0149-2019-0004.

### Литература

- Будыко М.И.* Атлас теплового баланса Земли. Л.: МГК СССР, 1963. 69 с.
- Бурков В.А.* Общая циркуляция Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 253 с.
- Бурков В.А., Булатов Р.П., Нейман В.Г.* Крупномасштабные черты циркуляции вод Мирового океана // *Океанология*. 1973. Т. 13. Вып. 3. С. 395–403.
- Ильин А.М., Каменкович В.М.* О влиянии трения на океанические течения // *Доклады АН СССР*. 1963. Т. 150. № 6. С. 1274–1277.
- Каменкович В.М.* Основы динамики океана. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 240 с.
- Лаппо С.С.* Среднемасштабные динамические процессы океана, возбуждаемые атмосферой. М.: Наука, 1979. 184 с.
- Линейкин П.С.* Основные вопросы динамической теории бароклинного слоя моря. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 139 с.
- Максимов И.В.* К изучению западного прибрежного антарктического течения // *Инф. бюлл. Сов. Ант. Эксп.* 1958. № 2. С. 18–27.
- Манабе С., Брайен К.* Климат и циркуляция океана. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 192 с.
- Марчук Г.И.* Численное решение задач динамики атмосферы и океана на основе метода расщепления. Новосибирск: Наука, 1972. 168 с.
- Монин А.С., Бурков В.А.* Глобальные черты циркуляции вод Мирового океана // *Океанология*. 1973. Т. 13. Вып. 1. С. 51–65.
- Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г.* Изменчивость Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 262 с.
- Монин А.С., Шишков Ю.А.* История климата. Ленинград: Гидрометеиздат, 1979. 407 с.
- Нейман В.Г., Бурков В.А.* Крупномасштабная циркуляция вод Индийского океана // *Биологические ресурсы Индийского океана*. М.: Наука, 1989. С. 20–66.

- Нейман В.Г., Бурков В.А., Щербинин А.Д. Динамика вод Индийского океана. М.: Научный мир, 1997. 232 с.
- Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 182 с.
- Степанов В.Н., Саркисян А.С., Демин Ю.Л., Дроздов В.Н., Булатов Р.П., Галеркин Л.И., Щербинин А.Д. Диагностические расчеты горизонтальной циркуляции вод Мирового океана // Морск. гидрофиз. исслед. 1977. № 1 (75). С. 34–46.
- Федоров К.Н. Термохалинная конвекция в виде солевых пальцев и ее возможные проявления в океане // Изв. АН СССР. ФАО. 1972. Т. 8. № 2. С. 214–230.
- Штокман В.Б. Избранные труды по физике моря. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 335 с.
- Шулейкин В.В. Физика моря. М.: Наука, 1968. 1983 с.
- Hellermann S. An updated estimate on the wind stress on the World Ocean // Monthly Weather Rev. 1968. Vol. 96. No. 1. P. 62–74.
- Pedloski J. A note on the western intensification of the ocean circulation // Journal Mar. Res. 1965. Vol. 23. No. 3. P. 207–209.
- Stommel H. The Gulf Stream. Univ. California Press, 1965. 243 p.
- Sverdrup H.U., Johnson M.W., Fleming R.H. The Oceans. Their physics, chemistry and general biology. N.Y.: Prentice-Hall Inc., 1942. 1087 p.
- Veronis G. Large scale ocean circulation // Advances in Applied Mechanics. 1973. Vol. 13. Acad. Press. P. 1–92.
- Welander P. Wind-driven circulation in one- and two-layer oceans of variable depth // Tellus. 1968. Vol. 20. No. 1. P. 1–16.

## ON EVALUATION OF THE ROLE OF THERMAL AND WIND FACTORS FOR A PHYSICAL MODEL OF THE WORLD OCEAN GENERAL CIRCULATION SYSTEM

Neiman V.G.

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: [vneiman2007@yandex.ru](mailto:vneiman2007@yandex.ru)  
Submitted 18.12.2018, accepted 29.05.2019*

The main content of the work consists of certain systematization and addition of long-existing, but eventually deformed and partly lost qualitative ideas about the role of thermal and wind factors that determine the physical mechanism of the World Ocean's General Circulation System (OGCS). It is noted that the conceptual foundations of the theory of the OGCS in one form or another are contained in the works of many well-known hydrophysicists of the last century, but the aggregate, logically coherent description of the key factors determining the physical model of the OGCS in the public literature is not so easy to find. An attempt is made to clarify and concretize some general ideas about the two key blocks that form the basis of an adequate physical model of the system of oceanic water masses motion in a climatic scale. Attention is drawn to the fact that when analyzing the OGCS it is necessary to take into account not only immediate but also indirect effects of thermal and wind factors on the ocean surface. In conclusion, it is noted that, in the end, by the uneven flow of heat to the surface of the ocean can be explained the nature of both external and almost all internal factors, in one way or another contributing to the excitation of the general, or climatic, ocean circulation.

**Keywords:** temperature, salinity, current, ocean circulation, wind, physical model, heat balance, sun radiation, climate

### References

- Budyko M.I.* Atlas teplovogo balansa Zemli (Atlas of the thermal balance of the Earth). Leningrad: MGK SSSR, 1963, 69 p.
- Burkov V.A.* Obshchaya tsirkulyatsiya Mirovogo okeana (General circulation of the World Ocean). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 253 p.
- Burkov V.A., Bulatov R.P., and Neiman V.G.* Krupnomasshtabnye cherty tsirkulyatsii vod Mirovogo okeana (Large-scale circulation features of the World Ocean). *Okeanologiya*, 1973, Vol. 13, No. 3, pp. 395–403.
- Fedorov K.N.* Termokhalinnaya konvektsiya v vide solevykh pal'tsev i ee vozmozhnye proyavleniya v okeane (Thermohaline convection in the form of salt fingers and its possible manifestations in the ocean). *Izv. AN SSSR, FAO*, 1972, Vol. 8, No. 2, pp. 214–230.
- Hellermann S.* An updated estimate on the wind stress on the World Ocean. *Monthly Weather Rev.*, 1968, Vol. 96, No. 1, pp. 62–74.
- Il'in A.M. and Kamenkovich V.M.* O vliyaniy treniya na okeanicheskie techeniya (On the effect of friction on ocean currents). *Doklady AN SSSR*, 1963, Vol. 150, No. 6, pp. 1274–1277.
- Kamenkovich V.M.* Osnovy dinamiki okeana (Ocean Dynamics Basics). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 240 p.
- Lappo S.S.* Srednemashtabnye dinamicheskie protsessy okeana, vzbuzhdaemye atmosferoi (Medium-scale dynamic ocean processes excited by the atmosphere). Moscow: Nauka, 1979, 184 p.
- Lineikin P.S.* Osnovnye voprosy dinamicheskoi teorii baroklinnogo sloya morya (The main questions of the dynamic theory of the baroclinic layer of the sea). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1957, 139 p.
- Maksimov I.V.* K izucheniyu zapadnogo pribrezhnogo antarkticheskogo techeniya (To the study of the western coastal Antarctic flow), *Inf. Byull. Sov. Ant. Exp.*, 1958, No. 2, pp. 18–27.
- Manabe S. and Bryan K.* Klimat i tsirkulyatsiya okeana (Climate and ocean circulation). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972, 192 p.
- Marchuk G.I.* Chislennoe reshenie zadach dinamiki atmosfery i okeana na osnove metoda rasshchepleniya (Numerical solution of the problems of atmospheric and oceanic dynamics based on the splitting method). Novosibirsk: Nauka, 1972, 168 p.
- Monin A.S. and Burkov V.A.* Global'nye cherty tsirkulyatsii vod Mirovogo okeana (Global circulation features of the oceans). *Okeanologiya*, 1973, Vol. 13, No. 1, pp. 51–65.
- Monin A.S., Kamenkovich V.M., and Kort V.G.* Izmenchivost' Mirovogo okeana (World Ocean Variability). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 262 p.
- Monin A.S. and Shishkov Yu.A.* Istoriya klimata (Climate history), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 407 p.
- Neiman V.G. and Burkov V.A.* Krupnomasshtabnaya tsirkulyatsiya vod Indiiskogo okeana (Large-scale Water Circulation in the Indian Ocean), Biologicheskie resursy Indiiskogo okeana. Moscow: Nauka, 1989, pp. 20–66.
- Neiman V.G., Burkov V.A., and Shcherbinin A.D.* Dinamika vod Indiiskogo okeana (The Dynamics of the Waters of the Indian Ocean). Moscow: Nauchnyi mir, 1997, 232 p.

- Pedloski J.* A note on the western intensification of the ocean circulation. *Journal Mar. Res.*, 1965, Vol. 23, No. 3, pp. 207–209.
- Sarkisyan A.S.* Chislennyi analiz i prognoz morskikh techenii (Numerical Analysis and Forecast of Sea Currents), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 182 p.
- Shuleikin V.V.* Fizika morya (Physics of the Sea). Moscow: Nauka, 1968, 1983 p.
- Stepanov V.N., Sarkisyan A.S., Demin Yu.L., Drozdov V.N., Bulatov R.P., Galerkin L.I., and Shcherbinin A.D.* Diagnosticheskie raschety gorizontal'noi tsirkulyatsii vod Mirovogo okeana (Diagnostic calculations of the horizontal circulation of the waters of the World Ocean). *Morsk. Gidrophyz. Issled.*, 1977, No. 1 (75), pp. 34–46.
- Stockmann V.B.* Izbrannye Trudy po fizike morya (Selected Works on the Physics of the Sea). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970, 335 p.
- Stommel H.* The Gulf Stream. Univ. California Press, 1965, 243 p.
- Sverdrup H.U., Johnson M.W., and Fleming R.H.* The Oceans. Their physics, chemistry and general biology. N.Y.: Prentice-Hall, Inc., 1942, 1087 p.
- Veronis G.* Large scale ocean circulation. *Advances in Applied Mechanics*, 1973, Vol. 13, Acad. Press, pp. 1–92.
- Welander P.* Wind-driven circulation in one- and two-layer oceans of variable depth. *Tellus*, 1968, Vol. 20, No. 1, pp. 1–16.