

УДК 551.465(265/266)

**О ФОРМИРОВАНИИ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ  
ПРОДУКТИВНОСТИ В ТИХОМ ОКЕАНЕ****В. В. Натаров, Э. И. Черный (ТИНРО)**

Важнейшей причиной, обуславливающей формирование зон повышенной биологической продуктивности в океане, является динамика вод. Исходя из этого в работе поставлено две цели:

1. Выяснить основные динамические факторы, создающие благоприятные условия для формирования зон повышенной биологической продуктивности в океане.

2. Изучить распределение этих факторов в различных комбинациях на примере Тихого океана и на этой основе оценить промысловое значение тех или иных районов. Однако нужно сказать, что с этой методикой можно подойти и к оценке промысловых возможностей любой другой акватории Мирового океана.

Совершенно очевидно, что причинами, формирующими благоприятные или неблагоприятные промысловые условия в морях и океанах, являются гидрологические факторы — среда. Это хорошо согласуется с исследованиями проф. И. И. Месяцева, который указывал, что промысловые скопления рыб приурочены к особым физико-химическим условиям, особенно к районам с определенной динамикой вод (Месяцев, 1937, 1939).

Динамика вод и обусловленное ею распределение термогалинных и гидрохимических показателей водных масс формируют те или иные условия для обитания организмов. Но так как динамика течений тесным образом связана с циркуляцией атмосферы, необходимо в общем случае рассмотреть распределение барических полей и обусловленные ими изменения в циркуляции вод тех или иных районов.

Проанализировав большое количество фактического материала, можно утверждать, что рассматриваемые факторы являются наиболее важными для создания зон повышенной биологической продуктивности. Тем не менее нельзя утверждать, что эти факторы являются единственными при изучении столь сложных и многообразных процессов, которые наблюдаются при формировании зон повышенной продуктивности в океанах. К указанным факторам в первую очередь следует отнести:

1. Своеобразную динамику вод вдоль зоны гидрологических фронтов<sup>1</sup>.

2. Эффект подъема глубинных вод внутри замкнутых циклонических систем течений.

3. Подъем глубинных вод в районах расхождения течений.

4. Повышенную атмосферную циклоничность при частом стационарировании циклонов, ведущую к динамическому понижению уровня и тем самым к притоку глубинных вод к поверхности.

5. Циклонические вихри вдоль левой стороны основных океанических течений (для Северного полушария), обеспечивающие интенсивное снабжение верхних слоев питательными солями.

Совершенно очевидно, что зоны повышенной биологической продуктивности будут формироваться и под воздействием других факторов: материковый сток, рельеф дна, а также под воздействием сгонно-нагонных явлений и процессов зимней вертикальной циркуляции. Однако эти вопросы мы не рассматриваем ввиду того, что для открытых частей Тихого океана они имеют меньшее значение и приурочены в основном к окраинным бассейнам.

Рассмотрим влияние каждого из указанных факторов на формирование зон повышенной биологической продуктивности в Тихом океане.

Зоны гидрологических фронтов вызывают повышенный интерес, так как в таких районах происходит стык различных по происхождению и свойствам водных масс (особенно в высоких широтах), что ведет к географическому сближению фауны различных климатических районов, и даже только таким чисто суммирующим механическим путем уже создаются повышенные промысловые возможности в таких районах.

Подробно этот вопрос изложен в работе Г. К. Ижевского (1958).

В Тихом океане нужно выделить следующие фронтальные зоны (их положение показано на карте, рис. 1):

1. Полярный фронт.
2. Субтропические фронты.
3. Субантарктический фронт.

Разберем теперь вопрос о замкнутых циклонических системах циркуляции вод (Дитрих, Калле, 1961; Зубов, 1947; Степанов 1960). В океанах довольно часто встречаются районы, в которых по тем или иным причинам воды вовлечены в циклоническое движение. Как известно, при циклоническом обращении происходит (вследствие дивергенции чисто дрейфового течения) разнос вод от центра к периферии и, таким образом, в связи с понижением уровня в центре такой циркуляции подъем глубинных вод и их дальнейший вынос от центра к периферии. Следовательно, вся область циклонической циркуляции вод за счет притока вод, несущих питательные вещества с глубин, должна быть областью высокой или повышенной биологической продуктивности. На этом основании выделим районы с циклоническими системами циркуляции вод, используя для этого имеющиеся карты течений. Наиболее четко намечаются следующие районы: залив Аляска, район к западу от Панамы с центром  $5^{\circ}$  с. ш. и  $100^{\circ}$  з. д., район к востоку от южной оконечности Филиппинских островов, юго-восточная часть Японского моря, восточная часть Охотского моря и некоторые другие районы, показанные на карте (см. рис. 1). Часть из отмеченных на карте районов с циклоническими системами течения являются промысловыми уже в настоящее время, а остальные следует отнести к перспективным.

<sup>1</sup> Под зонами фронтов будем подразумевать районы схождения течений (конвергенции).

Подъем глубинных вод наблюдается и в районах расхождения течений. За счет расхождения течений на поверхности происходит «оголение» нижележащих слоев воды, которые вовлекаются в движение (расходятся), что вызывает усиленное вертикальное движение вод (подъем), в результате которого происходит обогащение верхних слоев питательными солями. Это при благоприятных физических условиях (температура, соленость, кислород, освещенность) должно вести к повышению продуктивности такого района. Практически такие районы

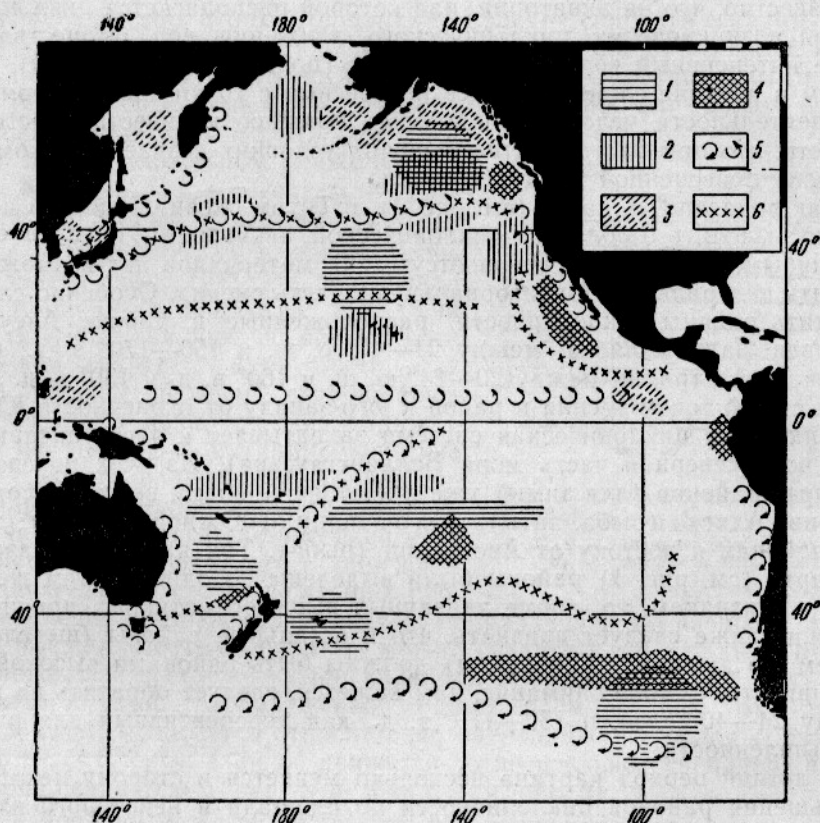


Рис. 1. Карта зон повышенной биологической продуктивности в Тихом океане:

1 — зоны повышенной атмосферной циклоничности (зима); 2 — то же, лето; 3 — районы с циклоническими системами течений; 4 — районы расхождения течений; 5 — районы циклонических завихрений на перифериях течений; 6 — зоны гидрологических фронтов.

выделяются наиболее трудно. Однако на основе имеющихся карт течений и исследований последних лет, а также ряда работ (Дитрих, Колле, 1961; Зубов, 1947; Степанов, 1960; Морской Атлас, 1953) можно наметить наиболее крупные районы расхождения течений. К ним относятся районы разделения Северо-Тихоокеанского течения на Аляскинское и Калифорнийское (юго-западнее архипелага Александра), области расхождения течений к юго-востоку от Калифорнии и дивергенция при разделении течения западных ветров на Перуанское и течение мыса Горн. По имеющимся данным дивергенция должна наблюдаться также в районе между 20—30° ю. ш. и 135—155° з. д. Ниже станет понятным, почему

мы не указываем здесь дивергенции, наблюдающиеся у берегов, относя процессы, там происходящие, к явлениям несколько иного порядка.

Выделение районов повышенной атмосферной циклоничности и частого стационарирования циклонов удалось провести после анализа целого ряда синоптических материалов. Для наших целей мы использовали атласы ЦИП, а также срочные карты, составленные на экспедиционных судах Гидрометслужбы. Выделение районов проводилось отдельно для лета и зимы (по Северному полушарию).

Известно, что на акватории, над которой располагается циклон, благодаря возникновению циклонического движения вод осуществляется более интенсивный вертикальный обмен (подток вод с глубины) и тем самым в верхние слои (наиболее интересные с точки зрения промысловой деятельности человека) поступает большое количество биогенных веществ, что при благоприятных прочих условиях создает в таком районе зону повышенной продуктивности.

Как показано на карте (см. рис. 1), в Тихом океане в зимний период можно выделить 6 областей циклонической активности, обусловленных различными факторами. Из-за отсутствия материалов нет возможности оценить центральную (экваториальную) часть океана. Особенно следует отметить районы циклоничности, расположенные в районе Алеутских островов: залив Аляска; между  $24-40^{\circ}$  с. ш. и  $150-170^{\circ}$  з. д.; район восточнее Австралии между  $20-24^{\circ}$  ю. ш. и  $160^{\circ}$  в. д. и  $130^{\circ}$  з. д. Интересен с этой точки зрения и район к юго-западу от оконечности Южной Америки. Эта циклоническая система захватывает и часть антарктических вод (северная часть моря Беллингаузена). Из всех показанных на карте районов (для зимы) уже в настоящее время ведется промысел в заливе Аляска (рыба, киты), к юго-западу от Южной Америки (киты) и в районах к востоку от Австралии (рыба). Так как все показанные на карте (см. рис. 1) районы были выделены по одним и тем же данным и признакам, то, кроме указанных выше объективных причин, логически также следует признать, что и остальные районы (выделенные по тем же данным и признакам) должны быть районами высокой продуктивности. Особое внимание, нам кажется, следует обратить на район между  $24-40^{\circ}$  с. ш. и  $150-170^{\circ}$  з. д., как перспективный для рыбной промышленности.

В летний период картина несколько меняется в сторону некоторого уменьшения районов циклоничности по площади и некоторого их смещения.

В этот период можно выделить следующие районы: залив Аляска, западное побережье Северной Америки, район к востоку от Курильских островов, район северной тропической части океана между  $150-170^{\circ}$  з. д. Несколько уменьшается от зимы к лету и район, расположенный к востоку от Австралии.

Разберем теперь последний и, по нашему мнению, наиболее важный фактор.

Мы считаем, что причина богатства одних районов и бедности других заключается не только в том, какие, когда, откуда и куда воды приносятся, хотя и это имеет большое значение (Ижевский, 1958; Тейт, 1957).

Необходимо разобратить и сформулировать несколько более общие причины и закономерности формирования биологически высокопродуктивных районов в свете динамических процессов, связанных с морскими течениями.

Течение в океане можно представить себе как поток, движущийся среди вод, которые в первом приближении можно считать неподвижными. На этом мы и будем строить свои дальнейшие рассуждения. В дан-

ной работе мы не будем останавливаться на причинах, возбудивших течение, а будем считать движение свободным без учета сил, его вынудивших. Вопросы трения в пограничном слое при наличии течения освещались различными авторами (Дитрих, Калле, 1961; Праудмен, 1957; Стоммел, 1963; Штокман, 1948; Шулейкин, 1953), причем освещалась главным образом гидродинамика вопроса.

Несмотря на это, нужно сказать, что достаточно надежного математического аппарата для нашего случая до сих пор не разработано.

Хорошо известно, что благодаря силам трения скорости в каком-либо потоке не везде одинаковы, а убывают в обе стороны от стрежня. Если какой-либо поток разделить на элементарные слои вертикальными плоскостями, параллельными полости стрежня, то скорость в каждом из таких слоев окажется меньшей, чем в соседнем, но расположенном ближе к стрежню, и большей, чем в соседнем, но расположенном дальше от стрежня (рис. 2).

Все рассуждения мы ведем лишь для верхнего слоя. Вот эта поперечная неравномерность в скоростях и должна привести к образованию по обе стороны от стрежня вихревых циркуляций (см. рис. 2). Причем на левой стороне течения образуются циклонические циркуляции, а на правой — антициклонические (для Северного полушария). Точнее, завихрения будут направлены в сторону меньших скоростей. Действительно, скоростью подпор препятствует образованию завихрений в сторону больших скоростей и ведет к образованию вихрей, направленных во внешние стороны от стрежня. Другими словами можно сказать, что каждый ближе расположенный к стрежню слой движется относительно как бы «неподвижного» слоя *Б* со скоростью  $v' = v_1 - v_2$ ; слой *Б* движется относительно «неподвижного» слоя *В* со скоростью  $v'' = v_2 - v_3$  и т. д. (см. рис. 2).

На основании этого очевидно, что чем выше скорости и чем больше разности в скоростях элементарных слоев, тем более мощные завихрения будут образовываться. Нужно отметить, что если принять эту схему (см. рис. 2), то вдоль любого течения на его левой периферии будут образовываться циклонические завихрения (замкнутые циркуляции) и антициклонические на правой. Для Южного полушария картина обратная. Трудно сказать без специальных исследований, какова продолжительность существования такого рода циркуляций, но несомненно одно: они должны возникать в пограничном слое, перемещаться вдоль течения, несколько отклоняясь в стороны, а на их месте должны образовываться новые (Баталия, 1962; Дитрих и Калле, 1961; Зубов, 1947; Стоммел, 1963; Уда, 1958).

Мы пришли к выводу, что циклонические циркуляции (завихрения) вод должны вести к понижению уровня в центре (что известно) и тем самым к постоянному обогащению питательными слоями зон вдоль левых периферий течений (в Северном полушарии) и вдоль правых периферий в Южном полушарии. В то же время на противоположных сторонах будет преобладать нисходящее движение вод, препятствующее обо-

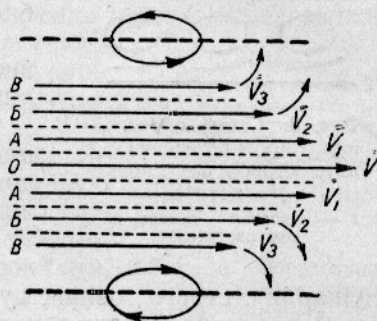


Рис. 2. Схема образования завихрений на перифериях течений:  
*А, Б, В* — элементарные слои;  $v_1, v_2, v_3$  — скорости в этих слоях.

гашению питательными слоями верхних слоев, что должно создавать неблагоприятные биологические условия на этих перифериях течений. Разбирая вопрос течений, мы не можем не остановиться на влиянии силы Кориолиса.

Проведенные исследования показывают, что сила Кориолиса, отклоняя поток вправо (в Северном полушарии) и влево (в Южном полушарии), будет препятствовать развитию интенсивной циклонической циркуляции, несколько гася ее. В то же время она будет значительно усиливать антициклоническую циркуляцию. Таким образом, даже если учесть влияние силы Кориолиса, в данном случае качественное, то можно заметить, что и в этом случае левая сторона течения будет биологически более благоприятна, чем правая.

Однако совершенно очевидно, что влияние силы Кориолиса будет иметь значение лишь в средних и высоких широтах.

Таким образом, в низких широтах эффект циклонических циркуляций за счет трения в пограничном слое будет проявляться в чистом виде.

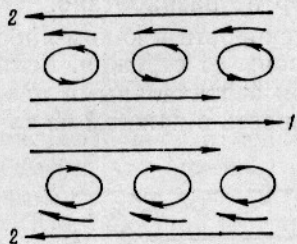


Рис. 3. Схема образования противотечений с двух сторон от основного потока:  
1 — основной поток; 2 — противотечения.

Повышенную биологическую продуктивность левой стороны течения (в Северном полушарии), строго говоря, нужно рассматривать как суммарное следствие вихреобразования, как показано выше, и поперечной циркуляции в потоке.

Однако до сих пор основное внимание уделялось только наклону уровня в потоке и создающейся им поперечной циркуляции (Праудмен, 1957; Стоммел, 1963; Уда, 1958; Штокман, 1948), хотя сам поперечный наклон формируется как силой Кориолиса, так и циклоническими и антициклоническими вихрями с соответствующих сторон течения.

Остановимся также на вопросе о возможности возникновения противотечений с двух сторон от основного потока (Дитрих, Калле, 1961; Стоммел, 1963).

Как видно на схеме (рис. 3), если вдоль течения действительно существуют завихрения, то совершенно не исключена возможность слияния внешних сторон завихрений (если такие завихрения находятся достаточно близко друг от друга) и образования таким образом с обеих сторон основного потока двух узких и, по-видимому, довольно слабых противотечений. Слияние отдельных мелких завихрений и образование противотечений также способствуют образованию зоны повышенной продуктивности с левой стороны течения.

Необходимо разобрать и еще один случай, который, по нашему мнению, заслуживает самого большого внимания. Несложно установить (рис. 4), что если бы мы имели два течения, направленные в противоположные стороны и соприкасающиеся левыми сторонами в Северном полушарии и правыми в Южном, то описанный выше процесс образования циклонических циркуляций под воздействием системы двух противоположно направленных сил (течений) должен значительно усиливаться.

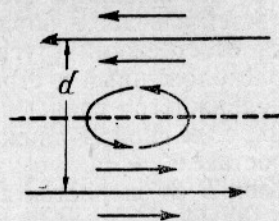


Рис. 4. Возникновение циклонической циркуляции между двумя течениями (для Северного полушария). ( $d$  — расстояния между стрейями).

Массы воды в этом случае должны быть вовлечены в мощное циклоническое вращение. Однако понятно, что это может происходить лишь при определенном  $d$  — расстоянии между стрежнями течений. Если  $d$  больше или меньше критического, процесс, по-видимому, развиваться не будет. Совершенно ясно, что в результате этого процесса между двумя течениями должна возникнуть зона с наиболее благоприятными биологическими условиями.

Мы считаем необходимым разобрать и причины возникновения подъема глубинных вод у берегов при прохождении вдоль их течений. Если течение обращено правой стороной к берегу (Северное полушарие), то у берега образуются антициклонические завихрения (циркуляции), ведущие к нисходящему движению вод и созданию неблагоприятных в биологическом смысле условий. Если течение обращено к берегу левой стороной, наблюдаются циклонические завихрения и восходящее движение вод, способствующее повышению продуктивности такого района (рис. 5). Немаловажное значение имеет в этом случае и конфигурация берега (Зубов, 1947).

На основе изложенного становится ясным, что при проведении научно-поисковых работ в первую очередь следует обращать внимание на левые периферии течений, на зоны с близко расположенными и противоположно направленными течениями, на районы, где проходящие вдоль берега течения обращены к нему левой стороной. Пользуясь этими данными, мы взяли на себя смелость выделить некоторые такие районы в Тихом океане, где под воздействием указанных выше причин должны существовать биологически благоприятные для промысла районы. По нашим данным, акваториями, где проявляется эффект циклонических завихрений, будут следующие районы:

Правая периферия течения Западных ветров (вне Антарктики), правая сторона Перуанского течения (у берега), левая ветвь Южного пассатного течения (правая сторона), правая сторона Восточно-Австралийского течения (у берега), Северо-Тихоокеанское течение (левая сторона), Куроисио (левая сторона у Японии), Калифорнийское течение (левая сторона, у берега), район между Северным пассатным и Экваториальным противотечением (Богоров, 1960) (суммарный эффект двух течений) и многие другие районы (см. рис. 1).

К сказанному можно добавить, что участки повышенной биологической продуктивности зачастую могут занимать значительно большие площади, чем отмечено на карте, так как существующими системами течений обогащенные воды могут выноситься на значительные расстояния.

Мы довольно подробно разобрали внешнюю сторону явлений, не приводя конкретных цифровых данных об интенсивности и масштабах тех или иных разбираемых процессов. Впрочем, этот вопрос и не является целью данной работы и будет служить предметом дальнейших исследований.

В заключение представляется целесообразным привести карту (рис. 6) распределения китов и рыб в Тихом океане, составленную в ТИПРО на основании большого количества разрозненных данных (Томили, 1957; Накамура, 1957; Яманака, 1956).

Сравнение этой карты с картой, полученной нами, показывает хорошее их совпадение. Зоны повышенных концентраций китов и рыб хорошо совпадают с выделенными нами районами. Если учесть биологию

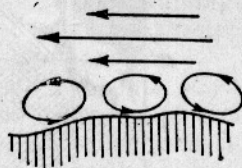


Рис. 5. Образование циклонических завихрений у берега (Северное полушарие).

морских организмов, то такое совпадение, безусловно, не является случайным.

Таким образом, взяв за основу указанные в начале работы 5 принципов, мы выделили благоприятные с точки зрения каждого принципа районы. Карта (см. рис. 1) наглядно показывает распределение выделенных нами районов по акватории Тихого океана. Карта также показывает, что в отдельных районах благоприятные условия должны формироваться под комбинированным воздействием целого ряда факторов.

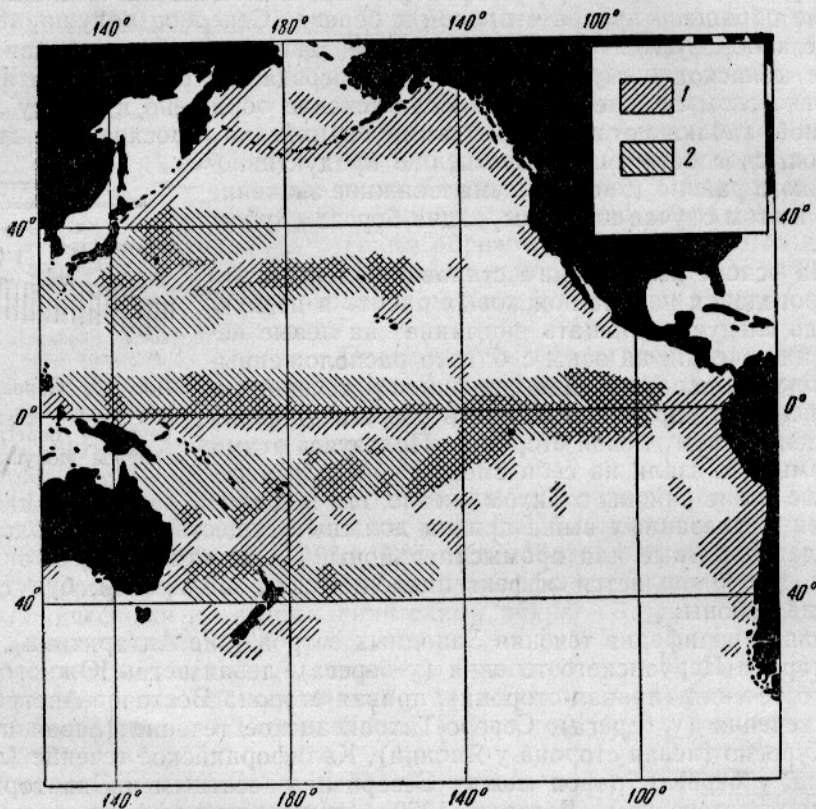


Рис. 6. Схематическая карта распределения промысловых объектов по акватории Тихого океана (по советским и иностранным данным):  
1 — киты; 2 — туинцы.

И это совершенно понятно, ибо в природе очень трудно найти такие условия, которые бы совершенно четко формировались под воздействием лишь какого-то одного фактора.

То, что во многих районах у нас показано только по одному какому-либо фактору, говорит о том, что мы в данном случае выделяли лишь главные формирующие факторы и опускали второстепенные, которые, на наш взгляд, имеют в каком-то конкретном случае лишь вспомогательное значение. Таким образом, приведенные нами данные могут служить, по нашему мнению, теоретической основой для организации перспективных научно-промысловых работ в Тихом океане.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшей причиной, обуславливающей формирование зон повышенной биологической продуктивности в открытом океане, является своеобразная динамика вод, которая в значительной степени влияет на обогащение биогенами поверхностных вод за счет подъема к поверхности глубинных водных масс. В работе рассматриваются основные динамические процессы, которые в общем случае создают благоприятные условия для формирования зон повышенной биологической продуктивности в пелагиали открытой части Тихого океана.

В первую очередь к таким факторам относятся:

1. Динамические процессы в зонах гидрологических фронтов.
2. Подъем глубинных вод в циклонических системах течений.
3. Подъем глубинных вод в зонах расхождения течений.
4. Повышенная атмосферная циклоничность при частом стационаровании циклонов в локальных районах, что в конечном итоге по динамическим причинам ведет к притоку глубинных вод к поверхности.
5. Циклонические вихри, возникающие вдоль левой стороны основных океанических потоков (для Северного полушария) благодаря действию сил трения и силы Кориолиса, что, естественно, также ведет к повышенному снабжению верхних слоев питательными солями.

Необходимо отметить, что, безусловно, формирование зон повышенной биологической продуктивности происходит и под воздействием других факторов, таких как материковый сток и атмосферные осадки, сгонно-нагонные явления, перемешивание и влияние рельефа дна на динамику течений.

## ЛИТЕРАТУРА

- Баталин А. М. Вихреобразование в области Куро시오 и его влияние на рыбный промысел. Материалы VII научной конференции ДВГУ. Владивосток, 1962.
- Богоров В. Г. Географические зоны в пелагиали центральной части Тихого океана. Труды ИОАНа. Т. 41, 1960.
- Дитрих Г., Калле К. Общее мореведение. Л., Гидрометеиздат, 1961.
- Зубов Е. Н. Динамическая океанология. М.-Л., Гидрометеиздат, 1947.
- Инжевский Г. К. Воды полярного фронта и распределение атлантических сельдей. Изд-во «Рыбное хозяйство», 1958.
- Месяцев И. И. Строение косяков стадных рыб. Известия АН СССР. Серия биологическая, № 3, 1937.
- Месяцев И. И. О структуре косяков трески. Труды ВНИРО, Т. IV, 1939.
- Муромцев А. М. Основные черты гидрологии Тихого океана. Л., Гидрометеиздат, 1958.
- Праудмен Дж. Динамическая океанография. М., ИЛ, 1957.
- Степанов В. Н. Основные дивергенции и конвергенции вод Мирового океана. Бюллетень океанографической комиссии, № 6, 1960.
- Стоммел Г. Гольфстрим. М., ИЛ, 1963.
- Тейт Д. Влияние среды на биологию промысловых рыб. Сб. «Материалы международной конференции по охране запасов рыб и других морских животных». Кн. I. М., 1957.
- Томилин А. Г. Звери СССР и прилежащих стран. Т. IX. Китообразные. Изд-во АН СССР, 1957.
- Уда М. Обогащенные участки, возникающие в результате образования системы завихрений. Текущая информация. ВНИРО, № 5, 1958.
- Штокман В. Б. Теория экваториальных противотечений. Л. Гидрометеиздат, 1948.
- Шулейкин В. В. Физика моря. М., «Академкнига». Морской атлас. II. Издание Главного штаба ВМС, 1953.
- Накамура. Распределение и миграции тунцов. Изд. НИИ международного рыболовства. Т. 7 (перевод с японского).
- I amana H. Vertical stratification influence on tuna fishing in 10° S region of Southwestern Pacific. Bull. Japan. Soc. Cci. Fish., 21, № 12, 1956.