

1. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОПРОДУКТИВНОСТИ

639.2.053.1:551.463.6(261.1 + 268.43 + 268.45)

О МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И ПРОМЫСЛОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В РАЙОНАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ, НОРВЕЖСКОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

А. А. Елизаров

Долгосрочное прогнозирование гидрологических и промысловых условий в районах повышенной биологической продуктивности чрезвычайно важно. Урожайность важнейших объектов промысла, ежегодный прирост (пополнение) рыбного стада и его общий запас тесно связаны с ежегодными и многолетними колебаниями абиотических (физических и химических) условий.

Долгопериодную изменчивость природной среды в первом приближении легче всего оценивать путем выбора наиболее репрезентативного индикатора абиотических условий, определяющих уровень биопродуктивности в море (Ижевский, 1961). Общеизвестно, что одним из таких индикаторов, наиболее приемлемым как по значению, так и по полноте накопленных данных, является температура воды деятельного слоя моря. Для анализа физических и биологических процессов в морях и океанах северного полушария чаще всего пользуются многолетними наблюдениями над температурой воды на стандартном разрезе по Кольскому меридиану, которые, как правило, отождествляют в первом приближении с интенсивностью Нордкапского течения (Ижевский, 1961; Бочков, 1964, 1966; Богданов, Потайчук, Солянкин, 1968).

Одним из важных результатов исследования многолетней изменчивости гидрологических условий явилось положение, сформулированное Г. К. Ижевским (1961) об однофазности (однонаправленности) физических процессов в рамках единой системы переноса теплых атлантических вод и противофазности этому некоторых процессов во внутренних морях СССР. Противофазность межгодовых изменений температуры воды и интенсивности переноса вод по отношению к Атлантической системе обнаружилась и в сфере холодного Лабрадорского течения (Елизаров, 1962).

В последнее время эти положения получили дальнейшее подтверждение. Оказалось, что «изменение интенсивности теплоотдачи от года к году за холодное полугодие происходит одновременно для очагов, связанных к Гольфстриму, Северо-Атлантическому и Норвежскому течениям» (Тимонов и др., 1970).

На основе данных кораблей погоды за 1951—1968 гг. установлено также, что «при подтипах атмосферной циркуляции, усиливающих ветви теплых течений, во многих районах Северной Атлантики наблюдаются положительные аномалии температуры воды. В сфере действия Восточ-

но-Гренландского и Лабрадорского течений температура понижается при усилении данной системы течений» (Валерианова, Серяков, 1970).

В общем виде это дает возможность определить уровень гидрологических условий в пределах единой системы переноса вод, пользуясь данными многолетних наблюдений по одному или нескольким стандартным разрезам (например, разрезу по Кольскому меридиану).

Однако самым трудным в решении задачи о долгосрочном прогнозировании гидрологических параметров является выяснение причин и характера природных ритмов с продолжительностью более года. Известны многочисленные попытки выделить основные ритмы многолетних колебаний температуры воды и воздуха в гидросфере и атмосфере северного полушария при помощи различных формальных математических методов.

Так, применение периодограмманализа (метод Шустера) для исследования колебаний температуры воды на Кольском меридиане позволило выявить такие основные ритмы колебаний, как 5—6, 8—10, 12—13 и 15—17-летние (Бочков, 1964, 1966). На основании полученных закономерностей был составлен долгосрочный прогноз, согласно которому с 1964 по 1970 г. аномалии средней температуры воды на Кольском меридиане будут положительными. В действительности они оказались отрицательными (чуть выше средней многолетней температура воды была лишь в 1970 г.).

В целях установления характера многолетних периодических (вернее квазипериодических) колебаний температуры воды на поверхности моря в Северной Атлантике применялся метод скользящего осреднения по 3 и 5 годам (Серяков, Чулов, 1970). Были выявлены периоды колебания температуры воды в 2—3, 4—5, 10—11 и 19—20 лет. Наиболее четки колебания с периодом 10—11 лет, появление которого связывают с 11-летним циклом солнечной активности.

Периоды 4—5, 8—10 и 18—20 лет уже отмечались в литературе на основании анализа многолетних колебаний гидрометеорологических и биологических характеристик в южной части Баренцева моря (Ижевский, 1961). Частичное совпадение результатов весьма симптоматично. Тем не менее практическое применение найденных закономерностей в прогностических целях не дает пока стабильно удовлетворительных результатов.

Интересные данные получены в результате применения метода спектрального анализа. Так, спектральный анализ уровня моря и температуры воды Северной Атлантики, проведенный в областях от 1 года до 10 лет, показал, что наибольшая энергия приходится на периоды 2,5 года и 5 лет (Дуванин, 1966).

Применение метода спектрального анализа для обработки 90-летнего ряда наблюдений над температурой воды на поверхности моря в Северной Атлантике показало, что вершины с высокими энергиями приходятся на периоды 1 год, 2, 4, 5, 10, 12 и 30—35 лет, причем энергия этих периодичностей также сильно изменяется во времени. Так, в 1880—1910 гг. преобладала 5-летняя периодичность, а далее до 40-х годов — 11 и 30-летняя. В 50-х годах ярко выражены были 10—12-летние периодичности, в 60-х они сменились 5-летними (Potaychuk, 1972).

Практическое применение выводов, полученных методом спектрального анализа, в прогнозах гидрологических условий Северной Атлантики весьма затруднено. Прежде всего результаты спектрального анализа по различным исходным характеристикам зачастую противоречивы или обнаруживают заметную несогласованность. Кроме того, колебания удельного веса тех или иных ритмов (периодичностей) либо носят случайный характер, либо подчиняются закономерностям, которые нам еще неизвестны.

Не менее интересны, но пока тоже неудачны, попытки прогнозирования основных форм общей циркуляции атмосферы в северном полушарии на основе изменений солнечной активности. Так, в атлантико-евразийском секторе на 1961—1964 гг. предсказывалось аномальное развитие зонального переноса (форма W), а на 1965—1970 гг. некоторое замедление зонального переноса (Гирс, 1971). На самом деле интегральная кривая форм W безостановочно шла вниз все десятилетие, несколько затормозившись в 1961—1962 гг. (Покровская, 1969).

К сожалению, пока мы не можем привести пример удачного долгосрочного прогноза¹ более чем на год вперед. В лучшем случае, пользуясь методами эмпирических связей, в начале года можно предсказать более или менее достоверно среднегодовую температуру воды на стандартном разрезе (Ижевский, 1961; Богданов, Потайчук, Солянкин, 1968). Прогноз в данном случае в значительной степени имеет инерционный характер.

Невольно возникает вопрос, справедливо ли, разрабатывая очередную прогностическую модель, мы постулируем наличие обусловленных природных циклов или, во всяком случае, не является ли большинство будто бы выявленных нами различными методами ритмов всего лишь интегральным описанием каких-либо совершенно случайных процессов. Чтобы ответить на этот вопрос, надо, на наш взгляд, вернуться к анализу реально проявляющихся многолетних изменений гидрометеорологических и биологических характеристик, обратив особое внимание на критические точки волнообразных изменений. Особо подчеркнем необходимость этого анализа изменений одновременно на большой площади, чтобы иметь возможность отделить колебания планетарного масштаба от колебаний, обусловленных локальными причинами, причинами низшего порядка.

МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА И ОЦЕНКА ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

В предлагаемой работе нами использованы следующие материалы.

1. Среднемесячные температуры воды на разрезе по Кольскому меридиану (в пределах $70^{\circ}30'$ — $72^{\circ}30'$ с. ш.) за 1921—1971 гг. (ранее 1921 г. наблюдения не были достаточно репрезентативны).

Разрез по Кольскому меридиану представляет собой наиболее длинный ряд наблюдений за температурой воды в слое 0—200 м. В пределах $70^{\circ}30'$ — $72^{\circ}30'$ с. ш. разрез почти по нормали пересекает Мурманское течение, изменчивость температуры воды на разрезе можно отождествить с изменениями интенсивности градиентного (геострофического) течения². В северной части разреза, где выделяются воды левой периферии Мурманского течения, в некоторые месяцы (годы) наблюдаются холодные полярные воды, выносимые из северной части Баренцева моря. Если усиление всей системы теплых и холодных течений произойдет одновременно, изменение средней температуры воды на разрезе в этом случае уже не будет строго соответствовать изменению интенсивности Мурманского течения. Строго говоря, используя температуру воды в качестве показателя интенсивности течения, мы вводим некоторую условность. Однако положительные стороны такой замены очевидны. Величины объема переноса вод, полученные косвенным образом, слишком дискретны; судить по ним о массе теплых вод, вошедших, например, в Баренце-

¹ Под долгосрочным прогнозом в связи с особым характером биологических процессов, причины многолетней изменчивости которых являются нашей целью, мы понимаем прогноз на полугодие и более.

² Под изменением интенсивности течения здесь и далее нами понимается величина адвекции тепла, выраженная средней температурой слоя 0—200 м.

во море, невозможно, даже если наблюдения проводить почти ежедневно. Материалы инструментальных съемок еще более отрывочны и случайны. Наличие многочисленных противотоков может привести исследователя, пользующегося такими данными, к неверным выводам относительно характера и интенсивности переноса вод в районе.

2. Среднемесячные температуры воды на поверхности моря по квадратам Смита Е, М, Н, К, L, N, I, J (Крыдин, 1968) за 1946—1970 гг. (рис. 1). Данные за более ранние годы содержат пропуски, что исключает возможность применения использованной нами методики обработ-

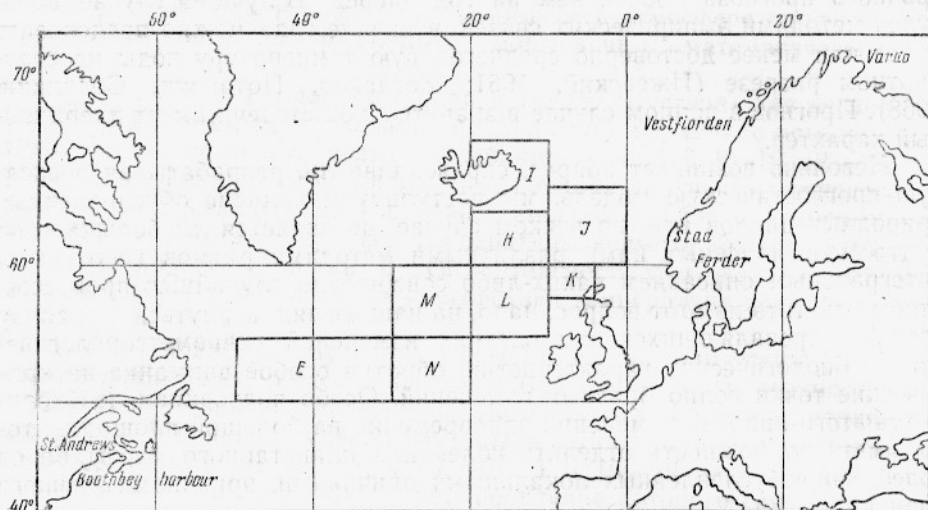


Рис. 1. Расположение опорных станций и квадратов.

ки. По той же причине оказались лишь частично пригодными данные по квадратам А, В, С, D, У, F.

Достоинство величин температуры воды на поверхности моря по квадратам Смита, использованных нами в качестве исходного материала, заключается в том, что они получены в результате массовых измерений. К недостаткам относится нестандартность, несистематичность этих измерений, а также то, что наблюдения по многим квадратам могут охватывать области и теплых и холодных течений. В этом случае увеличение или ослабление интенсивности циркуляции вод может быть затуманено усреднением по квадрату. В то же время в квадратах, через которые проходит течение одного знака, изменение интенсивности течения приводит к однозначному изменению температуры воды. Особенности пространственного положения квадратов относительно схемы циркуляции вод на поверхности моря следует учитывать при анализе многолетних изменений температуры воды.

3. Среднемесячные температуры воды на поверхности моря на прибрежных станциях Норвегии Vardö, Vestfiorden, Stad и Ferder за 1947—1970 гг. (Mditun, 1971) и побережья Северной Америки St. Andrews за 1925—1947 гг. и Boothby harbour за 1947—1970 гг.

Основное достоинство наблюдений за температурой воды на поверхности моря на прибрежных станциях заключается в их непрерывности и регулярности. Кроме того, наблюдения на одной станции проверяются наблюдениями на других, расположенных поблизости. К недостаткам относится большая, чем в других случаях, зависимость температуры поверхности моря от адвекции тепла или холода в атмосфере. Тесная связь изменений температуры воды на поверхности моря на прибрежных стан-

циях с изменениями температуры воздуха позволяет условно относить их как к гидрологическим, так и к метеорологическим процессам.

Конкретно используемые в работе станции относятся к неоднозначным гидрологическим районам: североамериканские — к границе области распространения полярных вод, норвежские — к области распространения атлантических вод. Однако в метеорологическом аспекте все представленные станции располагаются вблизи атлантического полярного фронта.

В работе использованы также среднегодовые значения чисел Вольфа за 1920—1970 гг. и средние температуры по стандартным разрезам в Северо-Западной Атлантике за 1948—1961 гг. (Елизаров, 1962).

Для анализа привлечены данные по урожайности поколений важнейших промысловых рыб (треска, пикша, сельдь) Северной Атлантики и морей Европейского Севера (Templeman, 1972).

С целью исключения влияния сезонных процессов непрерывные ряды среднемесячных температур воды в слое 0—200 м на Кольском меридиане, поверхностных температур по квадратам Смеда и на прибрежных станциях были обработаны методом 12-месячной скользящей средней. При этом любую величину среднемесячной температуры рассчитывали как среднюю из 12 предыдущих, включая ее самое. Тем самым каждая осредненная величина включала в себя последнюю тенденцию изменения температуры воды. Этот момент нам представляется весьма важным, так как часто встречающееся осреднение на начало или середину избранного срока не дает возможности выявить реально проявляющиеся точки перегиба (критические точки) многолетней кривой.

По полученным сглаженным значениям среднемесячных температур были подсчитаны среднегодовые температуры. Среднегодовые температуры отдельных станций, квадратов и разреза по Кольскому меридиану, рассчитанные по сглаженным многолетним кривым, взаимно коррелировались. Коэффициенты корреляции были сведены в таблицу.

Результаты обработки океанографических данных анализировали вместе с материалами ежегодных изменений урожайности важнейших промысловых рыб Северной Атлантики и морей Европейского Севера. В ходе анализа главное внимание уделяли выявлению природных ритмов абиотических и биотических характеристик как важного условия конечного решения проблемы долгосрочного прогнозирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Характер многолетней изменчивости температуры воды в рассматриваемых нами географических объектах складывается из многих компонентов, едва ли не важнейшим из которых, на наш взгляд, является время наступления максимумов и минимумов на волнообразной многолетней кривой. Действительно, точки перегиба любой многолетней кривой, называемые нами далее критическими точками ($n_{кр.т}$), распределяются во времени вполне закономерно. В течение года бывают месяцы, когда критические точки наблюдаются значительно чаще, чем в остальное время. Например, для квадратов Смеда Н, М, К, L, I, J больше всего критических точек приходится на май и ноябрь, для квадрата Е и станций Boothbey harbour и St. Andrews — на апрель — май и декабрь (рис. 2). По всем районам четко выделяются два максимума: майский (39 критических точек) и ноябрьско-декабрьский (35 и 32 критические точки). На три этих месяца приходится 106 критических точек из 256.

Эта довольно четко выраженная полугодовая цикличность в распределении критических точек, по-видимому, имеет прямое отношение к полугодовым ритмам изменения температуры воды (Ижевский, 1961) и уровня моря (Карклин, 1967). В умеренных широтах Атлантического

океана в этом случае совпадают не только периоды волн, но и приближенно время наступления максимумов и минимумов. В общем виде время максимумов совпадает с концом осени — началом зимы и концом весны — началом лета. По-видимому, направление основных физических процессов в атмосфере и гидросфере в переходные сезоны года во многом определяет характер всего года в целом.

Есть указания, что для атмосферы период наиболее активных предикторов относится к ноябрю — январю, а период, в течение которого особенно активно воспринимаются предшествующие воздействия, — лето

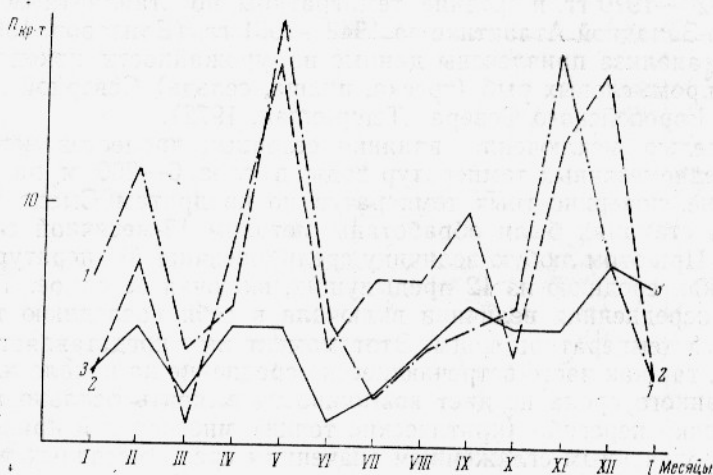


Рис. 2. Повторяемость критических точек:
1 — для квадратов Н, М, К, Л, I, J, N; 2 — для квадрата Е и станций Boothbey harbour и St. Andrews; 3 — для станций побережья Норвегии.

и начало осени (Покровская, 1969). Эти явления легко объяснить исходя из распределения повторяемости критических точек в течение года. В ноябре — январе наблюдается максимальная вероятность смены знака тенденции изменения температуры воды (Harvey, 1965), а в течение лета — в начале осени, как правило, сохраняется тенденция одного знака.

Кроме мая, ноября и декабря несколько повышенное количество критических точек наблюдалось в феврале и сентябре, что позволяет говорить о возможной квазитрехмесячной цикличности.

Минимальные значения числа критических точек по всем группам наблюдений за температурой воды на поверхности моря отмечаются в январе, марте, июне и октябре, т. е. тоже прослеживаются 2—4-месячные ритмы.

Четко выражена полугодовая ритмичность в распределении критических точек и по данным многолетнего ряда наблюдений за температурой воды в слое 0—200 м на Кольском меридиане. Однако экстремальные точки оказались смещенными во времени на 1—2 месяца (июльский и январский максимумы). Нет сомнения, что в данном случае сказывается инерция распространения аномалии температуры воды до глубины 200 м.

Синхронная и асинхронная корреляция числа критических точек для температуры воды на поверхности моря и на разрезе по Кольскому меридиану показала, что наибольшая теснота связи ($r = 0,51$) наблюдается в том случае, когда ряд чисел, относящихся к поверхностным температурам, на 2 месяца опережает данные по Кольскому меридиану.

До сих пор мы рассматривали общие закономерности изменения повторяемости числа критических точек в течение года и не подразделяли

в процессе работы критические точки в вершинах и впадинах многолетней волны. Дальнейшие расчеты показали, что найденные закономерности в общем одинаково верны и для тех и для других.

Однако биологический аспект «вершинных» и «впадинных» критических точек оказался неожиданно разным. Сравнительный анализ данных по урожаям поколений аркто-норвежской трески за 1940—1970 гг. (Templeman, 1972) и многолетнего хода изменения температуры воды на Кольском меридиане (рис. 3) показал, что почти во всех случаях критические точки на впадинах волны являлись предшественниками появле-

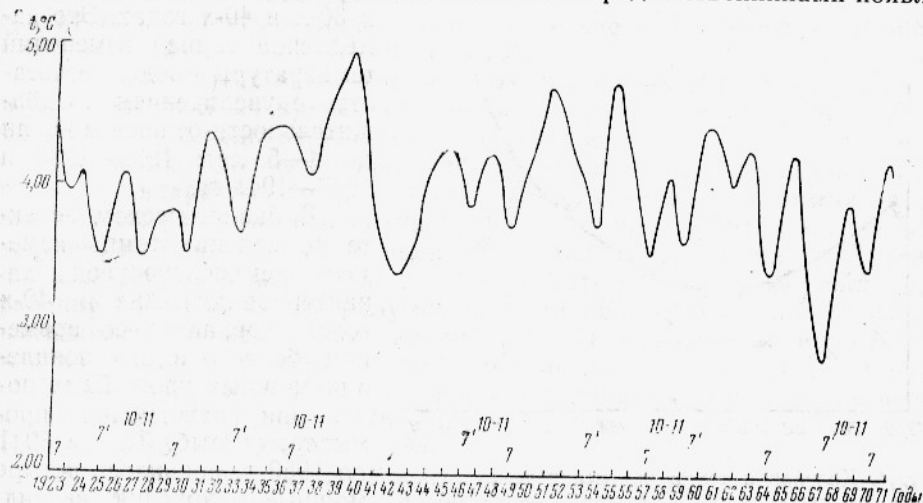


Рис. 3. Многолетние изменения температуры воды на разрезе по Кольскому меридиану в слое 0—200 м (12-месячная скользящая средняя) и индексы природных ритмов.

ния урожайных поколений. В качестве примера можно назвать поколения 1942, 1943, 1948, 1949, 1950, 1953, 1956, 1957 и 1964 гг. Ничего подобного не наблюдается относительно критических точек на вершинах волн. На наш взгляд, к оценке этого явления пока следует отнестись осторожно, хотя бы из-за недостатка надежного материала по урожайности поколений и изменчивости температуры воды в других районах океана. Однако предварительно мы вправе высказать мнение о том, что тенденция повышения температуры, по-видимому, более важна для формирования урожайных поколений, чем общий уровень теплозапаса в море.

Следует напомнить, что изменение температуры воды в значительной степени является индикатором изменчивости многих важнейших океанологических характеристик. В этом смысле впадины многолетней температурной волны соответствуют времени максимального развития зимней вертикальной конвекции — процесса, который в высоких и умеренных широтах определяет снабжение верхних слоев моря питательными солями. Поэтому экстремально холодные зимы возможно являются предвестником максимального расцвета первичной продукции и соответственно значительных изменений биотических условий в целом.

Большой интерес представляет изучение темпа многолетних изменений температуры воды. Уже визуальный анализ кривых многолетнего хода показывает большую неоднородность скоростей изменения. Так, с января 1951 по ноябрь 1953 г. темп изменения не превышал $0,03^\circ$ в сутки, тогда как с ноября 1958 по июль 1959 г. его величина достигала $0,11^\circ$ в сутки.

Исходя из этого, величины $\frac{dt}{dt}$, характеризующие изменения многолетнего хода температуры воды во времени, были подсчитаны для всех

промежутков времени между двумя соседними критическими точками. Полученные результаты лучше всего показать на примере многолетнего хода температуры воды на Кольском меридиане (рис. 4).

Оказывается колебания темпа изменения температуры воды на Кольском меридиане с 1921 по 1971 г. носят волнообразный характер. Максимальные величины наблюдались в начале и в конце рассматриваемого пятидесятилетия: до середины 20-х и с середины 50-х годов.

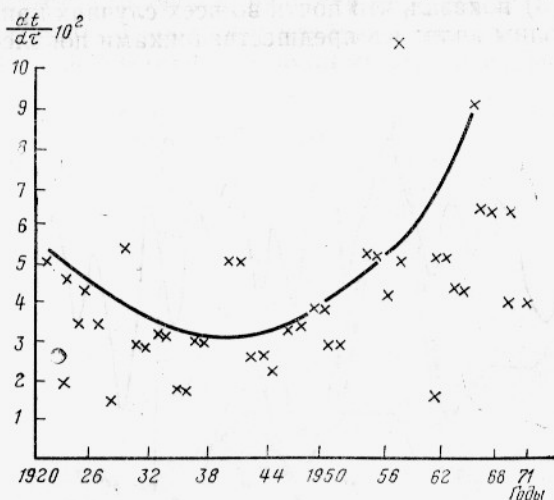


Рис. 4. Колебания темпа изменения температуры воды на разрезе по Кольскому меридиану в 1921—1971 гг.

Значительно медленнее температура воды изменялась в 30-х и 40-х годах. Это замедление темпа изменений температуры воды сочетается с увеличением продолжительности отдельных волн до 4—5 лет: 1933—1936 и 1937—1941 гг.

В биологическом аспекте замедление темпа изменения температуры воды, характерное для 30-х и 40-х годов, совпадает со временем более частого появления мощных урожайных поколений важнейших промысловых рыб. Так, с 1941 по 1950 г. появилось четыре мощных поколения исландской трески, а с 1951 по 1960 г. лишь одно.

В целом большинство урожайных поколений приходится на средний (для каждого отдельного периода) уровень темпа изменения температуры воды.

Примененная нами методика фильтрации сезонных явлений позволила наглядно выявить реальные волны многолетних изменений температуры воды. Основные закономерности этих изменений поначалу лучше всего рассматривать на примере наиболее длинного и репрезентативного ряда наблюдений на разрезе Кольского меридиана (см. рис. 3).

Прежде всего заметны постоянные изменения частоты и амплитуды реальных волн: от 1,5 до 5 лет и от 0,2 до 1,6°. Для Кольского меридиана средняя частота волн равна приблизительно 2 годам 9 месяцам. Сразу же отметим, что средние частоты реальных волн многолетних изменений температуры воды на поверхности моря по квадратам Смеда и прибрежным станциям заметно меньше: от 1,9 до 2,5 года. Возможно это явление объясняется тем, что инерция изменения температуры воды в слое 0—200 м значительно больше, чем на поверхности моря.

Максимальная температура на Кольском меридиане за все время наблюдения приближалась к 5°, минимальная равнялась 2,8°. Пределы колебаний температуры воды на прибрежных станциях Северной Америки немного больше (например, на Boothbey harbour 7,5 и 11°), а на большинстве станций побережья Норвегии и в квадратах Смеда несколько меньше (разность максимумов и минимумов не превышает 2°).

Почти все впадины волн многолетних колебаний температуры воды на Кольском меридиане располагаются ниже 4°. Анализ повторяемости этих впадин по годам приводит к любопытным результатам. Так, начиная с 40-х годов (в послевоенное время частота наблюдений возросла, а вооруженность океанологов заметно улучшилась), по времени наступления впадин довольно четко прослеживается двойной 7-летний

(6—8-летний) ритм. Например, январь 1942, ноябрь 1948, октябрь 1956, январь 1964, январь 1972 или июль 1946, ноябрь 1953, октябрь 1960, январь 1967 гг. Аналогичные ритмы можно выделить и по вершинам многолетней кривой, но по впадинам ритмы выделяются четче.

С другой стороны, на кривой многолетних изменений температуры воды на Кольском меридиане прослеживаются впадины в ноябре 1948, ноябре 1958, сентябре 1969 гг., т. е. близко к срокам наступления максимума чисел Вольфа или через 3—4 года после наступления минимума солнечной активности. Приблизительно в эти же сроки (и только в эти сроки) наблюдались и минимальные (близкие к 4°) значения вершин волн: июль 1947, январь 1958 и июль 1968 гг.

Никаких других четко выраженных природных ритмов (кроме 6—8 и 10—11-летних) по кривой многолетних изменений температуры воды на Кольском меридиане обнаружить не удалось.

На многочисленных кривых многолетних изменений температуры воды по квадратам Смеда и прибрежным станциям, несмотря на существенные различия в инерции процессов и продолжительности волн, экстремные (опорные) точки приходится приблизительно на те же даты, что и на Кольском меридиане. Чтобы убедиться в этом, мы составили таблицу наступления экстремумов по всем кривым многолетнего хода, имеющимся в нашем распоряжении (табл. 1). Суммирование экстремумов по годам позволило получить абстрактные (условные) кривые наступления экстремумов (по вершинам и впадинам). Здесь также четко прослеживается 7-летний (6—8-летний) ритм, например 1949, 1956, 1963 или 1953, 1960 и 1967 гг.

Близкими к данным по Кольскому меридиану получились результаты и по 10—11-летнему ритму (1948, 1958 и 1968 гг.). Чтобы наметить пути возможной оценки роли солнечной активности в многолетних изменениях температуры воды в Северной Атлантике мы произвели синхронную и асинхронную корреляцию годовых величин чисел Вольфа со среднегодовыми температурами воды в пяти квадратах Смеда. Предварительно во всех рядах наблюдений были отфильтрованы колебания с частотами меньше 5 лет. Наибольшая теснота связи имеет место, когда корреляция производится с 3—4-летним сдвигом (опережением) чисел Вольфа относительно температур воды (максимальные коэффициенты корреляции варьировали от 0,47 до 0,80).

Семилетние ритмы, обнаруженные нами по многолетним изменениям температуры воды, не менее ярко выделяются по чисто биологическим проявлениям. Уже первичный анализ данных по урожайности поколений тресковых в важнейших районах Северной Атлантики и морях Европейского Севера (табл. 2, по Templeton) показывает, что большая часть урожайных поколений падает на годы экстремных значений намеченного нами 7-летнего ритма. Чтобы убедиться в этом, мы рассчитали суммарные индексы повторяемости урожайных поколений арктонорвежской трески и пикши, исландской трески и пикши, гренландской трески, а также трески и пикши двух районов Ньюфаундленда (табл. 2).

На кривой (рис. 5) четко выделяются годы: 1942, 1949—1950, 1956, 1964 и предположительно 1970, а также 1946, 1953, 1961 и возможно 1968 (мало данных).

Однако каких-либо связей биологических факторов с 10—11-летним ритмом по имеющимся в нашем распоряжении исходным данным не обнаруживается.

Наличие 7-летних (6—8-летних) ритмов в различных (абиотических и биотических) природных явлениях отмечалось неоднократно. Достаточно привести пример ритмов Эль-Ниньо (Бьеркнес, 1966) или уловов тунцовых в Средиземном море вблизи Гибралтара (Rodríguez-Roda, 1965).

Время наступления минимумов

Квадраты, станции	Г о													
	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954
J						—		XI			IX	XII		
I						—			VIII			III, X		
K						—	V		V		IX		I	
L						—			I					
H						—			V		V	X		
Vardö						—	—	XI					IV	
Vestfiorden						—			XII				V	
Stad						—		IX			IX		IV	
Ferder						—		II		III	X		II	
M						—	V	XI		VIII	XI		VII	
E						—		IX			X		IV	
Boothbey harbour						—	—	—	—	—	XII		XII	
Кольский меридиан		I				V		XI					XI	
Число случаев		1				1	2	7	5	2	8	3	9	0

Примечание. Знак тире свидетельствует об отсутствии достоверных данных.

Урожайные поколения трески и пикши в вэж

Объекты промысла	Г о											
	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	
Аркто-норвежская треска	—	×	×					×	×	×	×	×
Аркто-норвежская пикша	—								×		×	
Западногренландская треска	—	×		×		×				×		
Исландская треска	—	×			×					×	×	×
Исландская пикша	—				×	×				×	×	×
Ньюфаундлендская треска	—					×				×		
Ньюфаундлендская пикша	—	×				×				×		
Суммарный индекс	—	4	1	1	2	4	1	2	5	5	3	
Символы ритмов	—	△				□				△		

Важно отметить, что и в этих случаях экстремные точки расположены очень близко по времени с представленными нами ранее. Так, ритмы Эль-Ниньо в послевоенные годы были наиболее ярко выражены в 1956—1957, 1964—1965 и 1971—1972 гг.

Максимальные выловы тунцов в Средиземном море вблизи Гибралтара приходились на 1949—1950, 1956—1957 и 1962—1963 гг. Если принять средний возраст добытых тунцов 7 лет (промысел охватывал тунцов в возрасте 4—5 и 9 лет), то наиболее урожайными будут опять годы 1942—1943, 1949—1950 и 1955—1956.

Таблица 1

многолетнего хода температуры воды

ды																	
1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
VI	XI		V				XII				II	XI		—	—		
V	I		IV		—	—	XII				II		II		—		
V	XII		VI					V		VII		X		—	—		
III		II					IV					XI		—	—		
V	VIII		VI		II		XII	XI		V			II				
	XI		IX		XII			IV		IX	XII		XII				
	IV		V		XII			IV		V	V		XI			I	
	IX		VII					V		V	V			VI	VIII		
VI	XI		VIII			II		V	XI					V	X		
	IX		IX		XI			IV		VIII			XII				
V	II		IX				XI			V			V				
X		VII			XII				II		III		—	—	—		
	XI		XI			IX						I		IV			I
8	11	2	11	0	5	2	5	7	3	5	7	5	6	3	3	0	1

Таблица 2

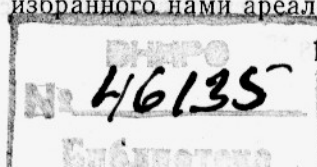
нейших промысловых районах (по Темплетан)

ды																		
1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
		×		×	×	×	×	×		×	×	×					?	?
	×			×	×		×	×	×		×	×					×	×
	×			×	×		×	×	×		×	×		×				×
	×		×	×	×	×	×	×	×	×		×		×				×
×	×		×	×	×	×	×	×	×	×		×		×				×
1	5	1	4	6	4	4	3	3	3	2	3	5	1	2			1	2
	□			△		□						△						△

Как известно, причиной «семилетних» ритмов считают биения, возникающие в результате взаимного наложения нутационной 14-месячной свободной волны и приблизительно 12-месячной вынужденной (Максимов, 1970).

Ритмы, полученные нами, по-видимому, подобны ритмам геофизического характера. Однако для нас остается неясной причина проявления двойных 7-летних ритмов, а также причина фактического совпадения сроков наступления экстремных точек на разных широтах.

Чтобы получить представление о характере изменчивости температурных условий во всех районах (подрайонах) избранного нами ареала,



среднегодовые величины температуры воды всех станций, квадратов и разреза по Кольскому меридиану прокоррелировали между собой. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Совершенно очевидно, что подавляющее большинство избранных нами объектов наблюдений относится к одной (атлантической) системе. Это квадраты Смеда Н, К, J, I, прибрежные станции Норвегии и разрез по Кольскому меридиану. Квадраты Е, М и отчасти станция Boothbey

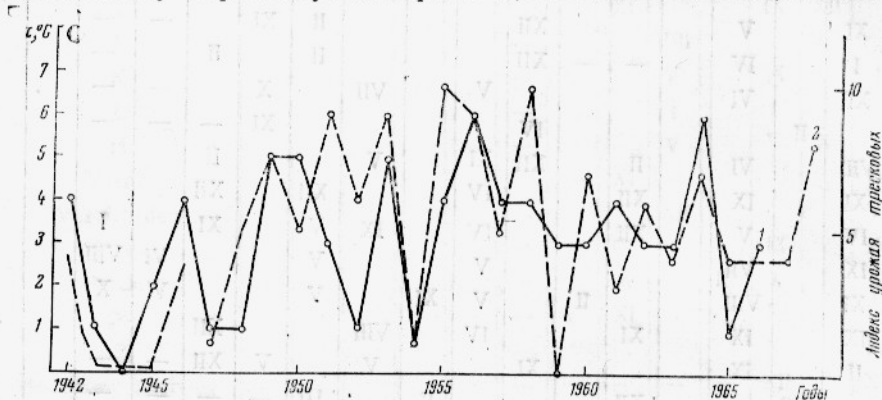


Рис. 5. Многолетние изменения суммарных индексов урожая тресковых в важнейших промысловых районах Северной Атлантики, Норвежского и Баренцева морей (1) и суммарные индексы повторяемости впадин многолетнего хода температуры воды на поверхности моря в квадратах Смеда и на прибрежных станциях Норвегии и Северной Америки (2).

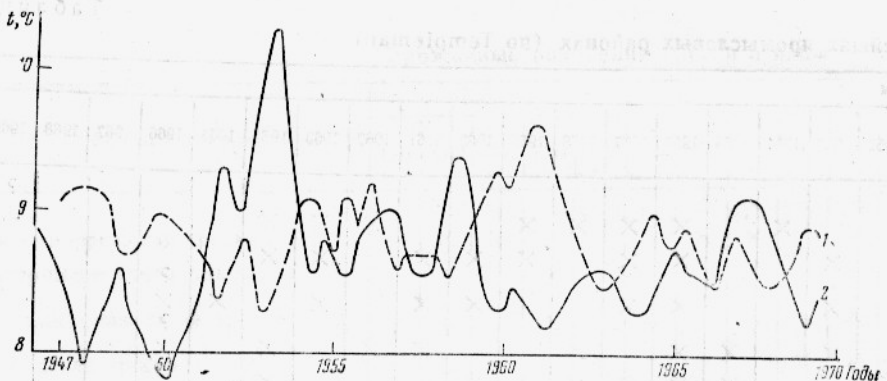


Рис. 6. Многолетние колебания температуры воды на поверхности моря (12-месячные скользящие средние): 1 — в квадрате J; 2 — в квадрате Е.

harbour, изменения температуры на которых находятся в противофазе к изменению ее на первых, относятся к системе Лабрадорского течения — одного из основных источников выноса полярных вод в Атлантический океан.

Наиболее ярко общий характер изменений в системе теплых течений Северной Атлантики отражают данные по квадратам J и K, расположенным в ядрах атлантических вод, по станциям Vardö, Vestfiorden, Stad (прибрежная ветвь Норвежского течения) и разрезу по Кольскому меридиану.

Наибольшие коэффициенты корреляции с отрицательным знаком (до $-0,60$), отражающие противофазность изменений температуры воды (соответственных изменениям интенсивности течений) в Атлантической и Североамериканской системах, приходятся на квадраты Е и J.

1952

Таблица 3

Коэффициенты корреляции среднегодовых температур воды в квадратах Смеда, на прибрежных станциях и на разрезе по Кольскому меридиану

	Va	Ve	J	St	Fe	K	Ko	H	Z	B. h.	M	E	
Va		0,93	0,74	0,88	0,70	0,45	0,68	0,30	0,28	-0,05	-0,33	-0,41	Va
	Ve		0,61	0,85	0,57	0,49	0,64	0,21	0,16	0,07	-0,42	-0,35	Ve
		J		0,81	0,55	0,70	0,34	0,59	0,57	-0,36	-0,03	-0,59	J
			St		0,73	0,69	0,59	0,21	0,24	-0,01	-0,51	-0,47	St
				Fe		0,46	0,55	0,01	0,08	0,25	-0,41	-0,50	Fe
					K		0,28	0,53	0,72	0,04	0,28	-0,39	K
						Ko		0,00	0,08	-0,52	-0,46	-0,15	Ko
							H		0,84	-0,36	0,37	0,00	H
								L		-0,33	0,57	-0,01	L
									B. h.		-0,36	0,54	B. h.
										M		0,43	M
											E		E

Примечание. J, K, H, M, E, L — квадраты Смеда; Va — Vardö; Ve — Vestfjorden; St — Stad; Fe — Fejder; Ko — разрез по Кольскому меридиану; B. h. — Boothbey harbour.

Графическое изображение этой противофазности в наиболее чистом виде представлено на рис. 6, на котором даны кривые многолетних изменений температуры воды в квадратах Смеда E и J. Заметим, что здесь представлены районы открытого моря, далекие от прибрежных мелководий, особенно находящихся под влиянием выноса масс полярного воздуха. Здесь почти не чувствуется влияния каких-либо долгопериодных, общих для всей Северной Атлантики, процессов изменения температуры воды.

Иное дело, если мы возьмем для примера какие-либо прибрежные станции (или квадраты), которые расположены в сфере выноса полярных вод или воздуха. Так, на рис. 7, на котором представлен ход многолетних колебаний температуры воды на прибрежных станциях Vardö, Boothbey harbour, отчетливо видно, как на постоянно «работающий» процесс противофазности колебаний температуры воды в этих диаметрально удаленных от Исландской области низкого давления районах накладывается общий долгопериодный процесс понижения температуры воды, получивший в последнее время известность как новое «похолодание Арктики» (в противоположность потеплению 20—50-х годов), «новый ледниковый период» (Rodewald, 1972) и т. п.

Низкие величины коэффициентов корреляции при сопоставлении каких-либо противоположных по фазности районов объясняется именно этой двойственностью процессов, характерной для приполярных областей в целом и прежде всего для прибрежных участков моря.

Анализ имеющихся в нашем распоряжении материалов показывает, что в большинстве случаев долгопериодные изменения температурных условий происходят не плавно, а относительно резким скачком, как бы «выбрасывая» температурные условия на новый уровень за 1—3 года.

Для примера рассмотрим многолетние изменения температуры воды в Boothby harbour и на разрезе по Кольскому меридиану. Здесь можно

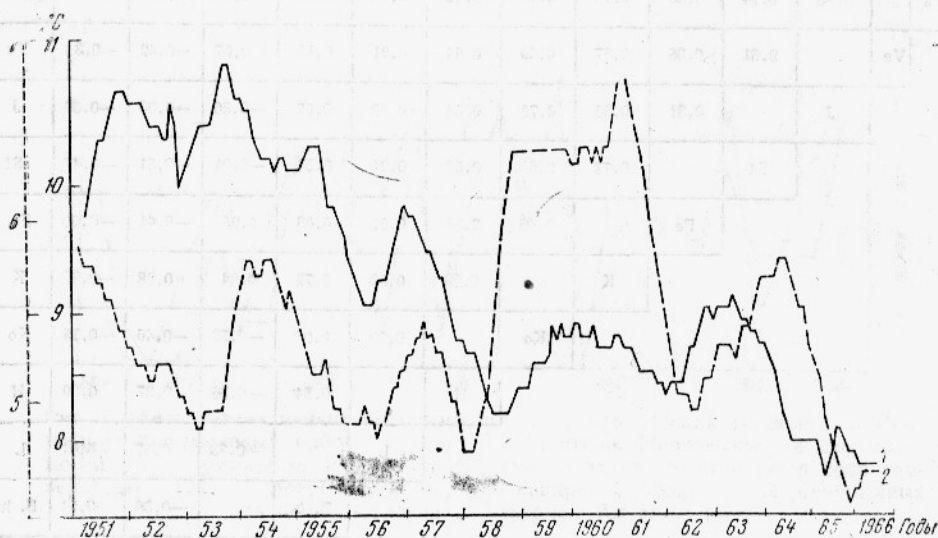


Рис. 7. Многолетние колебания температуры воды на поверхности моря: 1 — на станции Vardø; 2 — на станции Boothby harbour.

условно выделить два уровня, соответствующих температуре воды 10—11°С в Boothby harbour (1946—1955 гг.) и температуре ниже 9,5°С (1958—1964 гг.). Между ними легко выделяются годы перехода с одного уровня на другой. Коэффициенты корреляции среднемесячных температур воды на разрезе по Кольскому меридиану и Boothby harbour равны соответственно по уровням —0,46 и —0,24, а по времени перехода 0,62. Интересно, что годы переходов на новый уровень нам уже знакомы: они соответствуют экстремным точкам 7-летних или 10—11-летних ритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних изменений температуры воды и урожайности поколений важнейших промысловых рыб в Северной Атлантике и морях Европейского Севера показал, что и в абиотических и в биотических условиях, по-видимому, присутствует двойной 7-летний (6—8-летний) ритм, особенно четко проявляющийся на впадинах многолетнего хода. В абиотических условиях проявляется также 10—11-летний природный ритм, возможно связанный с многолетними изменениями солнечной активности.

Восходящие и нисходящие ветви реальных многолетних волн начинаются не разбросанно (случайно) в течение года, а подчиняясь определенным закономерностям. Большей частью изменение знака аномалии падает на критические точки, относящиеся к маю и ноябрю — декабрю.

В многолетних изменениях температуры воды обнаруживаются и отчетливые колебания темпа изменения, соответствующие заметному увеличению или уменьшению продолжительности реальных волн.

Анализ подтвердил также явление противофазности колебаний температуры воды в западных и восточных частях Северной Атлантики. В прибрежных участках этих районов и в высоких широтах на эти колебания накладывается общий процесс долгопериодных однофазных колебаний, подобных известному «потеплению Арктики».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Богданов М. А., Потайчук С. И., Солянкин Е. В. Системы прироста и гидрологические, промысловые прогнозы. — «Рыбное хозяйство», 1968, № 3, с. 7—11.

Бочков Ю. А. О долгопериодных колебаниях термики Баренцева и Норвежского морей. — «Труды ПИНРО», 1964 вып. XVI, с. 277—288.

Бочков Ю. А. Прогноз температуры воды в Баренцевом море на 1965—1970 гг. — В кн.: Материалы сессии ученого совета ПИНРО. Мурманск, 1966, с. 64—74.

Бьеркнес Я. Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы. — В кн.: Второй международный океанологический конгресс. Тезисы докладов. М., 1966. 76 с.

Валерианова М. А., Серяков Е. И. О многолетних изменениях в системе океан — атмосфера. — «Океанология», 1970, вып. 5, с. 750—756.

Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л., Гидрометеиздат, 1971. 279 с.

Дуванин А. И. О периодичности в гидрометеорологических процессах. — В кн.: Второй международный океанологический конгресс. Тезисы докладов. М., 1966. 152 с.

Елизаров А. А. О межгодовых колебаниях интенсивности Лабрадорского и Западно-Гренландского течений и о возможности прогноза температурных условий года в промысловых районах северо-западной части Северной Атлантики. — «Океанология», 1962, вып. 5, с. 796—809.

Ижевский Г. К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М., Пищепромиздат, 1961. 216 с.

Карклин В. П. Полугодовые колебания среднего уровня в Атлантическом океане и их причины. — «Океанология», 1967, вып. 6, с. 987—996.

Крындин А. Н. Средние и месячные температуры воды, воздуха и разности температур воды и воздуха в Северной Атлантике (1948—1967 гг.). Л., Гидрометеиздат, 1968. 117 с.

Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л., Гидрометеиздат, 1970. 447 с.

Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелио-геофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969. 254 с.

Серяков Е. И., Чулов О. А. Многолетние колебания температуры воды на поверхности в Северной Атлантике. — «Труды Ленинградского гидрометеорологического института», 1970, вып. 41, с. 35—44.

Тимонов В. В., Смирнова А. И., Непоп К. И. Об очагах взаимодействия океана и атмосферы. — «Океанология», 1970, вып. 5, с. 745—749.

Elizarov A. A. Long-term variations of oceanographic conditions and stocks of cod observed in the areas of West Greenland, Labrador and Newfoundland. ICNAF, Special publ. N 6, Dartmouth, Canada, 1965, p. 827—832.

Harvey I. Factors affecting water temperature in the seas north of Norway ICNAF, Special publ. N 6, Dartmouth, Canada, 1965, p. 869—880.

Mittun L. Long-term observation series on surface temperature and salinity in Norwegian coastal water. Int. Coun. for the Explor. of the Sea, Hydrography Committee C. M., 1971, p. 25.

Potaychuk S. I. Some results of the long-term variability of water temperature in the North Atlantic Cons. int. pour L'Explor. de la Mer, Rapp. et Proces Verbaux, v. 162, 1972, p. 154—158.

Rodewald M. Temperature conditions in the North and North-West Atlantic during the decade 1961—70, ICNAF Special publ., N 8, Dartmouth, Canada, 1972, p. 9—34.

Rodriguez-Roda. Las fluctaciones en la produccion de las albadrabas sudatlantic. Puntal, Alicante, 1965, p. 86—99.

Templeman W. Year-class success in some North Atlantic stocks of Cod and haddock. ICNAF, Special contribution, N 8, Dartmouth Canada, 1972, p. 223—238.

On long-term fluctuations in temperature of water and fish production in the North Atlantic, Norwegian and Barents Seas

A. A. Elizarov

SUMMARY

The analysis of long-term fluctuations in the temperature of water and yield of year-classes of most important commercial species of fish in the North Atlantic and north European seas in 1946—1970 has been made. It is shown that two independent quasi-7-(6-8)-year rhythms are displayed in the extremes of the long-term fluctuations, e. g. 1949, 1956, 1963 or 1953, 1960 and 1967.

Fluctuations in the temperature of water also show a natural 10-11-year rhythm which is very likely to be associated with long-term fluctuations in the solar activity.

The extremes of long-term curves (critical points) are mainly observed in May and November-December. The counter-phase patterns of annual fluctuations in the temperature of water in the west and east parts of the North Atlantic (systems of warm and cold currents) are coexisted to a one-phase pattern of long-term fluctuations in these areas which is similar to the well-known "warming of the Arctic". The latter is distinctly marked in the coastal areas and in high latitudes.