

В. Н. Малинин
В. М. Радикевич
С. М. Гордеева
Л. А. Куликова

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ВИХРЕВОЙ
АКТИВНОСТИ
АТМОСФЕРЫ
НАД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКОЙ**



Санкт-Петербург
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
2003

УДК 551.542.1(261.1)

Рецензент д-р физ.-мат. наук профессор В. Ф. Романов (ААНИИ)

Приведены результаты расчета индексов вихревой активности атмосферы (интенсивности, повторяемости циклонов и антициклонов) над Северной Атлантикой за 1946—1996 гг. Рассмотрены их климатологические оценки, пространственно-временная изменчивость, статистические связи с гидрометеорологическими процессами и характеристиками. Обсуждены генезис формирования межгодовых колебаний горизонтального переноса водяного пара, а также методы его параметризации. Рассмотрена пространственно-временная изменчивость горизонтального переноса влаги и его возможное влияние на межгодовые колебания увлажнения поверхности суши и стока крупных рек ЕТР.

Книга предназначена для специалистов в области климатологии, гидрологии и океанологии. Может быть полезна аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

The results of calculation of atmosphere eddy activity indexes (intensity, frequency of cyclones and anticyclones) over North Atlantic for the period of 1946—1996 are given. Considered are their climatological estimates, space-time variability, statistical relations with hydrometeorological processes and characteristics. Both the interannual oscillation formation genesis of water vapour horizontal transfer and methods of its parametrization are discussed. Considered are the space-time variability of horizontal moisture transfer and its possible influence on interannual oscillations of land surface moistening and flow of ETR large rivers.

The publication is intended for specialists in climatology, hydrology and oceanology. It may be useful for undergraduate and postgraduate students of appropriate specialities.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) (грант 02-05-65294).



М 1805040000-29
069(02)-2003

© В. Н. Малинин, В. М. Радикович,
С. М. Гордеева, Л. А. Куликова,
2003 г.

ISBN 5-286-01483-6

370713

ВВЕДЕНИЕ

Изучение генезиса колебаний увлажнения поверхности суши (УПС) относится к числу наиболее актуальных проблем современной гидрометеорологии, поскольку самые современные агротехнические мероприятия не в состоянии компенсировать потери сельскохозяйственных продуктов, и прежде всего зерна, из-за сильных засух или, наоборот, переувлажнения почвы. Так, катастрофическая летняя засуха 1972 г. во многих районах европейской территории России (ЕТР) привела к значительному снижению урожая зерновых, а затем сказалась в неполном заполнении водохранилищ Волжского каскада в период половодья 1973 г., вследствие чего резко снизилась выработка электроэнергии. И подобных примеров можно было бы привести немало.

УПС представляет собой важнейший климатический фактор, обуславливающий изменчивость речного стока и прежде всего стока крупных рек. Основной показатель УПС — общее (абсолютное) увлажнение, т. е. разность между количеством осадков и суммарным испарением. В пределах достаточно крупных регионов межгодовая изменчивость осадков не только в холодный, но даже в теплый период значительно превышает аналогичную изменчивость суммарного испарения и поэтому является определяющим фактором формирования межгодовых колебаний стока крупных рек.

Выполненные ранее в РГГМУ исследования [46, 72] впервые позволили в первом приближении выявить причинно-следственные связи между колебаниями стока крупных рек ЕТР и климатообразующими факторами в Северной Атлантике и разработать приближенную генетическую концепцию этих колебаний.

В соответствии с данной концепцией основным стокоформирующим фактором являются процессы крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы. Если в результате этих процес-

сов в холодный период года в Северной Атлантике резко возрастают эффективное испарение и циклоническая активность, то соответственно большее количество водяного пара будет перенесено в атмосфере на континент и большее количество осадков выпадет на ЕТР. В результате этого увлажнение усиливается и увеличивается весенний и годовой сток крупных рек. Обратная картина должна наблюдаться при ослаблении эффективного испарения и циклонической активности в атмосфере.

Однако взаимосвязь эффективного испарения с циклонической активностью и другими климатообразующими факторами остается пока невыясненной. Очень слабо развиваются исследования циклонической активности в атмосфере над Северной Атлантикой. Практически почти все они касаются лишь оценки ее повторяемости, причем, как правило, подобные расчеты осуществляются по синоптическим картам, т. е. по сути вручную.

Неясен также вклад отдельных процессов взаимодействия океана и атмосферы в формирование межгодовой изменчивости горизонтального переноса атмосферной влаги и на колебания УПС.

Таким образом, проблему изучения межгодовой изменчивости крупномасштабного влагообмена в системе океан—атмосфера—суша, на наш взгляд, следует считать ключевой в понимании генезиса формирования колебаний увлажнения поверхности суши, стока крупных рек и уровня озер, в том числе и уровня Каспийского моря.

К сожалению, современные исследования по рассматриваемой проблеме выполняются в основном разрозненно, в рамках отдельных наук о Земле (океанологии, гидрологии, метеорологии). Кроме того, следует отметить явно разную долю внимания исследователей к различным аспектам данной проблемы. Например, если тепловому взаимодействию океана и атмосферы посвящен не один десяток монографий, то крупномасштабный влагообмен в системе океан—атмосфера изучен значительно хуже. Особенно мало внимания уделено задаче изучения колебаний горизонтального переноса атмосферной влаги, исследование которого в России в последние годы вообще прекратилось, а за рубежом проводится в основном в рамках интересов США. Естественно, что из-за этого существенно затруднено выявление генезиса колебаний увлажнения и стока крупных рек ЕТР.

Очевидно, только одновременный расчет всех составляющих влагооборота в системе океан—атмосфера—суша и совместный комплексный анализ их колебаний за длительный ряд лет может способствовать выявлению генезиса их колебаний. В связи с этим в данной книге обсуждены следующие основные задачи:

1) расчет и климатологический анализ индексов вихревой активности атмосферы (интенсивности, повторяемости и общей циклоничности и общей антициклоничности), рассчитанных по срочным (через 12 ч) данным об атмосферном давлении в узлах географической сетки в Северной Атлантике за многолетний период 1946—1996 гг.;

2) детальный анализ пространственно-временной изменчивости индексов вихревой активности атмосферы (ИВА), а также компонентов влагообмена в системе океан—атмосфера;

3) классификация индексов вихревой активности по их пространственно-временной изменчивости;

4) оценка взаимосвязей индексов вихревой активности атмосферы с гидрометеорологическими процессами в Северной Атлантике;

5) оценка роли различных факторов крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в формировании межгодовой изменчивости переноса атмосферной влаги над Северной Атлантикой;

6) разработка методики параметризации и расчет составляющих горизонтального переноса водяного пара над Северной Атлантикой за длительный период времени, а также анализ крупномасштабной изменчивости этого переноса;

7) оценка вклада горизонтального переноса водяного пара над Северной Атлантикой в формирование межгодовых колебаний увлажнения и стока крупных рек ЕТР.

По существу, исходя из указанных задач и построено изложение данной книги. Очевидно, поэтому нет необходимости приводить содержание ее отдельных разделов.

Не на все поставленные вопросы получены исчерпывающие ответы, ибо познание природных процессов, как и сама природа, бесконечно.

Необходимо отметить, что определенную помощь при обработке исходных данных и выполнении расчетов авторам оказывали многие студенты океанологического факультета РГГМУ, для которых эта проблема стала первой ступенькой на пути к познанию природных закономерностей.

Кроме того, авторы считают своим долгом выразить благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований, так как исследования по данной проблеме выполняются непосредственно при его финансовой поддержке.

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

- ВБА — водный баланс атмосферы
ЕСР — естественный синоптический район
ЕТР — европейская территория России
ИВА — индекс вихревой активности атмосферы
КА — кластерный анализ
МЛР — модель множественной линейной регрессии
ОЦА — общая циркуляция атмосферы
САК — Северо-Атлантическое колебание
СЕБ — Северо-Европейский бассейн
ТПО — температура поверхностного слоя океана
УПС — увлажнение поверхности суши
ЦДА — центр действия атмосферы

ГЛАВА 1. Краткий обзор индексов циркуляции атмосферы

Циркуляция атмосферы над Северной Атлантикой из-за обладающего западного переноса в умеренных и высоких широтах имеет исключительно важное значение в формировании увлажнения и его колебаний в Европе и на БТР.

Векторное поле скорости ветра над открытым океаном описать очень трудно, при этом также невозможно прямо оценить атмосферный перенос, поэтому для изучения атмосферной циркуляции обычно используются косвенные подходы на основе, главным образом, данных о приземном давлении или абсолютном геопотенциале. Естественно, последний лучше характеризует крупномасштабные закономерности циркуляции, поэтому для построения его поля необходимы данные радиозондовых наблюдений, которых над океаном крайне мало, а спутниковые измерения недостаточно надежны и начаты сравнительно недавно.

С учетом этого вполне оправданным представляется использование поля приземного (приводного) давления, точность построения которого существенно выше из-за возможности привлекать результаты наблюдений на коммерческих судах, буях и на обширной сети береговых и островных станций. Однако следует иметь в виду, что поле давления или геопотенциала позволяет описать атмосферную циркуляцию только в геострофическом приближении, которое может заметно отличаться от реальной ситуации, особенно в пограничном слое атмосферы.

Естественно, что в настоящее время используется множество разных подходов к проблеме параметризации и типизации общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Кратко рассмотрим основные из них.

Так, например, в работах [26, 62] для этого предложено использовать циркуляцию вектора скорости Γ по контуру L [39]:

$$\Gamma = \oint_{(L)} V dl = \oint_{(L)} V_l dl, \quad (1.1)$$

где V_l и l — проекция вектора скорости и длина контура соответственно.

В геофизической гидродинамике величина Γ применяется для описания циркуляции, возникающей согласно теореме Томсона за счет бароклинности, вязкости и силы Кориолиса, которые вызывают ускорение циркуляции $d\Gamma/dt$. Если считать, что в начальный момент времени $\Gamma = 0$, то, зная $d\Gamma/dt$, можно определить Γ для любого момента времени t , а затем среднюю проекцию скорости на контур:

$$V_{\text{ср}} = \Gamma/l.$$

Для метеорологии эта величина $V_{\text{ср}}$, например, представляет собой среднюю скорость бризовой или муссонной циркуляции.

Конечно, величина Γ является интересной физической характеристикой поля скорости. Она имеет размерность коэффициента турбулентности, а величина $d\Gamma/dt$ — размерность удельной кинетической энергии. Согласно теореме Стокса

$$\Gamma = \iint_{\sigma} \Omega_n d\sigma = \bar{\Omega}_n \sigma. \quad (1.2)$$

Циркуляция скорости однозначно связана со средней проекцией вихря Ω_n на нормаль к поверхности σ , стянутой контуром l .

Для горизонтального контура величина Ω_n равна средней проекции относительного вихря на ось z :

$$\Omega_n = \Omega_z.$$

Однако использование Γ как характеристики циркуляции вряд ли оправданно хотя бы уже потому, что

$$\Gamma = \bar{V}_l l,$$

т. е. зависит еще и от длины контура l .

Если определение величины Γ по произвольному плоскому контуру можно оправдать тем, что она позволяет косвенно оценить средний вихрь скорости (хотя его можно оценить и непосредственно для заданного поля скорости), то расчет циркуляции по широтному кругу, как это делают авторы работ [26, 62], лишен и этого физического смысла.

Действительно, в этом случае величина Γ равна потоку относительного вихря в направлении оси вращения Земли, а Ω_n связана с Ω_z соотношением

$$\Omega_z = \Omega_n \sin\varphi,$$

т. е. $\Omega_n \rightarrow \Omega_z$ только в высоких широтах, причем при $\varphi \rightarrow 0$ величина $\Omega_z \rightarrow 0$.

Наконец, предложенную авторами работ [26, 62] характеристику

$$G = \Delta\Gamma/\Delta\varphi$$

нет оснований трактовать в качестве интенсивности циркуляции, поскольку она просто учитывает совместное влияние изменения по широте как средней широтной составляющей скорости ветра, так и длины широтного круга.

Очень широко распространены в практических расчетах косвенные параметризации циркуляции атмосферы, основанные на использовании барического поля. Естественно, каждая из них имеет те или иные достоинства и недостатки, зависящие главным образом от того, для какой цели она предназначена. К числу наиболее известных относится типизация Вангейгейма—Гирса [17, 18, 23], которая широко применяется в ААНИИ и других учреждениях России, а также в некоторых зарубежных странах при разработке метеорологических и гидрологических прогнозов различной заблаговременности. В дальнейшем предпринимались попытки детализировать эту типизацию [16, 30].

Согласно данной типизации выделяются три основные формы циркуляции, которыми обобщаются все возможные варианты атмосферных процессов для тропосферы умеренных широт, обнаруживаемые на ежедневных картах погоды:

- 1) западная W,
- 2) восточная E,
- 3) меридиональная С.

В периоды переходов одной формы в другую встречаются комбинированные формы:

$$E + W, \quad W + C, \quad E + C.$$

Степень преобладания процессов определяется по отклонению их повторяемости от нормы в соответствующих месяцах и сезонах.

Форма W характеризуется аномальным развитием западно-восточного переноса в умеренных широтах Северной Атлантики и Европы, где барический градиент направлен с юга на север, градиент температуры также направлен с юга на север и по величине больше нормы.

Для оценки интенсивности циркуляции предлагалось вычислять отклонение градиентов давления от нормы для разных секторов северного полушария (например, для Атлантики использовать градиент давления между Понта-Дельгада и Стиккисголь-

мом, для Европы — между Киевом и Ленинградом (ныне Санкт-Петербургом), но в дальнейшем от такой количественной оценки отказались. В указанных секторах циркуляция атмосферы и прежде всего перенос с запада на восток усилены.

Форма Е характеризуется нарушением западно-восточного переноса в средних широтах и возникновением переноса противоположного направления. Это связано или с мощным стационарным антициклоном над ЕТР, или с вторжением в Восточную Европу антициклонов с востока или северо-востока.

В нижней тропосфере барический градиент направлен так же, как и при форме *W* — с юга на север, а градиент температуры — с севера на юг. За счет этого в средней тропосфере оба градиента направлены с севера на юг и наблюдается развитие мощного восточного потока.

Циркуляция в Атлантике и Европейском секторе ослаблена.

Установлено, что форма *W* переходит вначале в форму $W + C$, и только затем в форму *E*. При этом давление в субтропическом поясе высокого давления падает и Исландский минимум заполняется.

Форма С (центрально-европейская меридиональная форма) возникает при антициклогенезе на севере Скандинавии и в центре Европы и образовании меридионально расположенных циклонических полей в Атлантике и на юго-востоке Восточной Европы.

Форма *С* часто возникает при переходе от формы *E* к *W* и наоборот, а по своим характеристикам она во многом приближается к форме *E*. При этом в Атлантике еще более резко выражено отклонение градиентов давления от нормы.

Ослабление циркуляции в Атлантике связано с заполнением Исландского минимума при росте давления над Британскими островами и к западу от них.

По сути дела типизация Вангейгейма—Гирса носит качественный характер. С одной стороны, отказ от количественных оценок градиентов давления в разных секторах делает ее довольно субъективной, но с другой — с учетом опыта и интуиции специалистов этот отказ позволяет сделать ее более многофакторной и универсальной. Однако отметим, что при смене поколений метеорологов данное обстоятельство может приводить к нарушениям однородности временных рядов, представляющих формы циркуляции атмосферы.

В работе [27] на основе качественного анализа синоптических процессов за 1933—1940 гг. установлено 13 типов элементарных циркуляционных механизмов, которыми характеризуются различные варианты ОЦА в северном полушарии и описываются все макросиноптические положения. Чтобы детализировать особен-

ности циркуляционных механизмов в отдельных их частях, некоторые типы разделены на подтипы. В основу типизации положены следующие группы признаков:

- 1) зональность или меридиональность циркуляции,
- 2) направленность и интенсивность арктических вторжений,
- 3) взаимосвязь и взаимодействие арктических вторжений с процессами в южных широтах.

Для каждого типа и подтипа в работе [27] приведены карты среднего давления, на которых, правда, нет самих значений давления, а только показано географическое расположение областей высокого и низкого давления, а также связанных с ними гребней и ложбин. На картах также даны циклонические траектории и направления арктических вторжений. Все 13 типов и входящих в них подтипов объединяются в четыре группы:

— в первую группу входят типы 1 и 2, описывающие преобладание зональной циркуляции;

— во вторую входят типы 3—7, характеризующие хорошо выраженные арктические вторжения;

— в третью входят типы 8а, 8б и 9—12, описывающие ситуацию, когда арктические вторжения происходят по двум или более направлениям;

— в четвертую группу входит только тип 13, разделенный на летний и зимний и характеризующий условия, когда циклоническая деятельность охватывает всю полярную область.

Количественные типизации циркуляции атмосферы основаны либо на разложении барических полей при помощи полиномов Чебышева [5, 64] или метода главных компонентов [56, 66], либо на расчете различных индексов циркуляции.

Разложение по полиномам Чебышева имеет достаточно четкую физическую интерпретацию, но весьма плохо сходится, а разложение на основе метода главных компонентов, наоборот, как правило, имеет высокую сходимость, но является довольно формальным и поэтому не всегда поддается интерпретации. Кроме того, возникает вопрос с выбором числа коэффициентов разложения и их устойчивостью. Поэтому широкое распространение на практике получили различные системы индексов циркуляции.

К. Г. Россби [88] предложил использовать в качестве индекса ОЦА разность давления между 35 и 55° с. ш. (индекс Россби). Данный индекс достаточно успешно применяется в США при разработке методов долгосрочного прогноза погоды. Временной ход индекса Россби указывает на существование цикличности в интенсивности циркуляции. Каждый цикл состоит из четырех стадий:

- первая связана с большими значениями индекса, что согласно работе [24] соответствует процессам циркуляции формы W;
- вторая связана с понижением индекса;
- третья связана с низким индексом, что соответствует процессам форм E и C;
- четвертая связана с повышением индекса.

Отметим, что существует достаточно значимая связь этого индекса с положением Алеутского центра действия атмосферы (Алеутского ЦДА), который при высоком значении индекса смещается к востоку.

Е. Н. Блинова [12] для оценки интенсивности ОЦА предложила индекс

$$\alpha = V_{\psi}(\theta)/(r \sin\theta), \quad (1.3)$$

где α — угловая скорость вращения атмосферы по отношению к поверхности Земли, $V_{\psi}(\theta)$ — скорость зонального переноса для умеренных и высоких широт, $r \sin\theta$ — расстояние до оси вращения Земли.

При геострофическом приближении имеем

$$V_{\psi}(\theta) = (2\omega \rho r \cos\theta)^{-1}/(\partial p/\partial\theta)$$

или

$$V_{\psi}(\theta) = (2\omega r \cos\theta)^{-1}/(\partial H/\partial\theta).$$

Индекс α — важная характеристика западно-восточного переноса атмосферы и развития атмосферных процессов. Он изменяется по сезонам, достигая максимума зимой и минимума летом, а также по высоте, имея максимум вблизи уровня тропопаузы. Изменение индекса α связано с изменением форм циркуляции Вангейгейма—Гирса.

Б. Л. Дзердзеевский и А. С. Монин [28] на основе соображений подобия предложили использовать для оценки интенсивности ОЦА следующий индекс:

$$I = -0,7752H(65^{\circ}) - 0,4952H(60^{\circ}) - 0,1854H(55^{\circ}) + \\ + 0,1443H(50^{\circ}) + 0,4853H(45^{\circ}) + 0,8258H(40^{\circ}), \quad (1.4)$$

который в упрощенном варианте имеет вид:

$$I = 1,136 [H(40^{\circ}) - H(65^{\circ})], \quad (1.5)$$

$$I = 1000\alpha/\varphi,$$

где $H(\varphi)$ — средние широтные значения абсолютного геопотенциала изобарической поверхности; ω — угловая скорость вращения

Земли; α — угловая скорость зонального вращения атмосферы как твердого тела, которая определяется как угловой коэффициент в зависимости

$$H(\varphi) = H(90^\circ) + (\alpha/\omega)(0,1\omega r)^2 \cos^2\varphi.$$

Большие значения α и I соответствуют интенсивной зональной циркуляции, а малые — ослабленной зональной циркуляции и развитию меридиональных переносов.

Н. А. Белинский [11] предположил, что ускорение циркуляции вектора скорости определяется только бароклинностью атмосферы. В этом случае пренебрегают влиянием силы вязкости, что в первом приближении допустимо для свободной атмосферы, а также влиянием силы Кориолиса, что возможно главным образом для низких широт. Тогда согласно теореме Бьеркнеса можно записать

$$d\Gamma/dt = \oint_{(l)} \rho^{-1} dp. \quad (1.6)$$

Но если предположить, что $\rho^{-1} = \text{const}$, то ускорение циркуляции теряет свой первоначальный физический смысл, выражаемый формулой

$$d\Gamma/dt = \rho^{-1} \Delta p,$$

и его можно рассматривать только как характеристику, имеющую размерность ускорения циркуляции. Следовательно, получаемая после интегрирования по времени величина Γ тоже имеет только размерность циркуляции вектора скорости, т. е. по сути дела она с точностью до ρ^{-1} описывает сумму Δp за интервал времени от момента времени t_0 , когда $\Gamma = 0$, до момента времени t , когда

$$\Gamma = \rho^{-1} \sum_{t_0}^t (\Sigma \Delta p_z - \Sigma \Delta p_a) \Delta t,$$

где Δp_z и Δp_a — соответственно глубина циклонов и антициклонов, отсчитываемая от 1020 гПа или 765 мм рт. ст.

В работе [11] выполнены расчеты для района, ограниченного координатами 35—70° с. ш. и 90° з. д.— 70° в. д. По существу, это весьма приближенная оценка интенсивности циклонов и антициклонов для трапеций размером 5° по широте и 10° по долготе и для восьми разных районов, входящих в естественный синоптический район (ЕСР). Очевидно, по знаку индексов Белинского все же нельзя судить о преобладании той или иной циркуляции, ибо они показывают слишком малые изменения при

больших, но совпадающих по фазе колебаниях и искажают реальные глубины циклонов и высоты антициклонов, а следовательно, не отражают реальные барические градиенты [21].

В работе Л. А. Вительса [21] введены индексы циркуляции I_z и I_a , характеризующие среднюю интенсивность циклонов и антициклонов для каждого из восьми районов, на которые разделяется ЕСР:

$$I_z = 6I_9 + 3I_8 + I_7, \quad I_a = 6I_0 + 3I_1 + I_2, \quad (1.7)$$

где I_0, I_1, I_2 — соответственно индексы интенсивности мощного ($p_a = 1040,0$ гПа), умеренного ($p_a = 1026,4$ гПа) и слабого ($p_a = 1017,2$ гПа) антициклонов; I_7, I_8, I_9 — соответственно индексы интенсивности слабого ($p_z = 1008$ гПа), умеренного ($p_z = 997$ гПа) и глубокого ($p_z = 981$ гПа) циклонов.

Например,

$$I_9 = n_9/(n_9 + n_8 + n_7), \quad I_0 = n_0/(n_0 + n_1 + n_2),$$

где n_i — число дней с данной градацией циклонов и антициклонов.

Кроме того, введены также весовые коэффициенты 1, 3, 6, которые учитывают разность между давлением в центре циклона и антициклона и значением 1013 гПа. Приблизительно I_z и I_a определяются по формулам:

$$I_z = (1013 - p_z)/5, \quad I_a = (p_a - 1013)/5. \quad (1.8)$$

Индексы рассчитываются с погрешностью до 0,01. Помимо этих индексов определяется и суммарный индекс. При этом наряду с оценкой средних индексов для всего ЕСР отдельно вычисляется индекс циркуляции над Атлантикой:

$$I_{атл} = I_{z1} + I_{a5}, \quad (1.9)$$

где подиндексы 1 и 5 соответствуют номерам районов (1 — север Атлантики, 5 — азорский район).

В работе А. Л. Каца [38] предложено рассчитывать оценки средней интенсивности переноса в широтном (зональном) (M_z) и меридиональном (M_M) направлениях в единицу времени над районом, ограниченном координатами x_1, y_1 и x_2, y_2 . При геострофическом приближении они определяются по формулам:

$$M_z = -(1/q) \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} (2\omega_2)^{-1} (\partial p / \partial y) dx dy,$$

$$M_M = (1/q) \int_{x_1}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} (2\omega_2)^{-1} (\partial p / \partial x) dx dy,$$

где q — площадь района.

Из формул расчета M_3 и M_M следует, что для рассматриваемого района и среднего для него значения $2\omega_2$ интенсивность широтного и меридионального переноса зависит только от средних значений $\partial p / \partial y$ и $\partial p / \partial x$, которые определяются либо по конечным разностям давления на меридианах или параллелях, либо по числу пересечения изобарами меридианов или параллелей. Вычисленные таким образом проекции градиента давления рассмотрены как индексы зональной (I_3) и меридиональной (I_M) циркуляций и выражаются в гектопаскалях на градус экватора:

$$I_3 = bn / [(\varphi_2 - \varphi_1) i], \quad I_M = bm / [(\lambda_2 - \lambda_1) j \cos \varphi], \quad (1.10)$$

где b — разность давления между соседними изобарами; n и m — число пересечений изобарами меридианов и параллелей; i и j — число меридианов, на которых подсчитываются меридиональные градиенты давления между параллелями φ_2 и φ_1 и число параллелей, на которых подсчитываются зональные градиенты давления между меридианами λ_2 и λ_1 .

Кроме того, можно определить индексы зональной западной (I_{3_3}) и зональной восточной ($I_{3_В}$) циркуляций:

$$I_{3_3} = b \sum_1^i n_{i_3} / [(\varphi_2 - \varphi_1) i], \quad I_{3_В} = b \sum_1^i n_{i_В} / [(\varphi_2 - \varphi_1) i],$$

где n_{i_3} и $n_{i_В}$ — число пересечений меридианов изобарами, характеризующими поток с запада на восток и с востока на запад, причем

$$I_3 = I_{3_3} - I_{3_В}.$$

Аналогично вычисляются индексы меридиональной северной ($I_{M_С}$) и меридиональной южной ($I_{M_Ю}$) циркуляций:

$$I_{M_С} = b \sum_1^j k_j m_{j_С} / [(\lambda_2 - \lambda_1) j], \quad I_{M_Ю} = b \sum_1^j k_j m_{j_Ю} / [(\lambda_2 - \lambda_1) j],$$

$$k_j = 1 / \cos \varphi,$$

где $m_{j_С}$ и $m_{j_Ю}$ — число пересечений параллелей с изобарами, характеризующими поток с севера на юг и с юга на север, причем

$$I_M = I_{M_Ю} - I_{M_С}.$$

Очевидно, определенный интерес могут представлять их соотношения:

$$I = I_3/I_M, \quad I' = I_M/I_3.$$

Эти индексы рассчитываются как по данным о приземном давлении ($b = 5$ гПа), так и по картам абсолютной топографии ($b = 4$ гп·дкм).

В Атлантико-Евразийском секторе полушария, ограниченном координатами $35-70^\circ$ с. ш. и 30° з. д.— 110° в. д., для каждого синоптического периода значения I_3 рассчитываются как средние градиенты геопотенциала на следующих участках:

- Азорские острова — г. Рейкьявик,
- о. Кипр — г. Мурманск,
- г. Душанбе — г. Салехард.

Значения I_M в этом же секторе рассчитываются как средние градиенты на участке: точка 1 (52° с. ш., 15° з. д.) — г. Лондон — г. Киев — г. Оренбург — г. Красноярск — точка 6 ($67,5^\circ$ с. ш., 20° з. д.) — о. Ян-Майен — г. Мурманск — г. Салехард — п. Тура.

Рассматривая различные типизации циркуляции атмосферы, связанные с барическим полем, следует остановиться на концепции ЦДА и Северо-Атлантического колебания (САК), которая получила в последние годы очень широкое распространение [37, 60, 65, 70]. В Северной Атлантике такими ЦДА являются Исландский минимум (ИЦД) и Азорский максимум (АЦД). Эти центры представляют собой крупномасштабные нестационарные вихри, которые выделяются только при достаточном осреднении полей давления и геопотенциала.

Обычно для определения характеристик ЦДА используются среднемесячные поля, однако в работе [37] показана возможность использовать и средние за пентаду поля.

Кроме того, важными их характеристиками служат также пространственные миграции центров действия, т. е. смещение по широте и долготе. Считается, что межгодовые колебания и пространственные миграции ЦДА являются важным звеном в крупномасштабном взаимодействии океана и атмосферы, во многом определяющим процессы атмосферной циркуляции и тем самым влияющим на формирование долгопериодных колебаний погоды и климата на значительной территории, по крайней мере, Европы и большей части России.

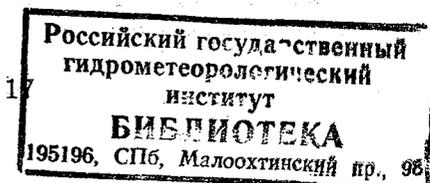
В настоящее время существует довольно много разных вариантов определения индексов САК [37, 65, 70].

Однако если рассматривать САК как параметризацию крупномасштабной циркуляции атмосферы над Северной Атлантикой,

то для его описания недостаточно определять разность давления и даже модуль градиента давления между ЦДА, который характеризует только скорость переноса воздушных масс, но не учитывает направленность переноса.

Действительно, пространственные миграции ЦДА весьма значительны, что приводит к существенным отклонениям атмосферного переноса от чисто зонального. Поэтому представляется целесообразным двухпараметрическое описание САК [37, 65]. Суть его состоит в том, что одновременно кроме градиента давления между статистическими центрами Азорского и Исландского ЦДА определяется и угол между метеорологическим градиентом давления и меридианом, проходящим через Исландский ЦДА. При этом угол считается положительным, когда Исландский ЦДА расположен к востоку от Азорского ЦДА. Данный подход реализован в работе [37]: рассчитаны за 1894—1984 гг. значения градиента давления и угла и рассмотрена связь индекса САК с формами циркуляции W, E и C.

340413



ГЛАВА 2. Обоснование индексов вихревой активности атмосферы

Изучение генезиса колебаний увлажнения поверхности суши (УПС) — одна из наиболее актуальных проблем современной гидрометеорологии. Увлажнение суши представляет собой важнейший климатический фактор, обуславливающий изменчивость речного стока и прежде всего стока крупных рек. Основной его показатель — общее (абсолютное) увлажнение, т. е. разность между количеством осадков (P) и суммарным испарением (E). Одновременно общее увлажнение входит в уравнения водного баланса поверхности суши и атмосферы, связывая их, таким образом, в единое целое.

Рассмотрим интегральное уравнение водного баланса атмосферы (ВБА) для ее произвольного объема, верхней границей которого служит тропопауза, а нижней — подстилающая поверхность. Для любого конечного интервала времени оно имеет вид:

$$\partial W / \partial t + \operatorname{div} \mathbf{F} = E - P, \quad (2.1)$$

где W — влагосодержание атмосферы (осажденная вода), определяемое путем интегрирования вертикального профиля водяного пара; \mathbf{F} — интегрированный по вертикали полный горизонтальный поток влаги.

В уравнении (2.1) не учтены изменение водосодержания (в облаках) и дивергенция потока облачной массы, вклад которых уменьшается с увеличением площади и осреднением уравнения за достаточно длительный интервал времени. Неучет указанных членов равносильно по существу принятию гипотезы о мгновенном выпадении сконденсированного в столбе атмосферы водяного пара на подстилающую поверхность. При достаточно плотной сети аэрологических станций интегральное уравнение ВБА наиболее точно выполняется для площадей более 10^6 км² и периода осреднения, превышающего несколько суток [71, 86].

Полный горизонтальный поток влаги складывается из суммы адвективного (среднего) и вихревого потоков:

$$F = \bar{F} + F'$$

При этом физическая интерпретация указанных слагаемых зависит от периода осреднения по времени. Если, например, принять $t = 1$ мес, то средний компонент традиционно трактуется как поток атмосферной влаги за счет средней во времени (общей) циркуляции, а вихревой — как перенос влаги за счет макротурбулентности, который обусловлен главным образом циклонами и антициклонами.

В холодный период года испарением с поверхности суши, а также изменениями влагосодержания атмосферы можно пренебречь ввиду их малости, поэтому уравнение ВБА приобретает вид

$$\text{div } \bar{F} + \text{div } F' = -P. \quad (2.2)$$

Из уравнения (2.2) следует, что осадки формируются за счет притока влаги при одновременном адвективном и вихревом движениях атмосферы.

Результаты многочисленных исследований [45, 71, 84—86 и др.] свидетельствуют, что вклад первого слагаемого в уравнении (2.2) в формирование поля осадков многих географических районов или широтных зон, исключая полярные области, весьма значителен. В этом легко убедиться, если обратиться к табл. 2.1, в которой приведены компоненты ВБА над бассейном р. Волги [71]. В качестве замыкающего створа выбран г. Самара, ниже которого боковой приточностью практически можно пренебречь. Бассейн р. Волги площадью $1,2 \cdot 10^6$ км² аппроксимирован контуром из 10—12 аэрологических станций (рис. 2.1). Среднее расстояние между станциями 405—480 км.

Таблица 2.1. Составляющие водного баланса атмосферы над бассейном р. Волги за период с декабря 1955 по ноябрь 1957 г., мм/мес

Месяц	div \bar{F}	div F'	div F	$\partial W / \partial t$	P	E
I	-32	-17	-49	0	52	3
II	-41	-15	-56	0	60	4
III	-25	-21	-46	2	54	10
IV	-10	8	-2	5	28	31
V	15	9	24	3	52	79
VI	15	19	34	4	62	100
VII	14	8	22	-1	74	95
VIII	6	14	20	1	48	69
IX	-8	14	6	-4	41	43
X	-19	-23	-42	-5	67	20
XI	-12	-22	-34	-2	49	13
XII	-47	-15	-62	1	67	6
Год	-144	-41	-185	4	4	—



Рис. 2.1. Бассейн р. Волги, аппроксимированный контуром из аэрологических станций.

Непосредственно по данным измерений рассчитаны:

- осадки (по данным более 200 станций с учетом всех поправок);
- влагосодержание (по данным вертикального профиля атмосферы);

— интегральные по высоте потоки водяного пара (по данным 2—4-срочного зондирования атмосферы с декабря 1965 по ноябрь 1967 г.). Дивергенция этих потоков рассчитана по формуле Остроградского—Гаусса, т. е. через потоки, нормальные к контуру;

Суммарное испарение с поверхности бассейна оценено по замыканию уравнения ВБА. Естественно, в этом случае оно содержит все погрешности других членов уравнения ВБА. Но в настоящее время практически нет надежных методов оценки суммарного испарения с крупных территорий, на которых исключительно разнообразны природные условия. Однако именно уравнение ВБА при достаточно плотной сети аэрологических станций позволяет наиболее точно оценить суммарное испарение сочень крупных регионов по сравнению с другими методами [46, 71].

В холодный период (октябрь—март) сумма значений $\text{div } \bar{F}$ равна -176 мм, а сумма значений $\text{div } F'$ составляет -113 мм (см. табл. 2.1). Отсюда следует, что вклад $\text{div } F'$ в полный приток влаги, определяемый соотношением $\text{div } F'/\text{div } F$, равен $0,39$, а при годовом усреднении он еще меньше: $\text{div } F'/\text{div } F = 0,22$.

Дальнейший анализ оценок $\text{div } \bar{F}$ и $\text{div } F'$ показал, что между ними достаточно четко выражена линейная статистическая связь,

характер которой существенно различен для холодного и теплого полугодий [71]. Поэтому оказалось возможным получить параметрическое соотношение значений дивергенции адвективного и полного потоков влаги, которое для холодного полугодия имеет вид:

$$\operatorname{div} \mathbf{F} = 1,22 \operatorname{div} \bar{\mathbf{F}} + 11.$$

Подставляя это выражение в формулу (2.1) и принимая в качестве констант оценки испарения и изменений влагосодержания за холодное полугодие из табл. 2.1, получим

$$\Sigma P = -1,22 \Sigma (\operatorname{div} \bar{\mathbf{F}}) + 55.$$

Отсюда следует, что количество осадков в бассейне р. Волги в холодный период года можно предвычислить по данным о переносе влаги за счет среднего движения, т. е. за счет ОЦА.

Преобладающая доля выпадающих осадков имеет циклоническое происхождение, а следовательно, она должна быть обусловлена дивергенцией вихревого потока водяного пара. В то же время для расчета значительной доли осадков можно использовать данные непосредственно по среднему потоку влаги (аэрологические данные) (см. табл. 2.1). В результате возникает противоречие, которое, на наш взгляд, связано с не совсем верной физической интерпретацией разложения полного потока атмосферной влаги на адвективный и вихревой компоненты.

Согласно Д. Ван Мигему [19], разделение движения на среднее и вихревое полностью зависит от выбора пространственно-временной области, для которой определены средние значения. Оно надежно тогда и только тогда, когда пространственно-временная область осреднения включает в себя очень много мелких вихрей (размеры которых меньше области осреднения) и очень мало крупных вихрей (размеры которых больше области осреднения). При этом мелкими вихрями вызываются турбулентные флуктуации и вихревой или турбулентный перенос субстанции, а крупные вносят вклад в среднее движение и средний перенос субстанции.

При описании мелкомасштабной турбулентности такое разделение может быть достаточно надежным за счет наличия мезометеорологического минимума в спектрах метеорологических характеристик и выбора периода осреднения, равного примерно 1 ч, который обеспечивает выполнение гипотезы эргодичности, т. е. позволяет заменить среднее по ансамблю значение средним по времени.

При описании крупномасштабной турбулентности (циклонов и антициклонов) такое разделение весьма условно, ибо нет объективного критерия для выбора необходимого периода осреднения. При выборе достаточно больших периодов осреднения (около ме-

сяца и более) может также проявляться эффект отрицательной вязкости, когда вихревая кинетическая энергия увеличивает кинетическую энергию среднего потока [73], вследствие чего вихревой перенос субстанции уже является частью среднего переноса.

Кроме того, непосредственное разделение вихрей, очевидно, также зависит от пространственно-временных масштабов. Действительно, такое разделение надежно, если пространственно-временная область между соседними синоптическими вихрями (циклонами) больше размеров самих вихрей. Естественно, что на практике такое условие выполняется далеко не всегда. Поэтому быстро следующие друг за другом циклоны оказываются неразделимыми и по существу описываются уже в рамках среднего движения атмосферы.

Наконец, следует иметь в виду еще один важный момент, связанный со скоростью переноса воздушных масс. Очевидно, если скорость перемещения циклона очень близка к средней скорости переноса водяного пара, то в этом случае адвективным компонентом характеризуется и перенос влаги таких циклонов.

Сказанное позволяет сделать вывод, что надежное разделение полного потока на среднее и вихревое движение для реальных синоптических условий представляет трудноразрешимую задачу и в значительной степени условно, так как большая часть вихревого переноса влаги, несомненно, является частью ОЦА.

Можно считать установленным, что перенос влаги с акватории Северной Атлантики — важнейший осадкообразующий фактор для большей части ЕТР по крайней мере в холодный период года [35, 40, 45, 78]. Поэтому очень важно рассчитать характеристики атмосферного влагопереноса за длительный промежуток времени. Однако из-за редкой сети аэрологических станций крайне труден расчет потока водяного пара и особенно его вихревого компонента.

Необходимы принципиально новые подходы к решению данной проблемы. Один из возможных вариантов — разработка таких методов, которые позволяют надежно оценивать вихревой перенос влаги на основе использования достаточно легко определяемых параметров. Для этого на первом этапе при помощи каких-либо критериев непосредственно по синоптическим картам или полям атмосферного давления выделяются циклонические и антициклонические образования и оценивается их интенсивность I .

Естественно, срочные значения интенсивности не очень надежны. Однако при осреднении их за достаточно длительный период времени точность оценок существенно возрастает. Так, осреднение за календарный месяц положительных и отрицательных значений I позволяет уже достаточно надежно оценить интенсивность циклонов и антициклонов, а суммирование числа случаев тех и других позволяет оценить их повторяемость.

На следующем этапе для тех же узлов географической сетки по срочным данным рассчитывается влагосодержание атмосферы. Затем оценивается интегральный перенос влаги:

$$F_x = W u_{эфф}, \quad F_y = W v_{эфф}, \quad (2.3)$$

где $u_{эфф}$ и $v_{эфф}$ — зональный и меридиональный компоненты эффективной скорости переноса влаги, которая по оценкам [33, 40, 45, 71] в умеренных и высоких широтах близка к скорости ветра вблизи изобарической поверхности 850 гПа, а в низких широтах она близка к скорости ветра между поверхностями 850 и 700 гПа.

Раздельное осреднение потоков влаги для циклонических и антициклонических ситуаций за календарный месяц, очевидно, позволяет повысить точность расчетов до приемлемой с практической точки зрения. Можно полагать, что предложенный здесь подход позволит объективнее характеризовать перенос влаги за счет синоптических вихрей.

В то же время из приведенного в гл. 1 краткого обзора индексов атмосферной циркуляции и синоптических вихрей следует, что каждый из них обладает существенными недостатками, связанными как с их физическим смыслом, так и с методикой их выделения, что не позволяет отдать предпочтение ни одному из них.

С учетом этого мы считаем целесообразным для оценки интенсивности и повторяемости синоптических вихрей использовать лапласиан давления ($\nabla^2 p$), который можно представить в виде

$$L = \nabla^2 p = \partial^2 p / \partial x^2 + \partial^2 p / \partial y^2 = p''_x + p''_y. \quad (2.4)$$

Выбор $\nabla^2 p$ как основного параметра синоптических вихрей связан с тем, что согласно геометрическому смыслу второй производной ее знаком характеризуется условие максимума ($f'' < 0$) или минимума ($f'' > 0$) функции, а значением характеризуется интенсивность изменения градиента функции в окрестности точки экстремума:

— если $\nabla^2 p > 0$, то наблюдается циклон или ложбина, причем для циклонов значение $\nabla^2 p$, естественно, выше, чем для ложбин;

— если $\nabla^2 p < 0$, то в этом случае отмечается антициклон или гребень, однако интенсивность гребня, определяемая по значению $\nabla^2 p$, может быть больше, чем в антициклоне.

Лапласиан можно определить, используя 5- или 9-точечную конечно-разностную аппроксимацию поля атмосферного давления, заданного, например, в узлах географической сетки. Тогда в соответствии с 5-точечной схемой имеем

$$L = (1/r^2)(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4p_0) = (4/r)(\overline{\partial p / \partial r}), \quad (2.5)$$

где p_0 — давление в центре квадрата, r — расстояние до центра квадрата от p_j .

Итак, величина L пропорциональна среднему «градиенту» (интенсивности изменения давления вдоль радиуса-вектора) в рассматриваемой области, ограниченной окружностью с радиусом r .

Если в формуле (2.4) выразить $\partial p/\partial x$ и $\partial p/\partial y$ через компоненты геострофического ветра в виде:

$$\partial p/\partial x = 2\omega_z \rho v_g, \quad \partial p/\partial y = -2\omega_z \rho u_g,$$

где $\omega_z = \omega \sin \varphi$ — проекция на ось Oz угловой скорости вращения Земли, ρ — плотность воздуха, u_g и v_g — соответственно зональная и меридиональная составляющие геострофического ветра, то получим

$$\begin{aligned} \nabla^2 p &= 2\omega_z \rho (\partial v_g/\partial x - \partial u_g/\partial y) + \\ &+ (v_g \partial/\partial x)(2\omega_z \rho) - (u_g \partial/\partial y)(2\omega_z \rho). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Очевидно, что в формуле (2.6) можно пренебречь изменениями плотности воздуха в пространстве. Тогда получим

$$\nabla^2 p = 2\omega_z \rho \Omega_{gz} - \rho u_g \beta, \quad (2.7)$$

где Ω_{gz} — геострофический вихрь, рассчитываемый по формуле

$$\Omega_{gz} = \partial v_g/\partial x - \partial u_g/\partial y;$$

β — параметр Россби, рассчитываемый по формуле

$$\beta = (2\omega_z \cos \varphi)/R,$$

φ — широта, R — радиус Земли.

Оценим в выражении (2.7) порядок слагаемых:

— слагаемое $2\omega_z \rho \Omega_{gz}$ имеет порядок 10^{-9} ,

— слагаемое $\rho u_g \beta$ имеет порядок 10^{-10} .

Поскольку первое слагаемое в выражении (2.7) на порядок больше второго, то в первом приближении можно записать:

$$\nabla^2 p = 2\omega_z \rho \Omega_{gz} \quad \text{или} \quad \Omega_{gz} = (2\omega_z \rho)^{-1} \nabla^2 p.$$

Таким образом, лапласиан давления — характеристика «завихренности» барического поля. В метеорологии оператор Лапласа используется также для определения вертикальной скорости на верхней границе планетарного пограничного слоя:

$$w_H = \frac{G \sqrt{m}}{4 \omega_z^2 \beta} \nabla^2 p,$$

где $m = 3 \cdot 10^{-6}$, G — модуль геострофического ветра.

Отметим, что изучению синоптических вихрей посвящено достаточно много работ [2—4, 6, 7, 9, 67, 77 и др.], однако их объективное выделение представляет серьезную трудность. В течение многих лет для этого традиционно использовались синоптические карты, с которых снималось положение центров циклонов и антициклонов, очерченных хотя бы одной замкнутой изобарой, кратной 5 гПа, т. е. по существу вручную.

Интенсивность барических образований на синоптической карте обычно определяется по первой замкнутой изобаре, а повторяемость считается по числу дней попадания центров этих образований в некоторые заранее заданные районы в течение календарного месяца. Естественно, что такое определение синоптических вихрей весьма трудоемко и достаточно субъективно.

Иногда используются другие критерии выделения синоптических вихрей. Так, в работе [20] по ежедневным данным о приземном давлении в узлах регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ в каждом ее узле вычислено за длительный период число дней в месяце с давлением $p < 1005$ гПа. Эти узлы отождествлялись с циклонической деятельностью. К сожалению, данный критерий выбора повторяемости циклонической активности никак не обосновывался.

В то же время существует целый ряд работ, в которых характеристики вихревой активности определены тем или иным численным методом в узлах регулярной сетки, причем помимо повторяемости и интенсивности определению подлежали и другие параметры: площадь синоптических вихрей и их энергия.

Так, интенсивность оценивалась по разности давления (геопотенциала) на последней замкнутой изобаре (изогипсе) и в центре синоптического вихря [43] или как отношение объема к площади синоптического вихря [7]. Повторяемость определялась путем подсчета числа случаев, когда синоптический вихрь находится в пределах элементарной площадки (ячейки сеточной области или узле) [43]. Площадь вычислялась путем суммирования элементарных площадок, занятых синоптическим вихрем [7], а кинетическая энергия рассчитывалась по геострофическому ветру [43].

Подобная оценка интенсивности недостаточно корректна уже хотя бы потому, что вносит определенный произвол в описание синоптических вихрей. Действительно, в указанных работах [7, 43] обычно использована принятая в синоптической метеорологии практика описания синоптических вихрей последней замкнутой изобарой (изогипсой), однако методики определения ее положения и числового значения заметно различаются.

Например, в работе [43] границы синоптических вихрей определены на основе анализа монотонного изменения давления (гео-

потенциала) от центра барического образования. Однако при этом достаточно очевидно, что в случае циклона монотонный рост давления сохраняется до центра соседнего антициклона или гребня высокого давления. Естественно, это может существенно исказить размеры синоптического образования.

В работе [44] за границу внешней изобары (изогипсы) принят узел сетки, где давление не только перестает расти (падать), но имеет наибольшее (наименьшее) значение. При этом размеры синоптического образования по сути дела определяются расстоянием от центра до гиперболической точки седловины [22], что, безусловно, более корректно, чем работе [43], но провести в этой точке изобару (изогипсу) невозможно.

Отметим, что при оценке характеристик синоптических вихрей использованы поля приповерхностного давления [43, 44, 67, 87], а также поля геопотенциала поверхности 500 гПа [7, 8, 79, 80, 83], чем, безусловно, осложняется сравнение полученных результатов.

Кроме того, следует отметить различие периодов осреднения при анализе статистических характеристик параметров вихревой активности, которое связано в основном с постепенным удлинением временных рядов в более поздних работах. С одной стороны, это позволяет получить более надежные климатологические оценки параметров вихревой активности и анализ их временной изменчивости, а с другой — вызывает определенные сомнения в степени их достоверности из-за композиционного характера составления баз данных, основанных на неоднородных временных рядах. При этом размеры регулярной сетки и элементарных площадок изменяются в расчетах от $1,875 \times 1,875^\circ$ [43] до $10 \times 10^\circ$ [83].

При оценке синоптических вихрей в работе [67] использованы формально разумные критерии, однако для них не приведены строгое обоснование и анализ чувствительности полученных результатов к возможным малым изменениям этих критериев.

Итак, можно сделать достаточно очевидный вывод, что результаты рассмотренных работ количественно не сопоставимы между собой из-за различий в методике определения параметров вихрей, периодов осреднения, размеров, формы и расположения элементарных площадок, для которых рассчитаны эти параметры, а также из-за различий баз исходных данных.

С учетом перечисленного мы считаем целесообразным использовать для определения характеристик вихревой активности расчет и анализ лапласиана приповерхностного давления, позволяющий одновременно оценивать интенсивность и повторяемость вихрей.

ГЛАВА 3. Исходные данные и методика расчета индексов вихревой активности

3.1. Исходные данные

В настоящей работе использованы два основных архива данных по атмосферному давлению на уровне поверхности океана, описание которых приведено далее.

При создании каталога индексов вихревой активности (ИВА) [50] лапласиан рассчитан на основе данных о поле давления на 00 и 12 ч по Гринвичу для северного полушария за 1946—1988 гг. в системе «октагрид». Эта система представляет исходные данные в узлах прямоугольной сетки, вписанной в восьмиугольник с центром в полюсе полушария.

Информация записана на компакт-диске, созданном в Национальном метеорологическом центре Вашингтонского университета. Данные представляют собой файл прямого доступа с записями фиксированной длины 3000 б и общим объемом 190 Мб. Поскольку данные упакованы, то для их декодирования создано специальное программное обеспечение, позволяющее приводить их в систему обычного «грида» (в узлах географической сетки) с заданным шагом по широте и долготе.

Исходные данные, методики расчетов и некоторые оценки пространственно-временной изменчивости индексов за 1946—1988 гг. описаны в каталоге ИВА [50]. Однако с учетом большой практической значимости этих индексов возникла необходимость дополнить каталог. Для этого использован архив данных по приземному давлению из NOAA-CIRES Diagnostics Climate Center (Boulder, Colorado, USA), выставленных в открытом доступе в сети Интернет¹.

¹ См. сайт по адресу: <http://www.edc.noaa.gov>.

Значения давления в этом архиве представлены в узлах географической сетки с шагом $2,5 \times 2,5^\circ$ по акватории океана, ограниченной координатами $32,5-80,0^\circ$ с. ш. и 60° з. д.— 70° в. д. для четырех сроков наблюдений в сутки за 1948—1996 гг. Из данной базы выбраны значения давления за 1988—1996 гг. в узлах, совпадающих с ранее сформированным архивом, и для них рассчитаны все ИВА.

3.2. Численная схема и оценка выбора оптимального шага расчета лапласиана

Непосредственно для расчета L использованы поля приземного давления в узлах географической сетки с шагом 5° по широте и 10° по долготе ($5 \times 10^\circ$) над Северной Атлантикой, а также с методическими целями в ряде случаев расчет выполнялся на сетке с шагом $5 \times 5^\circ$.

Чтобы оценить L в узлах географической сетки, можно использовать 5- и 9-точечную схемы конечно-разностной аппроксимации (рис. 3.1):

$$L_{ij} = \nabla^2 p_{ij} = \frac{p_{i+1,j} + p_{i-1,j} - 2p_{i,j}}{(\Delta x)^2} + \frac{p_{i,j+1} + p_{i,j-1} - 2p_{i,j}}{(\Delta y)^2}, \quad (3.1)$$

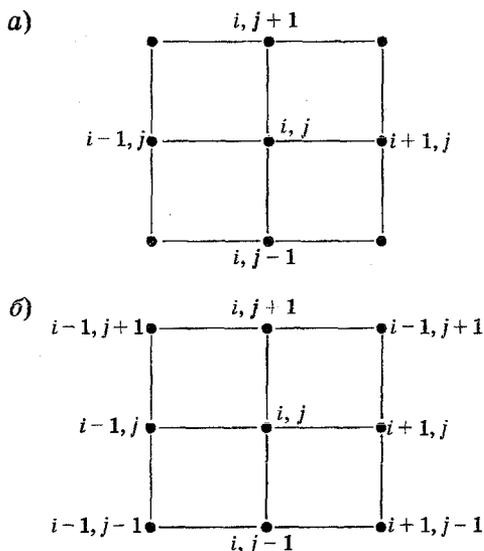


Рис. 3.1. Расположение точек в численной схеме расчета лапласиана давления по 5- (а) и 9-точечной (б) схемам.

$$L_{ij} = \nabla^2 p_{ij} =$$

$$= \frac{p_{i+1,j+1} + p_{i+1,j-1} - 2p_{i+1,j} + 2p_{i,j+1} + p_{i,j-1} - 2p_{i,j} + p_{i-1,j+1} + p_{i-1,j-1} - 2p_{i-1,j}}{4(\Delta x)^2} +$$

$$+ \frac{p_{i+1,j+1} + p_{i-1,j+1} - 2p_{i,j+1} + 2p_{i+1,j} + p_{i-1,j} - 2p_{i,j} + p_{i+1,j-1} + p_{i-1,j-1} - 2p_{i,j-1}}{4(\Delta y)^2}, \quad (3.2)$$

$$\Delta x = 1,11n \cos \varphi, \quad \Delta y = 1,11m,$$

где L — в гектопаскалях на $10\,000 \text{ км}^2$; n и m — шаг соответственно по долготе и широте, °; Δx и Δy — в отрезках длиной 100 км .

Сравнение расчетов L по 5- и 9-точечным схемам аппроксимации с полями давления показало [41], что расчет L по 9-точечной схеме лучше описывает синоптические объекты за счет более полного усвоения информации о приземном давлении, хотя при этом происходит и большее пространственное сглаживание. С учетом этого при выполнении окончательных расчетов L использована 9-точечная схема.

Разность значений L по 5- и 9-точечной схемам расчета в 40—50 % случаев находится в пределах $\pm 0,02$, а в 85—90 % случаев — в пределах $\pm 0,06$.

Вместе с тем из сравнения L с полями давления видно, что если по знаку L действительно можно оценить характер барического поля (циклоническое или антициклоническое), то значение L позволяет надежно классифицировать прежде всего циклонические синоптические объекты (циклон, ложбину). Для антициклонических объектов значение L по модулю может быть в антициклоне в некоторых случаях меньше, чем в гребне.

Другой важный методический вопрос — выбор оптимального шага при расчете L . Вопрос о конечно-разностной аппроксимации производных обсуждается в вычислительной математике и при численном моделировании процессов в атмосфере и океане. Замена производных их конечно-разностными аналогами позволяет согласовать пространственное осреднение с осреднением по времени, необходимым для перехода от мгновенных величин к средним.

Очевидно, что должен существовать оптимальный пространственный шаг. Он должен быть больше того, который требуется для согласования временного и пространственного осреднения, и таким, чтобы конечная разность была значительно больше ошибок определения входящих в нее членов.

Вместе с тем он не должен быть слишком большим, так как при этом сглаживаются важные особенности поля (на поле давления сглаживаются синоптические объекты). Применительно к рас-

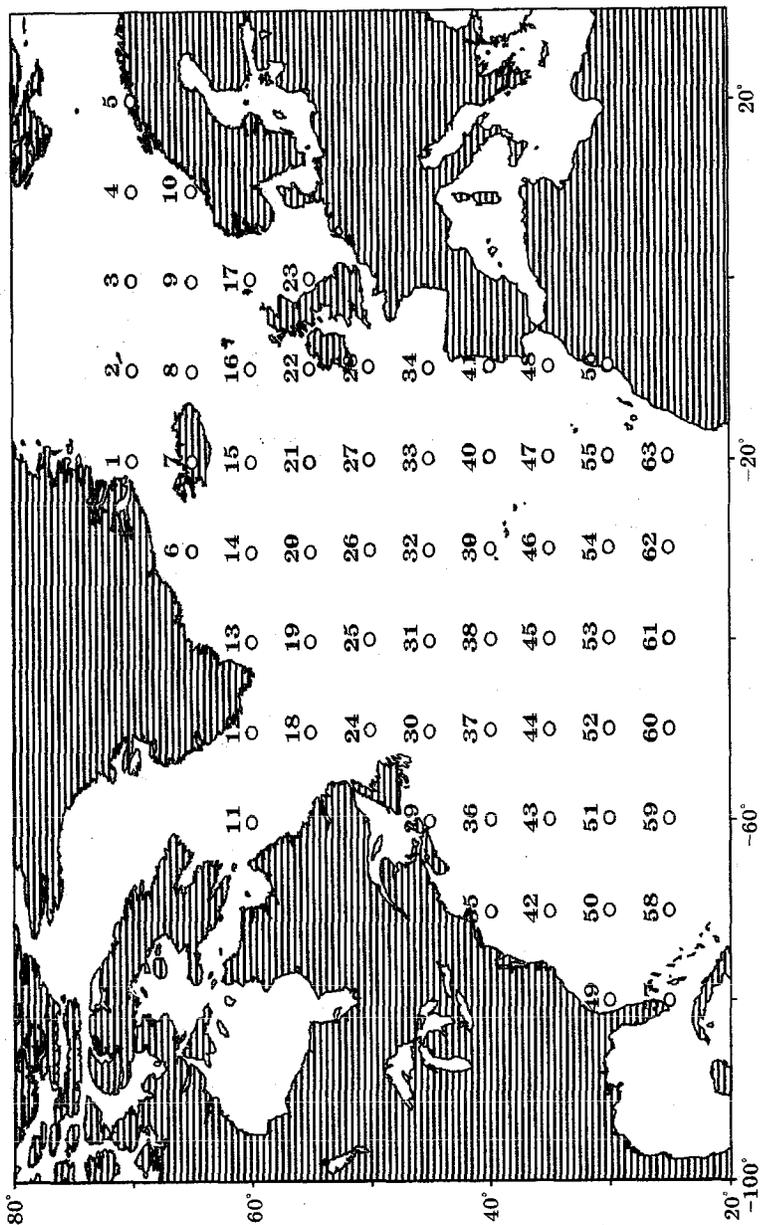


Рис. 3.2. Схема узлов географической сетки Северной Атлантики, для которых рассчитан лапласиан.

чету градиента давления в задаче определения геострофического ветра этот оптимальный шаг составляет около 300 км [29].

Для расчета L этот вопрос еще более сложен и нуждается в дополнительном исследовании. Поэтому ограничимся здесь только сравнением расчетов среднемесячных значений для четырех характерных месяцев (января, июня, июля и октября) 1980 г. по сетке $5 \times 10^\circ$ и $5 \times 5^\circ$ (методика расчета L пояснена далее) [50].

Следует учитывать, что при большом пространственном сглаживании для сетки $5 \times 10^\circ$ его значение примерно одинаково вдоль широты и долготы для умеренных широт: $\Delta x \approx \Delta y = 500$ км, тогда как для сетки $5 \times 5^\circ$ пространственное сглаживание меньше, но разное: $\Delta x = 200$ км, $\Delta y = 500$ км.

Коэффициент корреляции r между значениями L для сетки $5 \times 5^\circ$ (L_1) и для сетки $5 \times 10^\circ$ (L_2) изменяется следующим образом:

— для $L > 0$ значения $r = 0,92...0,95$,

— для $L < 0$ значения $r = 0,86...0,88$,

— для $|L|$ значения $r = 0,95...0,96$.

Для всех месяцев $|L_1| > |L_2|$, т. е. уменьшение пространственного сглаживания приводит к увеличению L .

Для рассматриваемого района Северной Атлантики определено следующее:

— в случае $L > 0$ средняя разность $L_1 - L_2 \approx 0,05$ при среднеквадратическом отклонении 0,10—0,15 (для $L_1 > L_2$) и 0,05—0,07 (для $L_1 < L_2$);

— в случае $L < 0$ средняя разность $L_1 - L_2 = 0...0,15$ при среднеквадратическом отклонении 0,04—0,05 (для $|L_1| > |L_2|$) и 0,08—0,17 (для $|L_1| < |L_2|$).

Исходя из этих результатов, непосредственно для расчета L использованы поля приземного давления в узлах географической сетки с шагом 5° широты и 10° долготы ($5 \times 10^\circ$). Координаты рассматриваемого района Северной Атлантики 80° з. д.— 20° в. д. и 70° — 25° с. ш. (рис. 3.2). Общее число узлов составило 63.

3.3. Оценка влияния ошибок при аппроксимации поля давления в узлы регулярной сетки

Существенный недостаток лапласиана давления — заметное влияние ошибок измерения и аппроксимации поля давления в узлы регулярной сетки. В частности, максимальная ошибка определения L , обусловленная сложением всех элементарных ошибок при 5-точечной схеме, составит

$$(\delta \nabla^2 p)_{\text{макс}} = (8\delta p/r^2).$$

Примем, например, радиус $r = 1000$ км, что соответствует пространственным масштабам очень крупного циклона или антициклона. Тогда получим следующие результаты:

— при чисто инструментальной ошибке $\delta p = \pm 0,1$ гПа имеем значение $(\delta \nabla^2 p)_{\text{макс}} = 0,01$ гПа/(100 км)²,

— при ошибке интерполяции $\delta p = \pm 0,5$ гПа имеем значение $(\delta \nabla^2 p)_{\text{макс}} = 0,04$ гПа/(100 км)²,

— при ошибке интерполяции $\delta p = \pm 1,0$ гПа имеем значение $(\delta \nabla^2 p)_{\text{макс}} \approx 0,08$ гПа/(100 км)².

При уменьшении r максимальная ошибка определения лапласиана быстро возрастает. Так, уже при $r = 500$ км она увеличивается в 3 раза и становится сравнимой со средним значением L .

Естественно, что в практических расчетах конкретные значения ошибок L заметно меньше их максимальных значений. Это связано с тем, что элементарные ошибки не всегда обязательно суммируются. Кроме того, они уменьшаются за счет осреднения по времени. Если, например, принять повторяемость циклонов и антициклонов в течение месяца одинаковой, то среднемесячная ошибка их интенсивности при условии, что отсутствует внутривременная связность и давление измеряется через 12 ч, уменьшится в $(30)^{1/2} = 5,5$ раз.

Итак, можно сделать вывод о принципиальной возможности рассчитывать прежде всего среднемесячные оценки характеристик циклонов и антициклонов с приемлемой для практики точностью.

Рассмотренная процедура реализована для узлов географической сетки на основе архива срочных (измеряемых через 12 ч) данных об атмосферном давлении. Для каждого узла сетки ($N = 63$), находящегося в центре трапеции размером 5° по широте и 10° по долготе, рассчитана среднемесячная интенсивность циклонов I_z ($L > 0$) и антициклонов I_a ($L < 0$), а также их повторяемость (P_z и P_a).

Кроме того, оценены общие циклоничность C и антициклоничности A [49]:

$$C = I_z P_z, \quad A = I_a P_a, \quad (3.3)$$

которые можно рассматривать в качестве интегральных показателей синоптических вихрей, поскольку они одновременно характеризуют как интенсивность, так и повторяемость этих атмосферных образований.

3.4. О сопоставимости архивов данных по давлению

Как указано в начале гл. 3, оценки пространственно-временной изменчивости индексов за 1946—1988 гг. приведены в каталоге ИВА [50], который можно существенно дополнить с учетом архива данных по приземному давлению за 1946—1996 гг.

Естественно, что при использовании нового архива данных возникает вопрос о сопоставимости и согласованности «старых» и «новых» оценок лапласиана. Поэтому для 1988 г. проведено сравнение расчетов по старой и новой базам данных. Поскольку обе они по существу представляют собой «черные ящики» из-за отсутствия информации о точности их данных (используемой сети станций, алгоритмах интерполяции в узлы сетки и т. п.), то результаты сравнения расчетов по ним в первом приближении можно рассматривать как оценку точности определения ИВА.

В табл. 3.1 приведены оценки индексов по старому и новому архивам, осредненные для всей Северной Атлантики, за отдельные месяцы и год в целом, а также их среднеквадратические отклонения. Различия оценок индексов по старому и новому архивам как для средних значений, так и для их среднеквадратических отклонений практически отсутствуют. Дополнительная проверка на однородность при помощи непараметрического рангового критерия Уилкоксона [14] показала, что оба архива данных принадлежат одной генеральной совокупности.

Наконец, из анализа построенных карт разностей лапласианов и их повторяемости установлено очень хорошее соответствие центров максимальных значений I_z и I_a . При этом в 85—90 % случаях разности лапласианов не превышают $0,03 \text{ гПа}/(100 \text{ км})^2$, причем точность летом несколько выше, чем зимой.

Наибольшие расхождения лапласианов отмечены в крайних точках акватории (в основном на севере и северо-востоке) и могут достигать $0,2 \text{ гПа}/(100 \text{ км})^2$. Однако для месяцев, приведенных в табл. 3.1, такой точкой оказалась лишь одна (с координатами $70^\circ \text{ с. ш.}, 20^\circ \text{ з. д.}$), где в январе $I_z = 0,21 \text{ гПа}/(100 \text{ км})^2$.

Максимальные расхождения повторяемости индексов также отмечаются в основном в северных точках, причем встречаются они чаще, чем ошибки интенсивности. Абсолютный максимум в точке с координатами $65^\circ \text{ с. ш.}, 30^\circ \text{ з. д.}$ наблюдается в июле и составляет $P_z = 31 \%$. Хотя в среднем максимальные ошибки повторяемости индексов несколько выше ошибок интенсивности, однако при осреднении для всей Северной Атлантики эти расхождения становятся близкими к нулю.

Таблица 3.1. Средненные для акватории Северной Атлантики индексы вихревой активности и их стандартные отклонения по старому и новому архивам данных об атмосферном давлении

Месяц	Архив	$I_z \cdot 10^2$	P_z %	$I_a \cdot 10^2$	P_a %	$C \cdot 10^2$	$A \cdot 10^2$
Средние значения							
Январь	Старый	33	49	22	51	19	11
	Новый:						
	два срока	35	48	21	52	20	11
	четыре срока	35	48	21	52	20	11
Июль	Старый	18	43	15	57	10	8
	Новый:						
	два срока	18	41	16	59	9	9
	четыре срока	19	40	16	60	10	9
Год	Старый	25	45	19	55	13	11
	Новый:						
	два срока	26	44	19	56	13	10
	четыре срока	26	44	19	56	13	10
Стандартные отклонения							
Январь	Старый	16	20	6	20	14	6
	Новый:						
	два срока	16	21	6	21	14	5
	четыре срока	16	21	6	21	14	5
Июль	Старый	12	21	4	21	9	4
	Новый:						
	два срока	12	22	5	22	8	4
	четыре срока	12	21	5	21	8	4
Год	Старый	14	19	6	19	10	5
	Новый:						
	два срока	14	19	6	19	11	5
	четыре срока	14	19	6	19	11	5

Итак, можно сделать достаточно очевидный вывод, что в целом систематические ошибки оценок индексов очень малы, а их случайные ошибки, как вытекает из табл. 3.1, примерно одинаковы. Обе выборки можно отнести к одной генеральной совокупности, это означает возможность совместить старый и новый архивы данных. Чтобы сохранить преемственность, из нового архива взяты двухсрочные наблюдения атмосферного давления. Таким образом, общий период наблюдений, используемый в расчетах, составил 51 год (с 1946 по 1996 г.).

Расчитанные нами за указанный период значения среднемесячных характеристик ИВА для ряда избранных районов Северной Атлантики даны в приложениях 1—3.

ГЛАВА 4. Климатическая характеристика индексов вихревой активности

4.1. Особенности распределения среднееголетних значений индексов вихревой активности

Рассчитанные нами ИВА за многолетний период позволяют проанализировать их климатические характеристики. Систематических расхождений результатов их расчета по «старому» и «новому» архивам данных практически нет, поэтому рассмотрим особенности среднееголетнего распределения ИВА за 1946—1988 гг., которые в первом приближении проанализированы в работе [50].

В табл. 4.1 приведены осредненные за многолетний период годовые среднеширотные характеристики синоптических вихрей над Северной Атлантикой [50]. Как и следовало ожидать, они имеют четкий меридиональный ход. В частности, I_z достигает максимума и имеет повторяемость $P_z > 50\%$ на широтах $60—70^\circ$ с. ш., а затем начинает быстро уменьшаться по направлению к югу. Аналогичное меридиональное распределение свойственно и P_z . Поэтому общая циклоничность C , достигая максимума в зоне $60—70^\circ$ с. ш., сильно уменьшается по направлению к более южным широтам.

Отметим, что значения C не являются результатом простого перемножения значений I_z и P_z , приведенных в графах табл. 4.1. Это связано с наличием в межгодовых колебаниях между I_z и P_z положительной корреляции, особенно заметной в высоких широтах. Намного слабее данный эффект выражен в распределении значений A .

Меридиональное распределение I_a в общем повторяет распределение I_z , но размах ее изменчивости значительно меньше. В целом для Северной Атлантики $I_z > I_a$ главным образом за счет высоких широт. Естественно, что P_a имеет обратный ход по отношению к P_z , причем в среднем для Северной Атлантики P_a существенно выше, чем P_z . Кроме того, обратный ход между I_a

Таблица 4.1. Среднегодовое зонально-осредненные характеристики синоптических вихрей [50]

Широта, °	I_z		P_z		I_a		P_a		C		A	
	гПа/(100 км) ²	%	гПа/(100 км) ²	%	гПа/(100 км) ²	%	гПа · %/(100 км) ²					
70	0,31	56	0,21	44	0,18	0,10						
65	0,34	55	0,22	45	0,20	0,10						
60	0,33	58	0,20	42	0,20	0,09						
55	0,28	48	0,20	52	0,14	0,11						
50	0,24	44	0,19	56	0,12	0,11						
45	0,19	38	0,17	62	0,08	0,11						
40	0,15	40	0,13	60	0,06	0,08						
35	0,10	32	0,11	68	0,04	0,08						
30	0,06	23	0,09	77	0,02	0,07						
25	0,04	22	0,06	78	0,01	0,05						

и P_a приводит к своеобразному распределению значений A , которые достигают максимума в зоне 45—55° с. ш.

Годовой ход среднеширотных значений I_z (рис. 4.1) проявляется на всех широтах. При этом отмечается четкая тенденция уменьшения его амплитуды от высоких широт к низким. Как и следовало ожидать, минимум I_z наблюдается летом, причем одновременно в июле на всех широтах, а максимум — зимой (в декабре—феврале).

Намного хуже выражен годовой ход среднеширотных значений I_a (см. рис. 4.1), четко проявляющийся лишь в зоне 50—60° с. ш.

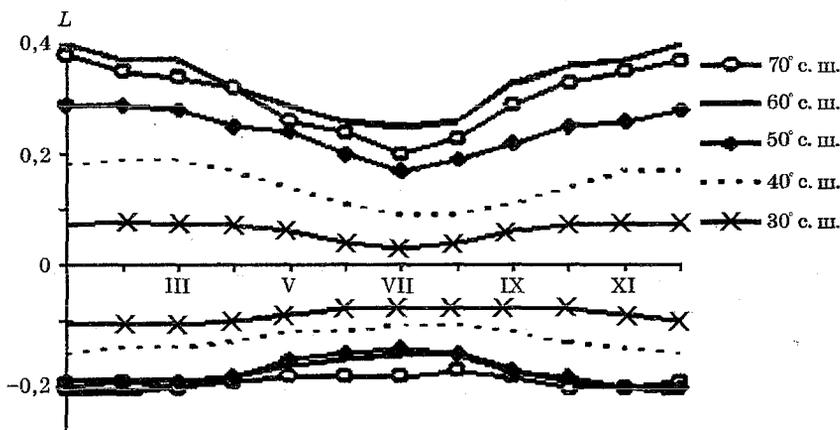


Рис. 4.1. Среднегодовое зонально-осредненные значения интенсивности циклонов (положительные значения) и антициклонов (отрицательные значения) для разных широт Северной Атлантики, гПа/(100 км)²

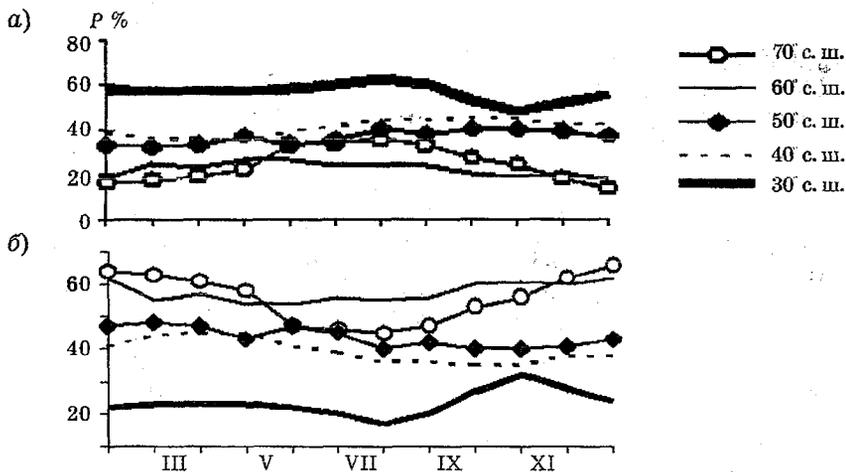


Рис. 4.2. Среднегодовое значение годового хода зонально-средних значений повторяемости циклонов (а) и антициклонов (б) для разных широт Северной Атлантики.

Значительно сложнее обстоит дело с годовым ходом среднеширотных значений P_z и P_a (рис. 4.2). Только на широте 70° с. ш. отмечается заметный годовой ход P_z с минимумом летом и максимумом зимой. На других широтах сезонные колебания P_z практически не выражены. Зеркально противоположен ходу значений P_z годовой ход значений P_a . В частности, на широте 70° с. ш. максимум P_a наблюдается летом, а минимум — зимой.

На рис. 4.3 приведено пространственное распределение средних за многолетний период годовых значений ИВА. Максимальные значения I_z отмечаются, как и следовало ожидать, в области, находящейся под непосредственным воздействием Исландского минимума давления. По направлению к югу I_z плавно уменьшается в несколько раз, причем это уменьшение носит преимущественно квазиширотный характер.

Тем не менее, достаточно заметна асимметрия распределения I_z между западным и восточным побережьями океана, обусловленная тем, что именно над западными районами океана наблюдаются наиболее активные зоны активного циклогенеза [77].

Значительно пестрее распределение значений P_z , однако в общем оно неплохо соответствует зонам активного циклогенеза [77], максимальная активность которого также отмечается над Гольфстримом, особенно вблизи о. Ньюфаундленд и в области Исландской депрессии. Значения P_z максимальны (около 60 %)

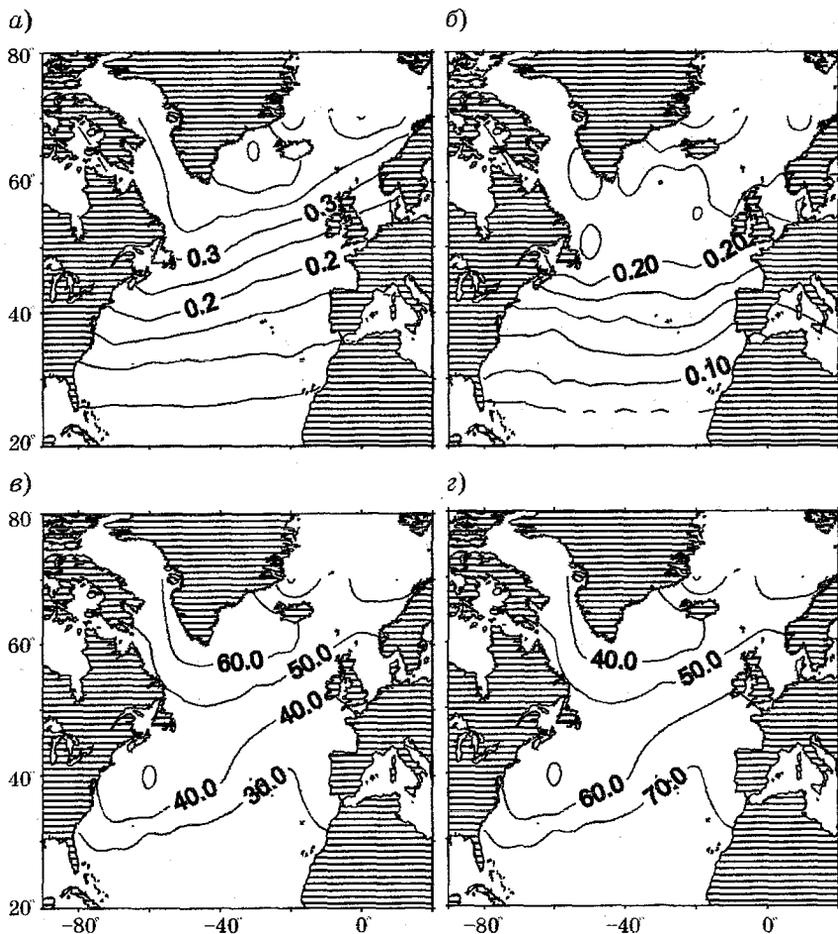


Рис. 4.3. Среднегодовое распределение зимних значений интенсивности циклонов (а) и антициклонов (б), а также повторяемости циклонов (в) и антициклонов (г) над акваторией Северной Атлантики.

в районе Исландской депрессии с координатами 60° с. ш., $20-50^{\circ}$ з. д. и над Норвежским морем, а минимальны в районе Азорского максимума.

Распределение интенсивности антициклонического поля на большей части Северной Атлантики вплоть до высоких широт относительно однородно и приблизительно зонально, однако ин-

тенсивность I_a почти в 1,5 раза меньше интенсивности I_z . Причиной этого, возможно, служат более резкие перепады атмосферного давления, связанные со сменой синоптических ситуаций. Повторяемость антициклонов, естественно, диаметрально противоположна повторяемости циклонов.

Что касается распределения величин C и A , то первая из них в большей степени повторяет распределение P_z , а вторая — I_a . Отметим также, что пространственное распределение среднемесячных зимних значений ИВА весьма близко к распределению их годовых значений. Некоторое различие состоит в более асимметричном характере их изолиний, который связан с тем, что в умеренных широтах более высокая интенсивность циклонов приурочена к западным районам океана, находящимся под влиянием Гольфстрима.

4.2. Межгодовая изменчивость индексов вихревой активности

Представляет значительный интерес анализ временной изменчивости ИВА. На рис. 4.4 приведено распределение среднеквадратических отклонений годовых значений ИВА. Абсолютные годовые значения ИВА более чем на порядок меньше средних, т. е. межгодовая изменчивость среднегодовых ИВА сравнительно мала. Среднеквадратические отклонения максимальны в основном в северных районах рассматриваемой акватории и имеют тенденцию уменьшения к югу. При этом также отмечается зональная асимметрия их распределения от западных районов океана к восточным.

Однако межгодовая изменчивость среднемесячных ИВА уже существенно неоднородна. Как и следовало ожидать, зимой она заметно выше, чем летом. Поэтому обратимся к табл. 4.2, в которой приведены зонально-осредненные значения среднеквадратического отклонения σ и коэффициента вариации C_v ИВА за холодный (с октября по март) период. Отметим, что предварительно данные характеристики рассчитывались для каждой точки и только после этого проводилось осреднение по широте.

Нетрудно видеть, что в распределении σ и C_v для большинства ИВА прослеживается межширотная изменчивость. Особенно хорошо она выражена для I_z и I_a , значительно хуже — для P_z и P_a .

В индексах общей циклоничности и антициклоничности усиливается межширотная изменчивость. Если σ от высоких широт к низким быстро убывает, то C_v , наоборот, возрастает. Исключе-

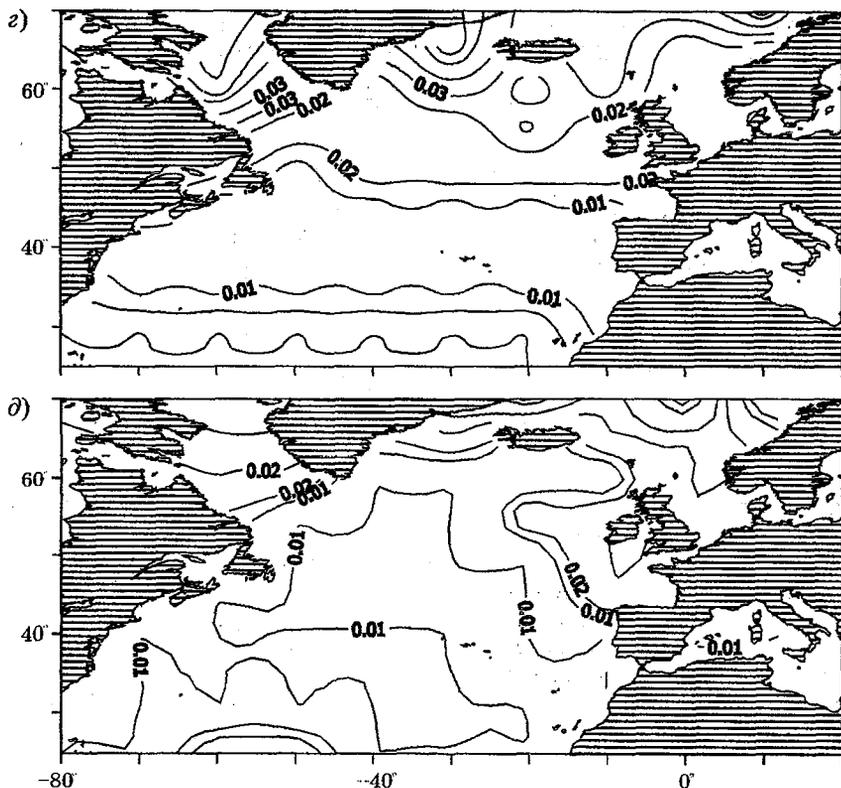


Рис. 4.4. Пространственное распределение над акваторией Северной Атлантики стандартного отклонения (σ) для годовых значений интенсивности циклонов (a) и антициклонов (b), гПа/(100 км)²; для повторяемости циклонов (c), доля единицы; для годовых значений общей цикло ничности (d) и общей антициклоничности (e), гПа·%/(100 км)².

ние составляет коэффициент вариации индекса A , который имеет противоположную направленность из-за аналогичных изменений коэффициента вариации P_a .

В целом межгодовая изменчивость ИВА достаточно велика и идентична изменчивости многих других гидрометеорологических характеристик. Что касается внутриширотной изменчивости ИВА, т. е. вдоль круга широты, то она в умеренных и высоких широтах мала и только в субтропической зоне значительна.

Особенности внутригодовой изменчивости среднеширотных индексов C и A для различных широт приведены на рис. 4.5. Как

Таблица 4.2. Среднеширотные значения статистических характеристик за холодный период 1946—1988 гг. (размерность см. табл. 4.1)

ИВА	Статистика	Широта, °									
		70	65	60	55	50	45	40	35	30	25
I_z	σ	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
	C_v	0,15	0,13	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,18	0,22	0,27
P_z	σ	6,32	6,32	6,23	7,04	6,64	5,41	5,20	5,95	5,72	5,98
	C_v	0,12	0,11	0,11	0,15	0,15	0,14	0,14	0,17	0,23	0,25
I_a	σ	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
	C_v	0,14	0,12	0,14	0,10	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,13
P_a	σ	6,32	6,32	6,23	7,04	6,64	5,41	5,20	5,95	5,72	5,98
	C_v	0,14	0,11	0,10	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,01
C	σ	0,48	0,47	0,40	0,35	0,29	0,19	0,15	0,13	0,07	0,05
	C_v	0,22	0,20	0,18	0,22	0,23	0,22	0,22	0,29	0,37	0,42
A	σ	0,28	0,22	0,23	0,23	0,22	0,17	0,13	0,12	0,12	0,09
	C_v	0,24	0,22	0,26	0,20	0,18	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15

и следовало ожидать, существует хорошо выраженный сезонный ход, когда зимой изменчивость существенно выше, чем летом. При этом к северу изменчивость увеличивается. Особенно четко это выражено в распределении изменчивости индексов C .

Что касается индексов A , то максимальная внутригодовая изменчивость их смещена на широту 50° с. ш. В остальном распределение их изменчивости схоже с изменчивостью индексов C с той лишь разницей, что абсолютные значения среднеквадратических отклонений индексов A заметно меньше, чем индексов C .

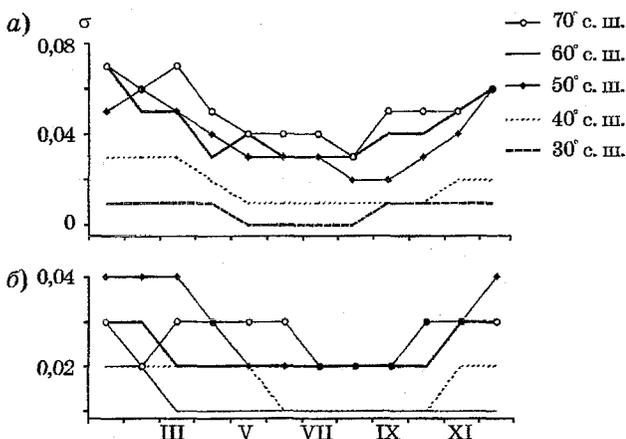


Рис. 4.5. Годовой ход зонально-осредненных значений σ для общей циклоничности (а) и общей антициклоничности (б) на разных широтах Северной Атлантики, гПа/(100 км)².

4.3. Внутригодовая изменчивость индексов вихревой активности

Обратимся теперь к более подробному анализу внутригодовой изменчивости ИВА, которую в общем случае можно представить в виде

$$X(t) = G_1(t) + G_2(t) + E(t),$$

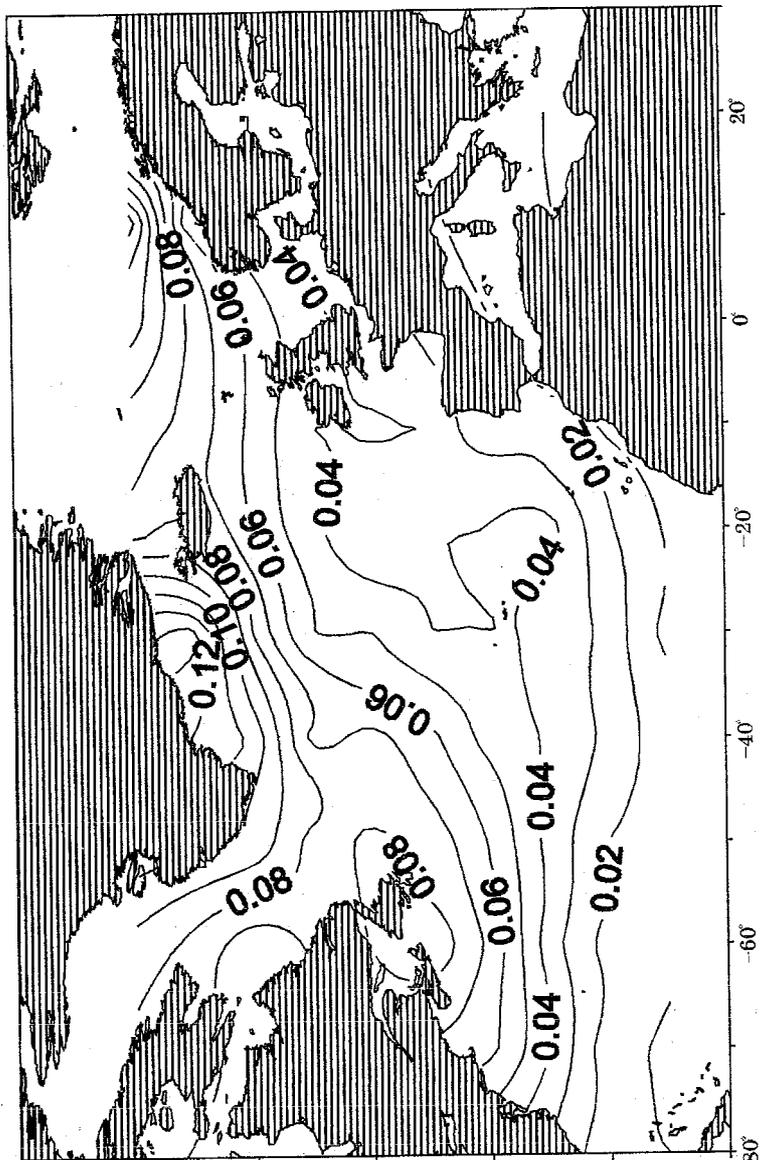
где $G_1(t)$ — первая гармоника; $G_2(t)$ — вторая гармоника; $E(t)$ — остаточная часть, которая очень близка к процессу «белый шум», имеющему нулевое математическое ожидание и постоянную дисперсию.

Прежде всего по среднегодовым месячным данным рассчитаны годовая (первая) и полугодовая (вторая) гармоники. Отметим, что прослеживается четко выраженный годовой ход интенсивности циклонической деятельности (рис. 4.6 а), максимум которого отмечается севернее Исландии, а минимум — в низких широтах. При этом во всех районах океана, исключая юго-восточную часть, прилегающую к побережью Африки, фаза первой гармоники $G_1(t)$, т. е. время наступления максимума, соответствует первому месяцу года (январю). Естественно, что полугодовая гармоника $G_2(t)$ выражена значительно слабее (см. рис. 4.6 б). Ее максимальные значения отмечаются между Гренландией и Исландией. Несколько более слабый, но зато очень обширный очаг высоких значений амплитуды полугодовой гармоники вытянут от Ньюфаундленда почти до берегов Испании.

Вклад первой гармоники в дисперсию внутригодовых колебаний I_z на большей части акватории океана достигает 80—90 % (рис. 4.7 а). Наименьший вклад (менее 40 %) отмечается в крайнем юго-западном районе океана.

Что касается полугодовой гармоники (см. рис. 4.7 б), то ее вклад в дисперсию составляет в среднем около 10 % и только на крайнем юго-западе он превышает 50 %. Максимумы полугодовой гармоники приходятся на май и ноябрь, а минимумы соответственно на февраль и август.

Иной характер распределения первой и второй гармоник свойствен для P_z . Амплитуда годового хода P_z меняется в довольно широких пределах. Максимальные значения ее отмечаются юго-восточнее о. Ньюфаундленд, а минимальные — западнее о. Ирландия и над водами холодного Лабрадорского течения. Еще более пестрый характер имеет распределение амплитуды второй гармоники для P_z . Ее максимальные значения отмечаются над



a) 80°

60°

40°

20°

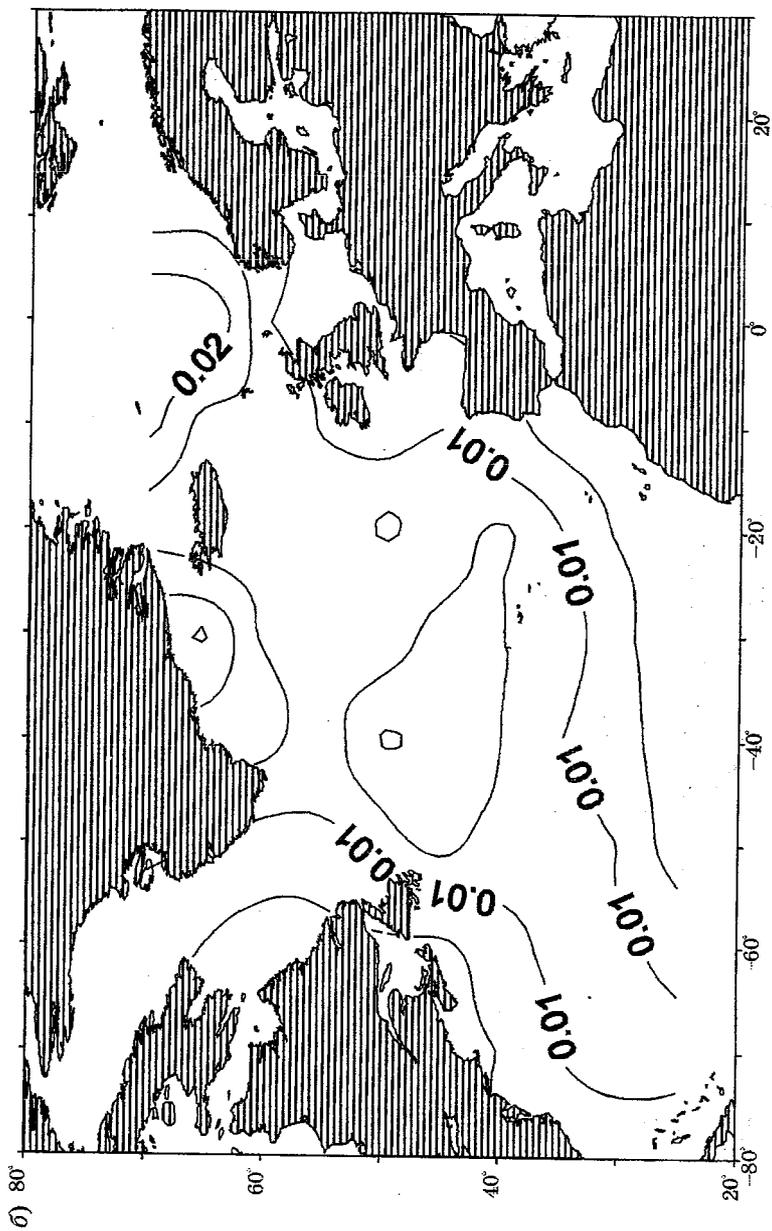
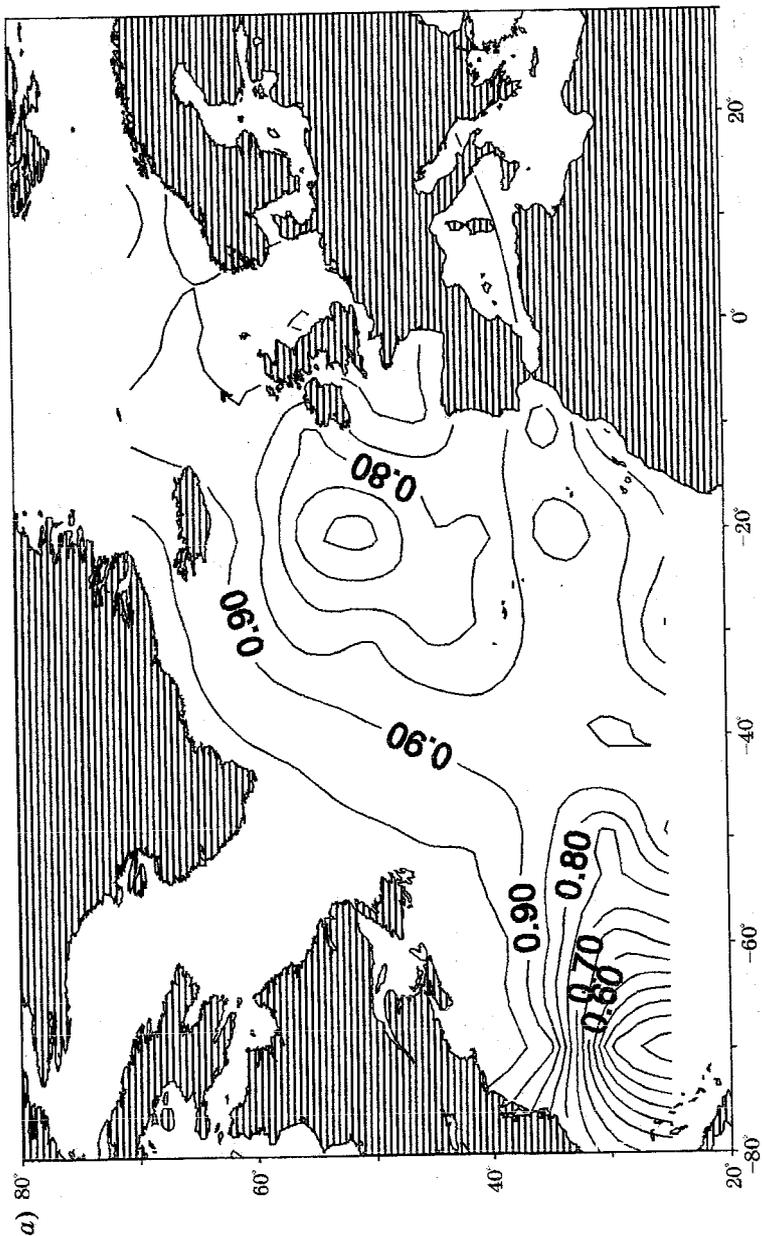


Рис. 4.6. Распределение амплитуд годовой (а) и полугодовой (б) гармоник среднееголетних значений I , $\text{rPa}/(100 \text{ km}^2)$.



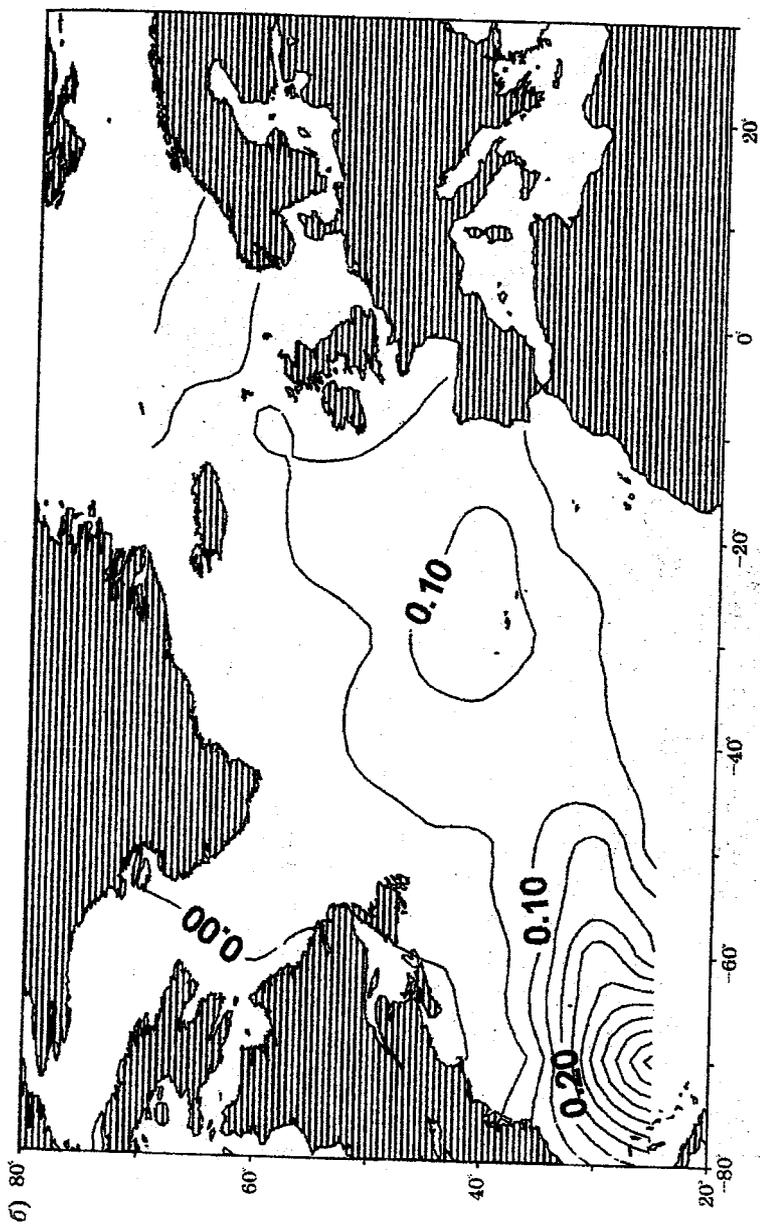
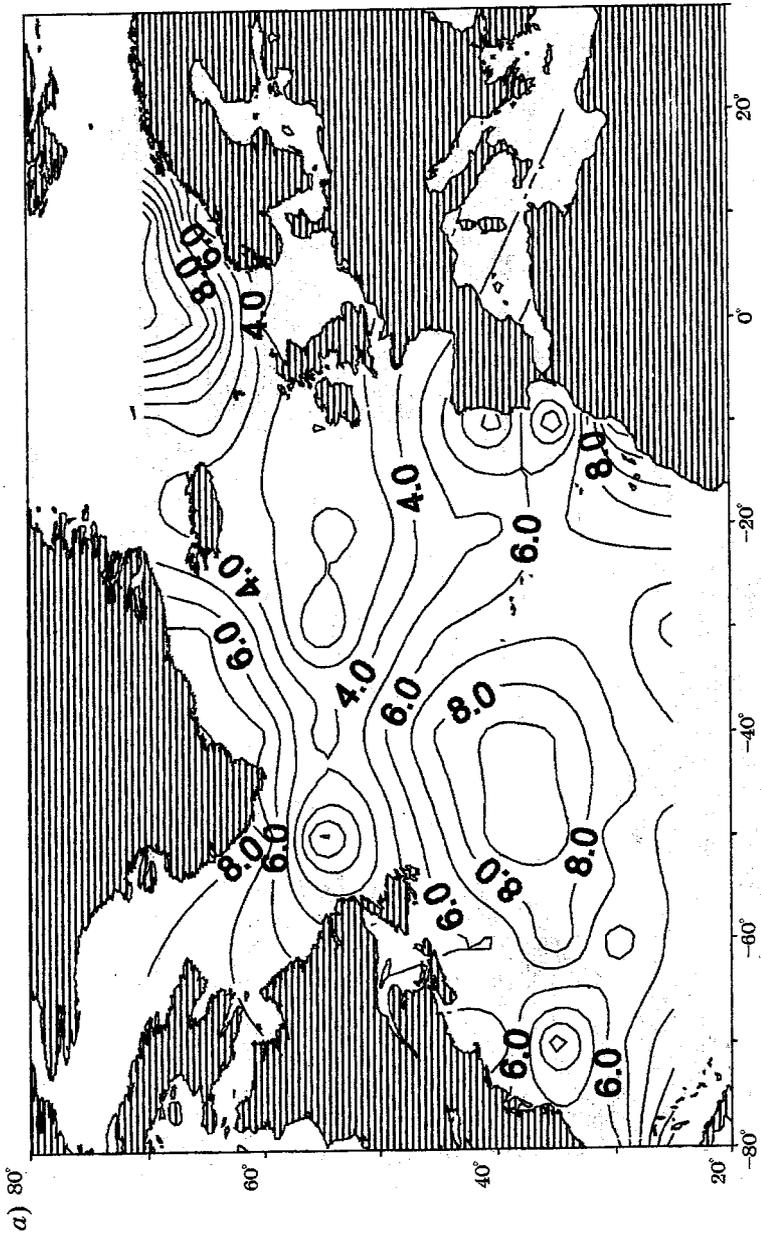


Рис. 4.7. Распределение вклада годовой (а) и полугодовой (б) гармоник I_2 в дисперсию исходного ряда, %.



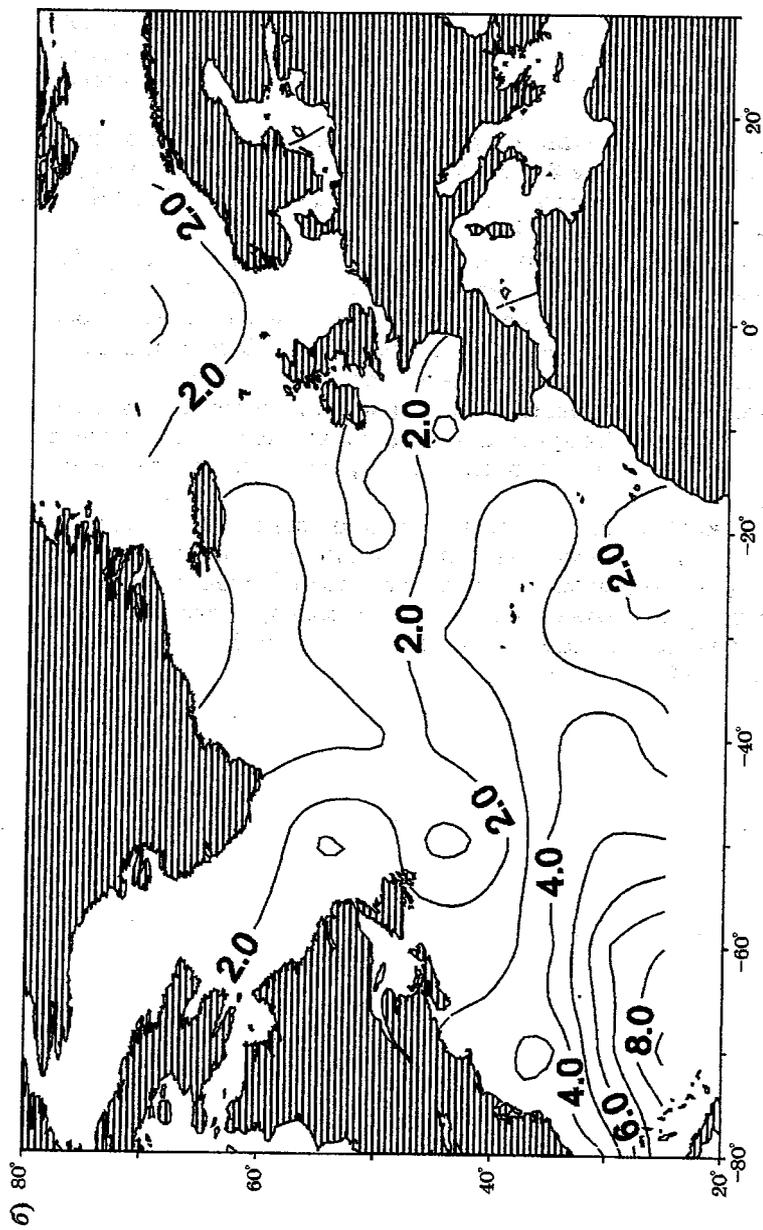


Рис. 4.8. Распределение амплитуд годовой (а) и полугодовой (б) гармоник среднеемноголетних значений P_2 , %.

крайней юго-западной частью океана, а минимальные — над Лабрадорским морем. Заметим, что первый максимум полугодовой гармоники P_2 наблюдается преимущественно в январе, а второй соответственно в июле (рис. 4.8).

Вклад первой гармоники в дисперсию внутритроновых колебаний P_2 меняется почти в 3 раза. При этом максимальный вклад ее отмечается над Саргассовым морем и составляет около 90 %, а минимальный вклад — над Лабрадорским морем (20 %).

В целом годовой ход P_2 выражен слабее, чем годовой ход I_2 . Что касается вклада второй гармоники в дисперсию колебаний P_2 , то он достигает максимума на крайнем юго-западе и над Лабрадорским морем, где он составляет около 50 %. Однако над большей частью экватории океана он не превышает 10—20 %.

Естественно, отмеченные закономерности полностью относятся к повторяемости обеих гармоник антициклонической деятельности с тем лишь различием, что фазы максимумов и минимумов меняются местами.

Итак, важной закономерностью циклонической активности является то, что в ее интенсивности доминирует годовой ход, в то время как для повторяемости циклонов и антициклонов уже свойственна и четко выраженная полугодовая волна, вклад которой в отдельных районах океана достигает 50 % дисперсии ее внутритроновых колебаний.

ГЛАВА 5. Кластерный анализ индексов вихревой активности

5.1. Методология кластерного анализа

Кластерный анализ — это совокупность методов и алгоритмов теории распознавания образов, направленных на решение процедуры классификации множества объектов в многомерном пространстве признаков посредством процедуры самообучения. По-видимому, впервые данный термин (Cluster analysis) ввел в научную литературу швейцарский исследователь А. Трайон в 1939 г. В отечественной литературе в течение длительного времени кластерный анализ (КА) был больше известен как метод автоматической классификации и только в последние десятилетия произошел возврат к термину КА. Очевидно, прежде чем рассматривать данный метод, следует дать определение понятию «классификация».

Классификация — это разбиение множества объектов (явлений, процессов и т. п.) на ряд однородных подмножеств (классов, групп, таксонов и т. п.) по наиболее существенным признакам их сходства. При этом объекты, отнесенные к одному и тому же классу, должны быть сходны между собой и отличаться от объектов других классов. Поэтому можно считать, что классификация — это эффективное средство выделения наиболее важных особенностей исходных объектов и обобщение наших представлений о них.

Одно из основных требований, предъявляемых к классификации — это ее объективность, понимаемая в том смысле, что выделенные классы должны соответствовать реально существующим и не зависеть от точки зрения лица, выполняющего классификацию. К сожалению, добиться этого чрезвычайно сложно. Нетрудно показать, что в зависимости от признака, характеризующего исходные объекты, можно получить различные, подчас противоположные варианты классификации [61].

Очевидно, абсолютно объективная классификация — это скорее исключение, чем правило (пример такого исключения — периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева). Действительно, все реальные объекты имеют бесконечное количество свойств, причем выделение из него конечного набора свойств, в том числе наиболее существенных — уже в значительной степени субъективное дело. Поэтому любую классификацию следует рассматривать как сочетание объективного и субъективного начал.

Элементами субъективного помимо выбора системы исходных признаков служит также выбор меры близости, алгоритма классификации, критерия ее качества и др.

Итак, главная цель КА — разбиение множества объектов на сравнительно небольшое число однородных групп (классов) по наиболее существенным признакам их сходства. При этом принципиально важным является понятие однородности.

В классической постановке КА понятие *однородности двух или нескольких объектов* означает близость их физических состояний, которая трактуется как геометрическая близость в многомерном пространстве признаков. Данное положение можно рассматривать как основной постулат КА.

Намного менее важно знать число выделяемых классов, которое в общем случае до начала классификации может быть и неизвестно.

В классической постановке КА устойчивое выделение подмножеств возможно при выполнении следующих условий:

- каждое подмножество не должно быть пустым, т. е. в каждом классе должен находиться хотя бы один вектор наблюдений;
- получаемые подмножества не должны пересекаться, т. е. каждый вектор наблюдений может одновременно принадлежать только одному из выделенных классов;
- неоднородное распределение объектов в пространстве признаков, т. е. наличие компактных групп точек. Действительно, в противном случае всякая классификация теряет свой смысл.

При этом задачу классификации можно разделить на ряд последовательных этапов:

- 1) выбор исходной системы признаков,
- 2) снижение признакового пространства,
- 3) выбор меры близости,
- 4) выбор алгоритма классификации,
- 5) оценка качества классификации.

Общие сведения об указанных этапах МКА можно найти, например, в работах [15, 61]. Поэтому ограничимся здесь только описанием алгоритмов, непосредственно используемых в расчетах. Но прежде укажем, что одним из узловых моментов класси-

фикации, от которого в значительной степени зависит окончательный результат разбиения объектов на классы при заданном алгоритме, является выбор меры близости.

Как известно, мерой близости объектов может служить любой коэффициент связи, позволяющий численно оценить степень сходства (различия) данной пары объектов по набору признаков. Чаще всего в классическом КА для оценки матрицы расстояний между объектами используются те или иные разновидности метрики Минковского. При этом для оценки расстояния между объектами x_j и x_{j+1} наиболее часто используется евклидова метрика:

$$D(x_j, x_{j+1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{i,j} - x_{i,j+1})^2}. \quad (5.1)$$

Несомненно, что КА относится к числу наиболее интенсивно развивающихся направлений многомерного статистического анализа. Число используемых в настоящее время алгоритмов КА настолько велико и разнообразно [1, 34, 52, 58, 74], что с трудом поддается какой-либо систематизации. Тем не менее, основываясь на результатах работы [74], приведем модифицированную схему классификации алгоритмов КА, представляющую собой иерархическую структуру выбора алгоритмов классификации (рис. 5.1).

В соответствии с этой схемой, ориентированной на все виды исходных признаков (количественных, порядковых, номинальных и бинарных), алгоритмы классификации можно рассматривать в виде параллельных и последовательных процедур:

- в параллельных классифицируется вся выборка целиком,
- в последовательных объекты (элементы) поступают на классификацию отдельными порциями или даже по одному.

Указанные процедуры могут быть следующими:

- исключаящими, когда исходный объект (элемент) принадлежит исключительно одному классу;
- неисключаящими, когда один и тот же элемент может входить более чем в один класс.

Исключающие алгоритмы делятся на внутренние и внешние:

- во внутренних классификация основана только на заданном наборе признаков и все они считаются равноправными;
- во внешних один из признаков считается внешним, и задача состоит в том, чтобы по информации об остальных (внутренних) признаках получить классификацию, наилучшим образом отражающую внешний признак.

Следующая ступень классификации — это иерархические и не-иерархические алгоритмы:

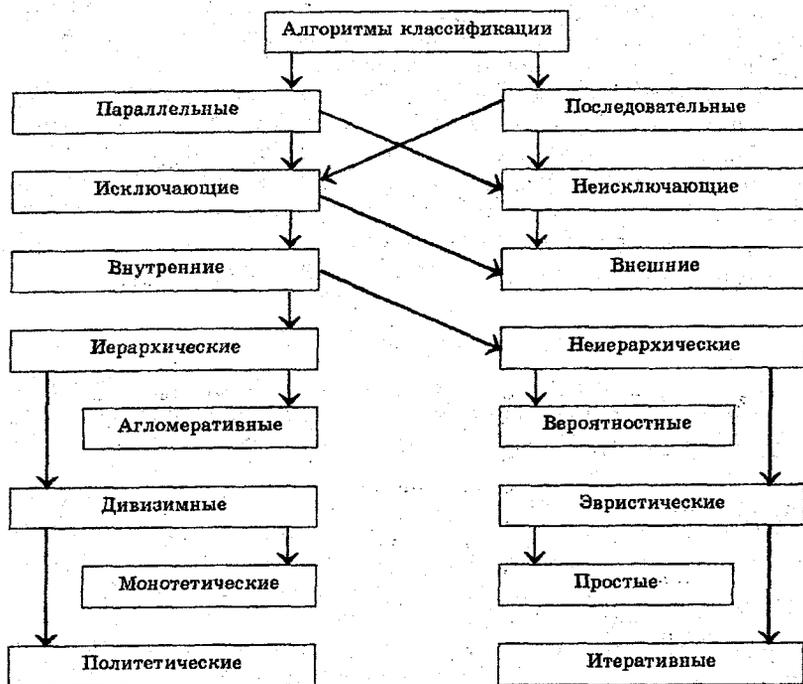


Рис. 5.1. Модернизированная схема классификации алгоритмов классификации [74].

— в иерархических исходные объекты рассматриваются попарно как возможные кандидаты для объединения. Критерием объединения служит возможно меньшее увеличение неоднородности при объединении;

— в неиерархических группы выбираются так, чтобы каждая была возможно более однородной, причем отношения между группами (классами) не выясняются.

Неиерархические алгоритмы могут быть вероятностными и эвристическими:

— вероятностные строятся на базе модели смеси вероятностных распределений, в которой каждый класс интерпретируется как параметрически заданная генеральная одномерная совокупность;

— эвристические основаны на выделении в многомерном пространстве компактных групп точек в виде геометрических образов, их в свою очередь можно разделить на простые и сложные (итеративные).

Иерархические алгоритмы делятся на агломеративные и дивизимные, различающиеся направлением процедуры классификации:

— в агломеративных элементы объединяются до тех пор, пока вся группа не объединится в одно подмножество;

— в дивизимных они разделяются на более мелкие структуры до тех пор, пока не будет получена желаемая степень разделения.

Наконец, дивизимные алгоритмы делятся на монотетические и политетические:

— в монотетических классификация производится по одному признаку, имеющему максимальную информативность;

— в политетических все признаки учитываются в равной степени.

В гидрометеорологии наиболее распространены *эвристические* и *иерархические* алгоритмы.

Из эвристических алгоритмов, на наш взгляд, наиболее перспективен метод k -средних (k -means) [1, 58], который внедрен во многие современные пакеты прикладных статистических программ. Метод обосновал Мак-Куин в 1967 г.

Суть метода состоит в следующем [58]. Исходную совокупность из n объектов, каждый из которых характеризуется m признаками, требуется разбить на k кластеров. Прежде всего исходя из каких-либо априорных соображений, исследователь задает k точек (объектов) или же они отбираются случайным образом в результате работы программы. Эти точки принимаются за первоначальные «эталон», т. е. центры кластеров. Каждому из них присваивается порядковый номер, который одновременно является и номером кластера.

На первом шаге из оставшихся ($n - k$) объектов извлекается любая точка X_j и на основе известной матрицы расстояний строится вектор расстояний от точки X_j до всех эталонов. Данная точка присоединяется к тому эталону (центру), которому соответствует минимальное расстояние до выбранной точки. Затем этот эталон заменяется новым, пересчитанным с учетом присоединенной точки, а вес его (число объектов, входящих в данный кластер) увеличивается на единицу. Если встречаются два или более одинаковых минимальных расстояния, то X_j присоединяется к центру с наименьшим порядковым номером.

На следующем шаге выбирается новая точка X_{j+1} и для нее повторяются аналогичные процедуры. В результате через ($n - k$) шагов все точки окажутся разнесенными по кластерам.

Однако процесс классификации на этом не заканчивается. Чтобы добиться устойчивости разбиения, все точки X_1, X_2, \dots, X_n заново присоединяются к выделенным кластерам, причем веса продолжают накапливаться. Новое разбиение сравнивается с пре-

дыдущим. При их совпадении работа алгоритма заканчивается, в противном случае она продолжается.

Доказано, что такой итеративный процесс не может быть бесконечным и быстро сходится. Заметим, что при случайном отборе кластеров центры их тяжести обычно не совпадают с эталонами.

Для *иерархических* алгоритмов, как уже указано, характерно последовательное объединение (разъединение) объектов до тех пор, пока все они не соединятся в единый кластер или не разъединятся так, чтобы каждому классу соответствовал один объект. Наиболее широкое распространение на практике получили процедуры первого типа (агломеративные).

При агломеративной процедуре классификации в пакете прикладных статистических программ (ППСП) наиболее распространены методы (стратегии), описание которых можно, например, найти в работах [58, 74]:

- одиночной связи,
- полной связи,
- средней связи,
- центроидную,
- Уорда.

Использование разных стратегий приводит к различным кластерным структурам и тем самым заметно влияет на качество классификации:

— в стратегии одиночной связи («ближайшего соседа») объединение классов друг с другом проводится на основании расстояния между ближайшими элементами этих классов, причем этот метод сильно сжимает признаковое пространство;

— при использовании стратегии полной связи («дальнего соседа») объединение классов друг с другом проводится на основании расстояния между самыми дальними элементами этих классов, что, наоборот, сильно его растягивает.

Все это следует учитывать при иерархической классификации.

Заметим, что помимо наиболее популярной евклидовой метрики ППСП позволяют использовать в качестве меры близости (сходства) также манхетенское расстояние (*city-block*), расстояние Чебышева, расстояние Пирсона и др.

Следует иметь в виду, что по сравнению с эвристическими алгоритмами, которые первоначальную матрицу расстояний сохраняют неизменной, при работе с иерархическими алгоритмами матрица расстояний пересчитывается на каждом шаге. Однако несомненное достоинство иерархических алгоритмов — возможность визуально анализировать последовательное объединение объектов в кластеры.

На наш взгляд, из иерархических процедур наиболее предпочтителен алгоритм Уорда, который отличается от других процедур тем, что использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Он минимизирует сумму квадратов расстояний (SS) для двух кластеров, которые формируются на каждом шаге. При этом величина SS вычисляется по формуле

$$SS = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_{ik})^2, \quad (5.2)$$

где k — номер кластера; i — номер объекта; j — номер признака; p — число признаков, характеризующих каждый объект; n — число объектов в k -м кластере.

Данный метод приводит к образованию кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой дисперсией. Этим он близок к эвристическим алгоритмам, минимизирующим внутриклассовую дисперсию (расстояния) и максимизирующим межклассовую дисперсию (расстояния).

В целом алгоритм Уорда весьма эффективен, но он стремится создавать кластеры малого размера, что практически не сказывается на качестве классификации при относительно небольших размерах исходной выборки.

Принципиальный недостаток большинства иерархических процедур, в том числе и алгоритма Уорда, — невозможность автоматически выбирать оптимальное число классов. Считается, что исследователь должен самостоятельно выполнять эту операцию, исходя из каких-либо априорных физических представлений, либо задавая тем или иным способом пороговое (критическое) расстояние. В последнем случае при выполнении расчетов довольно часто возникает ситуация неопределенности, когда возможно несколько вариантов определения оптимального числа классов.

На наш взгляд, возможен однозначный выход из данного положения. Для этого, дополнительно задавая то или иное число классов, необходимо оценить оптимальное их число на основе метода k -средних. Итак, именно *совместное использование иерархических и эвристических процедур* — наиболее рациональный и перспективный подход при решении многих задач гидрометеорологии.

При получении результатов классификации всегда возникает вопрос об оценке ее качества. Очевидно, для этого можно использовать те или иные критерии (функционалы) качества классификации.

При заданном числе классов как критерий качества наиболее часто используют следующее:

- минимизацию сумм внутриклассовых дисперсий,
- минимизацию сумм внутриклассовых расстояний и др.

Минимизацию сумм внутриклассовых расстояний целесообразно применять, когда число исходных объектов невелико. Так, в уже рассмотренном алгоритме k -средних минимизированы внутриклассовые дисперсии, хотя в явном виде такой критерий в самом алгоритме не прописан.

При неизвестном априори числе классов критерии качества обычно выбирают в виде простой алгебраической комбинации (разности, суммы, произведения, отношения) двух функционалов, один из которых является убывающей функцией числа классов (межклассового рассеяния), а второй — возрастающей функцией числа классов (внутриклассового рассеяния).

Например, для простых эвристических алгоритмов при сравнительно малом числе исходных объектов удобно использовать такой критерий, который определяется по максимуму разности (или максимуму соотношения) среднего максимального внутриклассового расстояния D_{BK} и среднего максимального межклассового расстояния D_{MK} . Исходя из этого, можно записать:

$$D_{\text{опт}} = D_{MK} - D_{BK} \rightarrow \max \quad \text{или} \quad D'_{\text{опт}} = D_{MK}/D_{BK} \rightarrow \max. \quad (5.3)$$

Заметим, что в принципе оба критерия равнозначны. Однако в некоторых случаях при решении одной и той же классификационной задачи они могут давать различные результаты. Поэтому выбор оптимального числа классов — прерогатива исключительно самого исследователя, который для этого может использовать не только формальные, но и неформальные соображения [15].

Кроме того, отметим, что существуют алгоритмы классификации, в которых задача оценки ее качества принципиально не ставится. К ним относятся, например, иерархические процедуры, для которых главное — это более детальный анализ структуры исходного множества объектов и возможность ее визуальной интерпретации.

В данной работе аппарат КА использован для решения нескольких задач. К ним относятся:

- районирование акватории океана по характеру межгодовых колебаний ИВА;
- временная классификация колебаний ИВА, т. е. разбиение межгодового хода на однородные градации;
- классификация сезонного хода ИВА, т. е. выделение квазиоднородных сезонов года.

5.2. Районирование акватории океана по характеру межгодовых колебаний ИВА

Предварительно индексы C и A усреднены за холодный период (с октября по март), когда процессы вихревой активности выражены наиболее ярко. Затем рассчитана корреляционная матрица для точек на акватории Северной Атлантики за 1946—1988 гг. размером 63×63 . Корреляционная матрица пересчитана в матрицу расстояний, в которой в качестве меры близости использован аналог евклидовой метрики

$$d = 1 - |r|,$$

где r — выборочный коэффициент корреляции между узлами.

На рис. 5.2 приведены дендрограммы классификации индексов C и A , полученные методом Уорда. Если для индекса A разде-

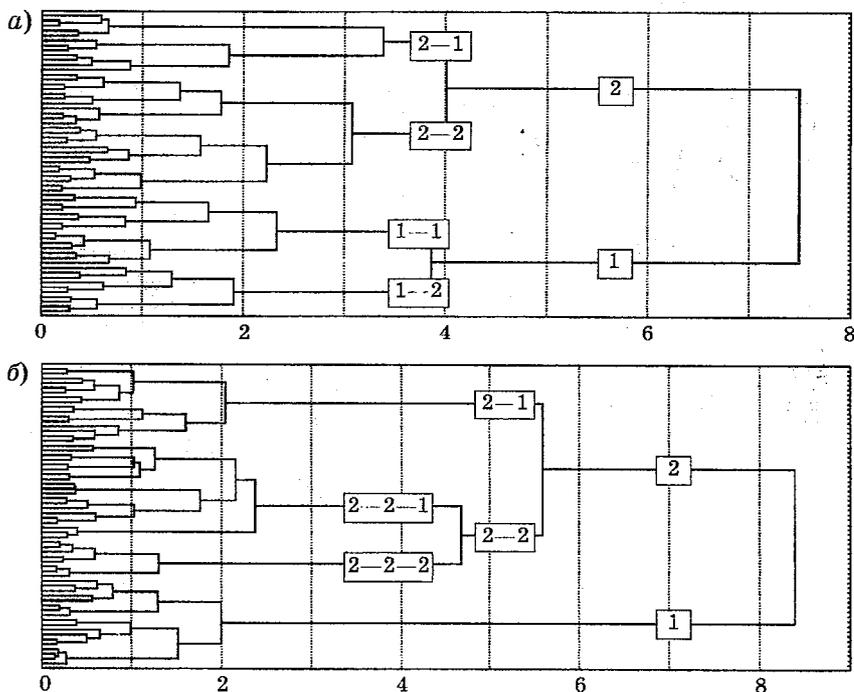


Рис. 5.2. Дендрограммы межгодовых колебаний индексов C (а) и A (б), усредненных за холодный (ноябрь—март) период, полученные методом Уорда.

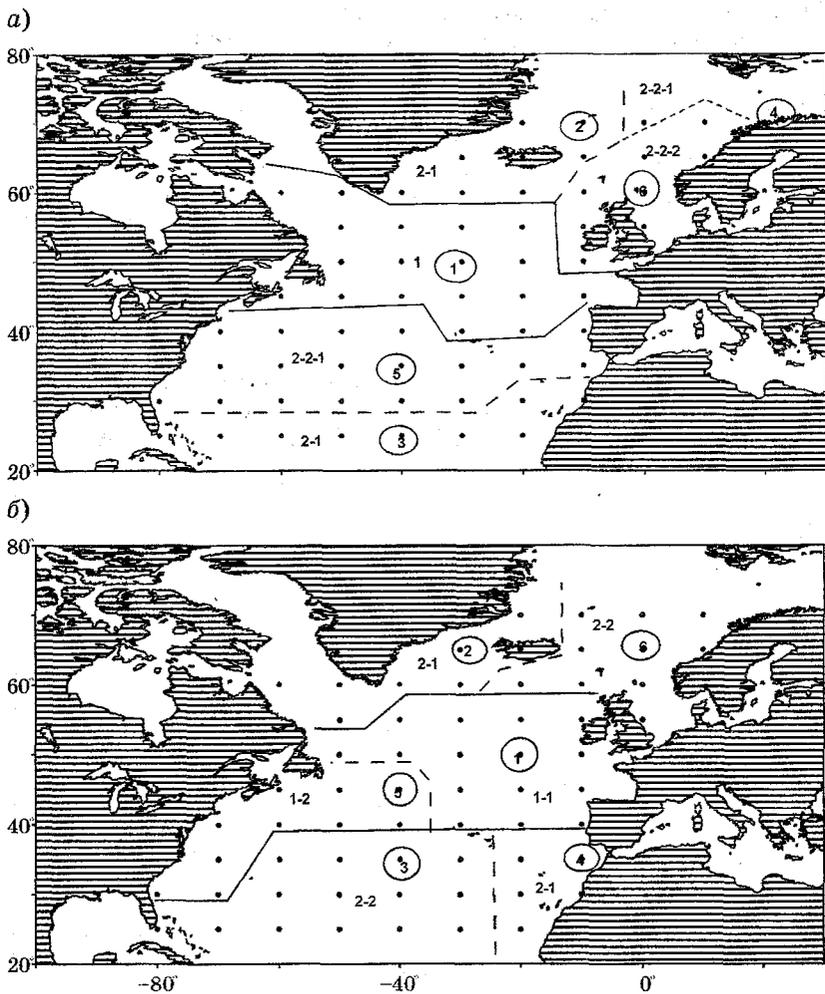


Рис. 5.3. Районирование акватории Северной Атлантики по характеру межгодовых колебаний индексов С (а) и А (б), осредненных за холодный (ноябрь—март) период.

ление всей совокупности на четыре класса достаточно очевидно, то для индекса C заметно сложнее выделить оптимальное число классов.

Применение метода k -средних для индекса A последовательно для нескольких вариантов (от 2 до 5 классов) однозначно показало, что оптимальное число классов равно четырем. Для индекса C оптимальным оказалось два класса. Однако с учетом довольно большого размера этих классов каждый из них вновь подвергся кластеризации и разделился еще на два подкласса. Таким образом получилась иерархическая структура, первую ступеньку которой образовали два класса, а вторую — четыре класса.

Перенесение результатов классификации на карту Северной Атлантики показало, что не все классы имеют территориальную целостность. Вследствие этого для каждого индекса получилось шесть квазиоднородных районов (рис. 5.3). Распределение их носит достаточно хорошо выраженный зональный характер, нарушаемый главным образом действием системы течений.

Некоторые статистические характеристики выделенных районов приведены в табл. 5.1. К ним относятся первичные статистические характеристики «центров тяжести» каждого района X_{\varnothing} и σ_{\varnothing} , найденных путем простого арифметического осреднения всех точек, входящих в этот район, и статистических центров, определенных по максимальному коэффициенту корреляции в центре тяжести и в произвольной точке.

Таблица 5.1. Статистические параметры квазиоднородных районов Северной Атлантики, определенные по характеру межгодовых колебаний индексов C и A

Район	Число узлов	Центр тяжести			Статистический центр		
		\bar{X}_{\varnothing}	σ_{\varnothing}	$r(X_{\varnothing}, X_j)$	Номер узла	\bar{X}_j	σ_j
Индекс C							
1	16	0,112	0,015	0,86	27	0,094	0,017
2	7	0,237	0,026	0,84	6	0,229	0,039
3	13	0,024	0,005	0,83	45	0,030	0,008
4	4	0,026	0,007	0,87	48	0,032	0,008
5	10	0,084	0,009	0,78	31	0,092	0,016
6	9	0,212	0,027	0,87	9	0,173	0,024
Индекс A							
1	18	0,112	0,012	0,87	26	0,111	0,016
2	8	0,107	0,018	0,80	2	0,127	0,025
3	7	0,059	0,005	0,77	61	0,053	0,007
4	2	0,097	0,017	0,85	5	0,098	0,015
5	18	0,080	0,006	0,77	45	0,092	0,008
6	8	0,113	0,018	0,89	17	0,114	0,016

5.3. Классификация сезонного хода индексов вихревой активности

Данная задача решена путем построения дендрограмм методом Уорда для характерных точек Северной Атлантики и ее акватории в целом. На рис. 5.4 приведена дендрограмма среднееголетних месячных индексов C для матрицы размером 12×63 , где первая цифра означает число месяцев, а вторая — число точек сеточной области.

Легко заметить, что вся исходная совокупность четко делится на два класса, которые можно интерпретировать как холодный (с ноября по март) и теплый (с апреля по октябрь) периоды года. Но если холодный период однороден, и дальнейшее разбиение его уже не имеет смысла, то теплый можно в свою очередь разделить на летний сезон (с июня по август) и переходные сезоны: весну (апрель, май) и осень (сентябрь, октябрь).

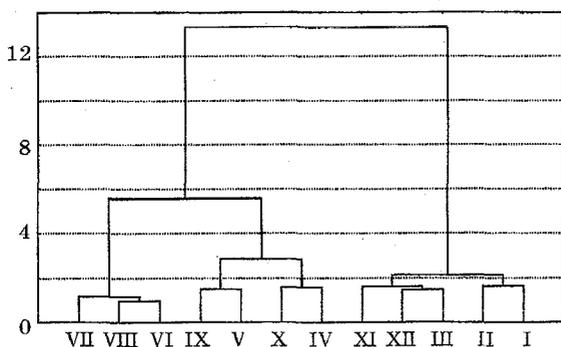


Рис. 5.4. Дендрограмма среднееголетних месячных индексов C , осредненных для всей Северной Атлантики.

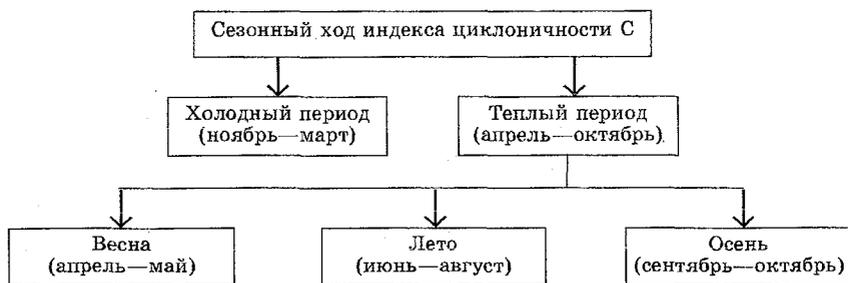
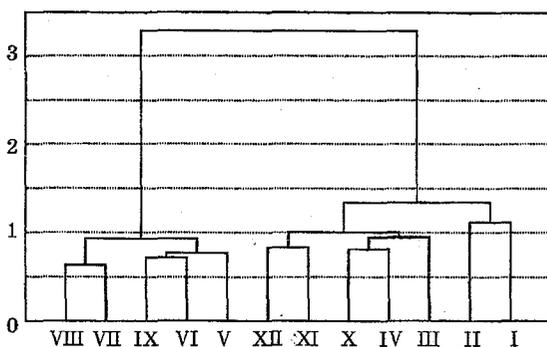


Рис. 5.5. Иерархическая структура разбиения годового хода индексов C на квази-однородные периоды.

Рис. 5.6. Дендрограмма среднемноголетних месячных индексов *A*, осредненных для всей Северной Атлантики.



Итак, на основе иерархического алгоритма мы получили иерархическую структуру разбиения годового хода индексов *C* на квазиоднородные периоды (рис. 5.5).

По-иному складывается структура квазиоднородных сезонов индексов *A* (рис. 5.6). Резко выражены только теплый (с мая по сентябрь) и холодный (с октября по апрель) периоды, последующее разбиение которых уже представляется нецелесообразным. Таким образом, структура годового хода индекса *A* более однородна по сравнению с годовым ходом индекса *C*.

Значительно сложнее выделять квазиоднородные сезоны для характерных точек Северной Атлантики. Для обоих индексов четко выделяются только холодный и теплый периоды года, причем если для индекса *C* продолжительность теплого периода 4—5 мес, а холодного — 7—8 мес, то для индекса *A*, наоборот, продолжительность этих периодов обратная (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Продолжительность холодного и теплого периодов года для статистических центров квазиоднородных районов

Номер точки	Теплый период	Холодный период
Индекс <i>C</i>		
6	Май—август	Сентябрь—апрель
9	Май—август	Сентябрь—апрель
27	Июнь—сентябрь	Октябрь—май
31	Июнь—октябрь	Ноябрь—май
45	Май—сентябрь	Октябрь—апрель
48	Май—сентябрь	Октябрь—апрель
Индекс <i>A</i>		
6	Апрель—октябрь	Ноябрь—март
9	Апрель—сентябрь	Ноябрь—март
27	Май—ноябрь	Декабрь—апрель
31	Февраль—сентябрь	Октябрь—январь
45	Март—октябрь	Ноябрь—февраль
48	Май—ноябрь	Декабрь—апрель

Отметим, что уровень разделения на эти периоды также весьма различается. Максимальное различие для индекса C между холодным и теплым периодами отмечается в точке 6, а наименьшее — в точке 27, где оно еле заметно. Для индекса A резче всего разбиение выражено в точке 27, а хуже всего — в точке 45.

5.4. Временная классификация межгодовых колебаний индексов вихревой активности

Обычно, исходя из тех или иных физических критериев, исследователь разделяет временной ряд на три градации:

- 1) «ниже нормы»,
- 2) «норма»,
- 3) «выше нормы».

Иногда временной ряд делится на пять градаций, когда дополнительно вводятся градации «значительно ниже нормы» и «значительно выше нормы». При этом чаще всего в качестве критериев служат среднее арифметическое \bar{X} и доли среднеквадратического отклонения σ . Например, к «норме» можно отнести значения временного ряда, попадающие в интервал $\bar{X} \pm \sigma$, а те значения, которые больше или меньше этого интервала, относятся соответственно к градациям «выше нормы» и «ниже нормы». Отметим, что в качестве границы между классами используются также значения $0,67\sigma$, $0,80\sigma$, $1,50\sigma$ и т. п. Естественно, такое разделение на градации во многом искусственно, поскольку не учитывает особенности внутренней структуры временного ряда.

Более адекватное решение данной задачи можно получить при помощи алгоритмов КА [51]. Действительно, в этом случае значения временного ряда, отнесенные в одну градацию, оказываются наиболее близкими, в то время как различия значений, принадлежащих разным градациям, напротив, максимальны. При этом границы между классами могут не совпадать с долями среднеквадратического отклонения и даже среднее значение в градации «норма» может отличаться от среднего арифметического всего ряда.

Предварительное разбиение среднегодовых индексов C и A , осредненных для всей Северной Атлантики, при помощи иерархического метода Уорда показало, что действительно оптимальное число градаций может быть равно трем или пяти. Поэтому для этих вариантов использован алгоритм k -средних, а качество классификации оценивалось по критериям (5.5).

Результаты расчетов даны в табл. 5.3, из которой четко видно, что оба критерия дают однозначное разбиение обоих индек-

Таблица 5.3. Оценки оптимального числа классов межгодовых колебаний индексов *C* и *A* за холодный период для всей Северной Атлантики методом *k*-средних на основе критериев $D_{\text{МК}}/D_{\text{ВК}}$ и $D_{\text{МК}} - D_{\text{ВК}}$

Число классов	$D_{\text{МК}}$	$D_{\text{ВК}}$	$D_{\text{МК}}/D_{\text{ВК}}$	$D_{\text{МК}} - D_{\text{ВК}}$
Индекс <i>C</i>				
3	0,089	0,018	4,88	0,071
5	0,103	0,011	9,03	0,092
Индекс <i>A</i>				
3	0,083	0,014	4,88	0,069
5	0,093	0,010	9,30	0,083

Таблица 5.4. Градации среднегодовых значений индексов *C* и *A* по методу *k*-средних, гПа · %/(100 км)²

Параметр	Градация				
	Значительно ниже нормы	Ниже нормы	Норма	Выше нормы	Значительно выше нормы
Индекс <i>C</i>					
Число случаев	2	17	11	15	6
Нижняя граница	0,116	0,120	0,125	0,129	0,137
Среднее	0,117	0,123	0,127	0,132	0,139
Верхняя граница	0,118	0,125	0,128	0,134	0,140
Индекс <i>A</i>					
Число случаев	2	9	18	18	4
Нижняя граница	0,087	0,093	0,098	0,102	0,106
Среднее	0,088	0,095	0,100	0,104	0,107
Верхняя граница	0,089	0,097	0,102	0,105	0,108

сов на пять классов. При этом частное от деления в данном конкретном случае служит более резкой границей классов.

Результаты классификации межгодовой изменчивости среднегодовых значений индексов за 1946—1996 гг. для Северной Атлантики на основе метода *k*-средних приведены в табл. 5.4 и на рис. 5.7. Заметим, что они существенно отличны от аналогичных результатов классификации по дендрограммам, построенным методом Уорда.

Так, по дендрограмме для индекса *C* в градацию «значительно ниже нормы» входит 12 значений, а по методу *k*-средних — всего 2. Для индекса *A* в градацию «значительно выше нормы» по дендрограмме относится 16 значений, а по методу *k*-средних — только 4. Понятно, что экстремальные значения в гидрометеорологических рядах встречаются значительно реже, чем более близкие к норме. Отсюда следует, что алгоритм *k*-средних более адекватен поставленной задаче по сравнению с методом Уорда.

Итак, в табл. 5.4 приведены результаты разбиения индексов *C* и *A* на пять градаций с указанием числа случаев, нижней и верхней границ и среднего значения. Прежде всего следует отметить, что рас-

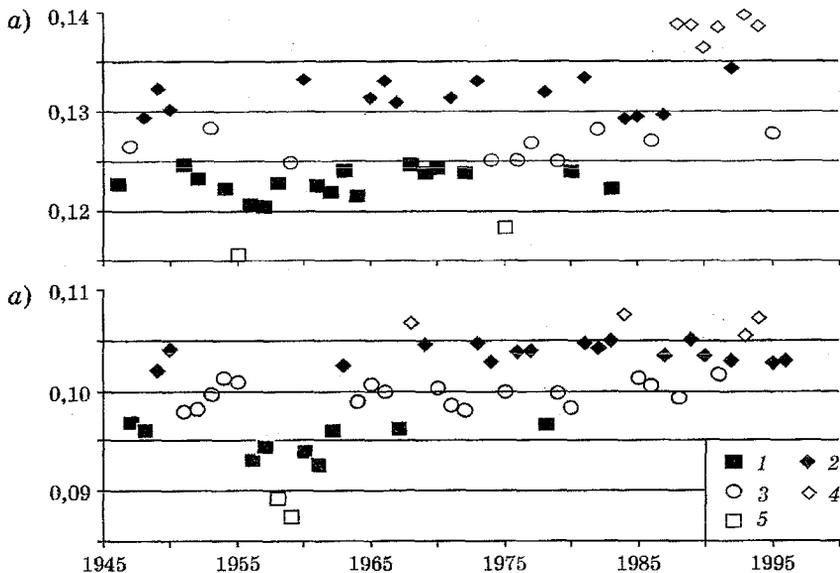


Рис. 5.7. Распределение среднегодовых значений индексов C (а) и A (б) по градациям «Ниже нормы» (1), «Выше нормы» (2), «Норма» (3), «Значительно выше нормы» (4) и «Значительно ниже нормы» (5) для всей Северной Атлантики за период 1946—1996 гг. на основе метода k -средних.

пределение числа случаев (повторяемости) по градациям существенно различно для каждого индекса. Одновременно с этим оно не повторяет гистограммы, построенные непосредственно по исходным данным, и в обоих случаях не соответствует нормальному закону распределения. Однако очень важно, что средние значения в градации «норма» практически совпадают с пространственными средними, полученными непосредственно по исходным данным за 51 год.

Если распределение индекса C почти симметрично и двухмодально с максимальной повторяемостью его значений в градациях «выше нормы» и «ниже нормы», то распределение индекса A резко ассиметрично, его положительные, но относительно малые аномалии встречаются чаще, чем относительно большие, но редкие отрицательные аномалии.

Отметим также, что распределения значений C и A по градациям несимметричны относительно среднеквадратического отклонения, которое составляет $0,060 \text{ гПа} \cdot \% / (100 \text{ км})^2$ при среднем $0,128 \text{ гПа} \cdot \% / (100 \text{ км})^2$ для индекса C и $0,042 \text{ гПа} \cdot \% / (100 \text{ км})^2$ при среднем $0,100 \text{ гПа} \cdot \% / (100 \text{ км})^2$ для индекса A .

ГЛАВА 6. Анализ межгодовых трендов индексов вихревой активности

Межгодовую изменчивость гидрометеорологического процесса удобно представить в виде следующего разложения:

$$X(t) = T(t) + C(t) + E(t), \quad (6.1)$$

где $T(t)$ — трендовая составляющая; $C(t)$ — компонент, характеризующий квазипериодические (циклические) колебания временного ряда; $E(t)$ — остаточная часть, характеризующая нерегулярные колебания.

Хотя аддитивное разложение вида (6.1) в определенной степени гипотетично, так как не всегда соблюдается требование к статистической независимости отдельных слагаемых в правой части, однако оно обычно достаточно хорошо выполняется для многих гидрометеорологических характеристик. В разложении (6.1) под трендовой составляющей мы понимаем некоторое медленное изменение процесса с периодом, превышающим длину исходной реализации [14].

Отсюда следует, что само существование тренда полностью определяется длиной ряда. При изменении его длины тренд может появляться, исчезать, менять свою интенсивность и форму. Но при этом он не может образовывать циклы, которые, как следует из разложения (6.1), описываются вторым слагаемым.

Расчет и анализ трендов временных рядов — первая процедура изучения формирования их временной изменчивости.

Для гидрометеорологических рядов характерны в основном тренды по математическому ожиданию, которые могут быть линейного и нелинейного вида. Обычно они аппроксимируются полиномиальными приближениями:

$$T(t) = a_0 + a_1 t, \quad (6.2)$$

$$T(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2. \quad (6.3)$$

Численные значения коэффициентов в этих формулах определяются методом наименьших квадратов.

Тренд оценивается при помощи коэффициента детерминации, линейного для формулы (6.2) или нелинейного для формулы (6.3) (соответственно R_l^2 и R_n^2), который показывает вклад тренда в дисперсию исходного ряда.

При оценке тренда наиболее важной представляется оценка его значимости. Хотя известно множество самых разнообразных приемов, но все же наиболее распространен и прост в использовании критерий Стьюдента. Так, при оценке значимости линейного тренда записывается нулевая гипотеза по отношению к коэффициенту регрессии a_1 и коэффициенту корреляции r :

$$H_0: a_1 = 0, \quad H_0: r = 0. \quad (6.4)$$

Для проверки этой гипотезы рассчитывается выборочный критерий Стьюдента:

$$t_r^* = r/\sigma_r, \quad t_a^* = a_1/\sigma_{a_1},$$

где σ_r и σ_{a_1} — среднеквадратические отклонения коэффициентов корреляции и регрессии, вычисляемые в предположении о нормальности рассматриваемого ряда по формулам:

$$\sigma_r = (1 - r^2)/\sqrt{n - 1}, \quad \sigma_{a_1} = \sigma_x(1 - r^2)/(\sigma_t\sqrt{n - 1}), \quad (6.5)$$

где σ_x и σ_t — соответственно среднеквадратические отклонения зависимой и независимой переменных.

Тренд значим, если оценки критерия Стьюдента превышают его критическое значение при заданном уровне значимости:

$$t^* > t_{кр}(\alpha, \nu = n - 2),$$

где α — уровень значимости, ν — число степеней свободы.

Поскольку $t_r = t_a$, то при оценке значимости тренда достаточно использовать только один из этих параметров.

При оценке значимости нелинейного тренда рассчитывается корреляционное отношение η , а затем проверяется нулевая гипотеза аналогично оценке на значимость коэффициента корреляции.

Таким образом, нелинейный коэффициент детерминации можно определить по формуле

$$R_n^2 = \eta^2.$$

6.1. Пространственное распределение трендов по акватории

За период с октября по март включительно 1946—1996 гг. сформированы ряды индексов, затем для каждой точки рассчитаны линейные тренды и построены карты коэффициента детерминации, характеризующего вклад тренда в дисперсию исходных рядов.

Распределение линейного коэффициента детерминации R_t^2 для индекса C приведено на рис. 6.1, причем выделены области значимых коэффициентов детерминации $R_t^2 > 0,08$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, а знак указывает на направление тренда:

- положительный — усиление процесса,
- отрицательный — его ослабление.

Вся акватория Северной Атлантики разбита на две области нулевой изолинией, проходящей от о. Ньюфаундленд до о. Ирландия:

- 1) севернее нулевой изолинии — область положительного тренда,
- 2) южнее — область отрицательного тренда.

Максимальные положительные тренды отмечаются в районе Исландской депрессии и Восточно-Гренландского течения. В точ-

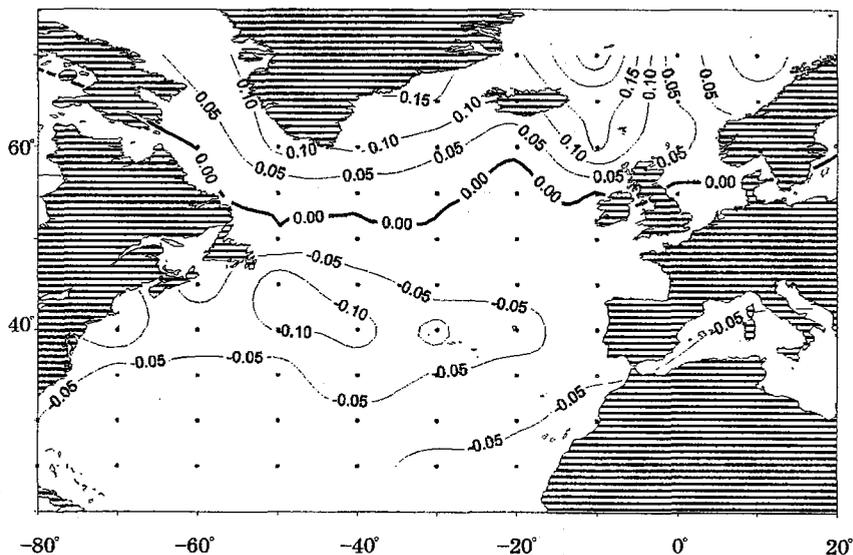


Рис. 6.1. Пространственное распределение линейного коэффициента детерминации R_t^2 для усредненного за холодный период (ноябрь—март) индекса C за 1946—1996 гг. по акватории Северной Атлантики.

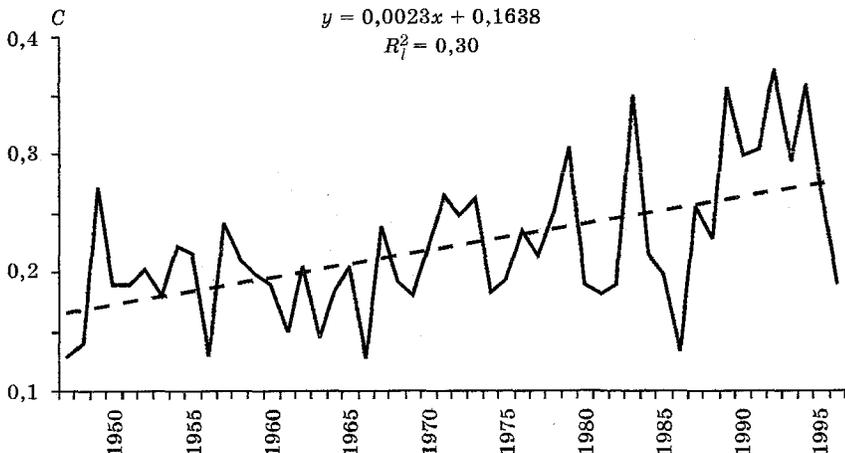


Рис. 6.2. Межгодовой ход и линейный тренд индекса C в точке 2 (70° с. ш., 10° в. д.).

ке 2 с координатами 70° с. ш. и 10° в. д. коэффициент детерминации $R_1^2 = 0,30$ (рис. 6.2). На рис. 6.2 четко видно, что циклогенез непрерывно усиливался в течение всего рассматриваемого периода.

Характеристика трендов для холодного и теплого периодов и года в целом в указанной точке 2 приведено в табл. 6.1. Формирование тренда в данном районе связано главным образом с интенсивностью циклонической активности.

Таблица 6.1. Характеристика максимальных трендов индексов C и A над Северной Атлантикой для холодного (с октября по март), теплого (с апреля по сентябрь) полугодий и года в целом

Номер точки	Координаты	Период	Среднеквадратическое отклонение	Линейный R_1^2 (знак)	Нелинейный R_n^2
Индекс C					
2	70° с. ш., 10° в. д.	Холодный	0,061	0,30 (+)	0,33
		Теплый	0,040	0,20 (+)	0,22
		Год	0,045	0,36 (+)	0,39
30	45° с. ш., 50° з. д.	Холодный	0,017	0,15 (-)	0,15
21	55° с. ш., 20° з. д.	Теплый	0,027	0,19 (-)	0,19
30	45° с. ш., 50° з. д.	Год	0,011	0,11 (-)	0,11
Индекс A					
3	70° с. ш., 0° д.	Холодный	0,023	0,21 (+)	0,26
7	65° с. ш., 20° з. д.	Теплый	0,016	0,34 (+)	0,34
5	70° с. ш., 20° в. д.	Год	0,016	0,31 (+)	0,34
48	35° с. ш., 10° з. д.	Холодный	0,016	0,04 (-)	0,07
41	40° с. ш., 10° з. д.	Теплый	0,013	0,28 (-)	0,48
44	35° с. ш., 50° з. д.	Год	0,008	0,07 (-)	0,07

Следует заметить, что для годовых данных тренд даже несколько выше.

Максимальный отрицательный тренд наблюдался в точке 30 с координатами 45° с. ш., 50° з. д., расположенной вблизи о. Ньюфаундленд. Отрицательные тренды четко локализируются в области действия Азорского максимума, т. е. циклоническая активность атмосферы здесь постепенно уменьшалась. Однако достаточно очевидно, что в целом в Северной Атлантике во второй половине XX в. циклогенез усиливался.

Более сложный характер носит пространственное распределение трендов индекса A (рис. 6.3). Значимые очаги положительных трендов отмечаются над Норвежским морем, Ньюфаундлендской энергоактивной зоной и в районе Азорского максимума. При этом наибольшие значения R^2 отмечаются в точках 30 (с координатами 45° с. ш., 50° з. д.) и 3 (с координатами 70° с. ш., 0° д.). В то же время по сравнению с распределением индекса C в пространственном распределении трендов индекса A отсутствуют области значимых отрицательных трендов. Поэтому можно утверждать, что во второй половине XX в. в Северной Атлантике антициклогенез также усиливался.

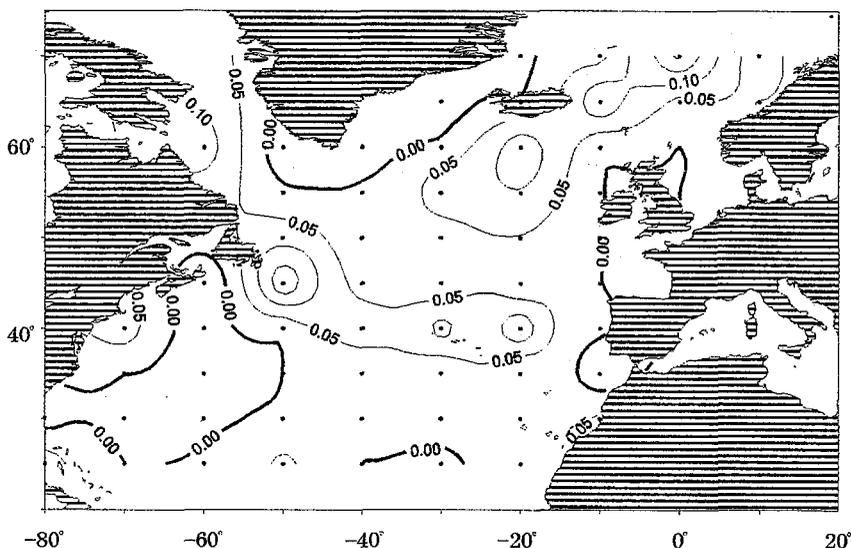


Рис. 6.3. Пространственное распределение по акватории Северной Атлантики линейного коэффициента детерминации R^2 для индекса A , осредненного за холодный период (ноябрь—март) 1946—1996 гг.

6.2. Оценка трендов осредненных для Северной Атлантики индексов вихревой активности

При осреднении индексов C и A для всей акватории Северной Атлантики (табл. 6.2) процессы циклогенеза и антициклогенеза усиливаются. Однако если первые резко возрастают зимой и остаются неизменными летом, то вторые, наоборот, в большей степени усиливаются летом. При осреднении значений C и A за год их тренды уже становятся близкими друг другу.

Таблица 6.2. Характеристики трендов ИВА, осредненных для рассматриваемой акватории Северной Атлантики

Индекс	Холодное полугодие		Теплое полугодие		Год	
	R_1^2 (знак)	R_n^2	R_1^2 (знак)	R_n^2	R_1^2 (знак)	R_n^2
C	0,31 (+)	0,35	0,00 (+)	0,09	0,27 (+)	0,39
A	0,14 (+)	0,14	0,37 (+)	0,37	0,30 (+)	0,31
I_z	0,36 (+)	0,49	0,13 (+)	0,25	0,33 (+)	0,50
I_a	0,23 (+)	0,23	0,25 (+)	0,26	0,29 (+)	0,29
P_z	0,02 (-)	0,07	0,19 (-)	0,21	0,15 (-)	0,23
P_a	0,02 (+)	0,07	0,19 (+)	0,21	0,15 (+)	0,23

Естественно, указанные процессы могут усиливаться одновременно только при возрастании интенсивности вихревой активности. Как видно из табл. 6.2, ряды I_z и I_a во второй половине XX в. характеризуются сильным трендом, причем данный процесс в значительной степени нелинеен. Так, малое уменьшение I_z к концу 60-х годов сменилось затем ее резким ростом. При этом нелинейный коэффициент детерминации среднегодовых значений I_z описывает половину дисперсии исходного ряда.

Что касается трендов P_z и P_a , то P_z уменьшается в основном летом, а P_a , наоборот, в этот сезон года увеличивается. Зимой их тренды незначимы. Заметим также, что если тренды в рядах характеристик антициклонов преимущественно линейны, то тренды в рядах циклонической активности, и прежде всего в I_z , носят ярко выраженный нелинейный характер.

Таблица 6.3. Оценки коэффициентов корреляции между ИВА для холодного (верхний треугольник данных), теплого (нижний треугольник данных) полугодий и года в целом (в скобках)

Индекс	C	A	I_z	I_a	P_z
C	1	0,07 (0,28)	0,70 (0,81)	0,18 (0,38)	-0,02 (0,15)
A	0,27	1	0,58 (0,63)	0,96 (0,97)	-0,45 (-0,23)
I_z	0,84	0,56	1	0,63 (0,69)	-0,22 (0,05)
I_a	0,39	0,97	0,64	1	-0,32 (-0,08)
P_z	0,53	-0,06	0,32	0,12	1

В табл. 6.3 даны оценки статистической связи между ИВА, осредненными для рассматриваемой акватории Северной Атлантики.

Как видно из табл. 6.3, отмечается достаточно высокая положительная корреляция между интенсивностью циклонической и антициклонической деятельности. Именно их изменчивость определяет колебания индексов C и особенно A . Повторяемость циклонов и антициклонов не имеет высокой статистической связи с другими ИВА. Только в теплое полугодие между C и P_2 наблюдается относительно высокая корреляция ($r = 0,53$).

6.3. О причинах формирования трендов в рядах индексов вихревой активности

Естественно, возникает вопрос о причинах формирования трендов в рядах ИВА. На первый взгляд, к ним можно отнести интенсивность Азорского и Исландского ЦДА и САК, представляющее собой градиент давления указанных ЦДА. Однако, как следует из рис. 6.4, тренды интенсивности Исландского минимума,

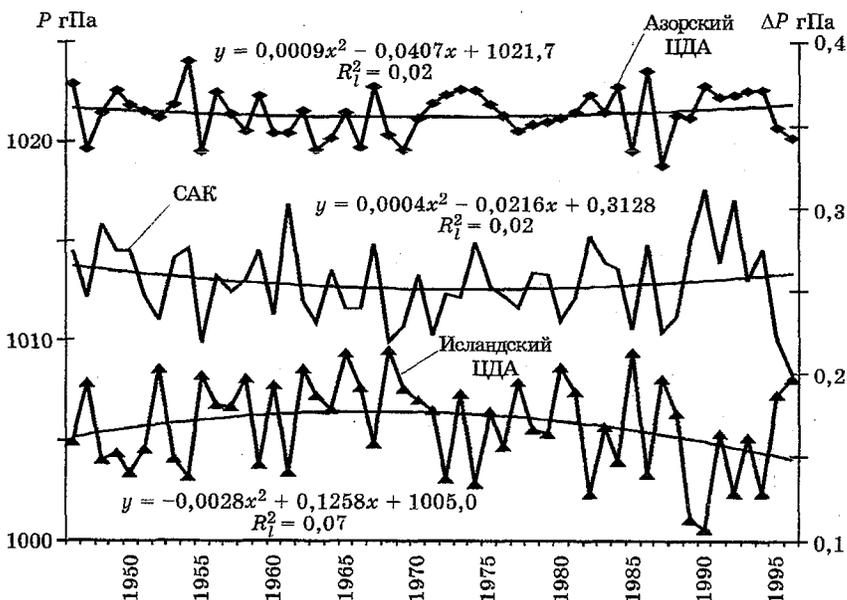


Рис. 6.4. Межгодовой ход и тренды в интенсивности Исландского и Азорского ЦДА и САК.

Аворского максимума и САК незначимы. Причина этого достаточно очевидна. Если индексы вычисляются по срочным данным, то характеристики ЦДА — исключительно по среднемесячным данным и поэтому не могут учитывать процессы вихреобразования. Хотя, как показано в гл. 4, именно в районах ЦДА межгодовая изменчивость индексов наиболее значительна, а в гл. 7 показано, что между индексами и характеристиками ЦДА существует значимая корреляция.

Другим фактором, который, вообще говоря, может влиять на интенсивность процессов циклогенеза, является изменчивость температуры поверхностного слоя океана (ТПО). Исходной информацией по ТПО послужил архив CDAS (Climate Data Assimilation System), содержащийся в глобальной системе гидрометеорологических данных NCEP/NCAR и находящейся в свободном доступе в сети Интернет¹. Из этого архива получены данные по ТПО с 1949 г. в узлах географической сетки, по которой рассчитывались ИВА.

На рис. 6.5 а приведено распределение коэффициента детерминации линейного тренда ТПО для холодного периода года. Нетрудно видеть, что для всей северной части Атлантики характерно понижение ТПО, причем максимальный тренд отмечается в области Исландской депрессии и над Восточно-Гренландским течением. В то же время вся южная часть Атлантики характеризуется малыми по абсолютным значениям положительными трендами. Но аналогичный характер тренда, правда с обратным знаком, свойствен и для индекса С. Даже нулевая изолиния в обоих случаях расположена примерно одинаково: от о. Ньюфаундленд она тянется к о. Ирландия.

Заметим, что такое распределение линейного тренда в ряде ТПО отнюдь не противоречит известному факту потепления климата и повышения температуры океана в последние десятилетия. Действительно, распределение нелинейного коэффициента детерминации имеет совсем другой характер (см. рис. 6.5 б). Практически вся акватория Северной Атлантики охвачена значимыми трендами, причем в ее центральной части выделяется обширная область, где тренд описывает более половины дисперсии исходных рядов.

Для нелинейного тренда характерно уменьшение ТПО до начала 1970-х годов и последующий ее резкий рост. При осреднении ТПО для всей акватории Северной Атлантики линейный тренд фактически отсутствует, а вклад нелинейного тренда в колеба-

¹ См. сайт по адресу: <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.MONTHLY/?help+datasetdataselection>.

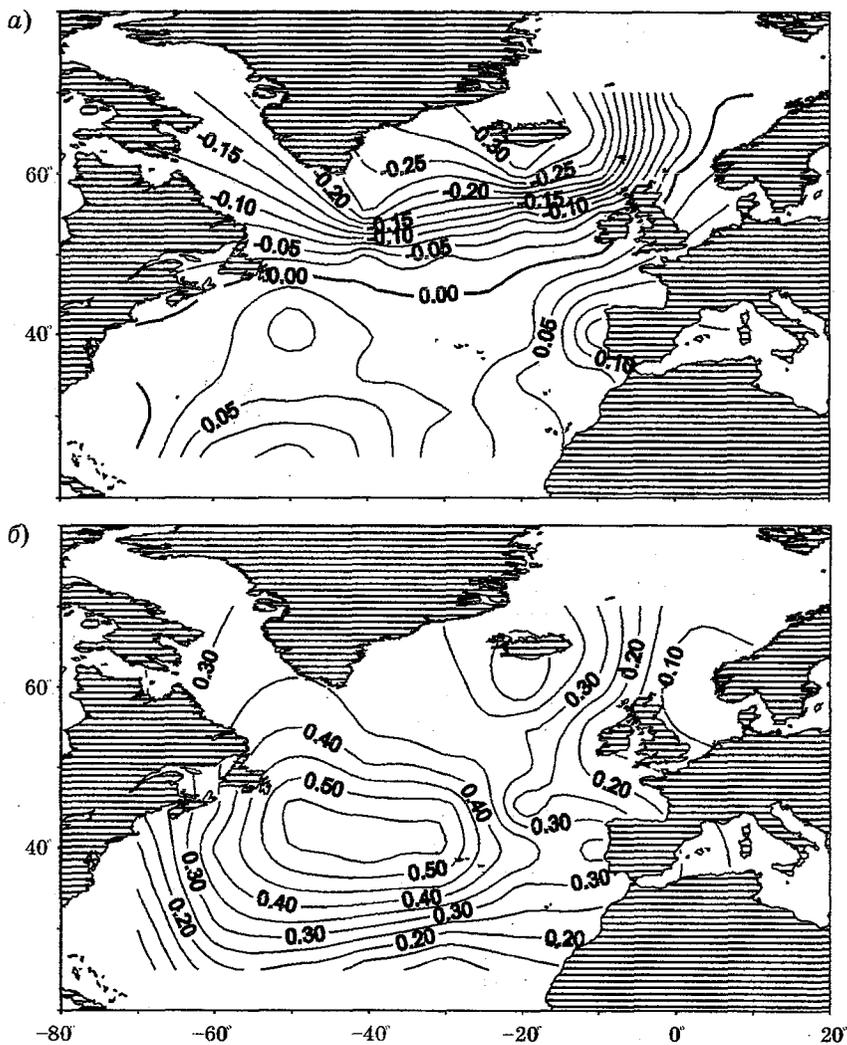


Рис. 6.5. Пространственное распределение коэффициента детерминации линейного (а) и нелинейного (б) трендов ТПО для холодного периода года.

Таблица 6.4. Характеристики трендов ТПО, осредненной для области Северной Атлантики 25—70° с. ш.

Период осреднения	Линейный тренд		Нелинейный тренд	
	Знак	R_l^2	R_n^2	Уравнение
Холодный		0	0,67	$y = 0,0009x^2 - 0,0500x + 15,63$
Теплый	-	0,02	0,47	$y = 0,0008x^2 - 0,0416x + 17,94$
Год	-	0,01	0,61	$y = 0,0008x^2 - 0,0455x + 16,79$

ния ТПО становится еще выше, однако это связано с эффектом уменьшения дисперсии исходных рядов при их пространственном осреднении (табл. 6.4).

Противоположные знаки линейных трендов в рядах интенсивности циклонической деятельности и колебаний ТПО достаточно очевидны. Так как северная часть Атлантики находится в зоне влияния Исландской депрессии, то для нее характерна высокая повторяемость штормовых условий. При прохождении циклонов, особенно глубоких, резко усиливается тепло- и влагоотдача в атмосферу, что приводит к уменьшению ТПО. Одновременно с этим под действием ветра усиливается перемешивание верхних слоев воды, мощность зоны которого может достигать нескольких десятков метров, вследствие чего ТПО обычно также уменьшается, ибо к поверхности поднимаются более холодные нижележащие воды. Отсюда следует, что чем выше повторяемость и интенсивность атмосферных синоптических вихрей циклонического характера, тем ниже должна быть ТПО. Именно это и следует из совместного анализа рис. 6.2 и 6.5.

Дополнительный расчет коэффициентов корреляции между значениями ТПО и индекса C , осредненными за холодный период, подтвердил, что значимая отрицательная корреляция между ними наблюдается для этих же районов, в то время как для других районов она вообще отсутствует. Заметим, что обратный характер связи в межгодовых колебаниях между ТПО и индексом циклоничности C являлся также для акватории Норвежского моря [48].

Естественно, из приведенного анализа следует, что именно циклоническая активность влияет на изменчивость ТПО, а не наоборот. Однако вопрос о том, какие гидрометеорологические процессы определяют межгодовые колебания циклонической активности, остается открытым.

Заметим, что в работе [59] оценена корреляция частоты (повторяемости) циклонов с температурой воздуха в приводном слое атмосферы для 30° и 70° с. ш. В первом случае отмечается положительная корреляция ($r = 0,46$), а во втором — отрицательная корреляция ($r = -0,40$). Эти противоположные взаимосвязи по-

второяемости вихревой активности и температуры воздуха объясняются противоположным влиянием двух следующих факторов:

1) при увеличении температуры уменьшается перепад температуры между экватором и полюсом и уменьшаются скорость генерации и число вихрей за счет ослабления бароклинности,

2) за счет ослабления статической устойчивости в атмосфере увеличиваются скорость генерации и число этих вихрей¹.

Чтобы выявить возможные причины межгодовых колебаний циклонической активности, выполнен расчет меридиональных и широтных градиентов температуры воздуха.

Меридиональные градиенты рассчитывались так, чтобы узлы со значениями ИВА находились в центре между узлов со значениями температуры воздуха.

Широтные градиенты вычислялись как разность значений температуры воздуха над океаном и Северной Америкой. При этом шаг по долготе составлял 10 или 20° в зависимости от конфигурации береговой черты, а шаг по широте — 5° в интервале 35—65° с. ш. Общее число широтных градиентов оказалось равным десяти.

Далее построена серия карт изокоррелят меридиональных градиентов температуры с разными индексами, а также каждого широтного градиента с ИВА.

На большей части акватории океана отмечается отрицательная корреляция между $\Delta T/\Delta y$ и индексами циклонической активности, причем максимальные значения приурочены к южной части моря Ирмингера (рис. 6.6). Так, в узле с координатами 55° с. ш. и 40° з. д. корреляция с I_z имеет коэффициент $r = -0,60$, с P_z — коэффициент $r = -0,50$, а с C — коэффициент $r = -0,64$.

В то же время вблизи берегов Европы наблюдается положительная корреляция, максимальные коэффициенты которой имеют место в Бискайском заливе.

Поскольку меридиональные градиенты температуры воздуха тесно связаны с аналогичными градиентами температуры воды, то эти результаты фактически подтверждают влияние ТПО на изменчивость циклонической активности атмосферы.

Обращаясь теперь к анализу связей широтных градиентов температуры с ИВА, прежде всего заметим, что межгодовые колебания самих градиентов отнюдь не синхронны. Например, корреляция на соседних широтах 45 и 40° с. ш. вообще оказалась отрицательной ($r = -0,30$). Это вызвало необходимость построить карты изокоррелят для каждого широтного градиента с ИВА. Главный

¹ На наш взгляд, подобное объяснение весьма гипотетично и само нуждается в дополнительном объяснении (прим. авторов).

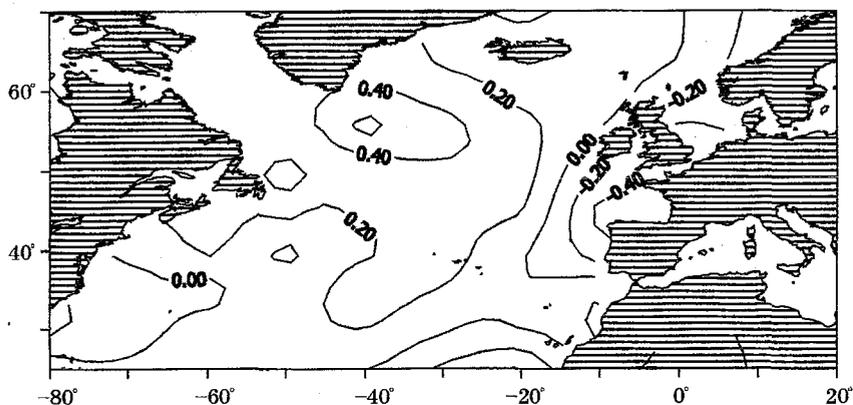


Рис. 6.6. Распределение коэффициентов корреляции между меридиональными градиентами $\Delta T/\Delta y$ и индексами циклонической активности C , осредненными за холодный период года.

результат анализа этих карт сводится к тому, что между ними существуют как «ближние», так и «дальние» значимые статистические связи. Ближние, т. е. локальные, связи приурочены к районам, примыкающим к широте, на которой взят градиент температуры, и имеют положительный характер с индексами циклонов и отрицательный — с индексами антициклонов (табл. 6.5).

Из табл. 6.5 следует, что при увеличении теплового контраста между океаном и сушей в холодный период года циклоническая активность возрастает, а антициклоническая, наоборот, уменьшается. Причем это характерно в основном для повторяемости синоптических вихрей и практически не сказывается на интенсивности циклонов. Именно поэтому статистические связи широтных градиентов с индексами A несколько выше, чем с индексами C .

Таблица 6.5. Значимые коэффициенты корреляции для локальной связи широтных градиентов температуры с ИВА, осредненными за холодный (октябрь—март) период года

Широта, °	Долгота, °	I_z	P_z	I_a	P_a	C	A
40	60—80	—	0,40	—	-0,40	0,41	-0,43
	70—80	—	0,88	-0,37	-0,38	0,37	-0,43
45	60—80	—	0,39	—	-0,39	—	-0,35
	50—70	—	0,39	-0,58	-0,39	—	-0,53
55	50—70	—	0,40	-0,54	-0,40	0,45	-0,53
	60—70	0,40	0,40	—	-0,40	0,48	-0,36
60	60—70	—	0,40	-0,46	-0,40	—	-0,50
	30—40	—	—	-0,43	—	—	0,37

Наконец, еще одним фактором, с которым можно связать формирование трендов в рядах ИВА, являются процессы вертикального влагообмена, т. е. испарение и осадки. Действительно, испарение резко возрастает при усилении скорости ветра, т. е. при прохождении циклонов, причем при штормовых скоростях ветра рост испарения особенно велик [13].

Количество выпавших осадков также напрямую связано с интенсивностью циклогенеза. Поэтому рассмотрим межгодовые тренды в рядах осадков, испарения и их разности (эффективного испарения), полученные из архива CDAS в узлах сетки $1,875 \times 1,875^\circ$. Данные из архива усреднялись по 5-градусным широтным зонам, и после этого рассчитывались линейный и нелинейный тренды (табл. 6.6).

В ряде испарения значимый линейный тренд проявляется в основном в субтропических широтах, т. е. в области влияния Азорского максимума давления, причем испарение во второй половине XX в. понижалось. Более заметны нелинейные тренды, четко выраженные вплоть до 50° с. ш. При этом до середины 70-х годов испарение уменьшалось, а затем стало увеличиваться.

Линейный тренд в ряде осадков в субтропических широтах совпадает с трендом в ряде испарения, но в умеренных и высоких широтах он меняет знак на противоположный. Особенно четко в межгодовой изменчивости осадков проявляется нелинейный тренд, который значим на всех широтах, а в зоне $30-35^\circ$ с. ш. он описывает почти половину дисперсии исходного ряда. Характер его аналогичен тренду в ряде испарения, а именно: до середины 70-х годов осадки над Северной Атлантикой быстро уменьшались, а потом стали также быстро увеличиваться.

Таблица 6.6. Распределение коэффициентов детерминации для трендов в рядах среднеширотных годовых значений испарения, осадков и их разности (эффективного испарения)

Широтная зона, °	Испарение		Осадки		Эффективное испарение	
	R_1^2 (знак)	R_n^2	R_1^2 (знак)	R_n^2	R_1^2 (знак)	R_n^2
25-30	0,21 (-)	0,40	0,15 (-)	0,32	0,01	0,01
30-35	0,13 (-)	0,24	0,24 (-)	0,47	0,14 (-)	0,29
35-40	0,00	0,16	0,12 (-)	0,36	0,25 (-)	0,38
40-45	0,09 (+)	0,29	0,01	0,23	0,18 (-)	0,22
45-50	0,03	0,16	0,02	0,21	0,00	0,04
50-55	0,00	0,06	0,20 (+)	0,30	0,24 (+)	0,27
55-60	0,01	0,03	0,14 (+)	0,19	0,13 (+)	0,15
60-65	0,03	0,03	0,02	0,25	0,00	0,21
65-70	0,00	0,01	0,06	0,30	0,05	0,30

Примечание: выделены значимые коэффициенты корреляции.

Принципиально иной характер трендов отмечается в рядах межгодовой изменчивости эффективного испарения. Нелинейный тренд распространен почти по всей акватории океана. До середины 70-х годов эффективное испарение увеличивалось, а потом стало уменьшаться.

На рис. 6.7 приведены графики осредненных по части акватории Северной Атлантики (в широтной зоне 25—70° с. ш.) значений компонентов влагообмена. Нетрудно видеть, что значительные нелинейные тренды присутствуют в рядах всех компонентов, причем в ряде осадков тренд описывает почти половину дисперсии ряда и практически в 2 раза выше тренда в ряде испарения. Заметим также, что характер трендов в рядах испарения и осадков очень близок к тренду в ряде общей циклоничности.

Естественно, представляет интерес оценка статистической взаимосвязи рассмотренных гидрометеорологических характеристик. В табл. 6.7 приведены оценки коэффициентов корреляции для осредненных по части акватории Северной Атлантики значений гидрометеорологических параметров для теплого и холодного полугодий. Прежде всего отметим высокую положительную связь между испарением и осадками. В общем это достаточно очевидно, поскольку основная часть испарившейся влаги реализуется здесь же в виде осадков над акваторией океана и только сравнительно малая часть ее выносится за его пределы.

Заметим, что высокая положительная связь между колебаниями испарения и осадков сохраняется, если рассматривать кор-

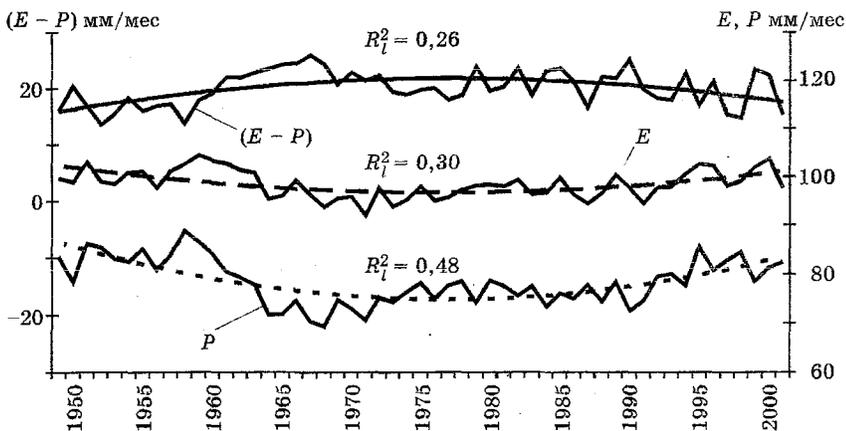


Рис. 6.7. Межгодовой ход и квадратичные тренды в осредненных за холодный период и по акватории 25—70° ш. значениях испарения, осадков и их разности.

Таблица 6.7. Оценка коэффициентов корреляции для осредненных по части акватории Северной Атлантики (25—70° с. ш.) значений гидрометеорологических параметров для холодного (верхний треугольник данных) и теплого (нижний треугольник данных) полугодий

Параметр	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>E - P</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	ТПО
Испарение	1	0,75	-0,40	0,11	-0,26	0,50
Осадки	0,52	1	-0,88	0,15	-0,47	0,68
Эффективное испарение	-0,53	-0,91	1	-0,20	0,41	-0,64
Общая циклоничность	0,19	-0,02	0,17	1	0,07	-0,05
Общая антициклоничность	-0,35	-0,52	0,50	0,27	1	-0,26
ТПО	0,56	0,77	-0,74	-0,09	-0,28	1

реляцию в узлах сеточной области. Так, для обширной области в центральной части океана, находящейся под влиянием Азорского ЦДА, в холодное полугодие отмечается значимая корреляция, в то время как в северной части океана такая корреляция отсутствует. Вследствие более высокой межгодовой изменчивости осадков по сравнению с испарением, между осадками и эффективным испарением наблюдается высокая отрицательная связь в течение всего года.

Обращает на себя внимание наличие положительной связи между ТПО и компонентами влагообмена. Естественно, при повышении (понижении) ТПО, например, вследствие адвекции тепла или холода течениями, увеличивается (уменьшается) дефицит насыщения водяного пара. Так как атмосфера не может мгновенно приспособиться (адаптироваться) к изменениям ТПО, то перепад влажности в приводном слое повышается (понижается), что приводит к усилению (ослаблению) испарения. Связь ТПО с ИВА практически отсутствует. Как уже отмечено, эта связь имеет преимущественно локальный характер.

Следует упомянуть о наличии значимой связи компонентов влагообмена с ИВА, которая обусловлена интенсивностью антициклонической деятельности и не зависит от ее повторяемости. С повышением ее интенсивности испарение и осадки имеют тенденцию понижения.

На первый взгляд, весьма странным кажется отсутствие связи компонентов влагообмена с циклонической активностью атмосферы. Однако если обратиться к межгодовым трендам этих рядов, то увидим, что они почти полностью идентичны друг другу. Это означает, что взаимосвязь между испарением и осадками, с одной стороны, и циклонической активностью — с другой, имеет, по-видимому, более долговременный характер, чем годовые промежутки времени, для которых рассчитывалась корреляция.

ГЛАВА 7. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с гидрометеорологическими процессами

Крупномасштабные процессы в океане и атмосфере развиваются не изолированно друг от друга, а протекают во взаимной связи и единстве, образуя сложную систему причинно-следственных отношений. Естественно полагать, что при достоверной оценке синоптических вихрей они должны быть определенным образом связаны с крупномасштабными гидрометеорологическими процессами. Поэтому рассмотрим статистическую связь ИВА с различными гидрометеорологическими процессами. Для этого построена серия карт изокоррелят индексов C и A , осредненных за холодный период, с разными параметрами системы океан—атмосфера.

Однако прежде обратимся к рис. 7.1, на котором приведены карты изокоррелят индексов циклоничности и антициклоничности между собой. Понятно, что значения P_z и P_a связаны друг с другом обратной функциональной зависимостью. В то же время связь между значениями I_z и I_a уже оказывается случайной. Действительно, значимые коэффициенты корреляции практически отсутствуют. Маленький очаг значимой положительной корреляции отмечается лишь над Норвежским морем.

Естественно, что связь между значениями C и A носит промежуточный вариант (рис. 7.2).

Наибольшие коэффициенты корреляции отмечаются прежде всего в зонах влияния Исландского минимума и Азорского максимума. Абсолютный максимум линейной связи наблюдается вблизи Англии ($r > -0,8$). В других районах корреляция, как правило, выражена слабее.

Учитывая эти результаты, будем в основном рассматривать взаимосвязи индекса C с другими параметрами, привлекая индекс A в тех случаях, когда это необходимо.

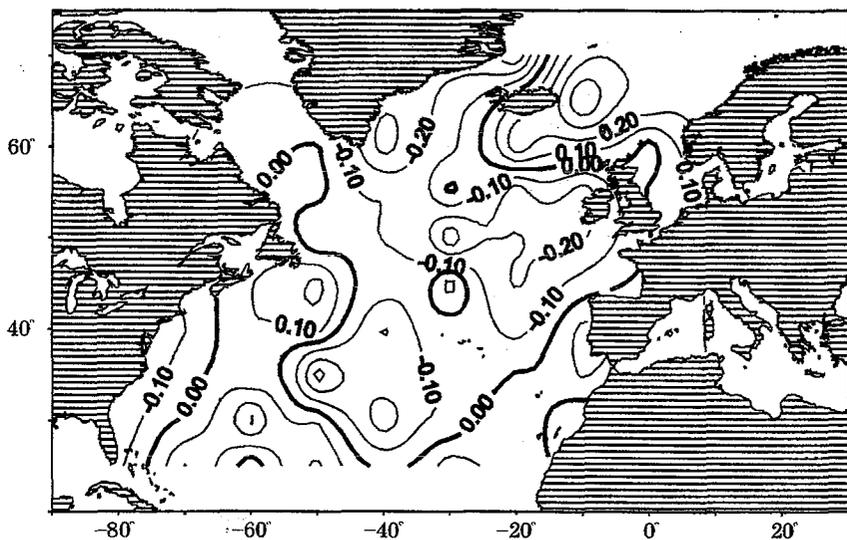


Рис. 7.1. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между интенсивностью циклонов и антициклонов, осредненных за холодный период года.

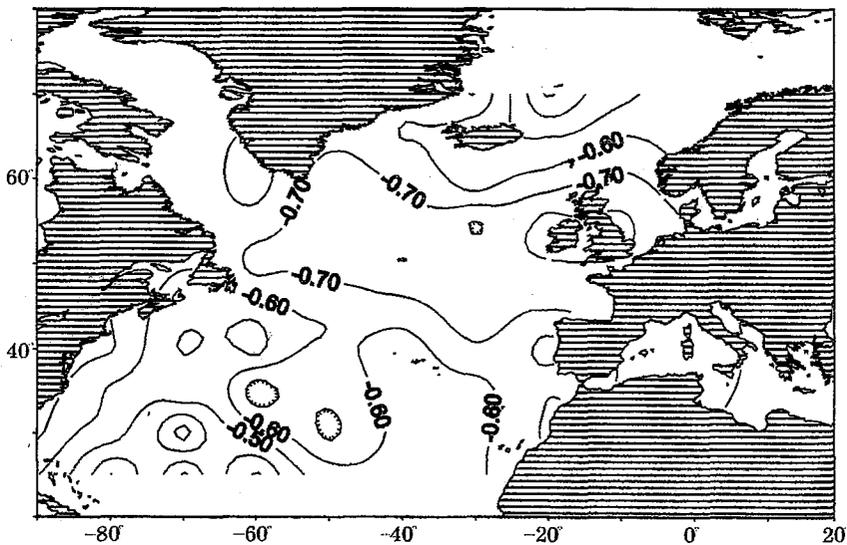


Рис. 7.2. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексами С и А, осредненных за холодный период года.

Приведенные здесь результаты вступают в противоречие с отсутствием связи между индексами S и A , осредненными для всей рассматриваемой акватории океана (см. табл. 6.6). Естественно, возникает вопрос, чем это вызвано?

Дополнительный анализ показал наличие высокой пространственной связности между I_z и I_a и ее отсутствие между P_z и P_a . Хотя значимая корреляция между индексами I_z и I_a в отдельных точках отсутствует, однако имеет место положительная связь данных в каждой конкретной точке с совокупными данными других точек на довольно больших пространствах океана.

В качестве примера на рис. 7.3 приведена карта изокоррелят осредненных за холодный период значений I_z в точке 8 с индексами I_a на всей акватории Северной Атлантики. Нетрудно видеть, что за исключением субтропических широт почти везде проявляется значимая положительная связь.

Поскольку межгодовая изменчивость в низких широтах существенно меньше, чем в высоких, то это практически не влияет на тесную взаимосвязь осредненных по акватории океана индексов I_z и I_a (см. табл. 6.3). В то же время пространственная связность между индексами P_z и P_a практически отсутствует. Именно это и приводит к тому, что при осреднении данных по акватории Северной Атлантики связь между S и A не проявляется.

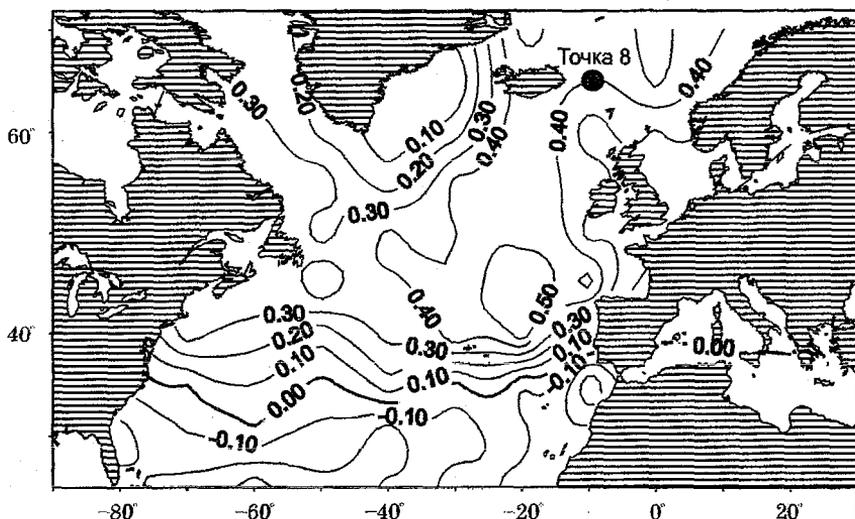


Рис. 7.3. Пространственное распределение коэффициентов корреляции индекса I_z в точке 8 с индексами I_a за холодный период года.

7.1. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с геострофическим ветром

Рассмотрим теперь карты изокоррелят общей циклоничности с зональным и меридиональным (рис. 7.4) компонентами геострофического ветра u_g на поверхности 850 гПа. Скорость ветра на данной поверхности близка к эффективной скорости горизонтального переноса атмосферной влаги, поэтому может приблизительно характеризовать скорость перемещения синоптических вихрей.

Нетрудно видеть, что зональный компонент u_g , который характеризует перенос воздушных масс в восточном направлении над всем рассматриваемым районом, имеет значимую корреляцию над большей частью акватории (при уровне значимости 5 % пороговое значение коэффициента корреляции $r = 0,30$).

Максимальные значения r отмечаются практически в центрах Исландского минимума ($r > 0,75$) и Азорского максимума ($r > 0,70$).

Можно отметить хорошо выраженную тенденцию уменьшения коэффициентов корреляций в меридиональном направлении с севера на юг. Кроме того, прослеживается некоторая тенденция уменьшения коэффициентов корреляции от западных районов океана к восточным.

Отмеченные закономерности можно объяснить тем, что в холодный период года преобладает зональный перенос, поэтому при усилении выноса холодных воздушных масс с американского континента на теплый океан также усиливается циклогенез и соответственно повышаются интенсивность и повторяемость циклонов.

Что касается меридионального компонента скорости ветра u_g , то его значения в несколько раз меньше значений зонального компонента u_g , поэтому ошибки расчета сопоставимы с оценками u_g . Естественно, это сказывается на степени коррелированности u_{gy} с ИВА. Возможно, именно из-за этого в поле изокоррелят (см. рис. 7.4 б) проявляются лишь отдельные очаги значимой корреляции. Самый большой очаг отрицательной значимой корреляции отмечается в районе Северо-Атлантического течения. Очевидно, вопрос взаимосвязи ИВА с u_g требует более тщательного изучения.

Несмотря на высокую отрицательную коррелированность величин C и A , поле изокоррелят общей антициклоничности с компонентами ветра имеет специфические особенности.

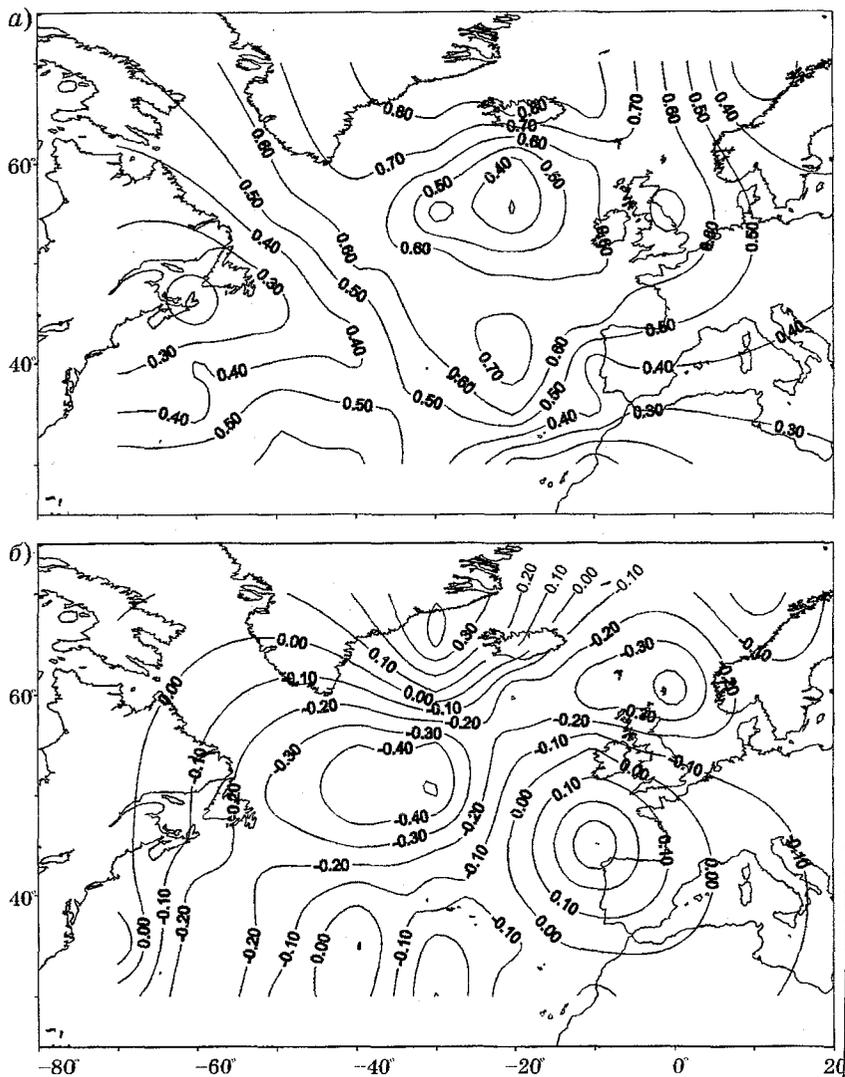


Рис. 7.4. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом С и зональным (а) и меридиональным (б) компонентами геострофического ветра на поверхности 850 гПа.

Так, обширный очаг отрицательной корреляции величин A и u_g находится непосредственно в зоне действия Азорского ЦДА, причем их центры почти совпадают. В других районах океана корреляция между этими параметрами практически незначимая.

Что касается связи меридионального компонента v_{gy} с общей антициклоничностью, то выделяется лишь один очаг значимой корреляции в районе Азорского ЦДА. Усиление антициклонов наблюдается при ослаблении южных ветров.

7.2. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с высотой геопотенциальной поверхности 500 гПа

Другая важная характеристика циркуляции атмосферы, широко используемая в прогностических расчетах, — высота геопотенциальной поверхности 500 гПа (H_{500}). Как известно, именно вблизи этой поверхности скорость ветра близка к скорости ведущего потока или средней скорости ветра в тропосфере. Можно также показать, что H_{500} характеризует приближенно и среднюю температуру в столбе воздуха от поверхности земли до уровня 500 гПа.

На рис. 7.5 приведены изокорреляты между параметрами H_{500} и C , осредненными за холодный период года. Над большей частью рассматриваемой акватории наблюдается значимая отрицательная

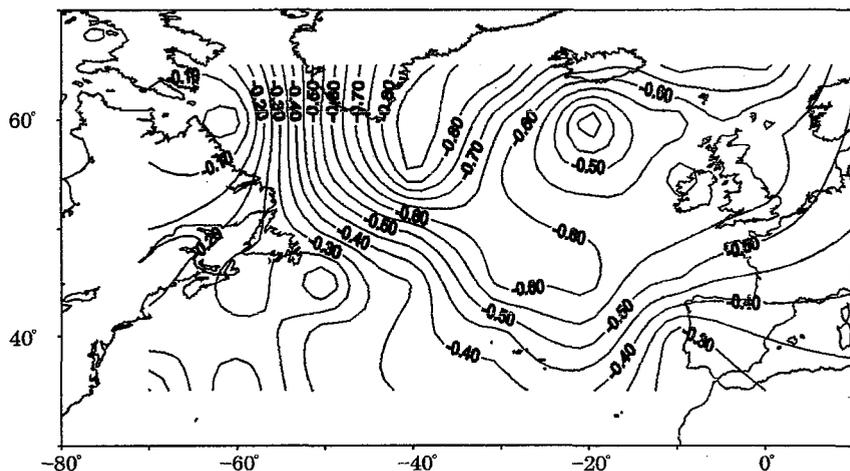


Рис. 7.5. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом C и высотой геопотенциальной поверхности 500 гПа.

корреляция между указанными параметрами. Максимальные значения r ($r > -0,80$) приурочены к району между Гренландией и Исландией. На восток и к югу от него значения r убывают.

Отрицательная корреляция, безусловно, прежде всего связана с тем, что при усилении процессов циклогенеза высота H_{500} в холодный период года уменьшается. Одновременно с этим усиливается отрицательная корреляция, особенно в западных и северо-западных районах океана, что обусловлено понижением средней температуры тропосферы за счет выноса холодных воздушных масс с континента и Арктического бассейна.

Распределение изокоррелят H_{500} и A принципиально отличается от карты изокоррелят H_{500} и C (см. рис. 7.5) тем, что в нем проявляется еще один очаг максимальной корреляции — в центре Азорского максимума. В остальном распределение значимых очагов корреляции идентично карте на рис. 7.5.

7.3. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с центрами действия атмосферы

К числу важнейших параметров ОЦА относятся, как указано в гл. 1, Исландский и Азорский ЦДА, градиентом давления между которыми формируется САК. На рис. 7.6 приведено распределение коэффициентов корреляции между давлением в центре Исландского ЦДА и индексом C .

Как и следовало ожидать, углубление Исландского ЦДА приводит к усилению циклонической активности в умеренных и высоких широтах и ее слабому уменьшению в субтропических широтах. Отметим, что для I_2 максимумы коэффициентов корреляции практически совпадают с индексами C , а для значений P_2 они смещены к западу, к Гренландии.

Естественно, влияние Исландского ЦДА на характеристики антициклонической активности противоположное, при этом максимум корреляции с индексом A наблюдается между Испанией и Канарскими островами ($r = 0,50$).

Пространственные миграции Исландского ЦДА также оказывают определенное воздействие на циклоническую активность. Так, при смещении его к северу ($\Delta\varphi > 0$) циклоническая активность усиливается в более южных районах (рис. 7.7), а антициклоническая активность, наоборот, ослабевает. Максимальная корреляция широты, на которой расположен Исландский ЦДА, с индексом C ($r > -0,60$) отмечается на 50° с. ш.

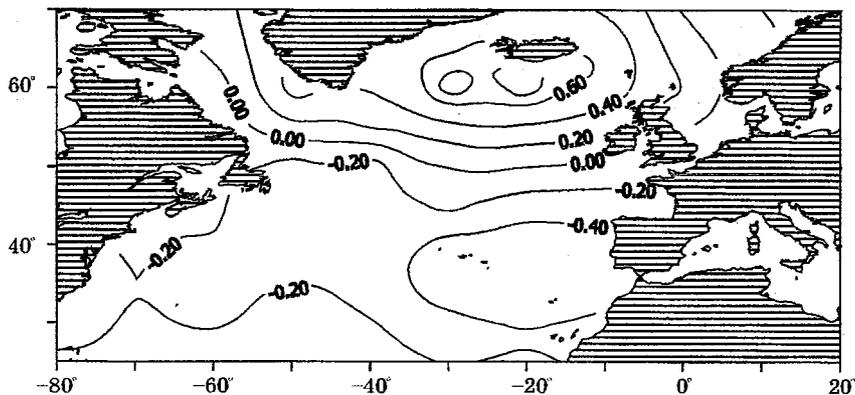


Рис. 7.6. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом S и давлением в центре Исландского ЦДА.

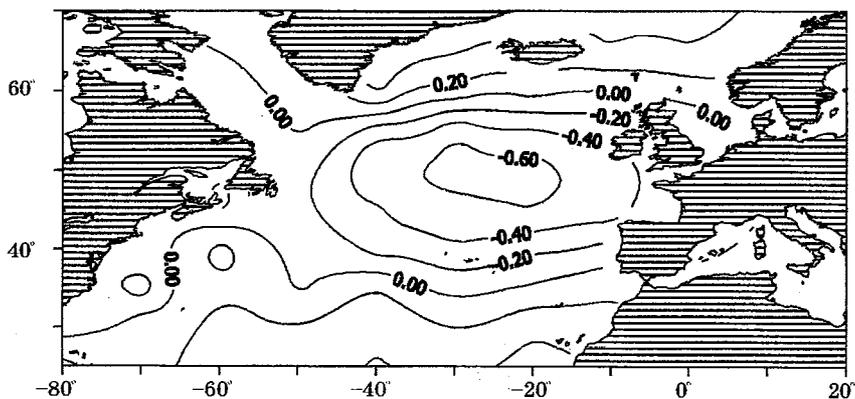


Рис. 7.7. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом S и смещением по широте Исландского ЦДА.

При смещении Исландского ЦДА к западу ($\Delta\lambda < 0$), в сторону Гренландии, циклоническая активность также возрастает в более южных районах, где наблюдается обширный очаг значимой корреляции (рис. 7.8), который в общих чертах похож на аналогичный очаг на рис. 7.7. Поэтому можно сделать достаточно очевидный вывод, что циклоническая активность в этом районе максимально усиливается при смещении Исландского ЦДА на северо-запад.

Что касается корреляции давления в Азорском ЦДА с ИВА, то, как и следовало ожидать, при увеличении давления антициклоническая активность усиливается в умеренных и низких

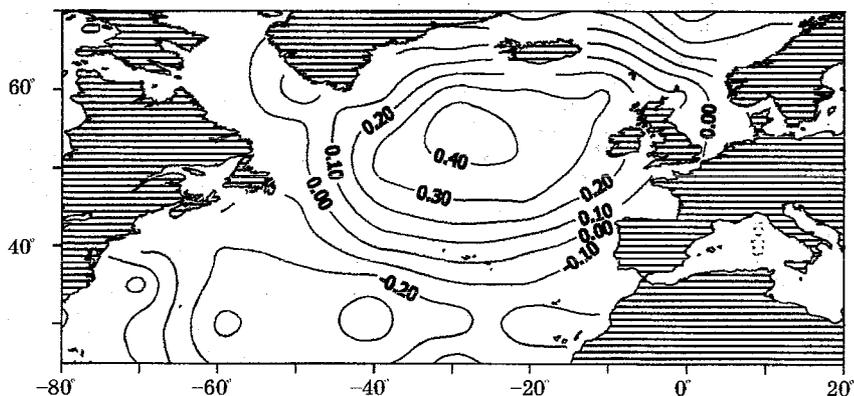


Рис. 7.8. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом С и смещением по долготе Исландского ЦДА.

широтах и наиболее четко ослабляется в районе между Гренландией и Исландией (рис. 7.9). Очень похоже на рис. 7.9 и распределение пространственных коэффициентов корреляции между повторяемостью антициклонов и давлением в Азорском ЦДА.

Отметим также более слабое влияние на ИВА пространственных миграций Азорского ЦДА по сравнению с влиянием миграций Исландского ЦДА.

Итак, из приведенных результатов следует, что роль Исландского ЦДА в межгодовых колебаниях ИВА существенно больше, чем роль Азорского ЦДА.

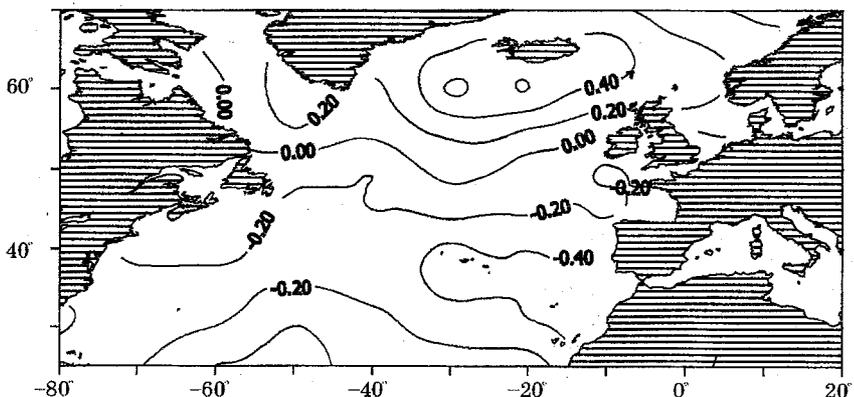


Рис. 7.9. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между индексом С и давлением в центре Азорского ЦДА.

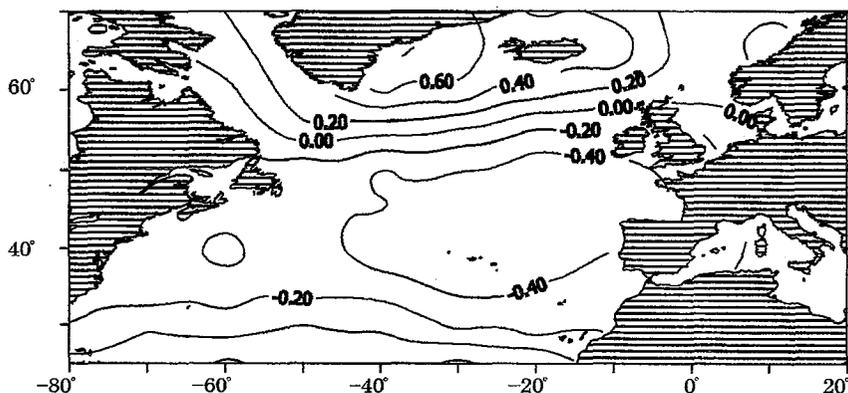


Рис. 7.10. Пространственное распределение коэффициентов корреляции между интенсивностью циклонов I_c и интенсивностью САК.

Анализ статистической взаимосвязи параметров САК с ИВА показал, что влияние угла α , определяющего направление градиента давления, практически не сказывается на колебаниях ИВА.

Интенсивность САК, выражаемая градиентом $\partial p / \partial n$, практически не коррелирует с повторяемостью вихрей и имеет значимую связь только с интенсивностью циклонов и общей антициклоничностью. При усилении САК в области Исландского ЦДА отмечается усиление интенсивности циклонов и ее ослабление в зоне влияния Азорского ЦДА (рис. 7.10). Естественно, противоположная картина имеет место на карте изокоррелят между САК и А с той разницей, что очаг значимой положительной корреляции в области Азорского ЦДА более обширный.

7.4. Концептуальная модель формирования межгодовых колебаний зонального переноса водяного пара

В результате выполненного анализа можно составить следующую концептуальную модель формирования межгодовых колебаний зонального переноса водяного пара над Северной Атлантикой (рис. 7.11):

— при усилении процессов циклонической активности в Северной Атлантике и прежде всего в области Исландской депрессии увеличивается испарение и уменьшается ТПО. При этом увеличивается влагосодержание атмосферы;



Рис. 7.11. Концептуальная схема формирования межгодовых колебаний зонального переноса атмосферной влаги в холодный период года над Северной Атлантикой.

— одновременно увеличивается зональная составляющая эффективной скорости горизонтального переноса атмосферной влаги ($u_{эфф}$), характеризующая количество переносимого водяного пара в системе средней циркуляции атмосферы и крупномасштабных синоптических вихрей;

— при росте циклонической активности углубляется Исландский ЦДА и возникают его пространственные миграции. В свою очередь, при углублении Исландского ЦДА усиливается интенсивность САК, которое в значительной степени регулирует адвективный (за счет средней циркуляции) зональный перенос атмосферы в умеренных широтах.

Все это вместе взятое должно приводить к значительному повышению зонального переноса водяного пара в системе ОЦА и синоптических вихрей на европейский континент и ЕТР. Естественно, при ослаблении циклонической и усилении антициклонической активности картина меняется на противоположную.

Разумеется, здесь высказаны лишь самые общие соображения относительно причин формирования межгодовой изменчивости горизонтального переноса водяного пара, которые в известной степени детализируют предложенную в работах [45, 46] генетическую схему формирования межгодовых колебаний УПС на ЕТР.

Суть ее состоит в том, что если в результате крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике эффективное испарение в холодный период года превышает норму, то большее количество водяного пара за счет средней циркуляции и синоптических вихрей переносится на континент. Соответственно, большее количество осадков выпадает в бассейне р. Волги и других крупных рек ЕТР, что приводит к увеличению их годового стока.

Кроме того, в работе [46] для двух экстремальных по водности р. Волги лет (многогодового 1966 г. и маловодного 1967 г.) рассчитаны эффективное испарение и горизонтальные потоки влаги за холодные периоды (с октября по март) 1965-66 и 1966-67 гг. над

Северной Атлантикой. При этом Северная Атлантика была аппроксимирована контуром с координатами 20—55° с. ш., 15—55° з. д.

Как оказалось, различия оценок эффективного испарения для указанных лет сравнительно малы, а более значительны различия оценок потоков влаги.

Так, в холодный период, предшествующий многоводному году, вынос влаги за счет зонального переноса через восточную границу контура по сравнению с маловодным годом почти в 1,5 раза выше. Противоположная картина отмечается на северной границе контура, где вынос влаги в многоводный год почти в 1,5 раза меньше, чем в маловодный.

При осреднении потоков влаги в целом по всему контуру следует, что вектор интегрального потока для многоводного года по значению существенно больше вектора потока для маловодного года, причем последний разворачивается к северу примерно на 20°.

Итак, даже при мало меняющемся эффективном испарении в Северной Атлантике изменчивость зонального и меридионального потоков влаги значительна. В этом случае, как следует из рис. 7.11, к числу основных механизмов формирования межгодовых колебаний зонального переноса водяного пара уже относятся процессы изменчивости циклонической активности в атмосфере.

Возможно, если различия в эффективном испарении будут более существенными, то это еще более усилит дифференциацию потоков влаги как по значению, так и по направлению. Однако для этого необходимы дальнейшие исследования.

Заметим также, что общее усиление зонального и ослабление меридионального переносов влаги над Северной Атлантикой вызывает увеличение количества выпавших осадков в бассейне р. Волги в холодный период года. И наоборот, количество осадков уменьшается при общем ослаблении зонального переноса водяного пара и усилении меридионального. Именно этим обстоятельством диктуется необходимость получать более детальные оценки межгодовой изменчивости горизонтальных потоков влаги.

7.5. Оценка влияния синоптических вихрей на ледовитость морей Северо-Европейского бассейна

В заключение этого раздела рассмотрим кратко возможное влияние синоптических вихрей на распространение ледяного покрова в морях Северо-Европейского бассейна (СЕБ). Очевидно, что это влияние должно быть существенным, особенно в холодный период года.

Перемещение циклонов из области Исландской депрессии в глубь Арктики способствует увеличению количества выпавших осадков, распределение поверхностного слоя воды и одновременно повышению температуры воздуха. Эти факторы непосредственно влияют на формирование ледяного покрова.

При перемещении синоптических вихрей в зональном направлении, т. е. в глубь европейского континента, их роль в формировании ледовитости значительно меньше.

Поскольку численных моделей влияния синоптических вихрей на распространение ледяного покрова практически не существует, то нами выполнен статистический анализ связи ледовитости морей СЕБ с индексом S в Северной Атлантике. При этом в качестве характеристики ледовитости использована площадь морских льдов в августе для Гренландского, а также западной и восточной частей Баренцева моря.

Ледовитость определена в процентах площади всего моря или его района. ИВА взяты за холодный (с октября по март) период, т. е. с заблаговременностью 5 мес.

Из анализа построенных карт изокоррелят следует, что распределение значимых коэффициентов корреляции имеет преимущественно очаговый характер. Максимальные коэффициенты корреляции для Гренландского моря ($r \geq 0,45$) отмечаются в Норвежском море, для восточной части Баренцева моря — над Северо-Атлантическим течением и между Гренландией и Исландией. Здесь же наблюдаются максимальные коэффициенты корреляции и для западной части Баренцева моря. Указанные районы в общем соответствуют зонам активного циклогенеза.

В работе [36] исследованы многофакторные связи ледовитости морей СЕБ в августе с интенсивностью и повторяемостью циклонов в предшествующий холодный период при помощи моделей множественной линейной регрессии. При этом значения I_2 и P_2 взяты в четырех точках на широтах 55 и 60° с. ш. ($n = 8$), т. е. непосредственно в области Исландского ЦДА.

Учет даже трех-четырёх предикторов позволяет описать 80—90 % дисперсии межгодовых колебаний ледовитости морей СЕБ. Весьма важно, что данные модели имеют прогностическую ценность. Заблаговременность определения по ним ледовитости составляет около 4 мес.

ГЛАВА 8. Крупномасштабная изменчивость переноса атмосферной влаги над Северной Атлантикой

8.1. Оценки горизонтального переноса водяного пара по аэрологическим данным

Горизонтальный перенос атмосферной влаги является соединительным механизмом глобального гидрологического цикла между отдельными резервуарами гидросферы (океаном, криосферой, литосферой, атмосферой) и даже между отдельными частями одного и того же резервуара, обеспечивая перераспределение водяного пара и его баланс в глобальном масштабе. *Если речные воды принято рассматривать как кровеносные сосуды для водного «организма» суши, то перенос атмосферной влаги — это кровеносная система всей гидросферы.*

Весьма важно, что типичная скорость переноса атмосферной влаги на порядок больше скорости движения речных вод и на два порядка больше типичной скорости океанских течений. В соответствии с этим период полного возобновления атмосферной влаги составляет 8—9 сут и во много раз меньше периодов возобновления запасов влаги в других резервуарах.

Интегральный по вертикали горизонтальный перенос влаги в фиксированной точке пространства имеет следующие основные характеристики:

- полный результирующий поток F ;
- зональный F_x и меридиональный F_y компоненты полного потока;
- адвективный результирующий поток \bar{F} ;
- зональный \bar{F}_x и меридиональный \bar{F}_y компоненты адвективного потока;
- вихревой результирующий поток F^v ;

— зональный F'_x и меридиональный F'_y компоненты вихревого потока.

Результирующий перенос представляет собой векторную сумму зонального и меридионального компонентов:

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j}, \quad \bar{\mathbf{F}} = \bar{F}_x \mathbf{i} + \bar{F}_y \mathbf{j}, \quad \mathbf{F}' = F'_x \mathbf{i} + F'_y \mathbf{j},$$

где \mathbf{i} и \mathbf{j} — единичные векторы, направленные на восток и на север.

Кроме того, полный поток состоит из суммы адвективного и вихревого потоков:

$$F_x = \bar{F}_x + F'_x = g^{-1} \int_{p_k}^{p_a} \bar{q} \bar{u} dp + g^{-1} \int_p^{p_a} \overline{q' u'} dp, \quad (8.1)$$

$$F_y = \bar{F}_y + F'_y = g^{-1} \int_{p_k}^{p_a} \bar{q} \bar{v} dp + g^{-1} \int_{p_k}^{p_a} \overline{q' v'} dp, \quad (8.2)$$

где q — удельная влажность; u и v — соответственно зональный и меридиональный компоненты скорости ветра; p_a и p_k — соответственно давление у земной поверхности и на такой высоте, на которой влажность становится пренебрежимо малой.

В основном в численных расчетах ограничиваются определением содержания влаги в пределах тропосферы. Обычно данные интегралы находят численными методами по известным вертикальным профилям влажности и составляющим скорости ветра, т. е. по аэрологическим данным.

Поскольку влажность воздуха с высотой быстро уменьшается, а скорость ветра, наоборот, увеличивается, то максимальный поток водяного пара наблюдается в слое 1—3 км [31, 40, 85]. При этом в низких широтах максимальный поток близок к высоте 3 км, а в высоких он наблюдается на высоте около 1 км.

Отметим, что если полный и адвективный потоки вычисляются непосредственно по указанным формулам, то вихревой перенос оценивается обычно как остаточный член, т. е. по разности полного и адвективного потоков. Естественно, в этом случае его максимальная ошибка представляет суммарную ошибку данных компонентов.

Физическая интерпретация отдельных слагаемых в формулах (8.1) и (8.2) зависит от периода осреднения по времени. Например, при $t = 1$ мес адвективным компонентом характеризуется поток атмосферной влаги за счет средней во времени (общей) циркуляции, а вихревым компонентом — перенос влаги за счет макротурбулентности, обусловленный главным образом циклонами и антициклонами.

Если для оценки полного потока необходимы ежедневные (минимум 2 раза в сутки) данные радиоветрового зондирования, то адвективный перенос можно рассчитать по среднемесячным данным о ветре и влажности. Поэтому расчет полного потока, особенно за длительный период времени, представляет собой весьма сложную задачу и не всегда возможен по техническим причинам или из-за отсутствия необходимых данных. В связи с этим в настоящее время межгодовая изменчивость горизонтального переноса атмосферной влаги над большими регионами практически не изучена.

Рассмотрим вначале основные закономерности атмосферного переноса водяного пара над Северной Атлантикой, рассчитанного и осредненного за 1958—1965 гг. непосредственно по аэрологическим данным. При этом использованы данные станций, находящихся на побережье океана, островах, судах погоды [54], а также данные, полученные при пространственном осреднении результатов эпизодического аэрологического зондирования для 5-градусных квадратов от экватора до 30° с. ш. [55]. Всего информационный массив содержал около 100 расчетных точек.

Пространственная интерполяция зонального и меридионального компонентов потоков влаги в узлы 5-градусной географической сетки осуществлена при помощи нелинейных полиномиальных процедур объективного анализа [47].

В табл. 8.1 приведены зонально-осредненные значения зонального и меридионального компонентов различных мод потока водяного пара над Северной Атлантикой для среднегодовых условий.

Как и следовало ожидать, в низких широтах (до 20° с. ш.) зональный поток направлен с востока на запад. Максимум его

Таблица 8.1. Распределение зонально-осредненных значений различных компонентов потока атмосферной влаги над акваторией Северной Атлантики для среднегодовых условий [46], кг/(м·с)

Широтная зона, ° с. ш.	F_x	F_y	\bar{F}_x	\bar{F}_y	F'_x	F'_y
0—5	-161,8	-15,4	-138,7	-15,4	-23,1	0,0
5—10	-143,3	-11,3	-120,9	-14,9	-22,4	3,6
10—15	-112,2	-3,5	-94,4	-8,6	-17,8	5,1
15—20	-67,0	13,9	-56,7	9,0	-10,3	4,9
20—25	0,9	8,3	-5,9	3,4	6,8	4,9
25—30	75,9	17,9	48,1	3,2	27,8	14,7
30—35	135,7	24,3	93,5	4,2	42,2	20,1
35—40	176,6	22,6	130,4	3,7	46,2	18,9
40—45	167,4	25,5	123,7	5,8	43,7	19,7
45—50	130,3	33,2	93,0	12,6	37,3	20,6
50—55	110,3	38,0	77,0	17,2	33,3	20,8
55—60	97,8	38,5	66,5	18,7	31,3	19,8

отмечается около экватора и обусловлен главным образом пассатной циркуляцией. Севернее 20° с. ш. зональный поток направлен уже с запада на восток и достигает максимума в зоне $35-40^\circ$ с. ш.

Заметим, что именно зональный перенос является главным механизмом транспорта влаги на европейский континент, в том числе на большую часть территории России.

Вклад макротурбулентности в полный зональный поток наиболее значителен в умеренных и высоких широтах, где он составляет примерно 20 %.

Характерной чертой распределения меридионального переноса водяного пара является то, что он почти над всей акваторией Северной Атлантики, исключая низкие широты (от экватора до 15° с. ш.), направлен на север. Естественно, что по абсолютному значению он заметно уступает зональному переносу, особенно в низких широтах. В умеренных и высоких широтах макротурбулентный поток служит главным механизмом межзонального обмена влагой.

8.2. Параметризация горизонтального переноса водяного пара

К сожалению, оценить межгодовую изменчивость переноса водяного пара над акваторией Северной Атлантики по аэрологическим данным практически невозможно. Поэтому возникает задача его параметризации, т. е. описания переноса атмосферной влаги при помощи сравнительно небольшого числа крупномасштабных и легко измеряемых переменных, описывающих исходный процесс с заданной точностью.

В связи с этим важное значение имеет поиск физически обоснованных гипотез, введение которых позволило бы существенно сократить объем исходных данных с наименьшими потерями точности расчетов. Желательно ввести такие гипотезы, которые могли бы обеспечить минимальное искажение компонентов ВБА при переходе от первоначального вида уравнения к параметрическому. Различные аспекты проблемы параметризации уравнения ВБА обсуждены в работах [10, 45, 71].

В частности, для открытых акваторий океана можно использовать следующие гипотезы, получившие хорошее подтверждение на обширном эмпирическом материале [45]:

- 1) экспоненциальное распределение влажности с высотой,

2) взаимная адаптация полей перепадов влажности и температуры в приводном слое составляет менее месяца,

3) наличие связи между эффективной скоростью переноса влаги в атмосфере и вертикально осредненной скоростью ветра,

4) зависимость вертикально осредненной скорости ветра от его геострофической составляющей на изобарической поверхности 500 гПа.

Использование этих гипотез позволило привести уравнение ВБА к следующему виду:

$$\partial\Phi_1(t_0, t_a)/\partial t + \text{div } \Phi_2(H_{500}, t_0, t_a) = E - P, \quad (8.3)$$

где Φ_1 — некоторая функция от температуры поверхности воды t_0 и температуры воздуха в приводном слое t_a ; Φ_2 — векторная функция от высоты изобарической поверхности 500 гПа H_{500} , температуры воды и воздуха.

Итак, левую часть уравнения ВБА можно вычислить всего лишь по трем параметрам:

- 1) геопотенциалу H_{500} ,
- 2) температуре воды,
- 3) температуре воздуха.

Характерная особенность этих параметров — относительно высокая доступность и сравнительно низкая погрешность их определения. Весьма важно и то, что к настоящему времени созданы обширные архивы указанных параметров, которые уже позволяют рассчитывать межгодовые колебания компонентов влагообмена в Северной Атлантике за достаточно длительный период времени.

При разработке метода параметризации будем учитывать, что корректная оценка макротурбулентного потока влаги чрезвычайно сложна. Более того, не будет преувеличением сказать, что в настоящее время практически нет достоверных методов его оценки. Кроме того, в работах [45, 71] показано, что между адвективным и макротурбулентным потоками водяного пара четко выражена линейная статистическая связь. Это означает, что в статистических расчетах можно ограничиться лишь использованием адвективного потока влаги и нет необходимости привлекать непосредственно макротурбулентный перенос.

На наш взгляд, внимания заслуживает параметрическая связь между интегральным (в слое от уровня моря до поверхности 300 гПа) адвективным переносом влаги и потоком на изобарической поверхности 850 гПа [71], которая имеет весьма простой вид:

$$\bar{F}_x = d(a_{850} u_{850}), \quad \bar{F}_y = d(a_{850} v_{850}), \quad (8.4)$$

где d — коэффициент пропорциональности; a_{850} — среднемесячная абсолютная влажность, $\text{г}/\text{м}^3$; u_{850} и v_{850} — соответственно зональный и меридиональный компоненты скорости ветра.

Коэффициент d инвариантен относительно направления потока. Но поскольку он получен для территории ЕТР [71] и экваториальной зоны [45], то рассмотрим его оценку для умеренных широт Северной Атлантики на основе осредненных за 1957—1965 гг. данных о переносе влаги по четырем кораблям погоды [54].

На рис. 8.1 приведен график взаимосвязи зонального и меридионального компонентов потоков влаги, причем четко видно, что они полностью совпадают. Это означает, что действительно коэффициент d инвариантен относительно направления потока.

В результате использования метода наименьших квадратов получено, что если потоки на поверхности 850 гПа имеют размерность $[\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})]$, а интегральные — $[\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})]$, то $d = 4,6$. Коэффициент детерминации общей зависимости (8.4), объединяющей зональный и меридиональный компоненты потоков вместе, равен 0,98, а среднеквадратическое отклонение расчета интегральных потоков влаги составляет 9,3 $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$.

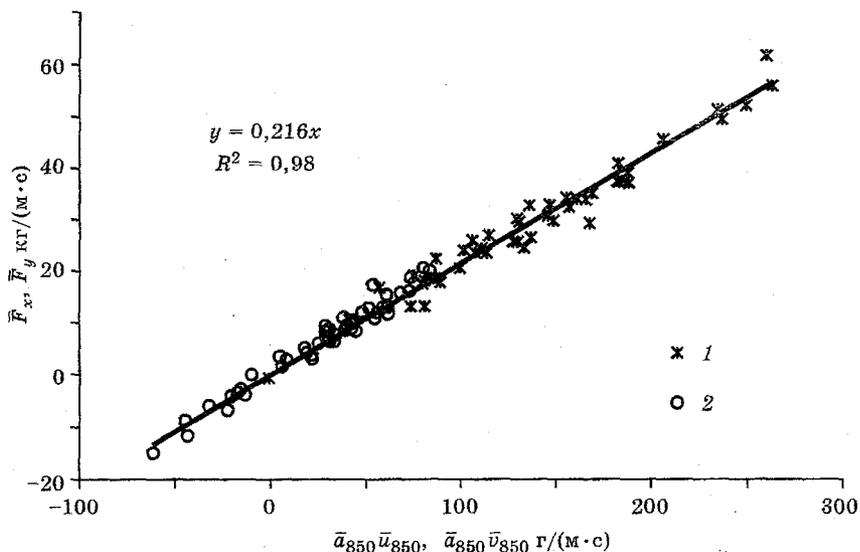


Рис. 8.1. График взаимосвязи зонального (1) и меридионального (2) компонентов интегральных потоков влаги с потоками на поверхности 850 гПа.

Представим теперь вертикальное распределение массовой доли водяного пара (удельной влажности) в пределах тропосферы в виде экспоненциального закона [53]:

$$q = q_a \exp(-\alpha z), \quad (8.5)$$

где q_a — удельная влажность в приводном слое, т. е. на уровне судовых наблюдений z_a (причем $z \gg z_a$); α — размерный коэффициент.

Запишем барометрическую формулу реальной атмосферы

$$p = p_a \exp[-g z / (R_c T_m)],$$

где R_c — удельная газовая постоянная сухого воздуха, T_{m_0} — средняя температура столба воздуха до высоты z_0 , $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

Используя барометрическую формулу реальной атмосферы, запишем

$$z = -\frac{R_c T_m}{g} \ln(p/p_0). \quad (8.6)$$

Подставим теперь выражение (8.6) в формулу (8.5) и после преобразований получим

$$q = q_a (p/p_a)^{1/\beta}, \quad (8.7)$$

где β — безразмерный коэффициент, определяемый по формуле

$$\beta = g / (\alpha R_c T_m).$$

В работе [45] для Мирового океана установлено, что коэффициент β зависит от температуры воздуха в приводном слое, однако при $t > 0$ °С можно принять $\beta \approx 0,336$.

Принимая $p_a = 1000$ гПа, $p = 850$ гПа, имеем

$$q = c q_a,$$

где

$$c = (p/p_a)^{1/\beta} = 0,614.$$

Кроме того, учтем, что на поверхности 850 гПа хорошо выполняется эмпирическое соотношение [54]

$$a_{850} = q_{850} + \gamma,$$

где a — абсолютная влажность, г/м³; размерность q — [г/кг]; $\gamma = 0,3$ — коэффициент.

Перепишем теперь формулу (8.4) следующим образом

$$\bar{F}_x = d(c q_a + 0,3)u_{850}, \quad \bar{F}_y = d(c q_a + 0,3)v_{850}. \quad (8.8)$$

Итак, по данным о влажности в приводном слое и ветре на поверхности 850 гПа можно рассчитать адвективные интегральные потоки влаги. Заметим, что компоненты реального ветра на изобарической поверхности 850 гПа достаточно надежно можно выразить через геострофический ветер:

$$u_{850} = -\frac{g}{2\omega_z} \frac{\partial H_{850}}{\partial y}, \quad v_{850} = -\frac{g}{2\omega_z} \frac{\partial H_{850}}{\partial x}, \quad (8.9)$$

где H_{850} — высота поверхности 850 гПа.

Хотя в настоящее время существуют архивы данных по геопотенциалу H_{850} , однако следует иметь в виду, что точность определения градиента H_{850} над океаном несколько уступает точности оценок H_{500} .

Возможен и другой вариант вычисления геострофического ветра. Вначале по приземному давлению определяется «приземный» геострофический ветер:

$$u_{g_0} = -\frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad v_{g_0} = \frac{1}{2\omega_z \rho} \frac{\partial p}{\partial x}. \quad (8.10)$$

После этого для перехода в формулах (8.10) к геострофическому ветру на поверхности 850 гПа вводится поправка на термический ветер следующим образом:

$$u_{850} = u_{g_0} + \Delta u_T = u_{g_0} - \frac{gZ_{850}}{2\omega_z T_m} \frac{\partial T_m}{\partial y}, \quad (8.11)$$

$$v_{850} = v_{g_0} + \Delta v_T = v_{g_0} + \frac{gZ_{850}}{2\omega_z T_m} \frac{\partial T_m}{\partial x}. \quad (8.12)$$

где T_m — средняя температура в слое от подстилающей поверхности до уровня 850 гПа, Z_{850} — высота поверхности 850 гПа.

Поправка на термический ветер может достигать нескольких метров в секунду, особенно она существенна в прибрежных районах и в зонах фронтальных разделов.

Принципиальный недостаток формул (8.11) и (8.12) состоит в том, что они требуют дополнительную информацию о пространственном распределении средней в слое температуры, которая весьма ограничена. Величину T_m можно, очевидно, параметризовать через температуру в приводном слое, но это приводит к появлению дополнительных погрешностей. Поэтому будем исполь-

зовать при расчете интегральных адвективных потоков влаги формулу (8.9).

Исходной информацией для их расчетов послужил архив CDAS (Climate Data Assimilation System), содержащийся в глобальной системе гидрометеорологических данных NCEP/NCAR, которая находится в свободном доступе в сети Интернет¹. Из этого архива получены данные по удельной влажности на уровне судовых наблюдений с 1949 г. в узлах географической сетки, по которой рассчитывались ИВА.

Основой для расчета геострофического ветра послужил архив геопотенциала поверхности 850 гПа в системе «октагрид» с октября 1962 по декабрь 1988 г., аналогичный архиву данных по атмосферному давлению, использованными нами для вычисления ИВА.

Естественно, прежде всего возникает вопрос о точности рассчитанных таким образом адвективных потоков влаги. К сожалению, невозможно сравнить потоки, рассчитанные по формуле (8.8), с рассчитанными по аэрологическим данным из-за отсутствия последних. Поэтому мы ограничились сопоставлением климатических (осредненных за многолетний период) значений потоков влаги, вычисленных нами и рассчитанных непосредственно по аэрологическим данным четырех кораблей погоды [54]. Результаты этого сопоставления приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Фактические (по аэрологическим данным) и вычисленные по формуле (8.8) адвективные горизонтальные потоки водяного пара, кг/(м·с)

Корабль погоды	Период осреднения	Горизонтальный поток водяного пара					
		$\bar{F}_{x_{\text{выч}}}$	$\bar{F}_{x_{\text{факт}}}$	Разность	$\bar{F}_{y_{\text{выч}}}$	$\bar{F}_{y_{\text{факт}}}$	Разность
D	Холодный	202	176	26	62	45	17
	Теплый	212	219	-7	57	54	3
	Год	207	198	9	59	49	10
K	Холодный	143	98	45	15	11	4
	Теплый	118	119	-1	-21	-27	6
	Год	131	108	22	-2	-8	6
J	Холодный	138	108	30	49	47	2
	Теплый	136	132	4	22	29	-7
	Год	137	120	17	36	38	-2
C	Холодный	121	113	8	44	45	-1
	Теплый	132	131	1	33	36	-3
	Год	126	123	3	38	40	-2

¹ См. сайт по адресу: <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.MONTHLY/?help+datasetdataselection>).

При анализе табл. 8.2 следует иметь ввиду, что, во-первых, не совпадают многолетние периоды осреднения:

— для параметрического метода — с 1962 по 1988 г.,

— для аэрологического — с 1957 по 1965 г.

Во-вторых, местоположение кораблей погоды не совпадает с узлами сеточной области. Поэтому мы выбирали узел, ближайший к кораблю погоды. Из табл. 8.2. нетрудно видеть, что имеет место небольшая систематическая ошибка: параметрический метод, как правило, несколько, завышает оценки адвективного переноса. В среднем за год это завышение для \bar{F}_x составляет 12 кг/(м·с) или около 9 %, а для \bar{F}_y — 3 кг/(м·с) или 10 %. В холодный период года систематические ошибки увеличиваются, а в теплый — наоборот, становятся меньше.

На наш взгляд, расхождения в потоках атмосферной влаги незначительны. Поэтому можно полагать, что использованная нами параметрическая схема расчета адвективного переноса влаги обеспечивает приемлемую с практической точки зрения точность.

8.3. Пространственно-временная изменчивость горизонтального переноса водяного пара

Интересно рассмотреть пространственно-временную изменчивость потоков водяного пара. Для этого используем метод главных компонент, который позволяет разделить исходную матрицу данных на линейно независимые составляющие. Данный метод обладает максимальной по сравнению с другим разложением подобного типа скоростью сходимости [13, 56, 58, 70].

Разложению подверглись матрицы зонального и меридионального компонентов потока водяного пара, осредненного за холодный и теплый периоды и за год в целом. Каждая матрица имела размер 56×27 , т. е. состояла из 56 строк и 27 столбцов. Так как в нашем распоряжении не было данных по удельной влажности для Норвежского моря, то потоки влаги для него не рассчитывались. В табл. 8.3 приведены оценки собственных чисел и скорости сходимости исходных матриц для зонального компонента адвективного переноса влаги для периода 1962—1988 гг.

Нетрудно видеть, что зональный перенос влаги обладает относительно высокой скоростью сходимости. Так, первые четыре собственных числа дают вклад в дисперсию от 67 до 79 %. При этом сопряженность колебаний переноса влаги наиболее высока в зимний период года, в течение которого первое собственное число описывает уже более 40 % дисперсии исходного поля.

Таблица В.3. Оценки собственных чисел (λ_j) и скорости их сходимости (k_{cc}) для осредненных за разные периоды года и за год в целом значений зонального компонента адвективного переноса влаги

Номер λ_j	λ_j			$\lambda_j/\Sigma\lambda_j$			k_{cc} %		
	Период								
	холодный	теплый	год	холодный	теплый	год	холодный	теплый	год
1	23,1	16,4	20,1	41,3	29,2	35,8	41,3	29,2	35,8
2	12,8	12,7	13,0	22,7	22,7	23,2	64,0	51,9	59,0
3	5,3	4,7	5,9	9,4	8,4	10,5	73,4	60,3	69,5
4	2,9	3,6	4,0	5,2	6,4	7,1	78,6	66,7	76,6

На рис. 8.2 приведено распределение первого и второго собственных векторов разложения поля зонального потока влаги для холодного периода.

Напомним, что матрица собственных векторов разложения представляет собой несимметрическую корреляционную матрицу, элементами каждого столбца которой являются коэффициенты корреляции между фиксированной главной компонентой и исходными переменными, а элементами каждой строки — коэффициенты корреляции между фиксированной переменной и всеми главными компонентами.

Первый собственный вектор характеризуется ярко выраженным диполем, проявляющимся в противофазности колебаний потоков влаги между северным и южным районом Северной Атлантики. Северный район находится под воздействием Исландского ЦДА, а южный — в зоне влияния Азорского ЦДА.

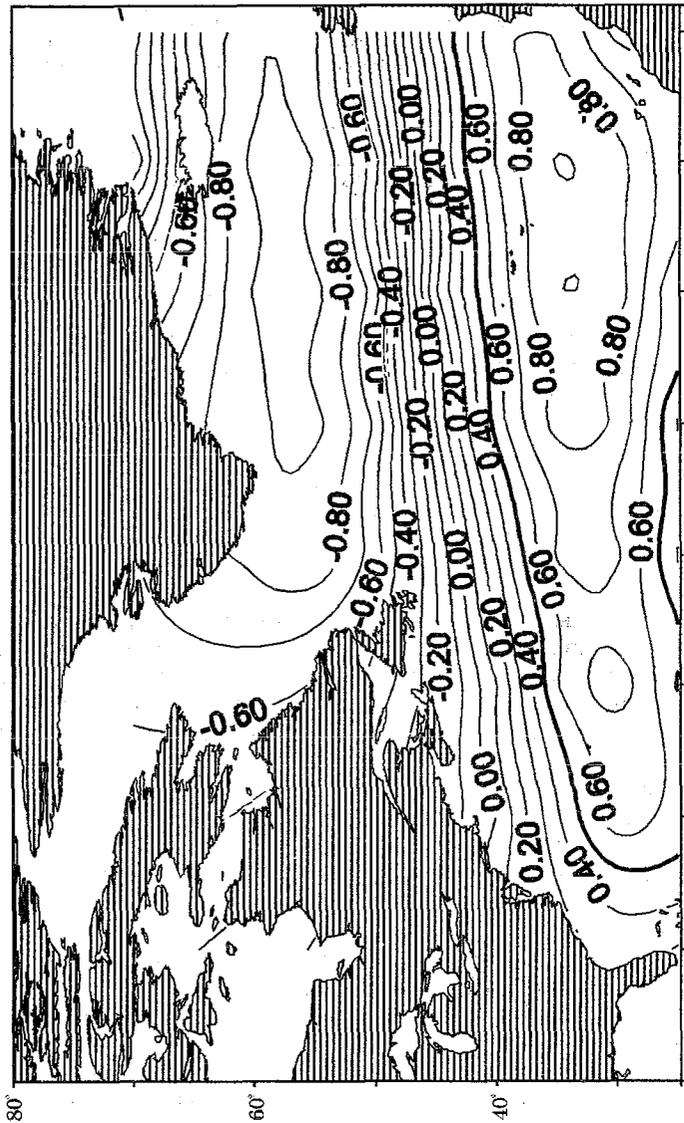
Второй собственный вектор описывается обширным районом, вытянутым в зональном направлении от берегов Северной Америки до Европы.

Хотя вследствие специфики задания исходной матрицы сами главные компоненты рассчитать не представляется возможным, тем не менее достаточно легко выявляется физический смысл первой и второй главных компонент:

— первой главной компонентой должен характеризоваться меридиональный градиент поля зонального переноса влаги,

— второй — интенсивность зонального переноса в умеренных широтах океана.

Полученные результаты позволяют довольно просто выделить районы, определяющие наибольший вклад в колебания поля зонального потока влаги. Для этого в матрице первых четырех собственных векторов размером 4×56 в каждой строке из четырех значений выберем максимальные оценки коэффициентов корреляции.



a)

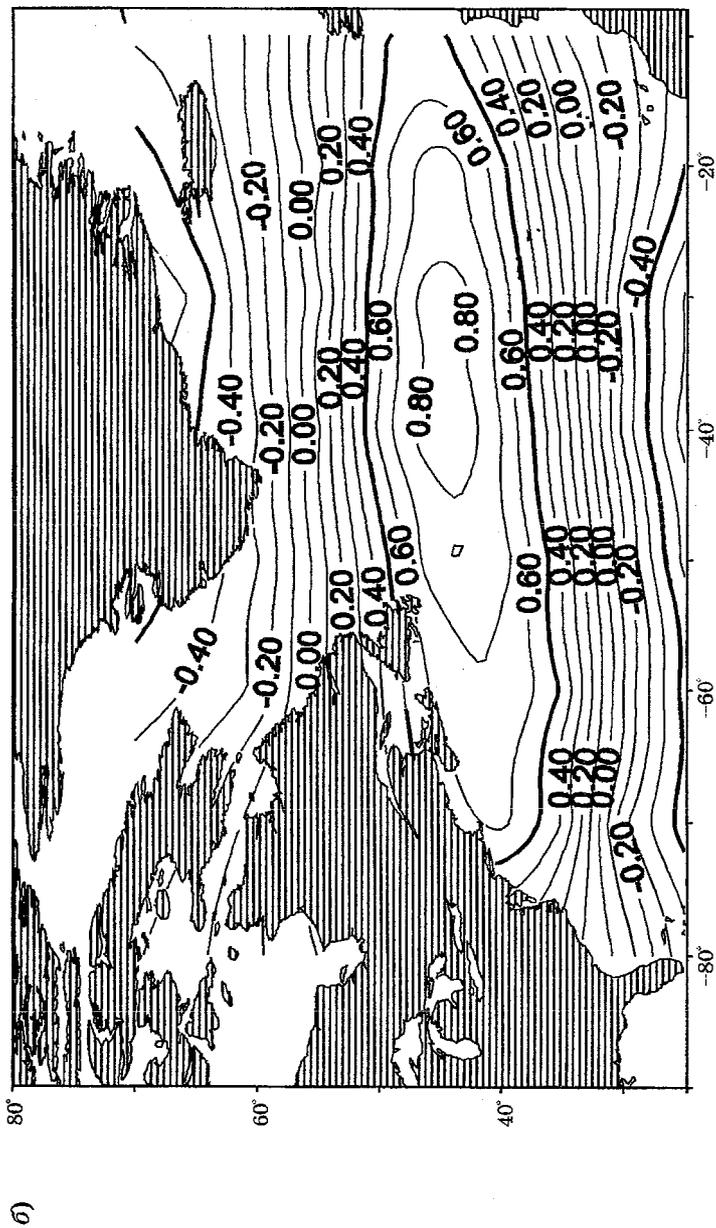


Рис. 8.2. Распределение первого (а) и второго (б) собственных векторов разложения поля зонального потока влаги для холодного (октябрь—март) периода года.

Как оказалось, разделению этой матрицы на квазиоднородные районы соответствует пороговое значение $r_{ij} = |0,60|$. В северный район вошло 17 узлов, в центральный — 11 узлов, в южный — 16 узлов.

Усредним теперь потоки влаги по этим узлам. В результате соответственно имеем \bar{F}_{x_c} , $\bar{F}_{x_{\text{ц}}}$, $\bar{F}_{x_{\text{ю}}}$. Тогда их осредненные значения по центральному району будут представлять аналог второй главной компоненты, а разность потоков южного и северного районов ($\Delta\bar{F}_x$) — аналог первой главной компоненты.

Отметим, что распределение первого и второго собственных векторов разложений зонального переноса влаги для теплого периода и года в целом почти в точности повторяет картину, приведенную на рис. 8.2, поэтому аналогичным образом выделены три района, однородные по характеру колебаний переноса влаги. Отличие от рис. 8.2 состоит только в том, что для летнего периода, когда сходимость разложения заметно хуже, в качестве порогового критерия взято значение $r_j = |0,50|$.

В табл. 8.4 приведены оценки коэффициентов корреляции между потоками влаги в рассматриваемых районах в теплый и холодный периоды года. Действительно, между северным и южным районами отмечается почти функциональная обратная связь. В то же время значимая корреляция этих районов с центральным отсутствует.

Анализ нелинейных трендов показал, что только в центральном районе они значительные. Однако их направленность в холодный и теплый период года противоположна, поэтому в межгодовых колебаниях переноса влаги тренд уже незначим на уровне

Таблица 8.4. Оценки коэффициентов корреляции между адвективными зональными потоками влаги в северном (\bar{F}_{x_c}), центральном ($\bar{F}_{x_{\text{ц}}}$), южном ($\bar{F}_{x_{\text{ю}}}$) районах и меридиональным градиентом $\Delta\bar{F}_x$ для холодного (верхний треугольник данных) и теплого (нижний треугольник данных) полугодий

Параметр	\bar{F}_{x_c}	$\bar{F}_{x_{\text{ц}}}$	$\bar{F}_{x_{\text{ю}}}$	$\Delta\bar{F}_x$
\bar{F}_{x_c}	1	-0,12	-0,90	-0,96
$\bar{F}_{x_{\text{ц}}}$	-0,21	1	0,25	0,21
$\bar{F}_{x_{\text{ю}}}$	-0,84	0,09	1	0,98
$\Delta\bar{F}_x$	-0,93	0,14	0,98	1
Период	Нелинейный коэффициент детерминации R_n^2			
Холодный	0,10	0,25	0,07	0,09
Теплый	0,10	0,28	0,12	0,11
Год	0,08	0,06	0,06	0,07

$\alpha = 0,05$. Впрочем, с учетом малой длины исходных рядов эти оценки во многом можно считать условными.

Учитывая расположение очагов с идентичными колебаниями зонального потока влаги, можно полагать, что должна существовать их связь с характеристиками ЦДА (табл. 8.5). Действительно, такая связь существует, причем особенно ярко она выражена в холодный период года. Так, при усилении САК усиливается западный перенос влаги в северном районе и ослабевает в южном.

Впрочем, аналогичный характер колебаний потока влаги в северном и южном районах отмечается также при углублении Азорского ЦДА и при смещении Исландского ЦДА к северу.

Значительно слабее выражена связь параметров ЦДА с изменчивостью переноса влаги в центральном районе. Можно лишь утверждать, что при ослаблении Исландского ЦДА и смещении его к западу существует тенденция уменьшения потока влаги в центре Северной Атлантики.

Интересно, что в теплый период года связи меняются, существенно ослабевая для северного и южного районов и в то же время возрастая для центрального. Особенно тесной оказывается связь с САК, при усилении которого зональный перенос влаги в центральном районе увеличивается. Северный и южный районы коррелируют только со смещением Исландского ЦДА по широте.

Таблица 8.5. Оценки коэффициентов корреляции параметров Исландского и Азорского ЦДА с зональными потоками влаги в северном (\bar{F}_{xc}), центральном (\bar{F}_{xc}), южном ($\bar{F}_{xю}$) районах и с меридиональным градиентом $\Delta\bar{F}_x$

Период	Район	САК	Исландский ЦДА			Азорский ЦДА		
			ρ	ϕ	λ	ρ	ϕ	λ
Холодный	\bar{F}_{xc}	0,81	-0,55	0,78	0,52	0,70	0,27	0,36
	\bar{F}_{xc}	0,13	-0,40	-0,38	-0,46	0,19	0,08	-0,19
	$\bar{F}_{xю}$	-0,60	0,32	-0,76	-0,53	-0,65	-0,37	-0,32
	$\Delta\bar{F}_x$	-0,70	0,42	-0,79	-0,54	-0,69	-0,34	-0,35
Теплый	\bar{F}_{xc}	0,01	-0,10	0,61	0,20	0,45	0,48	-0,04
	\bar{F}_{xc}	0,70	-0,39	-0,29	-0,30	0,09	-0,28	0,00
	$\bar{F}_{xю}$	-0,02	-0,03	-0,42	-0,01	-0,30	-0,47	0,11
	$\Delta\bar{F}_x$	-0,02	-0,02	-0,50	-0,08	-0,36	-0,49	0,08
Год	\bar{F}_{xc}	0,66	-0,54	0,72	0,37	0,70	0,33	-0,17
	\bar{F}_{xc}	0,16	-0,30	-0,35	-0,39	-0,01	-0,23	0,43
	$\bar{F}_{xю}$	-0,44	0,33	-0,51	-0,21	-0,58	-0,29	0,13
	$\Delta\bar{F}_x$	-0,54	0,42	-0,60	-0,28	-0,64	-0,31	0,15

Поскольку изменчивость переноса влаги в холодный период существенно выше, чем в теплый, то естественно, что корреляционные связи для среднегодовых значений более близки к холодному периоду.

Исходя из данных табл. 8.5, естественно предположить, что значительную долю дисперсии зонального переноса влаги можно описать непосредственно при помощи характеристик ЦДА. Очевидно, для решения данной задачи можно использовать модель множественной линейной регрессии (МЛР). При этом вследствие коррелированности характеристик ЦДА между собой строить полную модель МЛР нецелесообразно. Поэтому используем алгоритм пошаговой регрессии, реализующий метод включения переменных [15, 32, 69], который позволяет отбирать наиболее эффективные (значимые) предикторы.

Суть его заключается в том, что на первом шаге выбирается наиболее значимый фактор, описывающий наибольшую долю дисперсии функции отклика, на втором шаге — фактор, описывающий максимальную остаточную дисперсию и т. д. Проблема выбора оптимального шага довольно подробно рассмотрена в работе [48].

Результаты расчетов приведены в табл. 8.6. В ней кроме коэффициента детерминации также указаны в порядке значимости следующие параметры:

- независимые переменные;
- критерий Фишера, оценивающий адекватность моделей МЛР;
- случайные ошибки, которые определялись по отношению стандартной ошибки модели к среднеквадратическому отклонению функции отклика:

$$\delta = \sigma_{y(x)} / \sigma_y.$$

Естественно, чем значение δ меньше единицы, тем выше точность модели МЛР. Отметим также, что все переменные в табл. 8.6 значимы, а модели адекватны на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Из табл. 8.6 видно, что даже учет только двух-трех предикторов позволяет описать весьма высокую долю дисперсии зонального потока влаги. Особенно хорошо поддается аппроксимации перенос влаги в северном районе. Самая низкая точность характерна для среднегодовых значений переноса влаги в центральном районе, но даже в этом случае его случайная ошибка меньше среднеквадратического отклонения.

Обратимся теперь к результатам разложения поля меридионального переноса влаги для холодного периода года.

Таблица 8.6. Статистические оценки регрессионных моделей зонального переноса атмосферной влаги над разными районами Северной Атлантики с характеристиками ЦДА

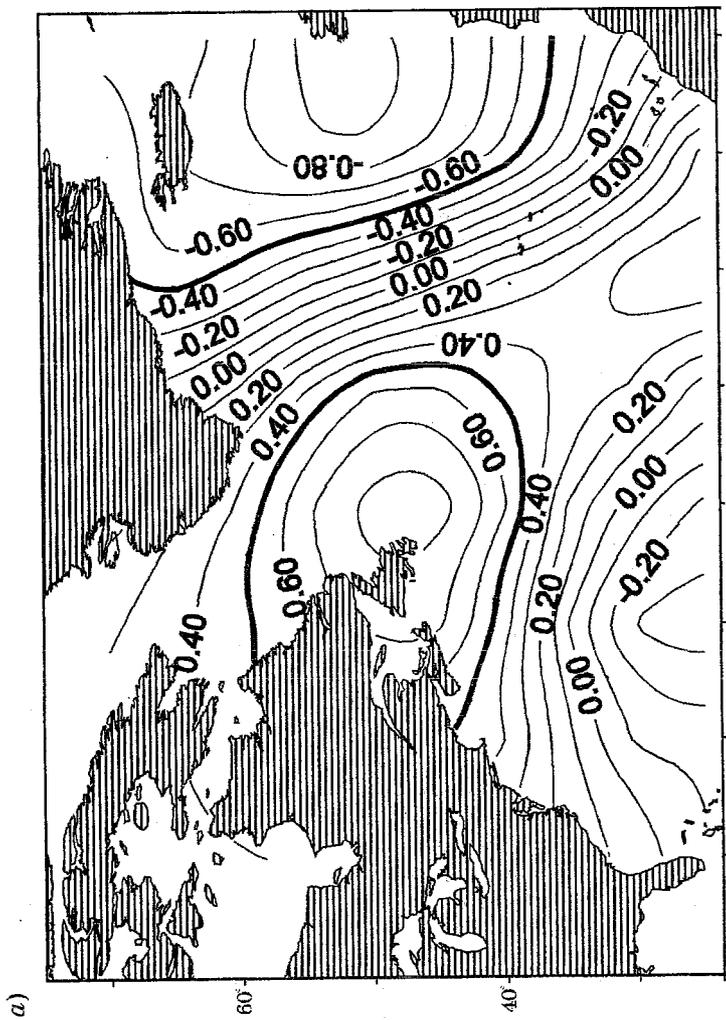
Период	Район	Параметр МЛР			
		Независимая переменная	Коэффициент детерминации R_1^2	Критерий Фишера F	Случайная ошибка δ
Холодный	\bar{F}_{xc}	САК, $\Phi_{И}$	0,78	41,9	0,48
	\bar{F}_{xc}	$\lambda_{И}$, $P_{И}$	0,48	10,6	0,75
	$\bar{F}_{xю}$	$\Phi_{И}$, P_A	0,71	28,2	0,56
	$\Delta\bar{F}_x$	$\Phi_{И}$, P_A	0,77	38,4	0,50
Теплый	\bar{F}_{xc}	$\Phi_{И}$, $\lambda_{И}$	0,56	14,6	0,69
	\bar{F}_{xc}	САК, $\lambda_{И}$	0,59	16,7	0,67
	$\bar{F}_{xю}$	Φ_A , $\Phi_{И}$, $\lambda_{И}$	0,53	8,1	0,74
	$\Delta\bar{F}_x$	$\Phi_{И}$, $\lambda_{И}$, Φ_A	0,59	10,7	0,68
Год	\bar{F}_{xc}	$\Phi_{И}$, P_A	0,72	29,4	0,55
	\bar{F}_{xc}	λ_A , $P_{И}$, $\Phi_{И}$	0,42	5,3	0,81
	$\bar{F}_{xю}$	P_A , $\Phi_{И}$, $\lambda_{И}$	0,45	6,1	0,79
	$\Delta\bar{F}_x$	P_A , $\Phi_{И}$	0,55	14,0	0,70

Примечание: подиндексы «И» и «А» соответствуют Исландскому и Азорскому ЦДА.

Как и следовало ожидать, меридиональный перенос имеет существенно худшую сходимость, причем первое собственное число почти в 2 раза меньше первого собственного числа разложения зонального переноса влаги. В сумме четыре собственных числа описывают 73,5 % дисперсии исходного поля. Это означает, что для меридионального переноса характерна более мелко-масштабная структура колебаний.

Из распределения первого и второго собственного векторов следует (рис. 8.3), что для каждого из них характерно наличие хорошо выраженных диполей. Так, первому вектору соответствует противофазность колебаний меридионального переноса в западном и восточном районах океана. Этот зональный диполь вытянут преимущественно по широте 50° с. ш. от точки 24, находящейся вблизи о. Ньюфаундленд ($r = 0,83$), до точки 28, расположенной у берегов о. Ирландия ($r = -0,92$). Итак, южный перенос, усиливаясь в западном районе, одновременно ослабевает в восточном, и наоборот.

Второй собственный вектор также описывается дипольным моментом, который несколько смещен к югу и вытянут в северо-восточном направлении. Максимальный градиент меридионального переноса влаги направлен от точки 43 (с координатами



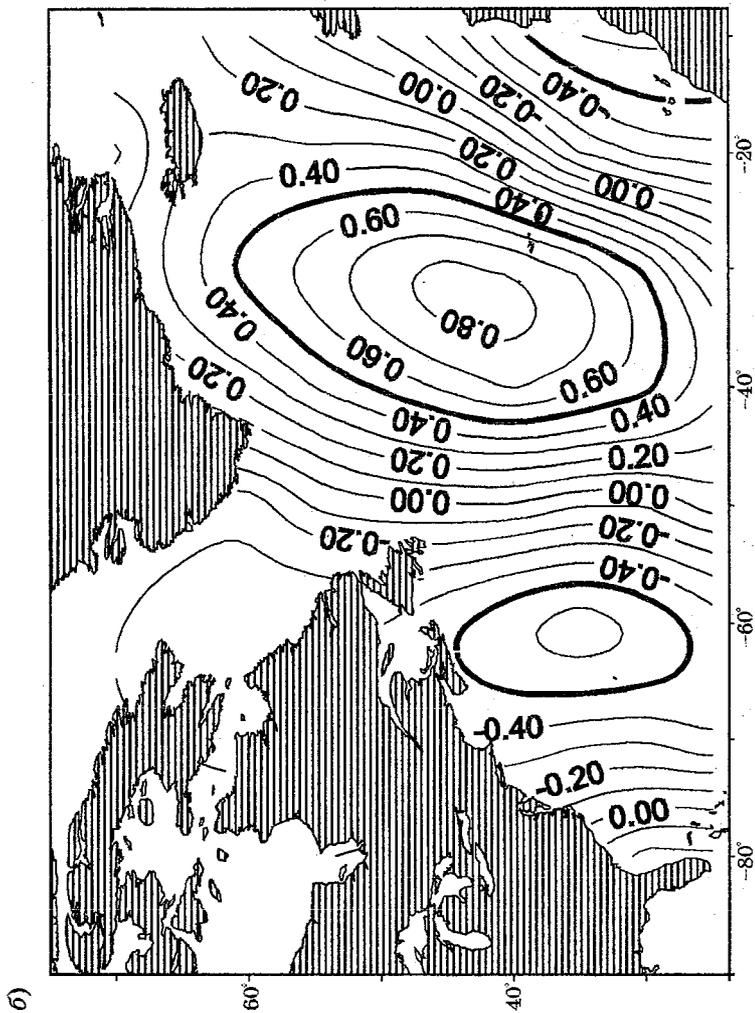


Рис. 8.3. Распределение первого (а) и второго (б) собственных векторов разложения поля меридионального потока влаги для холодного периода.

35° с. ш., 60° з. д.) к точке 32 (с координатами 45° с. ш., 35° з. д.). В точке 43 значение $r = -0,66$, а в точке 32 значение $r = 0,83$.

Таким образом, основная закономерность полей адвективного зонального и меридионального потоков водяного пара — дипольная структура межгодовых колебаний.

Особенно важно с практической точки зрения наличие дипольного момента в зональном переносе между Исландским и Азорским ЦДА: межгодовые колебания, усиливаясь в одном из них, одновременно ослабевают в другом. При этом усиление зонального переноса в северном районе и ослабление в южном сопровождается усилением САК.

Рассмотрим теперь для контура, аппроксимирующего рассматриваемую нами акваторию океана, межгодовые колебания потоков влаги, входящих и выходящих из контура. Для этого осреднены зональные компоненты потока влаги через западную и восточную границы контура и меридиональные компоненты потока влаги через южную и северную границы. На рис. 8.4 приведены графики характеристик этих потоков за холодный (с октября по март) период 1962—1988 гг.

Как и следовало ожидать, зональный средний перенос влаги \bar{F}_x всегда положителен: водяной пар вносится на акваторию Северной Атлантики через западную границу, а выносится через восточную.

Необходимо отметить некоторое превышение потока на западной границе по сравнению с восточной. Поскольку на рассматриваемой акватории Северной Атлантики испарение превышает осадки [45, 57, 75, 76, 89, 90], то полный вынос влаги через восточную границу, несомненно, должен быть больше. Это возможно только в том случае, если вынос водяного пара за счет макротурбулентности на восточной границе существенно больше, чем его приток на западной границе, что представляется вполне реальным.

Более пестрая картина наблюдается в распределении меридиональных потоков влаги. Приток водяного пара происходит преимущественно через южную границу, а его вынос — через северную. Однако в отдельные годы меридиональные потоки влаги меняют направление на противоположное, особенно часто это происходит на северной границе.

Естественно, по абсолютному значению зональные потоки существенно больше, чем меридиональные. Обращает на себя внимание полное отсутствие трендов в рядах межгодовых колебаний потоков влаги через границы контура. Это, очевидно, связано с тем, что в разных районах рассматриваемой акватории океана тренды имеют разнонаправленный характер, вследствие чего при осреднении потоков влаги они становятся незначимыми.

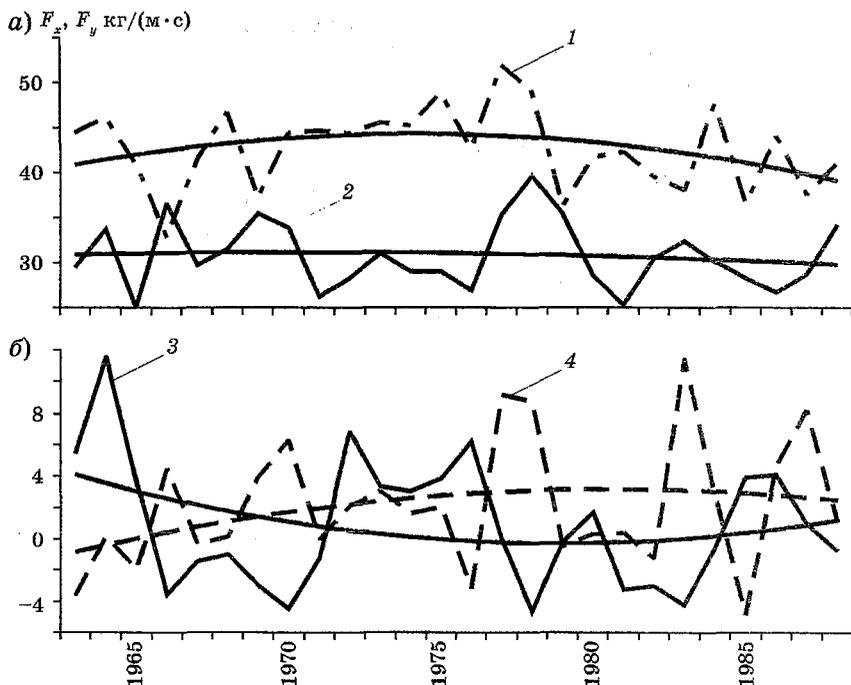


Рис. 8.4. Межгодовой ход и нелинейный тренд зонального (а) и меридионального (б) переноса влаги через западную (1), восточную (2), южную (3) и северную (4) границы контура рассматриваемой акватории океана в холодный период года.

Представляет интерес оценка сопряженности потоков влаги через границы контура. В табл. 8.7 для них приведены оценки коэффициентов корреляции за холодный и теплый периоды года. Отметим отсутствие связи между потоками влаги на западной и восточной границах контура. Зато в холодную часть года приток водяного пара через южную границу имеет высокую корреляцию с выносом его через восточную границу.

Таблица 8.7. Оценка коэффициентов корреляции для потоков влаги через границы контура за холодный (верхний треугольник данных) и теплый (нижний треугольник данных) периоды года

Граница контура	Западная	Восточная	Южная	Северная
Западная	1	-0,08	0,04	0,27
Восточная	0,02	1	0,60	-0,37
Южная	-0,10	-0,12	1	-0,55
Северная	0,41	-0,18	0,27	1

8.4. Оценка влияния испарения и циклонической активности на изменчивость зонального выноса влаги за пределы Северной Атлантики

Поскольку именно через восточную границу контура происходит преимущественный перенос атмосферной влаги на территорию ЕТР, то рассмотрим основные закономерности формирования его межгодовых колебаний. Прежде всего отметим, что основная доля его межгодовой изменчивости (коэффициент детерминации $R^2 = 0,80$) связана с зональным переносом в точках 48 (Азорский ЦДА) и 22 (Исландский ЦДА).

Из анализа табл. 8.7 легко сделать вывод, что изменчивость выноса влаги за пределы Северной Атлантики очень слабо, исключая холодный период, зависит от атмосферных процессов извне и определяется главным образом процессами взаимодействия океана и атмосферы внутри рассматриваемого контура. При этом имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют оценить вклад межгодовых колебаний испарения и процессов циклонической активности в изменчивость зонального выноса влаги.

Предварительно отметим, что в результате статистического анализа связей между указанными параметрами в узлах сетки установлено, что в большинстве точек значимая корреляция отсутствует.

Поэтому целесообразно для решения данной задачи использовать модели МЛР, независимыми переменными в которых являются значения испарения E и индекса C в отдельных узлах рассматриваемой акватории:

$$y_i = f(b_{jk}; C_j), \quad (8.13)$$

$$y_i = f(b_{jk}; E_j), \quad (8.14)$$

где b_{jk} — коэффициент регрессии.

Из-за высокой размерности указанных моделей и короткой длины исходных рядов ($n = 26$) построить полную модель, естественно, не представляется возможным. Поэтому опять используем один из вариантов пошаговой модели МЛР, реализующий метод включения переменных.

Результаты расчетов для холодного и теплого полугодий и года в целом для этих моделей и суммарной модели, в которую одновременно включались значения испарения и циклонической активности, приведены в табл. 8.8.

Легко заметить, что все три группы моделей МЛР при одном и том же числе переменных похожи друг на друга: имеют близ-

Таблица 8.8. Статистические оценки регрессионных моделей выноса атмосферной влаги через восточную границу контура с С и Е, заданных в отдельных узлах акватории океана

Период	Модель	Параметр МЛР			
		Число независимых переменных	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Фишера F	Случайная ошибка δ
Холодный	<i>E</i>	5	0,74	11,2	0,71
	<i>C</i>	4	0,75	15,2	0,58
	<i>E + C</i>	4	0,73	13,8	0,55
	<i>E + C</i>	8	0,93	26,2	0,32
Теплый	<i>E</i>	5	0,76	13,0	0,53
	<i>C</i>	4	0,74	14,7	0,56
	<i>E + C</i>	4	0,70	12,0	0,62
	<i>E + C</i>	8	0,90	20,2	0,40
Год	<i>E</i>	5	0,75	9,3	0,66
	<i>C</i>	5	0,74	11,1	0,58
	<i>E + C</i>	4	0,70	12,8	0,58
	<i>E + C</i>	9	0,92	19,7	0,36

кие и достаточно большие коэффициенты детерминации и в то же время сравнительно малые случайные ошибки. При этом все модели адекватны по критерию Фишера:

$$F > F_{кр}(\alpha, \nu_1, \nu_2).$$

Из анализа табл. 8.8 следует очевидный вывод, что испарение и циклоническая активность оказывают значительное воздействие на формирование межгодовой изменчивости зонального выноса влаги за пределы Северной Атлантики вне зависимости от периода года.

Несколько по-иному обстоит дело, если рассматривать модели с совместным использованием значений E_j и C_j . При малом числе переменных в модели (например, при четырех) совместное влияние практически отсутствует, так как все их параметры близки к параметрам моделей (8.13) и (8.14). И только при дальнейшем включении в модели МЛР переменных E_j и C_j оказывается, что они начинают превосходить по своему качеству модели (8.13) и (8.14).

Весьма важно, что переменные, включенные в модели, в основном приурочены к области Исландского ЦДА и к энергоактивным зонам в системе Гольфстрима, т. е. к районам максимальной изменчивости испарения и циклонической активности.

Как уже указано, атмосферный перенос влаги в значительной степени влияет на межгодовую изменчивость увлажнения ЕТР,

особенно в холодный период года. Поэтому опять используем метод включения переменных модели МЛР.

В качестве функции отклика примем осадки за холодный период года во втором районе ЕТР (рис. 8.5), находящемся в лесной зоне и характеризующим преимущественно стокоформирующую часть бассейна р. Волги, а также бассейн р. Невы и частично бассейны рек Северной Двины и Печоры. Этот район получен при районировании ЕТР на основе КА методом Уорда по схеме, описанной в гл. 5.

Матрица осадков в 35 узлах сеточной области ЕТР с шагом сетки $1,875 \times 1,875^\circ$ импортирована из архива CDAS за 1949—2000 гг. Независимыми переменными в модели МЛР послужили значения зонального и меридионального компонентов атмосферного переноса влаги в 56 узлах сеточной области Северной Атлантики без учета Норвежского моря:

$$p = f(b_{jk}; \bar{F}_{xj}, \bar{F}_{yk}), \quad j = 1, \dots, 56, \quad k = 1, \dots, 56.$$

В результате расчетов получена модель МЛР с десятью независимыми переменными и со следующими параметрами:

$$R_1^2 = 0,84, \quad F = 8,2, \quad \delta = 0,51.$$

Из десяти переменных четыре — это зональные потоки в узлах 6, 44, 34, 50, а остальные шесть — меридиональные потоки в узлах 13, 35, 18, 59, 27, 60. Заметим, что номера узлов даны по

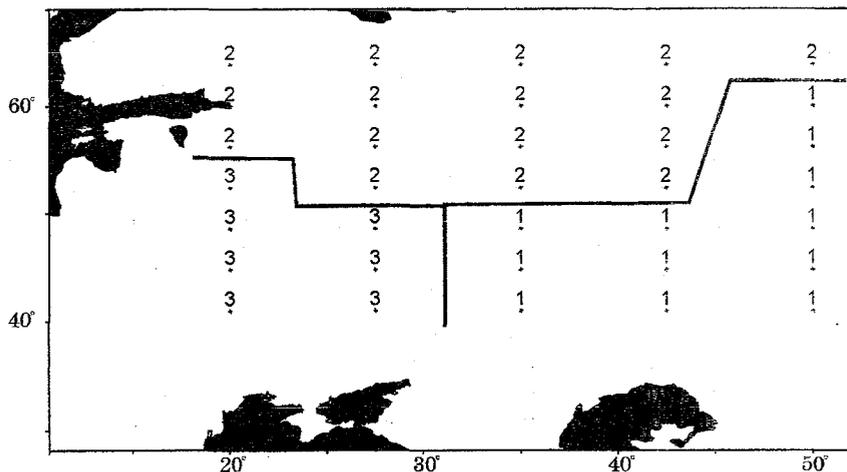


Рис. 8.5. Районирование европейской территории России по характеру межгодовой (1949—2000 гг.) изменчивости осадков в холодный (октябрь—март) период года на основе иерархического метода Уорда.

степени значимости, т. е. по их вкладу в коэффициент детерминации.

Если теперь обратиться к картам собственных векторов разложения зонального и меридионального переносов влаги, то нетрудно видеть, что в формировании большей части межгодовой изменчивости осадков за холодный период в лесной зоне ЕТР участвуют почти все выделенные на этих картах районы, т. е. большая часть акватории океана.

К сожалению, эти результаты не учитывают акваторию Норвежского моря (из-за отсутствия данных по ней), влияние которой на межгодовую изменчивость осадков на территории ЕТР весьма существенно [46, 48]. Очевидно, с учетом горизонтальных потоков влаги над этим морем точность описания колебаний осадков должна быть еще выше.

Кроме того, в работе [48] показано, что годовой сток ряда крупных рек ЕТР можно достаточно успешно предвычислить на основе горизонтального переноса влаги над Норвежским морем, рассчитанного непосредственно по среднемесячным аэрологическим данным. Впрочем, с учетом короткой длины исходных рядов (с октября 1967 по декабрь 1986 г.) полученные результаты рассмотрены только как предварительные. Поэтому имеет смысл повторить расчеты за более длительный период времени и для всей акватории Северной Атлантики, правда, без учета Норвежского моря.

Итак, для пяти крупнейших рек ЕТР (Волги, Невы и др.) сформулируем регрессионные модели МЛР следующим образом:

$$Q = f(b_j; \bar{F}_{x_j}), \quad j = 1, \dots, 56,$$

где Q — годовой сток, \bar{F}_{x_j} — зональный компонент адвективного потока влаги за холодный (с октября по март) период года.

Как и прежде, параметры регрессионных моделей определялись методом включения переменных.

Заметим, что эти модели дают представление не только о степени взаимосвязи потоков влаги с речным стоком, но имеют непосредственный прогностический смысл, поскольку позволяют предвычислить сток с заблаговременностью около одного года. Результаты расчетов приведены в табл. 8.9.

Из табл. 8.9 четко видно, что только сток р. Северной Двины аппроксимируется менее, чем на половину, причем при добавлении дополнительных предикторов точность описания стока почти не повышается. Тем не менее, даже данная модель адекватна по критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,04$. Во всех остальных случаях точность описания речного стока существен-

Таблица 8.9. Статистические оценки регрессионных моделей стока крупных рек ЕТР с зональным потоком атмосферной влаги над Северной Атлантикой

Река	Число независимых переменных	Коэффициент детерминации R^2	Критерий Фишера F	Случайная ошибка δ
Нева	5	0,53	4,5	0,76
Онега	7	0,83	10,6	0,49
Печора	6	0,81	11,5	0,51
Северная Двина	4	0,41	3,2	0,85
Волга	8	0,74	6,0	0,62

но выше. Естественно, для всех рек случайная ошибка предвычисления стока оказалась меньше единицы.

Таким образом, отсюда можно сделать вполне очевидный вывод, что зональные горизонтальные потоки атмосферной влаги над Северной Атлантикой не только в значительной степени влияют на колебания годового стока крупных рек ЕТР, но и могут рассматриваться в качестве важных предикторов при построении прогностических моделей речного стока с заблаговременностью порядка девяти месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку комплексные исследования ИВА ранее не выполнялись, то вполне естественно, что полученные результаты можно рассматривать как новые. Однако простое их перечисление вряд ли имеет смысл. Поэтому попытаемся отметить лишь те из них, которые, на наш взгляд, имеют наиболее важное значение и соответствуют задачам, указанным во введении.

1. Обоснован и впервые осуществлен автоматизированный комплексный расчет ИВА (интенсивности и повторяемости циклонов и антициклонов, общей циклоничности и антициклоничности), рассчитанных по срочным (через 12 ч) данным об атмосферном давлении в узлах географической сетки Северной Атлантики за 1946—1996 гг.

Для оценки интенсивности и повторяемости синоптических вихрей целесообразно использовать лапласиан давления L , который характеризует завихренность барического поля. При этом знаком лапласиана определяется тип барического поля, а его значением — интенсивность самого поля. Лапласиан рассчитан с шагом 5° по широте и 10° по долготе. Для расчета использована 9-точечная конечно-разностная аппроксимация. Детальный анализ ошибок расчета лапласиана позволил сделать вывод о принципиальной возможности расчета прежде всего среднемесячных оценок характеристик вихревой активности, интерпретируемых как циклоны и антициклоны, с приемлемой для практики точностью.

2. Установлены климатические центры вихревой активности атмосферы в Северной Атлантике и исследована их сезонная изменчивость.

В частности, выявлено, что интенсивность циклонов I_z достигает максимума и имеет повторяемость $P_z > 50\%$ на широтах $60-70^\circ$ с., а затем начинает быстро уменьшаться по направлению к югу. Аналогичное меридиональное распределение свойственно и повторяемости циклонов. Поэтому общая циклоничность C , достигая максимальных значений в зоне $60-70^\circ$ с., сильно уменьшается к более южным широтам.

Меридиональное распределение интенсивности антициклонов I_a в общем повторяет распределение I_z , но размах ее изменчивости значительно меньше. В целом для Северной Атлантики $I_z > I_a$ главным образом за счет высоких широт.

Годовой ход среднеширотных значений I_z проявляется на всех широтах. При этом отмечается четкая тенденция уменьшения его амплитуды от высоких широт к низким. Минимальная интенсивность циклонического поля наблюдается летом, причем одновременно в июле на всех широтах, а максимальная — зимой (в декабре—феврале). Значительно хуже выражен годовой ход среднеширотных значений I_a , который четко проявляется лишь в зоне $50-60^\circ$ с. ш.

Кроме того, как следует из результатов гармонического анализа, важной закономерностью циклонической активности является то, что в ее интенсивности доминирует годовой ход; в то время как повторяемости циклонов и антициклонов свойственна также четко выраженная полугодовая волна, вклад которой в отдельных районах океана достигает 50% дисперсии ее внутригодовых колебаний.

3. На основе КА акватория Северной Атлантики районирована по характеру межгодовых колебаний индексов общей циклоничности и антициклоничности, осредненных за холодный период, выделены квазиоднородные сезоны года и выполнена объективная классификация межгодовых колебаний индексов на пять градаций:

- 1) значительно ниже нормы,
- 2) ниже нормы,
- 3) норма,
- 4) выше нормы,
- 5) значительно выше нормы.

Так, при районировании акватории Северной Атлантики по характеру межгодовых колебаний индексов общей циклоничности C и общей антициклоничности A за холодный (ноябрь—март) период года, когда процессы вихревой активности выражены особенно ярко, выделено шесть квазиоднородных районов, распределение которых имеет довольно хорошо выраженный зональ-

ный характер, нарушаемый главным образом действием системы течений. Для каждого из районов определены статистические центры по максимальному коэффициенту корреляции в центре тяжести, полученного путем простого арифметического осреднения всех точек и в произвольных точках района.

Классификация сезонной изменчивости индексов C в Северной Атлантике позволила выделить холодный (ноябрь—март) и теплый (апрель—октябрь) периоды года. Но если холодный период однороден и дальнейшее разбиение его уже не имеет смысла, то теплый можно в свою очередь разделить на летний сезон (июнь—август) и переходные сезоны: весна (апрель, май) и осень (сентябрь, октябрь).

По-иному складывается структура квазиоднородных сезонов для индексов A , в соответствии с которой резко выражены только теплый (май—сентябрь) и холодный (октябрь—апрель) периоды, последующее разбиение которых уже представляется нецелесообразным. Таким образом, структура годового хода индекса A более однородна по сравнению со структурой годового хода индекса C .

При классификации межгодовых колебаний индексов C и A для всей Северной Атлантики оптимальное число классов (градаций) равно пяти.

При этом распределение числа случаев (повторяемости) по градациям существенно различно для каждого индекса. В то же время оно не повторяет гистограмм, построенных непосредственно по исходным данным и в обоих случаях не соответствует нормальному закону распределения. Так, если распределение индекса C по градациям почти симметрично и двухмодально с максимальной повторяемостью его значений в градациях «выше нормы» и «ниже нормы», то распределение индекса A резко ассиметрично, его положительные, но относительно малые аномалии встречаются чаще, чем относительно большие, но редкие отрицательные аномалии.

Важным моментом является также то, что распределения значений этих индексов по градациям совершенно не симметричны относительно среднеквадратического отклонения. Однако средние значения в градации «норма» практически совпадают с пространственными средними, полученными непосредственно по исходным данным за 51 год.

Именно в том, что границы между градациями выбираются при помощи самого алгоритма, а не соответствуют каким-либо долям среднеквадратического отклонения, состоит принципиальное отличие подобной классификации от традиционных.

4. Вторая половина XX в. характеризуется наличием значимых положительных трендов в ИВА, которые наиболее ярко проявляются в интенсивности циклонов и антициклонов.

Максимальные положительные линейные тренды общей циклоничности C отмечаются в районе Исландской депрессии и в районе Восточно-Гренландского течения. В точке с координатами 70° с. ш. и 10° в. д. коэффициент детерминации линейного тренда достигает $R_1^2 = 0,30$.

Слабые отрицательные тренды четко локализируются в области действия Азорского максимума, т. е. циклоническая активность атмосферы здесь постепенно уменьшалась. Однако в целом в Северной Атлантике во второй половине XX в. процессы циклогенеза усиливались. Одновременно в Северной Атлантике усиливались и процессы антициклогенеза, характеризующиеся индексом A . Однако если процессы циклогенеза резко усиливаются зимой и не изменяются летом, то процессы антициклогенеза, наоборот, в большей степени усиливаются летом. И только при осреднении значений индексов за год их тренды уже становятся близкими друг другу.

Естественно, одновременное усиление указанных процессов возможно только при возрастании интенсивности вихревой активности.

Интенсивность циклонов и антициклонов во второй половине XX в. характеризуется сильным трендом, причем данный процесс в значительной степени нелинеен. Так, незначительное уменьшение интенсивности I_2 к концу 60-х годов сменялось затем ее резким ростом. При этом нелинейный коэффициент детерминации среднегодовых значений интенсивности циклонов описывает половину дисперсии исходного ряда.

5. Показано, что именно циклоническая активность влияет на межгодовую изменчивость ТПО, а не наоборот.

Значимая отрицательная корреляция между значениями ТПО и индекса C , осредненными за холодный период, наблюдается только для северных районов. Для других районов она вообще отсутствует. При прохождении здесь циклонов, особенно глубоких, происходит резкое усиление процессов тепло- и влагоотдачи в атмосферу, приводящее к охлаждению ТПО. Одновременно с этим под действием ветра усиленно перемешивается верхний слой воды мощностью несколько десятков метров, вследствие чего ТПО обычно также уменьшается, ибо к поверхности поднимаются более холодные нижележащие воды. Отсюда следует, что чем выше повторяемость и интенсивность атмосферных синоптических вихрей циклонического характера, тем ниже должна быть ТПО.

Поскольку значимые асинхронные связи между колебаниями циклонических вихрей и ТПО не выявлены, то вполне естественно считать, что циклоническая активность оказывает преобладающее влияние на межгодовую изменчивость ТПО, а не наоборот.

6. В результате статистического анализа характеристик взаимодействия системы океан—атмосфера и ИВА и детального физического анализа полученных связей предложена генетическая модель формирования межгодовых колебаний горизонтального переноса атмосферной влаги над Северной Атлантикой, которая в наиболее общей форме выглядит следующим образом: .

— с одной стороны, при усилении процессов циклонической активности в Северной Атлантике и прежде всего в области Исландского минимума увеличиваются испарение и влагосодержание атмосферы и понижается ТПО;

— с другой стороны, при возрастании циклонической активности одновременно повышается зональная составляющая эффективной скорости горизонтального переноса атмосферной влаги, характеризующая скорость перемещения циклонов;

— при росте циклонической активности углубляется Исландский минимум и одновременно возникают его пространственные миграции. В свою очередь, при углублении Исландского минимума усиливается интенсивность САК, которое в значительной степени регулирует адвективный зональный перенос в атмосфере в умеренных широтах.

Все это вместе взятое должно приводить к значительному повышению зонального переноса водяного пара в системе ОЦА на европейский континент и ЕТР.

Естественно, при ослаблении циклонической и возрастании антициклонической активности рассмотренная картина последовательности развития гидрометеорологических процессов будет меняться в обратную сторону.

7. Впервые за длительный период лет рассмотрены и установлены закономерности крупномасштабной изменчивости адвективного переноса атмосферной влаги над Северной Атлантикой.

Для решения этой задачи предложена параметрическая схема расчета интегрированного по вертикали адвективного переноса водяного пара и выполнен расчет его зонального и меридионального компонентов с октября 1962 по декабрь 1988 г. Сопоставление вычисленных и фактических (полученных по данным четырех кораблей погоды) потоков влаги показало, что систематические расхождения между ними несущественны.

Поля зонального и меридионального компонентов переноса влаги разложены методом главных компонент. Первые четыре

собственных числа зонального и меридионального переносов дают вклад в дисперсию соответственно 67—79 и 64—74 %. При этом сопряженность колебаний переноса влаги наиболее высока в зимний период года.

Основной закономерностью полей адвективного зонального и меридионального потоков водяного пара — дипольная структура межгодовых колебаний. Особенно важным с практической точки зрения представляется наличие дипольного момента в зональном переносе между Исландским и Азорским ЦДА: межгодовые колебания в одном из них усиливаются одновременно с их ослаблением в другом. При этом усиление зонального переноса в северном районе и ослабление в южном сопровождается усилением САК. Выявлены тесные статистические взаимосвязи зонального потока влаги в северном и южном районах с отдельными параметрами ЦДА, которые особенно ярко выражены в холодный период года.

8. Межгодовая изменчивость испарения и циклонической активности в атмосфере оказывает преобладающее влияние на формирование межгодовых колебаний переноса атмосферной влаги на территорию Европы и ЕТР, которые в свою очередь в значительной степени определяют изменчивость увлажнения и годового стока крупных рек ЕТР.

Изменчивость горизонтального выноса влаги за пределы Северной Атлантики очень слабо, исключая холодный период, зависит от атмосферных процессов извне и определяется главным образом процессами взаимодействия океана и атмосферы внутри рассматриваемого контура.

В результате построения цикла моделей МЛР установлено, что испарение и циклоническая активность оказывают значительное воздействие на формирование межгодовой изменчивости переноса атмосферной влаги на территорию Европы и ЕТР вне зависимости от периода года. Одновременно с этим при помощи моделей МЛР показано, что зональные горизонтальные потоки атмосферной влаги над Северной Атлантикой не только в значительной степени влияют на колебания увлажнения и годового стока крупных рек ЕТР, но и могут рассматриваться в качестве важных предикторов при построении прогностических моделей речного стока с заблаговременностью порядка 9 мес.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I. Интенсивность антициклонов, гПа/(100 км²)

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
70° с. ш., 10° в. д.														
1946	0,31	0,22	0,32	0,22	0,19	0,14	0,13	0,16	0,24	0,18	0,20	0,20	0,21	0,06
1947	0,17	0,20	0,17	0,21	0,23	0,24	0,22	0,19	0,25	0,22	0,27	0,26	0,22	0,03
1948	0,35	0,25	0,26	0,20	0,32	0,28	0,21	0,21	0,19	0,23	0,34	0,39	0,27	0,07
1949	0,23	0,22	0,37	0,20	0,29	0,22	0,21	0,16	0,18	0,24	0,18	0,21	0,23	0,06
1950	0,28	0,19	0,23	0,16	0,26	0,25	0,23	0,31	0,15	0,22	0,23	0,32	0,24	0,05
1951	0,28	0,25	0,24	0,29	0,21	0,20	0,19	0,18	0,16	0,16	0,25	0,22	0,22	0,04
1952	0,31	0,24	0,34	0,15	0,28	0,12	0,18	0,25	0,20	0,19	0,36	0,20	0,24	0,08
1953	0,31	0,30	0,20	0,21	0,26	0,19	0,19	0,20	0,25	0,49	0,24	0,32	0,26	0,09
1954	0,34	0,37	0,22	0,31	0,23	0,23	0,17	0,18	0,23	0,23	0,25	0,26	0,25	0,06
1955	0,28	0,28	0,18	0,30	0,19	0,19	0,11	0,13	0,10	0,22	0,17	0,21	0,20	0,07
1956	0,16	0,23	0,18	0,17	0,16	0,28	0,13	0,17	0,13	0,16	0,24	0,20	0,18	0,05
1957	0,23	0,19	0,14	0,14	0,22	0,18	0,18	0,17	0,16	0,17	0,15	0,17	0,18	0,03
1958	0,14	0,19	0,22	0,20	0,15	0,18	0,12	0,11	0,14	0,23	0,19	0,15	0,17	0,04
1959	0,18	0,26	0,19	0,23	0,19	0,17	0,13	0,09	0,13	0,28	0,16	0,24	0,19	0,06
1960	0,20	0,15	0,13	0,19	0,26	0,18	0,16	0,24	0,71	0,17	0,20	0,15	0,23	0,16
1961	0,30	0,25	0,21	0,24	0,13	0,19	0,14	0,21	0,14	0,27	0,29	0,26	0,22	0,06
1962	0,28	0,32	0,17	0,28	0,21	0,18	0,19	0,13	0,22	0,20	0,22	0,32	0,23	0,06
1963	0,18	0,27	0,26	0,24	0,21	0,15	0,15	0,22	0,22	0,26	0,22	0,31	0,22	0,05
1964	0,25	0,25	0,20	0,26	0,28	0,26	0,22	0,17	0,15	0,29	0,33	0,21	0,24	0,05
1965	0,30	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,25	0,18	0,17	0,29	0,22	0,28	0,04
1966	0,32	0,32	0,23	0,24	0,20	0,22	0,10	0,16	0,31	0,25	0,30	0,36	0,25	0,08
1967	0,35	0,17	0,26	0,27	0,29	0,26	0,16	0,23	0,27	0,26	0,39	0,29	0,27	0,06
1968	0,33	0,28	0,38	0,30	0,28	0,21	0,13	0,24	0,22	0,32	0,32	0,34	0,28	0,07
1969	0,33	0,29	0,25	0,25	0,24	0,17	0,15	0,20	0,22	0,33	0,29	0,24	0,25	0,06
1970	0,15	0,23	0,28	0,27	0,24	0,14	0,16	0,16	0,31	0,25	0,27	0,31	0,23	0,06
1971	0,29	0,21	0,24	0,32	0,22	0,21	0,16	0,17	0,23	0,25	0,30	0,35	0,25	0,06
1972	0,31	0,29	0,30	0,23	0,27	0,25	0,11	0,24	0,21	0,27	0,22	0,18	0,24	0,06
1973	0,18	0,32	0,21	0,29	0,24	0,18	0,19	0,23	0,13	0,27	0,33	0,27	0,24	0,06
1974	0,26	0,23	0,25	0,28	0,23	0,18	0,24	0,18	0,25	0,27	0,21	0,28	0,24	0,03
1975	0,31	0,28	0,27	0,24	0,27	0,23	0,12	0,22	0,19	0,25	0,22	0,27	0,24	0,05
1976	0,33	0,21	0,23	0,27	0,28	0,22	0,18	0,18	0,21	0,20	0,27	0,25	0,24	0,05

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1977	0,47	0,30	0,31	0,27	0,23	0,17	0,26	0,18	0,38	0,17	0,19	0,21	0,26	0,09
1978	0,28	0,36	0,26	0,27	0,20	0,22	0,27	0,22	0,27	0,31	0,26	0,35	0,27	0,05
1979	0,37	0,19	0,13	0,23	0,22	0,19	0,26	0,25	0,28	0,20	0,32	0,37	0,25	0,07
1980	0,24	0,33	0,20	0,31	0,22	0,23	0,24	0,21	0,21	0,33	0,29	0,46	0,27	0,08
1981	0,29	0,37	0,30	0,32	0,25	0,25	0,18	0,21	0,27	0,32	0,29	0,34	0,28	0,05
1982	0,34	0,18	0,33	0,32	0,16	0,26	0,21	0,16	0,34	0,21	0,21	0,27	0,25	0,07
1983	0,16	0,41	0,25	0,34	0,16	0,21	0,16	0,24	0,36	0,36	0,41	0,42	0,29	0,10
1984	0,23	0,32	0,28	0,17	0,34	0,20	0,17	0,18	0,29	0,37	0,21	0,25	0,25	0,07
1985	0,27	0,42	0,33	0,36	0,23	0,24	0,29	0,21	0,23	0,31	0,54	0,44	0,32	0,10
1986	0,41	0,21	0,30	0,27	0,16	0,15	0,16	0,20	0,24	0,43	0,19	0,30	0,25	0,09
1987	0,31	0,31	0,28	0,16	0,18	0,23	0,18	0,19	0,25	0,18	0,24	0,34	0,24	0,06
1988	0,31	0,29	0,28	0,29	0,18	0,17	0,22	0,21	0,17	0,21	0,39	0,35	0,26	0,07
1989	0,24	0,29	0,28	0,17	0,31	0,25	0,19	0,19	0,21	0,20	0,27	0,30	0,24	0,05
1990	0,17	0,23	0,22	0,22	0,17	0,20	0,12	0,23	0,19	0,18	0,24	0,36	0,21	0,06
1991	0,19	0,30	0,26	0,32	0,26	0,19	0,18	0,27	0,18	0,29	0,19	0,25	0,24	0,05
1992	0,30	0,37	0,33	0,36	0,20	0,16	0,22	0,12	0,21	0,25	0,20	0,34	0,26	0,08
1993	0,37	0,32	0,36	0,31	0,25	0,28	0,11	0,14	0,23	0,27	0,27	0,21	0,26	0,08
1994	0,38	0,31	0,35	0,33	0,17	0,19	0,19	0,14	0,19	0,29	0,24	0,30	0,26	0,08
1995	0,23	0,22	0,30	0,23	0,22	0,21	0,19	0,23	0,31	0,21	0,26	0,23	0,24	0,04
1996	0,18	0,29	0,25	0,34	0,31	0,21	0,22	0,23	0,25	0,28	0,20	0,27	0,25	0,05
Сред- нее	0,27	0,27	0,26	0,26	0,23	0,21	0,18	0,19	0,23	0,25	0,26	0,28	0,24	
σ	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,09	0,07	0,07	0,07	0,03	

70° с. ш., 20° в. д.

1946	0,25	0,20	0,23	0,28	0,21	0,15	0,17	0,10	0,17	0,24	0,16	0,21	0,20	0,05
1947	0,21	0,14	0,22	0,30	0,28	0,09	0,21	0,22	0,23	0,31	0,26	0,13	0,22	0,07
1948	0,19	0,38	0,29	0,24	0,17	0,13	0,16	0,14	0,22	0,26	0,23	0,25	0,22	0,07
1949	0,26	0,26	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,18	0,17	0,29	0,20	0,11	0,20	0,05
1950	0,36	0,22	0,15	0,17	0,20	0,20	0,13	0,12	0,18	0,29	0,20	0,16	0,20	0,07
1951	0,23	0,21	0,19	0,25	0,12	0,13	0,12	0,17	0,19	0,29	0,31	0,19	0,20	0,06
1952	0,22	0,09	0,18	0,19	0,19	0,15	0,17	0,19	0,18	0,25	0,22	0,14	0,18	0,04
1953	0,14	0,21	0,32	0,15	0,20	0,17	0,12	0,15	0,20	0,21	0,25	0,26	0,20	0,06
1954	0,29	0,25	0,24	0,23	0,16	0,16	0,20	0,21	0,20	0,23	0,25	0,13	0,21	0,05
1955	0,27	0,11	0,22	0,27	0,22	0,17	0,22	0,20	0,19	0,20	0,20	0,22	0,21	0,04
1956	0,28	0,31	0,21	0,12	0,14	0,17	0,18	0,19	0,20	0,25	0,31	0,32	0,22	0,07
1957	0,21	0,10	0,20	0,24	0,21	0,15	0,13	0,16	0,19	0,21	0,20	0,18	0,18	0,04
1958	0,28	0,22	0,20	0,21	0,15	0,14	0,10	0,12	0,19	0,21	0,26	0,19	0,19	0,05
1959	0,14	0,29	0,20	0,13	0,18	0,19	0,16	0,19	0,20	0,23	0,22	0,34	0,21	0,06
1960	0,25	0,27	0,23	0,20	0,14	0,18	0,13	0,07	0,19	0,21	0,18	0,40	0,20	0,08
1961	0,29	0,29	0,16	0,18	0,22	0,17	0,19	0,12	0,23	0,18	0,25	0,26	0,21	0,05
1962	0,32	0,36	0,11	0,25	0,14	0,12	0,19	0,16	0,20	0,17	0,26	0,33	0,22	0,09
1963	0,36	0,23	0,18	0,22	0,18	0,15	0,22	0,20	0,23	0,20	0,25	0,19	0,22	0,05
1964	0,20	0,25	0,26	0,14	0,16	0,23	0,21	0,17	0,22	0,23	0,17	0,24	0,21	0,04
1965	0,35	0,27	0,17	0,19	0,17	0,21	0,20	0,20	0,19	0,31	0,19	0,32	0,23	0,06
1966	0,27	0,19	0,22	0,25	0,18	0,19	0,14	0,14	0,17	0,16	0,32	0,22	0,20	0,05
1967	0,29	0,27	0,34	0,28	0,16	0,20	0,19	0,14	0,20	0,18	0,19	0,34	0,23	0,07
1968	0,13	0,27	0,26	0,17	0,18	0,21	0,14	0,24	0,16	0,25	0,19	0,28	0,21	0,05

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1969	0,13	0,08	0,34	0,25	0,26	0,18	0,21	0,20	0,24	0,19	0,23	0,24	0,21	0,07
1970	0,32	0,13	0,21	0,11	0,24	0,23	0,16	0,27	0,24	0,23	0,24	0,19	0,21	0,06
1971	0,20	0,26	0,30	0,22	0,21	0,14	0,18	0,19	0,20	0,25	0,20	0,25	0,22	0,04
1972	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,09	0,20	0,23	0,21	0,26	0,19	0,34	0,22	0,06
1973	0,32	0,27	0,26	0,16	0,22	0,18	0,18	0,17	0,21	0,25	0,28	0,20	0,23	0,05
1974	0,29	0,23	0,38	0,22	0,16	0,20	0,14	0,22	0,22	0,26	0,23	0,33	0,24	0,07
1975	0,20	0,23	0,27	0,19	0,21	0,26	0,20	0,22	0,25	0,25	0,31	0,17	0,23	0,04
1976	0,20	0,29	0,34	0,20	0,21	0,20	0,22	0,32	0,22	0,33	0,26	0,26	0,25	0,05
1977	0,18	0,13	0,13	0,22	0,23	0,23	0,15	0,21	0,26	0,22	0,19	0,31	0,20	0,05
1978	0,20	0,25	0,29	0,25	0,21	0,23	0,12	0,18	0,19	0,28	0,34	0,35	0,24	0,07
1979	0,34	0,41	0,08	0,14	0,14	0,23	0,14	0,14	0,21	0,34	0,23	0,28	0,22	0,10
1980	0,35	0,36	0,17	0,23	0,14	0,13	0,23	0,15	0,22	0,25	0,28	0,21	0,23	0,08
1981	0,34	0,35	0,27	0,21	0,21	0,16	0,15	0,15	0,17	0,21	0,34	0,28	0,24	0,08
1982	0,22	0,29	0,27	0,18	0,26	0,18	0,24	0,20	0,24	0,29	0,23	0,29	0,24	0,04
1983	0,24	0,27	0,35	0,13	0,16	0,23	0,23	0,22	0,20	0,20	0,28	0,18	0,22	0,06
1984	0,28	0,26	0,33	0,32	0,17	0,13	0,17	0,18	0,20	0,26	0,27	0,23	0,23	0,06
1985	0,22	0,33	0,29	0,22	0,22	0,15	0,16	0,25	0,23	0,29	0,35	0,16	0,24	0,07
1986	0,25	0,30	0,37	0,22	0,14	0,19	0,15	0,17	0,15	0,21	0,19	0,35	0,22	0,08
1987	0,35	0,15	0,37	0,27	0,21	0,06	0,20	0,18	0,32	0,22	0,21	0,31	0,24	0,09
1988	0,26	0,31	0,16	0,18	0,23	0,24	0,18	0,17	0,15	0,28	0,25	0,27	0,22	0,05
1989	0,25	0,26	0,24	0,24	0,15	0,24	0,32	0,13	0,22	0,20	0,17	0,21	0,22	0,05
1990	0,30	0,18	0,26	0,21	0,19	0,14	0,27	0,12	0,20	0,24	0,35	0,26	0,23	0,07
1991	0,29	0,45	0,26	0,25	0,18	0,13	0,21	0,24	0,21	0,22	0,18	0,31	0,24	0,08
1992	0,31	0,26	0,25	0,19	0,30	0,27	0,21	0,19	0,26	0,24	0,23	0,26	0,25	0,04
1993	0,23	0,28	0,30	0,25	0,17	0,24	0,13	0,19	0,17	0,27	0,31	0,14	0,22	0,06
1994	0,21	0,29	0,28	0,20	0,16	0,19	0,31	0,20	0,21	0,22	0,22	0,27	0,23	0,05
1995	0,26	0,19	0,24	0,22	0,17	0,24	0,23	0,26	0,20	0,28	0,30	0,38	0,25	0,06
1996	0,27	0,27	0,29	0,28	0,26	0,22	0,15	0,20	0,27	0,27	0,29	0,27	0,25	0,04
Сред- нее	0,26	0,25	0,25	0,21	0,19	0,18	0,18	0,18	0,21	0,24	0,24	0,25	0,22	
σ	0,06	0,08	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,07	0,02	

65° с. ш., 30° в. д.

1946	0,14	0,21	0,21	0,12	0,19	0,15	0,19	0,18	0,15	0,31	0,29	0,29	0,20	0,06
1947	0,27	0,27	0,29	0,32	0,22	0,19	0,21	0,13	0,17	0,24	0,25	0,27	0,24	0,05
1948	0,21	0,21	0,27	0,36	0,23	0,20	0,19	0,18	0,22	0,22	0,17	0,28	0,23	0,05
1949	0,22	0,11	0,20	0,21	0,27	0,25	0,12	0,18	0,13	0,20	0,31	0,38	0,22	0,08
1950	0,21	0,23	0,28	0,29	0,23	0,19	0,04	0,14	0,22	0,14	0,22	0,24	0,20	0,07
1951	0,31	0,22	0,33	0,33	0,19	0,17	0,21	0,21	0,19	0,26	0,23	0,27	0,24	0,06
1952	0,39	0,24	0,27	0,21	0,25	0,24	0,17	0,17	0,25	0,22	0,17	0,26	0,24	0,06
1953	0,21	0,35	0,27	0,28	0,18	0,16	0,16	0,11	0,20	0,14	0,55	0,09	0,23	0,13
1954	0,28	0,30	0,25	0,19	0,14	0,17	0,15	0,10	0,24	0,19	0,31	0,13	0,20	0,07
1955	0,19	0,34	0,20	0,11	0,16	0,13	0,18	0,15	0,24	0,23	0,18	0,25	0,20	0,06
1956	0,22	0,33	0,20	0,20	0,19	0,19	0,15	0,15	0,18	0,28	0,19	0,18	0,21	0,05
1957	0,38	0,21	0,18	0,19	0,29	0,21	0,14	0,10	0,35	0,17	0,26	0,24	0,23	0,08
1958	0,17	0,25	0,21	0,15	0,21	0,21	0,14	0,11	0,18	0,21	0,21	0,32	0,20	0,05
1959	0,41	0,28	0,17	0,28	0,19	0,12	0,16	0,11	0,23	0,18	0,24	0,24	0,22	0,08
1960	0,22	0,21	0,20	0,17	0,13	0,15	0,16	0,19	0,19	0,33	0,24	0,21	0,20	0,05

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1961	0,21	0,08	0,20	0,17	0,22	0,12	0,12	0,14	0,14	0,19	0,23	0,23	0,17	0,05
1962	0,26	0,35	0,35	0,25	0,17	0,13	0,12	0,16	0,23	0,20	0,25	0,37	0,24	0,09
1963	0,33	0,29	0,13	0,18	0,18	0,22	0,20	0,15	0,28	0,14	0,23	0,38	0,23	0,08
1964	0,36	0,30	0,26	0,23	0,17	0,16	0,14	0,19	0,20	0,17	0,18	0,29	0,22	0,07
1965	0,22	0,29	0,27	0,20	0,17	0,16	0,18	0,15	0,23	0,20	0,25	0,23	0,21	0,04
1966	0,17	0,24	0,33	0,14	0,12	0,17	0,25	0,16	0,18	0,27	0,27	0,17	0,21	0,06
1967	0,30	0,15	0,31	0,26	0,20	0,13	0,23	0,14	0,24	0,19	0,27	0,39	0,23	0,08
1968	0,40	0,20	0,22	0,24	0,25	0,12	0,19	0,19	0,20	0,23	0,25	0,26	0,23	0,07
1969	0,29	0,27	0,23	0,27	0,19	0,14	0,10	0,15	0,12	0,16	0,18	0,22	0,19	0,06
1970	0,18	0,34	0,24	0,17	0,11	0,18	0,16	0,19	0,23	0,22	0,21	0,27	0,21	0,06
1971	0,26	0,11	0,15	0,14	0,30	0,15	0,14	0,22	0,25	0,27	0,25	0,34	0,22	0,07
1972	0,16	0,24	0,17	0,22	0,17	0,22	0,13	0,17	0,14	0,31	0,25	0,27	0,20	0,06
1973	0,11	0,24	0,22	0,23	0,19	0,13	0,16	0,17	0,22	0,15	0,32	0,33	0,21	0,07
1974	0,09	0,26	0,22	0,11	0,19	0,15	0,15	0,16	0,19	0,27	0,27	0,26	0,19	0,06
1975	0,19	0,23	0,27	0,23	0,25	0,16	0,16	0,10	0,19	0,21	0,24	0,22	0,20	0,05
1976	0,34	0,28	0,20	0,19	0,10	0,16	0,14	0,17	0,18	0,17	0,17	0,34	0,20	0,08
1977	0,32	0,25	0,20	0,27	0,18	0,15	0,13	0,18	0,24	0,22	0,33	0,22	0,22	0,06
1978	0,22	0,18	0,14	0,13	0,19	0,24	0,18	0,15	0,17	0,29	0,27	0,25	0,20	0,05
1979	0,27	0,26	0,34	0,29	0,22	0,17	0,12	0,18	0,20	0,22	0,23	0,28	0,23	0,06
1980	0,37	0,24	0,32	0,27	0,26	0,20	0,16	0,16	0,27	0,35	0,39	0,35	0,28	0,08
1981	0,37	0,43	0,31	0,27	0,27	0,24	0,25	0,20	0,22	0,29	0,29	0,32	0,29	0,06
1982	0,35	0,09	0,37	0,26	0,23	0,13	0,19	0,24	0,21	0,26	0,24	0,25	0,23	0,08
1983	0,16	0,48	0,25	0,29	0,22	0,20	0,22	0,26	0,27	0,23	0,43	0,34	0,28	0,09
1984	0,29	0,18	0,28	0,15	0,24	0,23	0,21	0,27	0,27	0,13	0,29	0,31	0,24	0,06
1985	0,37	0,33	0,38	0,20	0,20	0,22	0,21	0,21	0,24	0,22	0,39	0,37	0,28	0,08
1986	0,25	0,28	0,33	0,31	0,17	0,29	0,19	0,24	0,18	0,32	0,24	0,33	0,26	0,06
1987	0,29	0,42	0,29	0,40	0,38	0,22	0,14	0,18	0,15	0,24	0,30	0,14	0,26	0,10
1988	0,32	0,30	0,30	0,27	0,25	0,18	0,15	0,15	0,22	0,18	0,39	0,26	0,25	0,07
1989	0,22	0,17	0,05	0,28	0,20	0,28	0,19	0,17	0,14	0,15	0,26	0,21	0,19	0,07
1990	0,26	0,09	0,18	0,21	0,30	0,20	0,23	0,14	0,19	0,16	0,25	0,32	0,21	0,07
1991	0,22	0,09	0,25	0,17	0,18	0,33	0,21	0,16	0,23	0,20	0,19	0,16	0,20	0,06
1992	0,24	0,07	0,27	0,15	0,19	0,26	0,25	0,18	0,22	0,24	0,31	0,16	0,21	0,07
1993	0,20	0,15	0,10	0,18	0,35	0,24	0,29	0,23	0,18	0,27	0,32	0,25	0,23	0,07
1994	0,13	0,19	0,18	0,36	0,22	0,21	0,17	0,22	0,14	0,10	0,22	0,08	0,19	0,07
1995	0,13	0,20	0,24	0,30	0,20	0,24	0,24	0,15	0,20	0,26	0,25	0,23	0,22	0,05
1996	0,33	0,25	0,25	0,27	0,21	0,23	0,21	0,18	0,15	0,13	0,31	0,19	0,23	0,06
Сред- нее	0,26	0,24	0,24	0,23	0,21	0,19	0,17	0,17	0,20	0,22	0,27	0,26	0,22	
σ	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07	0,03	

65 с. ш., 0°

1946	0,26	0,21	0,31	0,23	0,20	0,15	0,13	0,11	0,30	0,29	0,19	0,18	0,21	0,07
1947	0,32	0,17	0,13	0,21	0,24	0,23	0,17	0,26	0,18	0,30	0,22	0,20	0,22	0,06
1948	0,24	0,27	0,32	0,19	0,23	0,20	0,18	0,21	0,24	0,24	0,23	0,31	0,24	0,04
1949	0,25	0,29	0,27	0,23	0,15	0,25	0,22	0,15	0,24	0,22	0,17	0,20	0,22	0,05
1950	0,24	0,21	0,23	0,20	0,25	0,13	0,21	0,26	0,11	0,29	0,24	0,16	0,21	0,05
1951	0,13	0,18	0,15	0,22	0,25	0,20	0,14	0,13	0,20	0,17	0,09	0,16	0,17	0,04
1952	0,21	0,19	0,19	0,58	0,21	0,16	0,17	0,17	0,20	0,27	0,20	0,23	0,23	0,11

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1953	0,16	0,20	0,29	0,19	0,23	0,19	0,10	0,16	0,25	0,24	0,14	0,23	0,20	0,05
1954	0,26	0,22	0,22	0,27	0,18	0,15	0,20	0,24	0,18	0,21	0,22	0,17	0,21	0,04
1955	0,25	0,16	0,15	0,26	0,30	0,22	0,21	0,22	0,15	0,13	0,20	0,18	0,20	0,05
1956	0,19	0,26	0,20	0,15	0,16	0,11	0,21	0,14	0,14	0,21	0,15	0,24	0,18	0,05
1957	0,29	0,16	0,21	0,20	0,24	0,17	0,15	0,16	0,16	0,20	0,25	0,16	0,20	0,04
1958	0,13	0,13	0,24	0,15	0,10	0,17	0,16	0,11	0,19	0,14	0,26	0,14	0,16	0,05
1959	0,17	0,37	0,29	0,20	0,24	0,22	0,18	0,14	0,23	0,25	0,13	0,15	0,21	0,07
1960	0,22	0,24	0,24	0,17	0,25	0,18	0,25	0,17	0,20	0,16	0,16	0,20	0,20	0,04
1961	0,27	0,29	0,19	0,20	0,23	0,17	0,12	0,19	0,23	0,14	0,19	0,20	0,20	0,05
1962	0,29	0,35	0,17	0,33	0,19	0,22	0,22	0,20	0,20	0,23	0,19	0,15	0,23	0,06
1963	0,25	0,18	0,20	0,26	0,31	0,26	0,32	0,18	0,27	0,26	0,16	0,28	0,24	0,05
1964	0,33	0,21	0,31	0,17	0,25	0,22	0,21	0,14	0,19	0,22	0,22	0,24	0,23	0,05
1965	0,20	0,31	0,23	0,20	0,19	0,19	0,22	0,22	0,20	0,25	0,23	0,17	0,22	0,04
1966	0,21	0,12	0,24	0,18	0,13	0,21	0,13	0,20	0,16	0,19	0,29	0,16	0,18	0,05
1967	0,23	0,28	0,19	0,24	0,11	0,29	0,21	0,17	0,26	0,23	0,22	0,23	0,22	0,05
1968	0,24	0,24	0,28	0,32	0,23	0,26	0,23	0,25	0,16	0,22	0,30	0,21	0,24	0,04
1969	0,16	0,15	0,23	0,25	0,20	0,23	0,22	0,23	0,22	0,28	0,20	0,20	0,21	0,04
1970	0,23	0,19	0,15	0,16	0,16	0,29	0,12	0,24	0,24	0,23	0,25	0,29	0,21	0,06
1971	0,26	0,31	0,19	0,21	0,14	0,16	0,20	0,19	0,30	0,31	0,18	0,41	0,24	0,08
1972	0,26	0,20	0,19	0,25	0,17	0,21	0,19	0,23	0,33	0,23	0,21	0,24	0,23	0,04
1973	0,23	0,17	0,24	0,23	0,25	0,18	0,22	0,23	0,21	0,17	0,21	0,22	0,21	0,03
1974	0,15	0,26	0,28	0,31	0,18	0,24	0,13	0,16	0,21	0,21	0,14	0,32	0,22	0,07
1975	0,15	0,29	0,34	0,19	0,23	0,27	0,26	0,21	0,18	0,27	0,25	0,29	0,24	0,05
1976	0,20	0,21	0,28	0,29	0,21	0,22	0,22	0,24	0,27	0,23	0,21	0,31	0,24	0,04
1977	0,21	0,22	0,21	0,21	0,26	0,21	0,25	0,21	0,30	0,18	0,24	0,21	0,23	0,03
1978	0,25	0,36	0,20	0,24	0,25	0,24	0,16	0,24	0,21	0,35	0,22	0,16	0,24	0,06
1979	0,28	0,29	0,17	0,20	0,22	0,25	0,19	0,23	0,27	0,31	0,24	0,25	0,24	0,04
1980	0,16	0,22	0,15	0,25	0,29	0,23	0,17	0,21	0,24	0,25	0,25	0,13	0,21	0,05
1981	0,23	0,26	0,26	0,29	0,15	0,31	0,21	0,22	0,19	0,16	0,32	0,21	0,23	0,06
1982	0,17	0,29	0,21	0,23	0,23	0,24	0,25	0,24	0,13	0,21	0,61	0,27	0,26	0,12
1983	0,28	0,27	0,28	0,11	0,18	0,25	0,22	0,24	0,29	0,29	0,23	0,23	0,24	0,05
1984	0,27	0,23	0,28	0,30	0,22	0,22	0,18	0,28	0,18	0,22	0,17	0,21	0,23	0,04
1985	0,29	0,18	0,23	0,23	0,24	0,17	0,20	0,15	0,23	0,30	0,21	0,30	0,23	0,05
1986	0,27	0,29	0,20	0,23	0,12	0,34	0,24	0,20	0,18	0,30	0,24	0,29	0,24	0,06
1987	0,30	0,28	0,26	0,23	0,24	0,12	0,28	0,23	0,29	0,23	0,26	0,26	0,25	0,05
1988	0,22	0,19	0,13	0,28	0,23	0,27	0,16	0,18	0,21	0,27	0,25	0,27	0,22	0,05
1989	0,23	0,29	0,29	0,18	0,16	0,20	0,24	0,14	0,25	0,20	0,30	0,25	0,23	0,05
1990	0,24	0,22	0,25	0,24	0,24	0,21	0,29	0,20	0,17	0,23	0,25	0,30	0,24	0,04
1991	0,26	0,25	0,29	0,25	0,26	0,18	0,23	0,21	0,22	0,26	0,26	0,30	0,25	0,03
1992	0,32	0,27	0,28	0,20	0,23	0,26	0,18	0,18	0,19	0,25	0,31	0,27	0,25	0,05
1993	0,27	0,23	0,29	0,24	0,23	0,20	0,11	0,20	0,19	0,29	0,21	0,19	0,22	0,05
1994	0,18	0,21	0,22	0,29	0,22	0,16	0,23	0,22	0,19	0,22	0,21	0,29	0,22	0,04
1995	0,23	0,23	0,29	0,23	0,12	0,27	0,24	0,21	0,16	0,25	0,27	0,28	0,23	0,05
1996	0,28	0,22	0,23	0,24	0,23	0,18	0,23	0,17	0,28	0,23	0,22	0,15	0,22	0,04
Сред- нее	0,23	0,24	0,23	0,23	0,21	0,21	0,20	0,20	0,22	0,24	0,23	0,23	0,22	
σ	0,05	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,02	

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
60° с. ш., 0°														
1946	0,30	0,21	0,22	0,24	0,20	0,15	0,17	0,12	0,23	0,33	0,16	0,25	0,22	0,06
1947	0,29	0,25	0,18	0,19	0,17	0,18	0,19	0,25	0,20	0,21	0,18	0,21	0,21	0,04
1948	0,22	0,30	0,32	0,16	0,22	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,30	0,31	0,23	0,06
1949	0,21	0,24	0,23	0,27	0,21	0,16	0,16	0,15	0,27	0,15	0,14	0,22	0,20	0,05
1950	0,24	0,26	0,19	0,14	0,18	0,22	0,15	0,12	0,17	0,22	0,20	0,15	0,19	0,04
1951	0,18	0,12	0,20	0,21	0,20	0,12	0,16	0,10	0,19	0,25	0,15	0,21	0,17	0,04
1952	0,25	0,22	0,24	0,20	0,16	0,13	0,24	0,15	0,19	0,27	0,18	0,17	0,20	0,04
1953	0,19	0,26	0,38	0,21	0,19	0,15	0,11	0,14	0,20	0,25	0,18	0,16	0,21	0,07
1954	0,28	0,22	0,27	0,25	0,16	0,17	0,16	0,19	0,17	0,18	0,21	0,18	0,20	0,04
1955	0,29	0,26	0,24	0,25	0,23	0,15	0,21	0,20	0,16	0,14	0,22	0,20	0,21	0,05
1956	0,18	0,20	0,27	0,15	0,18	0,17	0,15	0,08	0,18	0,21	0,23	0,18	0,18	0,05
1957	0,25	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,09	0,12	0,19	0,19	0,26	0,24	0,19	0,05
1958	0,16	0,12	0,22	0,19	0,13	0,15	0,15	0,12	0,24	0,25	0,29	0,18	0,18	0,06
1959	0,22	0,35	0,31	0,15	0,18	0,23	0,13	0,16	0,25	0,23	0,16	0,15	0,21	0,07
1960	0,21	0,24	0,22	0,21	0,18	0,16	0,11	0,12	0,22	0,18	0,15	0,16	0,18	0,04
1961	0,30	0,23	0,24	0,18	0,17	0,14	0,13	0,21	0,18	0,17	0,32	0,24	0,21	0,06
1962	0,29	0,28	0,16	0,26	0,13	0,20	0,14	0,16	0,23	0,29	0,25	0,28	0,22	0,06
1963	0,31	0,22	0,20	0,18	0,23	0,14	0,19	0,13	0,24	0,25	0,25	0,29	0,22	0,05
1964	0,30	0,26	0,27	0,15	0,15	0,18	0,19	0,16	0,22	0,28	0,27	0,22	0,22	0,05
1965	0,15	0,28	0,29	0,19	0,14	0,15	0,14	0,16	0,24	0,31	0,25	0,15	0,20	0,07
1966	0,22	0,24	0,19	0,19	0,22	0,17	0,17	0,18	0,21	0,22	0,26	0,19	0,20	0,03
1967	0,25	0,28	0,20	0,23	0,07	0,25	0,14	0,16	0,22	0,21	0,27	0,29	0,21	0,06
1968	0,24	0,30	0,20	0,23	0,16	0,20	0,16	0,17	0,15	0,16	0,34	0,27	0,22	0,06
1969	0,14	0,25	0,29	0,26	0,09	0,22	0,18	0,14	0,21	0,23	0,19	0,23	0,20	0,06
1970	0,24	0,25	0,21	0,14	0,16	0,20	0,12	0,15	0,18	0,21	0,26	0,27	0,20	0,05
1971	0,16	0,30	0,22	0,18	0,17	0,15	0,19	0,16	0,21	0,28	0,22	0,26	0,21	0,05
1972	0,20	0,28	0,27	0,21	0,14	0,12	0,20	0,23	0,23	0,24	0,28	0,30	0,23	0,06
1973	0,32	0,23	0,30	0,12	0,17	0,20	0,16	0,23	0,23	0,23	0,17	0,21	0,21	0,06
1974	0,24	0,24	0,26	0,29	0,17	0,17	0,12	0,16	0,18	0,21	0,15	0,19	0,20	0,05
1975	0,25	0,31	0,30	0,17	0,21	0,23	0,17	0,17	0,25	0,26	0,27	0,24	0,24	0,05
1976	0,27	0,28	0,29	0,20	0,16	0,19	0,14	0,24	0,15	0,17	0,24	0,18	0,21	0,05
1977	0,16	0,16	0,17	0,17	0,20	0,21	0,17	0,15	0,22	0,15	0,24	0,24	0,19	0,03
1978	0,21	0,16	0,18	0,17	0,22	0,14	0,12	0,15	0,20	0,21	0,20	0,15	0,18	0,03
1979	0,15	0,33	0,15	0,15	0,10	0,20	0,15	0,11	0,19	0,22	0,23	0,21	0,18	0,06
1980	0,23	0,21	0,19	0,25	0,16	0,14	0,15	0,10	0,16	0,23	0,26	0,17	0,19	0,05
1981	0,25	0,27	0,21	0,26	0,13	0,16	0,09	0,19	0,19	0,16	0,25	0,17	0,19	0,06
1982	0,23	0,25	0,31	0,23	0,19	0,14	0,25	0,09	0,19	0,22	0,20	0,27	0,21	0,06
1983	0,21	0,33	0,21	0,12	0,15	0,21	0,20	0,23	0,28	0,27	0,23	0,22	0,22	0,06
1984	0,21	0,31	0,23	0,25	0,16	0,12	0,10	0,17	0,16	0,18	0,13	0,19	0,18	0,06
1985	0,22	0,25	0,24	0,21	0,20	0,17	0,10	0,14	0,19	0,33	0,22	0,20	0,21	0,06
1986	0,22	0,22	0,21	0,18	0,17	0,21	0,16	0,15	0,17	0,24	0,20	0,18	0,19	0,03
1987	0,21	0,21	0,20	0,24	0,14	0,08	0,13	0,09	0,20	0,19	0,27	0,29	0,19	0,07
1988	0,14	0,12	0,15	0,21	0,15	0,21	0,10	0,15	0,20	0,25	0,23	0,29	0,18	0,06
1989	0,23	0,23	0,21	0,19	0,22	0,19	0,20	0,17	0,25	0,20	0,25	0,28	0,22	0,03
1990	0,18	0,23	0,24	0,26	0,20	0,10	0,25	0,16	0,24	0,16	0,25	0,30	0,21	0,06
1991	0,37	0,20	0,25	0,27	0,19	0,18	0,19	0,20	0,21	0,18	0,20	0,27	0,23	0,06
1992	0,36	0,29	0,21	0,15	0,22	0,21	0,19	0,16	0,15	0,21	0,23	0,29	0,22	0,06

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1993	0,25	0,26	0,27	0,16	0,20	0,15	0,13	0,15	0,22	0,29	0,27	0,21	0,21	0,06
1994	0,15	0,30	0,20	0,20	0,18	0,20	0,21	0,18	0,20	0,25	0,24	0,29	0,22	0,04
1995	0,25	0,25	0,28	0,23	0,16	0,22	0,19	0,26	0,20	0,24	0,23	0,30	0,23	0,04
1996	0,24	0,27	0,23	0,19	0,17	0,20	0,21	0,19	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,03
Сред- нее	0,23	0,25	0,23	0,20	0,17	0,17	0,16	0,16	0,20	0,22	0,23	0,23	0,21	
σ	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,02	

50° с. ш., 30° в. д.

1946	0,22	0,22	0,22	0,23	0,13	0,16	0,13	0,14	0,16	0,20	0,20	0,19	0,18	0,04
1947	0,13	0,04	0,14	0,22	0,09	0,10	0,16	0,21	0,20	0,23	0,28	0,20	0,17	0,07
1948	0,27	0,16	0,19	0,20	0,15	0,20	0,20	0,16	0,16	0,24	0,22	0,20	0,20	0,04
1949	0,27	0,25	0,26	0,23	0,17	0,22	0,16	0,18	0,20	0,16	0,32	0,16	0,21	0,05
1950	0,17	0,14	0,22	0,20	0,14	0,17	0,18	0,14	0,18	0,21	0,24	0,29	0,19	0,05
1951	0,23	0,23	0,27	0,17	0,13	0,18	0,17	0,15	0,17	0,23	0,21	0,29	0,20	0,05
1952	0,24	0,20	0,17	0,20	0,18	0,18	0,20	0,17	0,15	0,17	0,24	0,24	0,20	0,03
1953	0,25	0,20	0,18	0,23	0,20	0,14	0,12	0,15	0,18	0,17	0,19	0,23	0,19	0,04
1954	0,15	0,27	0,18	0,22	0,15	0,20	0,15	0,18	0,24	0,19	0,23	0,30	0,21	0,05
1955	0,18	0,22	0,21	0,11	0,12	0,13	0,10	0,13	0,22	0,20	0,20	0,21	0,17	0,05
1956	0,34	0,16	0,18	0,23	0,22	0,13	0,10	0,13	0,13	0,22	0,25	0,18	0,19	0,07
1957	0,22	0,12	0,12	0,20	0,18	0,09	0,15	0,15	0,18	0,19	0,20	0,17	0,16	0,04
1958	0,22	0,18	0,19	0,22	0,18	0,12	0,08	0,12	0,14	0,22	0,22	0,20	0,17	0,05
1959	0,25	0,21	0,20	0,23	0,16	0,16	0,14	0,16	0,18	0,23	0,25	0,23	0,20	0,04
1960	0,15	0,23	0,20	0,20	0,11	0,11	0,14	0,11	0,19	0,17	0,22	0,27	0,18	0,05
1961	0,27	0,19	0,28	0,08	0,21	0,16	0,14	0,19	0,18	0,21	0,28	0,19	0,20	0,06
1962	0,20	0,27	0,22	0,22	0,18	0,17	0,17	0,19	0,18	0,20	0,27	0,24	0,21	0,04
1963	0,20	0,13	0,18	0,14	0,20	0,18	0,16	0,16	0,22	0,23	0,20	0,19	0,18	0,03
1964	0,20	0,21	0,17	0,18	0,16	0,15	0,20	0,17	0,15	0,22	0,24	0,26	0,19	0,04
1965	0,22	0,16	0,22	0,20	0,12	0,14	0,13	0,19	0,16	0,20	0,22	0,23	0,18	0,04
1966	0,12	0,16	0,19	0,14	0,12	0,14	0,20	0,12	0,17	0,17	0,29	0,20	0,17	0,05
1967	0,25	0,17	0,27	0,22	0,22	0,14	0,19	0,16	0,25	0,20	0,26	0,26	0,22	0,04
1968	0,22	0,23	0,27	0,22	0,15	0,16	0,18	0,14	0,16	0,10	0,14	0,21	0,18	0,05
1969	0,26	0,29	0,21	0,20	0,16	0,15	0,15	0,18	0,15	0,19	0,26	0,27	0,21	0,05
1970	0,15	0,26	0,26	0,21	0,20	0,15	0,17	0,12	0,16	0,25	0,18	0,21	0,19	0,05
1971	0,15	0,26	0,17	0,22	0,24	0,11	0,19	0,18	0,21	0,13	0,23	0,23	0,19	0,05
1972	0,18	0,23	0,27	0,17	0,14	0,19	0,15	0,18	0,16	0,22	0,27	0,19	0,20	0,04
1973	0,19	0,29	0,25	0,14	0,15	0,18	0,17	0,14	0,22	0,20	0,19	0,22	0,20	0,05
1974	0,16	0,25	0,28	0,20	0,18	0,19	0,19	0,17	0,21	0,21	0,18	0,26	0,21	0,04
1975	0,24	0,19	0,18	0,24	0,16	0,16	0,16	0,17	0,24	0,16	0,21	0,33	0,20	0,05
1976	0,25	0,25	0,23	0,30	0,15	0,14	0,19	0,16	0,19	0,17	0,18	0,21	0,20	0,05
1977	0,22	0,22	0,12	0,18	0,12	0,20	0,14	0,16	0,16	0,17	0,20	0,25	0,18	0,04
1978	0,22	0,14	0,20	0,18	0,17	0,17	0,23	0,15	0,22	0,24	0,22	0,29	0,20	0,04
1979	0,23	0,18	0,24	0,23	0,13	0,17	0,16	0,14	0,19	0,16	0,21	0,23	0,19	0,04
1980	0,19	0,25	0,24	0,25	0,11	0,15	0,15	0,16	0,20	0,26	0,23	0,22	0,20	0,05
1981	0,23	0,26	0,17	0,21	0,19	0,22	0,17	0,19	0,20	0,20	0,23	0,17	0,20	0,03
1982	0,19	0,20	0,23	0,23	0,22	0,10	0,14	0,21	0,16	0,18	0,21	0,26	0,19	0,04
1983	0,35	0,34	0,33	0,25	0,18	0,20	0,19	0,16	0,17	0,19	0,19	0,20	0,23	0,07
1984	0,18	0,20	0,20	0,18	0,22	0,23	0,17	0,17	0,14	0,15	0,19	0,22	0,19	0,03

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1985	0,18	0,15	0,19	0,18	0,14	0,18	0,13	0,19	0,20	0,17	0,18	0,17	0,17	0,02
1986	0,20	0,22	0,19	0,21	0,20	0,18	0,16	0,20	0,21	0,19	0,20	0,21	0,20	0,02
1987	0,15	0,18	0,22	0,19	0,27	0,20	0,14	0,15	0,15	0,18	0,21	0,17	0,18	0,04
1988	0,22	0,24	0,25	0,19	0,17	0,18	0,13	0,18	0,17	0,17	0,20	0,16	0,19	0,03
1989	0,25	0,23	0,22	0,22	0,18	0,19	0,17	0,18	0,22	0,20	0,19	0,25	0,21	0,03
1990	0,24	0,13	0,22	0,26	0,11	0,14	0,12	0,17	0,24	0,19	0,20	0,24	0,19	0,05
1991	0,22	0,17	0,21	0,20	0,18	0,14	0,12	0,17	0,18	0,22	0,17	0,19	0,18	0,03
1992	0,20	0,23	0,25	0,21	0,20	0,19	0,14	0,15	0,17	0,20	0,22	0,19	0,20	0,03
1993	0,23	0,28	0,34	0,20	0,19	0,16	0,21	0,17	0,19	0,17	0,24	0,26	0,22	0,05
1994	0,23	0,19	0,22	0,22	0,15	0,22	0,12	0,14	0,20	0,16	0,18	0,19	0,19	0,04
1995	0,21	0,19	0,28	0,22	0,16	0,15	0,12	0,17	0,21	0,18	0,25	0,20	0,19	0,04
1996	0,18	0,25	0,20	0,15	0,19	0,17	0,17	0,19	0,15	0,25	0,20	0,23	0,19	0,03
Сред- нее	0,21	0,21	0,22	0,20	0,17	0,16	0,16	0,16	0,18	0,19	0,22	0,22	0,19	
σ	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,01	

50° с. ш., 20° в. д.

1946	0,16	0,26	0,16	0,25	0,17	0,11	0,12	0,11	0,14	0,18	0,22	0,21	0,17	0,05
1947	0,12	0,15	0,27	0,19	0,11	0,14	0,10	0,13	0,23	0,20	0,13	0,26	0,17	0,06
1948	0,20	0,15	0,19	0,22	0,11	0,20	0,20	0,15	0,23	0,21	0,23	0,22	0,19	0,04
1949	0,25	0,23	0,24	0,22	0,26	0,18	0,19	0,18	0,10	0,22	0,20	0,18	0,20	0,04
1950	0,25	0,14	0,21	0,22	0,14	0,17	0,10	0,12	0,22	0,21	0,19	0,16	0,18	0,05
1951	0,15	0,16	0,20	0,21	0,18	0,14	0,20	0,14	0,16	0,21	0,35	0,22	0,19	0,06
1952	0,22	0,27	0,06	0,21	0,23	0,18	0,20	0,21	0,22	0,19	0,29	0,24	0,21	0,06
1953	0,25	0,23	0,22	0,24	0,24	0,12	0,14	0,22	0,18	0,18	0,22	0,20	0,20	0,04
1954	0,23	0,17	0,15	0,26	0,26	0,16	0,17	0,19	0,13	0,20	0,21	0,23	0,20	0,04
1955	0,15	0,14	0,18	0,18	0,20	0,12	0,16	0,13	0,22	0,17	0,22	0,21	0,17	0,03
1956	0,23	0,27	0,20	0,19	0,22	0,22	0,16	0,13	0,16	0,27	0,27	0,21	0,21	0,05
1957	0,29	0,17	0,09	0,20	0,20	0,10	0,14	0,15	0,20	0,23	0,19	0,20	0,18	0,06
1958	0,23	0,23	0,21	0,22	0,10	0,13	0,11	0,13	0,12	0,22	0,22	0,17	0,17	0,05
1959	0,21	0,21	0,16	0,16	0,16	0,20	0,11	0,17	0,15	0,22	0,22	0,17	0,18	0,03
1960	0,19	0,17	0,13	0,22	0,14	0,13	0,14	0,15	0,20	0,18	0,14	0,20	0,17	0,03
1961	0,18	0,17	0,23	0,09	0,14	0,17	0,19	0,19	0,13	0,18	0,25	0,19	0,18	0,04
1962	0,22	0,29	0,20	0,17	0,21	0,22	0,17	0,16	0,22	0,24	0,22	0,22	0,21	0,04
1963	0,17	0,16	0,12	0,21	0,20	0,15	0,15	0,14	0,22	0,19	0,19	0,20	0,18	0,03
1964	0,19	0,25	0,17	0,18	0,13	0,20	0,22	0,20	0,18	0,18	0,21	0,27	0,20	0,04
1965	0,20	0,20	0,13	0,21	0,15	0,17	0,14	0,17	0,18	0,20	0,26	0,21	0,18	0,04
1966	0,14	0,17	0,21	0,17	0,17	0,18	0,18	0,09	0,17	0,22	0,28	0,22	0,18	0,05
1967	0,25	0,21	0,31	0,30	0,14	0,19	0,14	0,16	0,24	0,16	0,26	0,30	0,22	0,06
1968	0,24	0,26	0,31	0,17	0,15	0,16	0,16	0,14	0,20	0,16	0,16	0,18	0,19	0,05
1969	0,28	0,32	0,20	0,22	0,11	0,17	0,17	0,24	0,21	0,22	0,19	0,24	0,21	0,05
1970	0,21	0,24	0,29	0,23	0,22	0,15	0,19	0,14	0,17	0,24	0,19	0,27	0,21	0,05
1971	0,16	0,22	0,21	0,18	0,16	0,10	0,20	0,16	0,16	0,12	0,25	0,28	0,18	0,05
1972	0,15	0,18	0,23	0,16	0,18	0,13	0,14	0,21	0,23	0,17	0,22	0,18	0,18	0,03
1973	0,22	0,27	0,23	0,25	0,18	0,16	0,16	0,13	0,17	0,23	0,24	0,28	0,21	0,05
1974	0,20	0,24	0,15	0,14	0,20	0,20	0,15	0,13	0,16	0,24	0,17	0,28	0,19	0,05
1975	0,24	0,17	0,20	0,21	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,26	0,26	0,34	0,22	0,05
1976	0,30	0,23	0,21	0,27	0,15	0,15	0,19	0,20	0,18	0,14	0,22	0,20	0,20	0,05

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1977	0,23	0,14	0,17	0,21	0,18	0,18	0,14	0,15	0,21	0,20	0,27	0,20	0,19	0,04
1978	0,26	0,20	0,19	0,22	0,17	0,18	0,18	0,16	0,26	0,26	0,25	0,16	0,21	0,04
1979	0,23	0,16	0,19	0,20	0,15	0,15	0,18	0,13	0,24	0,16	0,20	0,22	0,18	0,04
1980	0,20	0,24	0,23	0,26	0,15	0,13	0,14	0,19	0,20	0,23	0,26	0,26	0,21	0,05
1981	0,30	0,21	0,25	0,21	0,14	0,25	0,16	0,17	0,10	0,19	0,27	0,21	0,21	0,06
1982	0,28	0,14	0,22	0,28	0,13	0,07	0,14	0,19	0,17	0,17	0,21	0,22	0,18	0,06
1983	0,32	0,24	0,27	0,20	0,11	0,18	0,22	0,16	0,14	0,23	0,18	0,18	0,20	0,06
1984	0,19	0,28	0,24	0,16	0,16	0,23	0,15	0,17	0,16	0,15	0,13	0,19	0,18	0,04
1985	0,17	0,14	0,20	0,22	0,17	0,16	0,14	0,14	0,20	0,18	0,20	0,15	0,17	0,03
1986	0,20	0,15	0,21	0,20	0,15	0,19	0,16	0,18	0,28	0,20	0,21	0,20	0,19	0,03
1987	0,24	0,20	0,23	0,18	0,24	0,11	0,20	0,15	0,17	0,14	0,19	0,18	0,19	0,04
1988	0,20	0,30	0,27	0,22	0,16	0,18	0,14	0,18	0,18	0,19	0,22	0,25	0,21	0,05
1989	0,28	0,20	0,21	0,16	0,14	0,19	0,18	0,22	0,23	0,24	0,14	0,17	0,20	0,04
1990	0,19	0,14	0,28	0,26	0,13	0,17	0,16	0,18	0,23	0,19	0,19	0,26	0,20	0,05
1991	0,22	0,26	0,23	0,22	0,22	0,14	0,12	0,19	0,18	0,24	0,20	0,26	0,21	0,04
1992	0,26	0,28	0,27	0,20	0,24	0,20	0,15	0,12	0,14	0,22	0,17	0,23	0,21	0,05
1993	0,27	0,32	0,29	0,17	0,19	0,18	0,20	0,19	0,17	0,22	0,23	0,20	0,22	0,05
1994	0,23	0,16	0,24	0,24	0,19	0,26	0,11	0,16	0,20	0,18	0,23	0,15	0,20	0,05
1995	0,25	0,21	0,24	0,25	0,16	0,22	0,14	0,20	0,18	0,16	0,16	0,22	0,20	0,04
1996	0,17	0,24	0,23	0,16	0,16	0,19	0,16	0,19	0,18	0,24	0,20	0,19	0,19	0,03
Сред- нее	0,22	0,21	0,21	0,21	0,17	0,17	0,16	0,16	0,19	0,20	0,22	0,22	0,19	
σ	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,01	

45° с. ш., 40° в. д.

1946	0,24	0,18	0,16	0,20	0,14	0,15	0,14	0,12	0,15	0,17	0,19	0,23	0,17	0,04
1947	0,17	0,15	0,16	0,16	0,19	0,17	0,17	0,14	0,12	0,19	0,14	0,21	0,16	0,03
1948	0,22	0,20	0,16	0,22	0,19	0,12	0,14	0,15	0,16	0,22	0,14	0,22	0,18	0,04
1949	0,17	0,22	0,29	0,18	0,14	0,16	0,13	0,16	0,18	0,20	0,36	0,18	0,20	0,07
1950	0,21	0,15	0,21	0,18	0,15	0,15	0,12	0,14	0,18	0,20	0,17	0,16	0,17	0,03
1951	0,25	0,24	0,15	0,11	0,14	0,14	0,15	0,16	0,21	0,16	0,19	0,18	0,17	0,04
1952	0,20	0,16	0,14	0,13	0,14	0,15	0,13	0,15	0,15	0,22	0,18	0,19	0,16	0,03
1953	0,24	0,23	0,21	0,16	0,11	0,15	0,12	0,16	0,16	0,20	0,25	0,17	0,18	0,05
1954	0,19	0,24	0,20	0,19	0,16	0,24	0,11	0,10	0,14	0,21	0,25	0,20	0,19	0,05
1955	0,22	0,19	0,09	0,15	0,13	0,09	0,15	0,13	0,19	0,13	0,18	0,14	0,15	0,04
1956	0,23	0,16	0,17	0,17	0,17	0,11	0,11	0,10	0,18	0,21	0,25	0,20	0,17	0,05
1957	0,21	0,13	0,13	0,15	0,13	0,14	0,13	0,15	0,13	0,19	0,18	0,23	0,16	0,04
1958	0,18	0,09	0,11	0,23	0,19	0,10	0,15	0,14	0,20	0,20	0,17	0,18	0,16	0,04
1959	0,20	0,16	0,18	0,17	0,14	0,13	0,14	0,12	0,14	0,19	0,22	0,21	0,17	0,03
1960	0,16	0,16	0,15	0,12	0,17	0,19	0,08	0,10	0,19	0,22	0,22	0,26	0,17	0,05
1961	0,20	0,17	0,20	0,18	0,15	0,11	0,12	0,15	0,21	0,19	0,21	0,18	0,17	0,03
1962	0,22	0,19	0,19	0,18	0,11	0,14	0,12	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,03
1963	0,23	0,21	0,17	0,11	0,17	0,16	0,17	0,12	0,18	0,20	0,19	0,20	0,18	0,03
1964	0,15	0,16	0,17	0,20	0,17	0,19	0,16	0,11	0,14	0,18	0,14	0,19	0,16	0,03
1965	0,21	0,15	0,14	0,17	0,11	0,14	0,15	0,19	0,16	0,21	0,23	0,21	0,17	0,04
1966	0,14	0,17	0,15	0,20	0,17	0,18	0,21	0,10	0,16	0,22	0,23	0,16	0,17	0,04
1967	0,17	0,18	0,21	0,16	0,25	0,15	0,15	0,17	0,20	0,22	0,26	0,24	0,20	0,04
1968	0,22	0,17	0,28	0,19	0,12	0,14	0,15	0,19	0,23	0,16	0,20	0,20	0,19	0,04

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1969	0,21	0,16	0,18	0,21	0,16	0,15	0,14	0,14	0,18	0,20	0,22	0,23	0,18	0,03
1970	0,14	0,26	0,13	0,14	0,14	0,17	0,17	0,20	0,16	0,17	0,23	0,18	0,17	0,04
1971	0,22	0,22	0,15	0,19	0,21	0,13	0,15	0,18	0,16	0,17	0,17	0,15	0,18	0,03
1972	0,21	0,24	0,18	0,17	0,18	0,21	0,12	0,16	0,16	0,23	0,18	0,24	0,19	0,04
1973	0,17	0,18	0,21	0,12	0,13	0,20	0,23	0,16	0,17	0,16	0,18	0,25	0,18	0,04
1974	0,19	0,23	0,21	0,20	0,10	0,19	0,18	0,14	0,15	0,18	0,19	0,21	0,18	0,04
1975	0,13	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16	0,15	0,19	0,16	0,18	0,18	0,21	0,17	0,02
1976	0,22	0,20	0,21	0,14	0,19	0,13	0,13	0,15	0,13	0,21	0,19	0,20	0,17	0,04
1977	0,17	0,16	0,15	0,13	0,09	0,12	0,13	0,11	0,18	0,18	0,16	0,24	0,15	0,04
1978	0,21	0,17	0,18	0,15	0,11	0,20	0,12	0,10	0,16	0,17	0,19	0,18	0,16	0,04
1979	0,16	0,17	0,26	0,12	0,16	0,13	0,16	0,15	0,14	0,19	0,20	0,20	0,17	0,04
1980	0,20	0,21	0,17	0,15	0,11	0,17	0,12	0,12	0,21	0,17	0,19	0,22	0,17	0,04
1981	0,16	0,24	0,13	0,16	0,20	0,17	0,16	0,17	0,13	0,16	0,23	0,14	0,17	0,04
1982	0,15	0,18	0,24	0,17	0,14	0,18	0,13	0,14	0,15	0,18	0,22	0,22	0,18	0,04
1983	0,22	0,13	0,22	0,19	0,16	0,16	0,16	0,15	0,19	0,17	0,23	0,21	0,18	0,03
1984	0,18	0,26	0,18	0,15	0,21	0,20	0,15	0,13	0,17	0,14	0,20	0,25	0,19	0,04
1985	0,12	0,15	0,18	0,14	0,18	0,18	0,17	0,12	0,12	0,19	0,17	0,19	0,16	0,03
1986	0,24	0,14	0,16	0,14	0,14	0,17	0,12	0,13	0,09	0,20	0,20	0,20	0,16	0,04
1987	0,19	0,14	0,15	0,17	0,22	0,12	0,12	0,11	0,15	0,22	0,16	0,15	0,16	0,04
1988	0,23	0,23	0,18	0,17	0,14	0,15	0,12	0,13	0,21	0,19	0,19	0,18	0,18	0,04
1989	0,23	0,17	0,20	0,19	0,14	0,14	0,16	0,16	0,18	0,16	0,20	0,20	0,18	0,03
1990	0,21	0,19	0,20	0,16	0,13	0,15	0,10	0,19	0,12	0,19	0,14	0,17	0,16	0,03
1991	0,19	0,24	0,19	0,15	0,10	0,16	0,13	0,13	0,18	0,22	0,15	0,17	0,17	0,04
1992	0,21	0,22	0,18	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,12	0,20	0,20	0,17	0,03
1993	0,18	0,22	0,23	0,22	0,13	0,13	0,09	0,13	0,20	0,16	0,22	0,22	0,18	0,05
1994	0,22	0,19	0,21	0,18	0,16	0,16	0,16	0,13	0,12	0,17	0,19	0,20	0,17	0,03
1995	0,21	0,21	0,20	0,17	0,15	0,12	0,18	0,14	0,17	0,20	0,21	0,17	0,18	0,03
1996	0,23	0,21	0,17	0,12	0,14	0,13	0,15	0,13	0,17	0,19	0,18	0,18	0,17	0,03
Сред- нее	0,20	0,19	0,18	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,16	0,19	0,20	0,20	0,17	
σ	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	

35° с. ш., 40° в. д.

1946	0,18	0,16	0,16	0,12	0,13	0,14	0,15	0,09	0,10	0,08	0,17	0,14	0,14	0,03
1947	0,17	0,14	0,12	0,13	0,12	0,13	0,13	0,11	0,11	0,09	0,22	0,11	0,13	0,03
1948	0,18	0,12	0,16	0,10	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,16	0,13	0,03
1949	0,12	0,18	0,18	0,16	0,15	0,14	0,10	0,08	0,12	0,15	0,22	0,15	0,15	0,04
1950	0,14	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12	0,13	0,12	0,14	0,11	0,11	0,14	0,14	0,02
1951	0,17	0,18	0,09	0,11	0,08	0,10	0,11	0,16	0,13	0,14	0,19	0,17	0,14	0,04
1952	0,13	0,13	0,13	0,17	0,11	0,14	0,10	0,11	0,13	0,11	0,10	0,09	0,12	0,02
1953	0,10	0,14	0,14	0,13	0,11	0,15	0,15	0,11	0,12	0,12	0,14	0,16	0,13	0,02
1954	0,18	0,12	0,15	0,11	0,10	0,10	0,12	0,14	0,12	0,13	0,17	0,15	0,13	0,03
1955	0,14	0,15	0,11	0,13	0,15	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,13	0,14	0,13	0,02
1956	0,08	0,11	0,18	0,13	0,13	0,11	0,14	0,11	0,14	0,07	0,08	0,15	0,12	0,03
1957	0,14	0,15	0,11	0,14	0,10	0,10	0,12	0,13	0,10	0,10	0,12	0,15	0,12	0,02
1958	0,17	0,11	0,08	0,12	0,15	0,15	0,09	0,13	0,14	0,12	0,14	0,15	0,13	0,03
1959	0,11	0,17	0,16	0,17	0,13	0,13	0,13	0,11	0,09	0,11	0,14	0,15	0,13	0,03
1960	0,12	0,08	0,15	0,19	0,12	0,09	0,15	0,13	0,10	0,10	0,14	0,13	0,13	0,03

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1961	0,14	0,12	0,14	0,17	0,11	0,16	0,09	0,11	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,02
1962	0,18	0,12	0,08	0,13	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12	0,02
1963	0,15	0,17	0,13	0,12	0,13	0,11	0,10	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13	0,13	0,02
1964	0,10	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13	0,09	0,09	0,14	0,10	0,11	0,10	0,11	0,02
1965	0,18	0,12	0,14	0,11	0,11	0,13	0,12	0,08	0,08	0,14	0,13	0,16	0,12	0,03
1966	0,14	0,16	0,13	0,15	0,16	0,11	0,10	0,12	0,11	0,10	0,08	0,13	0,12	0,03
1967	0,19	0,17	0,12	0,10	0,11	0,14	0,13	0,09	0,10	0,15	0,11	0,07	0,12	0,03
1968	0,10	0,11	0,12	0,15	0,12	0,14	0,11	0,12	0,08	0,14	0,15	0,15	0,12	0,02
1969	0,11	0,12	0,14	0,20	0,19	0,13	0,11	0,11	0,10	0,16	0,07	0,11	0,13	0,04
1970	0,14	0,15	0,09	0,11	0,13	0,15	0,09	0,16	0,09	0,07	0,14	0,12	0,12	0,03
1971	0,13	0,16	0,14	0,14	0,12	0,11	0,09	0,10	0,06	0,12	0,08	0,14	0,12	0,03
1972	0,18	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,07	0,11	0,11	0,14	0,13	0,03
1973	0,16	0,17	0,11	0,06	0,11	0,11	0,10	0,11	0,09	0,08	0,10	0,13	0,11	0,03
1974	0,17	0,16	0,12	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,15	0,10	0,13	0,12	0,13	0,02
1975	0,20	0,15	0,13	0,09	0,12	0,12	0,10	0,10	0,11	0,10	0,15	0,09	0,12	0,03
1976	0,15	0,18	0,17	0,13	0,11	0,09	0,08	0,10	0,12	0,14	0,12	0,16	0,13	0,03
1977	0,13	0,12	0,13	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,09	0,12	0,11	0,13	0,12	0,01
1978	0,15	0,07	0,14	0,12	0,12	0,12	0,11	0,07	0,10	0,13	0,12	0,13	0,11	0,02
1979	0,13	0,11	0,13	0,11	0,10	0,10	0,12	0,08	0,08	0,12	0,13	0,14	0,11	0,02
1980	0,13	0,12	0,14	0,08	0,13	0,15	0,14	0,12	0,10	0,08	0,12	0,13	0,12	0,02
1981	0,13	0,13	0,16	0,10	0,12	0,06	0,12	0,10	0,11	0,11	0,13	0,16	0,12	0,03
1982	0,14	0,17	0,13	0,15	0,12	0,11	0,13	0,12	0,10	0,13	0,16	0,17	0,14	0,02
1983	0,14	0,13	0,10	0,09	0,15	0,09	0,13	0,09	0,12	0,13	0,10	0,16	0,12	0,02
1984	0,20	0,13	0,10	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	0,09	0,14	0,13	0,13	0,13	0,03
1985	0,13	0,14	0,12	0,16	0,11	0,09	0,09	0,13	0,10	0,13	0,16	0,15	0,13	0,02
1986	0,15	0,11	0,20	0,15	0,08	0,11	0,08	0,07	0,08	0,11	0,15	0,14	0,12	0,04
1987	0,15	0,13	0,09	0,11	0,11	0,13	0,10	0,07	0,10	0,16	0,12	0,12	0,12	0,03
1988	0,17	0,16	0,12	0,11	0,16	0,12	0,11	0,08	0,10	0,14	0,14	0,12	0,13	0,03
1989	0,14	0,16	0,14	0,16	0,09	0,11	0,12	0,10	0,09	0,11	0,12	0,11	0,12	0,02
1990	0,16	0,21	0,10	0,12	0,11	0,12	0,11	0,09	0,12	0,11	0,11	0,15	0,13	0,03
1991	0,14	0,14	0,16	0,11	0,09	0,15	0,11	0,09	0,09	0,11	0,10	0,09	0,12	0,03
1992	0,13	0,13	0,11	0,14	0,12	0,10	0,12	0,12	0,08	0,11	0,15	0,15	0,12	0,02
1993	0,16	0,11	0,12	0,11	0,10	0,08	0,09	0,09	0,12	0,12	0,12	0,17	0,12	0,03
1994	0,17	0,18	0,14	0,09	0,15	0,12	0,14	0,10	0,08	0,11	0,12	0,14	0,13	0,03
1995	0,15	0,13	0,11	0,09	0,10	0,08	0,12	0,11	0,09	0,13	0,10	0,11	0,11	0,02
1996	0,16	0,15	0,14	0,11	0,11	0,14	0,11	0,11	0,09	0,10	0,12	0,16	0,13	0,02
Сред- нее	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,12	
σ	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	

35° с. ш., 10° в. д.

1946	0,14	0,09	0,12	0,08	0,09	0,08	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,13	0,10	0,03
1947	0,14	0,13	0,15	0,13	0,09	0,08	0,08	0,09	0,06	0,08	0,11	0,11	0,10	0,03
1948	0,18	0,10	0,07	0,06	0,10	0,08	0,07	0,10	0,10	0,12	0,13	0,12	0,10	0,03
1949	0,05	0,11	0,09	0,12	0,08	0,10	0,08	0,08	0,12	0,09	0,12	0,06	0,09	0,02
1950	0,08	0,16	0,13	0,08	0,11	0,10	0,08	0,05	0,05	0,07	0,14	0,15	0,10	0,04
1951	0,13	0,18	0,14	0,10	0,16	0,16	0,09	0,10	0,10	0,10	0,13	0,12	0,13	0,03
1952	0,09	0,10	0,15	0,10	0,09	0,09	0,05	0,11	0,09	0,14	0,20	0,12	0,11	0,04

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1953	0,08	0,08	0,05	0,09	0,11	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07	0,02
1954	0,09	0,11	0,14	0,10	0,11	0,14	0,07	0,14	0,09	0,10	0,13	0,09	0,11	0,02
1955	0,21	0,14	0,12	0,08	0,10	0,09	0,08	0,05	0,07	0,06	0,11	0,14	0,10	0,04
1956	0,15	0,09	0,12	0,11	0,10	0,07	0,09	0,07	0,11	0,07	0,07	0,09	0,10	0,02
1957	0,14	0,17	0,12	0,10	0,12	0,07	0,07	0,06	0,11	0,06	0,12	0,09	0,10	0,03
1958	0,12	0,13	0,15	0,11	0,10	0,15	0,09	0,09	0,09	0,07	0,06	0,12	0,11	0,03
1959	0,13	0,06	0,16	0,14	0,06	0,07	0,04	0,06	0,08	0,09	0,12	0,16	0,10	0,04
1960	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,08	0,09	0,12	0,11	0,15	0,15	0,13	0,13	0,03
1961	0,14	0,11	0,06	0,18	0,11	0,07	0,07	0,06	0,06	0,11	0,11	0,17	0,10	0,04
1962	0,14	0,08	0,17	0,11	0,14	0,12	0,10	0,07	0,09	0,06	0,08	0,11	0,11	0,03
1963	0,08	0,14	0,18	0,13	0,08	0,10	0,09	0,05	0,07	0,08	0,14	0,09	0,10	0,04
1964	0,06	0,13	0,16	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05	0,06	0,12	0,07	0,08	0,09	0,03
1965	0,12	0,12	0,16	0,09	0,10	0,09	0,10	0,07	0,09	0,05	0,13	0,14	0,11	0,03
1966	0,16	0,18	0,09	0,16	0,08	0,12	0,07	0,09	0,06	0,12	0,09	0,08	0,11	0,04
1967	0,10	0,15	0,18	0,07	0,10	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10	0,08	0,10	0,03
1968	0,09	0,12	0,13	0,16	0,13	0,08	0,08	0,10	0,13	0,08	0,12	0,11	0,11	0,03
1969	0,10	0,10	0,15	0,11	0,14	0,10	0,06	0,08	0,14	0,09	0,09	0,09	0,10	0,03
1970	0,13	0,12	0,07	0,13	0,14	0,13	0,10	0,08	0,07	0,08	0,13	0,05	0,10	0,03
1971	0,13	0,11	0,14	0,10	0,12	0,12	0,09	0,09	0,08	0,06	0,09	0,09	0,10	0,02
1972	0,11	0,15	0,12	0,12	0,09	0,08	0,10	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,10	0,02
1973	0,10	0,08	0,09	0,12	0,12	0,07	0,08	0,05	0,10	0,11	0,04	0,07	0,09	0,03
1974	0,16	0,16	0,12	0,11	0,13	0,14	0,05	0,08	0,10	0,08	0,08	0,07	0,11	0,04
1975	0,14	0,09	0,13	0,07	0,10	0,09	0,08	0,06	0,10	0,11	0,08	0,10	0,10	0,02
1976	0,05	0,09	0,15	0,13	0,08	0,08	0,11	0,08	0,09	0,16	0,10	0,15	0,11	0,03
1977	0,14	0,17	0,14	0,08	0,12	0,12	0,09	0,09	0,08	0,08	0,11	0,12	0,11	0,03
1978	0,18	0,17	0,15	0,17	0,13	0,12	0,06	0,06	0,09	0,06	0,04	0,18	0,12	0,05
1979	0,14	0,16	0,12	0,12	0,13	0,11	0,08	0,09	0,07	0,09	0,09	0,12	0,11	0,03
1980	0,11	0,12	0,17	0,08	0,16	0,14	0,12	0,13	0,04	0,13	0,11	0,09	0,12	0,04
1981	0,07	0,08	0,17	0,09	0,16	0,12	0,10	0,07	0,12	0,09	0,04	0,17	0,11	0,04
1982	0,12	0,13	0,09	0,10	0,09	0,14	0,11	0,06	0,09	0,14	0,09	0,15	0,11	0,03
1983	0,05	0,10	0,08	0,15	0,16	0,08	0,13	0,11	0,08	0,10	0,12	0,12	0,11	0,03
1984	0,12	0,12	0,14	0,13	0,12	0,13	0,08	0,10	0,09	0,12	0,14	0,11	0,12	0,02
1985	0,12	0,16	0,15	0,13	0,13	0,11	0,09	0,11	0,09	0,06	0,13	0,10	0,11	0,03
1986	0,11	0,15	0,13	0,16	0,12	0,11	0,06	0,13	0,12	0,06	0,09	0,09	0,11	0,03
1987	0,10	0,13	0,13	0,12	0,09	0,13	0,08	0,10	0,07	0,13	0,09	0,12	0,11	0,02
1988	0,20	0,17	0,13	0,14	0,14	0,07	0,10	0,09	0,10	0,10	0,07	0,07	0,12	0,04
1989	0,06	0,13	0,10	0,17	0,09	0,09	0,06	0,07	0,06	0,10	0,10	0,17	0,10	0,04
1990	0,13	0,14	0,07	0,10	0,14	0,10	0,09	0,05	0,06	0,13	0,09	0,11	0,10	0,03
1991	0,15	0,12	0,15	0,14	0,06	0,11	0,12	0,07	0,09	0,09	0,13	0,07	0,11	0,03
1992	0,06	0,11	0,10	0,11	0,10	0,15	0,07	0,14	0,09	0,11	0,13	0,19	0,11	0,04
1993	0,09	0,04	0,08	0,14	0,15	0,12	0,06	0,07	0,14	0,12	0,10	0,14	0,10	0,04
1994	0,18	0,13	0,09	0,14	0,13	0,10	0,06	0,09	0,10	0,09	0,10	0,13	0,11	0,03
1995	0,14	0,14	0,12	0,14	0,15	0,10	0,11	0,11	0,12	0,08	0,13	0,15	0,12	0,02
1996	0,15	0,16	0,13	0,10	0,11	0,06	0,10	0,10	0,14	0,09	0,14	0,09	0,11	0,03
Сред- σ	0,12 0,04	0,12 0,03	0,13 0,03	0,12 0,03	0,11 0,03	0,10 0,03	0,08 0,02	0,08 0,02	0,09 0,02	0,10 0,03	0,11 0,03	0,11 0,03	0,11 0,01	

Приложение 2. Интенсивность циклонов, гПа/(100 км²)

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
70° с. ш., 10° в. д.														
1946	0,39	0,47	0,31	0,55	0,31	0,23	0,27	0,16	0,35	0,28	0,22	0,30	0,32	0,11
1947	0,41	0,09	0,15	0,37	0,10	0,21	0,20	0,33	0,28	0,40	0,13	0,35	0,25	0,12
1948	0,07	0,42	0,40	0,24	0,26	0,15	0,19	0,15	0,38	0,43	0,46	0,38	0,29	0,13
1949	0,56	0,50	0,50	0,43	0,40	0,20	0,24	0,29	0,28	0,41	0,36	0,41	0,38	0,11
1950	0,40	0,38	0,39	0,43	0,08	0,24	0,17	0,26	0,38	0,38	0,41	0,42	0,33	0,11
1951	0,37	0,33	0,33	0,22	0,22	0,10	0,30	0,22	0,33	0,40	0,23	0,42	0,29	0,09
1952	0,65	0,41	0,35	0,52	0,34	0,31	0,23	0,28	0,32	0,28	0,38	0,27	0,36	0,12
1953	0,39	0,43	0,44	0,32	0,22	0,18	0,08	0,22	0,39	0,51	0,34	0,40	0,33	0,13
1954	0,45	0,33	0,32	0,52	0,17	0,26	0,22	0,12	0,39	0,46	0,44	0,40	0,34	0,13
1955	0,44	0,36	0,36	0,29	0,18	0,23	0,24	0,27	0,36	0,19	0,29	0,32	0,29	0,08
1956	0,29	0,24	0,22	0,25	0,30	0,28	0,23	0,11	0,32	0,43	0,42	0,32	0,28	0,09
1957	0,41	0,30	0,30	0,30	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,40	0,24	0,56	0,29	0,12
1958	0,33	0,32	0,32	0,30	0,06	0,16	0,13	0,24	0,20	0,35	0,41	0,29	0,26	0,10
1959	0,23	0,40	0,34	0,23	0,21	0,43	0,17	0,29	0,26	0,32	0,39	0,33	0,30	0,08
1960	0,35	0,34	0,30	0,41	0,22	0,14	0,17	0,16	0,41	0,19	0,16	0,30	0,26	0,10
1961	0,39	0,37	0,32	0,21	0,26	0,46	0,19	0,48	0,38	0,33	0,54	0,27	0,35	0,11
1962	0,45	0,44	0,13	0,25	0,40	0,18	0,28	0,16	0,34	0,38	0,30	0,34	0,30	0,11
1963	0,26	0,28	0,31	0,79	0,39	0,15	0,26	0,19	0,43	0,57	0,27	0,35	0,35	0,18
1964	0,37	0,30	0,32	0,19	0,32	0,42	0,21	0,33	0,23	0,46	0,52	0,49	0,35	0,11
1965	0,35	0,32	0,30	0,40	0,44	0,28	0,13	0,41	0,25	0,32	0,17	0,24	0,30	0,09
1966	0,43	0,28	0,39	0,33	0,24	0,18	0,36	0,16	0,32	0,27	0,57	0,52	0,34	0,13
1967	0,35	0,54	0,57	0,61	0,25	0,29	0,25	0,19	0,27	0,30	0,44	0,50	0,38	0,14
1968	0,51	0,27	0,32	0,31	0,22	0,23	0,15	0,31	0,37	0,28	0,44	0,33	0,31	0,10
1969	0,37	0,34	0,47	0,45	0,06	0,35	0,27	0,25	0,59	0,40	0,46	0,42	0,37	0,13
1970	0,48	0,35	0,47	0,27	0,37	0,27	0,32	0,30	0,36	0,40	0,42	0,54	0,38	0,09
1971	0,49	0,75	0,30	0,47	0,25	0,26	0,23	0,44	0,41	0,36	0,47	0,61	0,42	0,15
1972	0,62	0,45	0,40	0,70	0,19	0,40	0,22	0,34	0,55	0,41	0,58	0,36	0,43	0,15
1973	0,43	0,60	0,53	0,19	0,31	0,25	0,25	0,19	0,23	0,33	0,15	0,49	0,33	0,15
1974	0,44	0,37	0,34	0,26	0,22	0,21	0,27	0,30	0,26	0,29	0,32	0,54	0,32	0,09
1975	0,41	0,41	0,37	0,23	0,22	0,34	0,22	0,27	0,30	0,35	0,51	0,44	0,34	0,09
1976	0,37	0,38	0,44	0,42	0,43	0,38	0,25	0,28	0,12	0,45	0,40	0,34	0,35	0,10
1977	0,44	0,22	0,67	0,26	0,14	0,23	0,29	0,58	0,44	0,48	0,44	0,59	0,40	0,17
1978	0,41	0,43	0,54	0,20	0,38	0,45	0,20	0,23	0,24	0,54	0,59	0,47	0,39	0,14
1979	0,65	0,63	0,63	0,30	0,25	0,28	0,31	0,37	0,40	0,40	0,51	0,37	0,42	0,14
1980	0,42	0,37	0,39	0,53	0,22	0,21	0,36	0,25	0,34	0,47	0,37	0,48	0,37	0,10
1981	0,42	0,40	0,32	0,41	0,18	0,19	0,26	0,29	0,30	0,29	0,41	0,27	0,31	0,08
1982	0,34	0,51	0,38	0,27	0,08	0,18	0,30	0,31	0,56	0,66	0,65	0,62	0,41	0,19
1983	0,57	0,41	0,41	0,41	0,14	0,24	0,31	0,21	0,32	0,40	0,52	0,41	0,36	0,12
1984	0,38	0,61	0,28	0,59	0,25	0,23	0,13	0,30	0,27	0,52	0,43	0,41	0,37	0,15
1985	0,23	0,44	0,34	0,23	0,41	0,29	0,51	0,13	0,30	0,38	0,38	0,18	0,32	0,11
1986	0,48	0,14	0,39	0,25	0,38	0,30	0,23	0,17	0,27	0,60	0,55	0,44	0,35	0,15
1987	0,21	0,24	0,38	0,50	0,25	0,14	0,11	0,20	0,32	0,50	0,38	0,33	0,30	0,13
1988	0,37	0,53	0,26	0,27	0,21	0,35	0,33	0,29	0,30	0,39	0,42	0,36	0,34	0,08
1989	0,69	0,84	0,57	0,50	0,46	0,24	0,33	0,32	0,56	0,45	0,43	0,36	0,48	0,17

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1990	0,70	0,57	0,69	0,64	0,25	0,19	0,20	0,50	0,47	0,38	0,52	0,67	0,48	0,19
1991	0,50	0,38	0,52	0,83	0,31	0,19	0,22	0,46	0,53	0,54	0,54	0,57	0,47	0,17
1992	0,33	0,72	0,47	0,39	0,44	0,42	0,28	0,23	0,44	0,37	0,55	0,58	0,44	0,13
1993	0,57	0,48	0,73	0,52	0,23	0,25	0,38	0,37	0,24	0,37	0,51	0,67	0,44	0,17
1994	0,62	0,35	0,78	0,64	0,31	0,26	0,35	0,26	0,29	0,49	0,63	0,66	0,47	0,19
1995	0,62	0,49	0,59	0,58	0,15	0,29	0,24	0,38	0,37	0,72	0,42	0,30	0,43	0,17
1996	0,43	0,56	0,46	0,45	0,17	0,29	0,40	0,37	0,38	0,53	0,37	0,35	0,40	0,10
Сред- нее	0,43	0,41	0,41	0,40	0,25	0,26	0,25	0,28	0,35	0,41	0,41	0,42	0,36	
σ	0,13	0,14	0,14	0,16	0,10	0,09	0,08	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,06	

70° с. ш., 20° в. д.

1946	0,39	0,34	0,28	0,50	0,25	0,24	0,23	0,23	0,20	0,29	0,33	0,11	0,28	0,10
1947	0,31	0,27	0,28	0,38	0,14	0,25	0,25	0,24	0,31	0,40	0,35	0,37	0,30	0,07
1948	0,26	0,31	0,36	0,32	0,36	0,26	0,16	0,22	0,26	0,30	0,40	0,40	0,30	0,07
1949	0,43	0,37	0,30	0,38	0,37	0,26	0,12	0,25	0,13	0,35	0,23	0,36	0,30	0,10
1950	0,15	0,51	0,29	0,37	0,17	0,18	0,23	0,20	0,25	0,33	0,24	0,32	0,27	0,10
1951	0,32	0,21	0,33	0,47	0,23	0,21	0,22	0,19	0,21	0,28	0,37	0,30	0,28	0,08
1952	0,42	0,49	0,35	0,31	0,28	0,37	0,35	0,17	0,42	0,16	0,28	0,33	0,33	0,10
1953	0,53	0,41	0,43	0,45	0,25	0,15	0,16	0,24	0,37	0,17	0,30	0,30	0,31	0,13
1954	0,40	0,16	0,34	0,21	0,20	0,28	0,22	0,24	0,33	0,25	0,21	0,39	0,27	0,08
1955	0,43	0,31	0,43	0,33	0,38	0,26	0,10	0,11	0,21	0,38	0,28	0,51	0,31	0,13
1956	0,33	0,35	0,28	0,25	0,21	0,26	0,14	0,17	0,32	0,31	0,30	0,31	0,27	0,07
1957	0,39	0,28	0,29	0,22	0,25	0,27	0,15	0,23	0,22	0,33	0,34	0,25	0,27	0,06
1958	0,38	0,39	0,29	0,19	0,24	0,21	0,21	0,20	0,21	0,34	0,33	0,34	0,28	0,08
1959	0,32	0,24	0,34	0,16	0,20	0,20	0,23	0,16	0,22	0,19	0,17	0,27	0,23	0,06
1960	0,32	0,41	0,21	0,31	0,21	0,24	0,19	0,28	0,23	0,09	0,17	0,31	0,25	0,08
1961	0,27	0,32	0,39	0,30	0,28	0,23	0,26	0,25	0,33	0,24	0,40	0,30	0,30	0,05
1962	0,35	0,35	0,35	0,35	0,31	0,26	0,17	0,24	0,39	0,38	0,34	0,32	0,32	0,06
1963	0,36	0,36	0,20	0,26	0,21	0,11	0,26	0,21	0,38	0,20	0,24	0,34	0,26	0,08
1964	0,41	0,29	0,17	0,30	0,28	0,36	0,24	0,29	0,27	0,24	0,37	0,37	0,30	0,07
1965	0,42	0,41	0,32	0,24	0,29	0,30	0,33	0,20	0,21	0,38	0,32	0,29	0,31	0,07
1966	0,38	0,32	0,37	0,37	0,32	0,26	0,24	0,21	0,33	0,33	0,27	0,34	0,31	0,05
1967	0,44	0,28	0,48	0,32	0,24	0,24	0,21	0,22	0,26	0,35	0,35	0,35	0,31	0,09
1968	0,38	0,42	0,44	0,37	0,26	0,20	0,10	0,24	0,12	0,36	0,26	0,45	0,30	0,12
1969	0,26	0,28	0,40	0,32	0,25	0,20	0,21	0,18	0,21	0,30	0,38	0,22	0,27	0,07
1970	0,39	0,40	0,32	0,25	0,21	0,18	0,29	0,19	0,28	0,37	0,22	0,34	0,29	0,08
1971	0,41	0,40	0,33	0,36	0,08	0,22	0,21	0,21	0,25	0,34	0,43	0,44	0,31	0,11
1972	0,14	0,15	0,34	0,30	0,20	0,21	0,19	0,33	0,32	0,30	0,36	0,40	0,27	0,09
1973	0,44	0,39	0,31	0,34	0,48	0,34	0,17	0,41	0,19	0,29	0,36	0,53	0,35	0,11
1974	0,37	0,41	0,31	0,26	0,24	0,30	0,29	0,22	0,45	0,26	0,18	0,31	0,30	0,08
1975	0,39	0,29	0,30	0,30	0,38	0,26	0,19	0,13	0,36	0,28	0,27	0,46	0,30	0,09
1976	0,41	0,27	0,35	0,22	0,25	0,18	0,18	0,23	0,40	0,23	0,28	0,33	0,28	0,08
1977	0,37	0,28	0,40	0,34	0,27	0,26	0,26	0,29	0,25	0,27	0,30	0,30	0,30	0,05
1978	0,37	0,39	0,27	0,37	0,22	0,19	0,17	0,24	0,38	0,28	0,37	0,27	0,29	0,08
1979	0,32	0,41	0,35	0,31	0,35	0,21	0,27	0,33	0,25	0,26	0,29	0,34	0,31	0,05
1980	0,42	0,33	0,23	0,30	0,20	0,24	0,16	0,15	0,29	0,27	0,38	0,30	0,27	0,08

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1981	0,51	0,38	0,31	0,29	0,31	0,24	0,26	0,24	0,24	0,39	0,27	0,29	0,31	0,08
1982	0,48	0,30	0,37	0,46	0,32	0,18	0,22	0,27	0,38	0,35	0,29	0,38	0,33	0,09
1983	0,37	0,28	0,26	0,25	0,26	0,26	0,37	0,28	0,32	0,46	0,41	0,42	0,33	0,07
1984	0,38	0,40	0,49	0,41	0,26	0,24	0,21	0,22	0,21	0,36	0,31	0,29	0,31	0,09
1985	0,35	0,29	0,50	0,55	0,18	0,24	0,27	0,31	0,39	0,46	0,57	0,45	0,38	0,13
1986	0,32	0,36	0,36	0,39	0,27	0,22	0,28	0,19	0,19	0,33	0,49	0,24	0,30	0,09
1987	0,28	0,41	0,35	0,27	0,29	0,30	0,22	0,30	0,25	0,28	0,20	0,35	0,29	0,06
1988	0,40	0,32	0,28	0,44	0,29	0,15	0,27	0,22	0,41	0,35	0,41	0,34	0,32	0,09
1989	0,50	0,50	0,39	0,29	0,38	0,27	0,21	0,14	0,26	0,35	0,27	0,38	0,33	0,11
1990	0,30	0,44	0,40	0,26	0,23	0,18	0,21	0,20	0,17	0,30	0,34	0,41	0,29	0,09
1991	0,40	0,43	0,37	0,37	0,30	0,25	0,21	0,21	0,37	0,36	0,43	0,45	0,35	0,08
1992	0,41	0,57	0,42	0,33	0,34	0,20	0,31	0,28	0,26	0,27	0,31	0,55	0,35	0,11
1993	0,39	0,57	0,40	0,29	0,31	0,24	0,27	0,26	0,19	0,46	0,13	0,34	0,32	0,12
1994	0,38	0,28	0,40	0,26	0,28	0,32	0,21	0,27	0,33	0,36	0,35	0,43	0,32	0,06
1995	0,33	0,49	0,38	0,32	0,23	0,34	0,26	0,37	0,27	0,46	0,43	0,30	0,35	0,08
1996	0,27	0,55	0,30	0,45	0,29	0,28	0,11	0,24	0,37	0,35	0,37	0,37	0,33	0,11
Сред- нее	0,37	0,36	0,34	0,33	0,27	0,24	0,22	0,23	0,28	0,31	0,32	0,35	0,30	
σ	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,03	

65° с. ш., 30° в. д.

1946	0,76	0,34	0,42	0,62	0,34	0,20	0,30	0,28	0,35	0,39	0,35	0,44	0,40	0,15
1947	0,40	0,32	0,19	0,40	0,30	0,22	0,22	0,44	0,40	0,38	0,32	0,36	0,33	0,08
1948	0,46	0,55	0,74	0,41	0,32	0,20	0,22	0,19	0,24	0,44	0,40	0,63	0,40	0,18
1949	0,65	0,85	0,45	0,42	0,28	0,31	0,16	0,21	0,32	0,28	0,43	0,49	0,40	0,19
1950	0,66	0,44	0,49	0,37	0,22	0,31	0,21	0,25	0,28	0,35	0,60	0,34	0,38	0,14
1951	0,47	0,52	0,40	0,41	0,28	0,17	0,24	0,18	0,20	0,51	0,51	0,75	0,39	0,18
1952	0,82	0,51	0,44	0,51	0,26	0,21	0,21	0,29	0,16	0,34	0,29	0,36	0,37	0,18
1953	0,52	0,53	0,53	0,23	0,30	0,27	0,15	0,29	0,39	0,47	0,65	0,77	0,42	0,18
1954	0,49	0,68	0,47	0,53	0,25	0,19	0,19	0,16	0,16	0,47	0,57	0,51	0,39	0,19
1955	0,61	0,43	0,34	0,40	0,15	0,16	0,35	0,31	0,42	0,25	0,27	0,29	0,33	0,13
1956	0,49	0,52	0,44	0,29	0,38	0,19	0,16	0,12	0,28	0,58	0,59	0,57	0,38	0,17
1957	0,73	0,27	0,22	0,40	0,35	0,16	0,12	0,21	0,18	0,61	0,44	0,42	0,34	0,19
1958	0,53	0,19	0,43	0,56	0,11	0,13	0,12	0,18	0,33	0,45	0,59	0,32	0,33	0,18
1959	0,62	0,49	0,57	0,40	0,23	0,26	0,21	0,28	0,53	0,45	0,58	0,51	0,43	0,15
1960	0,47	0,35	0,46	0,45	0,21	0,25	0,14	0,10	0,46	0,30	0,26	0,43	0,32	0,13
1961	0,41	0,48	0,57	0,16	0,31	0,29	0,17	0,35	0,44	0,47	0,46	0,27	0,36	0,13
1962	0,44	0,64	0,23	0,31	0,31	0,25	0,19	0,22	0,39	0,31	0,42	0,53	0,35	0,14
1963	0,21	0,30	0,35	0,29	0,38	0,26	0,28	0,14	0,46	0,44	0,33	0,30	0,31	0,09
1964	0,54	0,32	0,45	0,34	0,20	0,29	0,27	0,15	0,26	0,41	0,45	0,40	0,34	0,11
1965	0,37	0,29	0,25	0,33	0,17	0,15	0,18	0,30	0,31	0,36	0,31	0,43	0,29	0,09
1966	0,41	0,23	0,57	0,38	0,36	0,28	0,20	0,28	0,30	0,14	0,47	0,65	0,36	0,15
1967	0,42	0,38	0,41	0,49	0,16	0,37	0,25	0,37	0,39	0,36	0,57	0,55	0,39	0,11
1968	0,55	0,56	0,59	0,35	0,26	0,18	0,12	0,33	0,34	0,35	0,41	0,33	0,36	0,15
1969	0,43	0,38	0,38	0,50	0,18	0,26	0,27	0,32	0,32	0,37	0,27	0,46	0,35	0,09
1970	0,33	0,48	0,30	0,37	0,41	0,34	0,25	0,23	0,28	0,35	0,36	0,44	0,35	0,07
1971	0,35	0,46	0,48	0,40	0,35	0,09	0,17	0,38	0,36	0,37	0,44	0,55	0,37	0,13

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1972	0,44	0,49	0,53	0,44	0,24	0,34	0,24	0,37	0,33	0,48	0,50	0,50	0,41	0,10
1973	0,47	0,76	0,63	0,42	0,35	0,26	0,24	0,26	0,35	0,45	0,36	0,40	0,41	0,15
1974	0,52	0,50	0,50	0,35	0,26	0,29	0,18	0,23	0,24	0,56	0,53	0,61	0,40	0,15
1975	0,51	0,60	0,37	0,31	0,44	0,28	0,22	0,31	0,51	0,31	0,57	0,47	0,41	0,12
1976	0,54	0,57	0,54	0,34	0,30	0,23	0,14	0,33	0,28	0,47	0,30	0,20	0,35	0,14
1977	0,40	0,33	0,48	0,33	0,24	0,22	0,21	0,27	0,39	0,32	0,30	0,38	0,32	0,08
1978	0,53	0,22	0,40	0,34	0,40	0,33	0,21	0,27	0,28	0,52	0,51	0,31	0,36	0,11
1979	0,44	0,56	0,62	0,33	0,13	0,30	0,25	0,24	0,33	0,61	0,47	0,67	0,41	0,17
1980	0,58	0,38	0,49	0,46	0,27	0,10	0,15	0,15	0,29	0,55	0,36	0,46	0,35	0,16
1981	0,33	0,74	0,42	0,50	0,30	0,24	0,26	0,31	0,26	0,41	0,36	0,25	0,37	0,14
1982	0,38	0,56	0,71	0,39	0,18	0,20	0,28	0,28	0,37	0,44	0,53	0,54	0,40	0,16
1983	0,67	0,71	0,64	0,54	0,16	0,27	0,49	0,29	0,19	0,39	0,47	0,56	0,45	0,19
1984	0,69	0,63	0,50	0,53	0,36	0,22	0,18	0,42	0,37	0,39	0,28	0,70	0,44	0,17
1985	0,39	0,65	0,40	0,30	0,19	0,22	0,26	0,17	0,26	0,36	0,57	0,26	0,34	0,15
1986	0,54	0,42	0,59	0,45	0,24	0,32	0,22	0,40	0,33	0,52	0,51	0,67	0,43	0,14
1987	0,39	0,58	0,57	0,54	0,19	0,17	0,23	0,15	0,27	0,51	0,39	0,38	0,36	0,16
1988	0,44	0,30	0,36	0,33	0,45	0,40	0,25	0,27	0,24	0,42	0,57	0,50	0,38	0,10
1989	0,77	0,73	0,56	0,40	0,43	0,21	0,26	0,35	0,46	0,49	0,62	0,46	0,48	0,17
1990	0,54	0,38	0,46	0,48	0,33	0,23	0,20	0,26	0,56	0,40	0,39	0,83	0,42	0,17
1991	0,55	0,58	0,56	0,50	0,29	0,12	0,18	0,48	0,40	0,57	0,67	0,62	0,46	0,18
1992	0,59	0,81	0,62	0,27	0,36	0,31	0,22	0,49	0,47	0,49	0,73	0,67	0,50	0,19
1993	0,72	0,74	0,71	0,41	0,44	0,28	0,10	0,38	0,42	0,47	0,90	0,65	0,52	0,23
1994	0,58	0,67	0,73	0,38	0,34	0,28	0,17	0,24	0,46	0,41	0,51	0,68	0,45	0,18
1995	0,57	0,55	0,67	0,53	0,18	0,23	0,33	0,28	0,50	0,47	0,38	0,60	0,44	0,16
1996	0,52	0,66	0,59	0,37	0,31	0,19	0,27	0,27	0,44	0,75	0,44	0,46	0,44	0,17
Сред- нее	0,51	0,50	0,49	0,40	0,28	0,24	0,22	0,28	0,34	0,43	0,46	0,49	0,39	
σ	0,13	0,16	0,13	0,09	0,09	0,07	0,07	0,09	0,10	0,10	0,13	0,15	0,05	

65° с. ш., 0°

1946	0,42	0,40	0,23	0,42	0,08	0,24	0,20	0,18	0,38	0,27	0,36	0,41	0,30	0,11
1947	0,29	0,23	0,37	0,38	0,03	0,13	0,22	0,16	0,34	0,19	0,56	0,32	0,27	0,14
1948	0,43	0,48	0,27	0,42	0,20	0,17	0,22	0,19	0,35	0,37	0,45	0,42	0,33	0,11
1949	0,58	0,31	0,41	0,44	0,42	0,27	0,18	0,20	0,29	0,35	0,34	0,44	0,35	0,11
1950	0,47	0,27	0,34	0,35	0,32	0,24	0,18	0,25	0,51	0,44	0,37	0,45	0,35	0,10
1951	0,39	0,37	0,24	0,37	0,23	0,24	0,23	0,29	0,28	0,25	0,30	0,43	0,30	0,07
1952	0,53	0,39	0,38	0,32	0,54	0,36	0,28	0,28	0,46	0,46	0,23	0,34	0,38	0,10
1953	0,25	0,42	0,33	0,48	0,31	0,13	0,22	0,25	0,24	0,71	0,41	0,28	0,34	0,15
1954	0,29	0,42	0,34	0,28	0,31	0,28	0,36	0,23	0,36	0,43	0,33	0,37	0,33	0,06
1955	0,36	0,45	0,23	0,26	0,32	0,22	0,10	0,16	0,25	0,25	0,26	0,48	0,28	0,11
1956	0,37	0,30	0,21	0,32	0,34	0,15	0,28	0,15	0,25	0,38	0,29	0,45	0,29	0,09
1957	0,37	0,38	0,31	0,18	0,16	0,19	0,19	0,24	0,33	0,32	0,39	0,35	0,28	0,09
1958	0,29	0,26	0,32	0,37	0,43	0,11	0,27	0,22	0,16	0,29	0,31	0,28	0,28	0,09
1959	0,36	0,31	0,24	0,33	0,37	0,46	0,19	0,13	0,25	0,34	0,39	0,34	0,31	0,09
1960	0,22	0,42	0,31	0,26	0,19	0,16	0,16	0,51	0,37	0,13	0,29	0,52	0,29	0,13
1961	0,29	0,50	0,32	0,28	0,24	0,23	0,24	0,30	0,29	0,29	0,39	0,35	0,31	0,08
1962	0,50	0,38	0,30	0,36	0,29	0,23	0,21	0,27	0,30	0,36	0,23	0,47	0,33	0,09

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1963	0,23	0,17	0,31	0,38	0,29	0,23	0,32	0,24	0,26	0,37	0,19	0,29	0,27	0,07
1964	0,35	0,24	0,20	0,27	0,47	0,29	0,35	0,27	0,27	0,39	0,41	0,52	0,34	0,10
1965	0,46	0,37	0,31	0,26	0,25	0,25	0,09	0,25	0,27	0,44	0,44	0,36	0,31	0,11
1966	0,26	0,27	0,46	0,19	0,18	0,19	0,26	0,30	0,37	0,41	0,48	0,59	0,33	0,13
1967	0,34	0,39	0,61	0,31	0,18	0,35	0,30	0,21	0,33	0,39	0,49	0,58	0,37	0,13
1968	0,42	0,32	0,48	0,36	0,23	0,20	0,08	0,17	0,25	0,32	0,40	0,42	0,30	0,12
1969	0,45	0,32	0,27	0,33	0,18	0,13	0,25	0,18	0,24	0,31	0,44	0,31	0,28	0,10
1970	0,40	0,36	0,41	0,30	0,22	0,24	0,30	0,21	0,29	0,36	0,41	0,38	0,32	0,07
1971	0,31	0,34	0,30	0,33	0,21	0,30	0,15	0,24	0,20	0,37	0,40	0,37	0,29	0,08
1972	0,30	0,24	0,26	0,32	0,23	0,23	0,13	0,33	0,34	0,33	0,65	0,47	0,32	0,13
1973	0,38	0,45	0,31	0,46	0,40	0,28	0,21	0,31	0,29	0,30	0,47	0,39	0,35	0,08
1974	0,38	0,37	0,24	0,12	0,18	0,18	0,27	0,22	0,46	0,37	0,50	0,60	0,32	0,15
1975	0,58	0,26	0,46	0,34	0,36	0,26	0,29	0,21	0,41	0,42	0,35	0,44	0,36	0,10
1976	0,44	0,32	0,27	0,42	0,27	0,19	0,38	0,16	0,14	0,34	0,39	0,49	0,32	0,11
1977	0,51	0,27	0,34	0,40	0,13	0,25	0,25	0,29	0,49	0,36	0,51	0,36	0,35	0,12
1978	0,33	0,27	0,36	0,28	0,30	0,38	0,23	0,24	0,42	0,34	0,41	0,23	0,32	0,07
1979	0,44	0,44	0,45	0,26	0,42	0,26	0,22	0,30	0,34	0,22	0,46	0,36	0,35	0,09
1980	0,32	0,35	0,26	0,39	0,33	0,26	0,16	0,18	0,26	0,47	0,40	0,48	0,32	0,10
1981	0,45	0,37	0,47	0,29	0,20	0,21	0,20	0,21	0,39	0,55	0,48	0,33	0,35	0,12
1982	0,26	0,38	0,32	0,27	0,26	0,06	0,19	0,35	0,39	0,28	0,45	0,56	0,31	0,13
1983	0,47	0,39	0,34	0,33	0,36	0,17	0,29	0,22	0,35	0,56	0,54	0,36	0,37	0,12
1984	0,35	0,51	0,23	0,49	0,32	0,33	0,16	0,38	0,24	0,39	0,30	0,27	0,33	0,10
1985	0,32	0,28	0,37	0,32	0,34	0,17	0,19	0,22	0,28	0,22	0,38	0,32	0,28	0,07
1986	0,45	0,18	0,43	0,18	0,34	0,30	0,25	0,24	0,38	0,34	0,34	0,45	0,32	0,10
1987	0,27	0,24	0,49	0,18	0,26	0,12	0,19	0,29	0,39	0,36	0,38	0,31	0,29	0,10
1988	0,42	0,41	0,28	0,42	0,21	0,12	0,27	0,27	0,31	0,33	0,32	0,45	0,32	0,10
1989	0,48	0,59	0,46	0,24	0,39	0,68	0,25	0,25	0,36	0,34	0,34	0,42	0,40	0,14
1990	0,49	0,53	0,59	0,27	0,12	0,33	0,38	0,23	0,39	0,40	0,39	0,38	0,37	0,13
1991	0,42	0,35	0,40	0,45	0,29	0,29	0,15	0,23	0,39	0,37	0,49	0,39	0,35	0,10
1992	0,34	0,31	0,40	0,39	0,28	0,28	0,22	0,32	0,36	0,37	0,45	0,61	0,36	0,10
1993	0,66	0,42	0,37	0,49	0,25	0,22	0,35	0,29	0,23	0,28	0,19	0,60	0,36	0,15
1994	0,45	0,23	0,51	0,39	0,22	0,32	0,19	0,24	0,38	0,37	0,34	0,49	0,34	0,11
1995	0,46	0,46	0,46	0,30	0,26	0,28	0,31	0,13	0,31	0,50	0,45	0,22	0,35	0,12
1996	0,20	0,34	0,24	0,37	0,23	0,36	0,27	0,17	0,38	0,29	0,24	0,47	0,30	0,09
Сред- нее	0,39	0,35	0,35	0,33	0,27	0,25	0,23	0,24	0,32	0,36	0,39	0,41	0,32	
σ	0,10	0,09	0,10	0,08	0,10	0,10	0,07	0,07	0,08	0,10	0,09	0,10	0,03	

60° с. ш., 0°

1946	0,34	0,32	0,15	0,24	0,17	0,28	0,29	0,20	0,24	0,19	0,41	0,32	0,26	0,08
1947	0,31	0,20	0,23	0,29	0,19	0,24	0,24	0,09	0,15	0,18	0,28	0,30	0,23	0,07
1948	0,31	0,32	0,10	0,35	0,14	0,26	0,25	0,22	0,29	0,24	0,38	0,32	0,26	0,08
1949	0,32	0,23	0,33	0,28	0,32	0,22	0,20	0,31	0,15	0,23	0,28	0,45	0,28	0,08
1950	0,27	0,36	0,28	0,34	0,23	0,31	0,17	0,25	0,34	0,37	0,22	0,25	0,28	0,06
1951	0,31	0,44	0,24	0,41	0,07	0,20	0,15	0,25	0,21	0,24	0,37	0,47	0,28	0,12
1952	0,39	0,30	0,31	0,31	0,32	0,22	0,16	0,30	0,30	0,38	0,19	0,40	0,30	0,08
1953	0,39	0,21	0,47	0,38	0,22	0,20	0,29	0,25	0,33	0,13	0,27	0,27	0,28	0,09

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1954	0,38	0,42	0,35	0,22	0,28	0,28	0,29	0,22	0,42	0,25	0,30	0,40	0,32	0,07
1955	0,31	0,29	0,16	0,14	0,32	0,22	0,20	0,14	0,19	0,30	0,17	0,28	0,23	0,07
1956	0,39	0,12	0,19	0,15	0,17	0,24	0,25	0,18	0,17	0,34	0,26	0,28	0,23	0,08
1957	0,37	0,36	0,25	0,20	0,24	0,18	0,24	0,27	0,33	0,24	0,31	0,23	0,27	0,06
1958	0,32	0,27	0,23	0,21	0,28	0,10	0,23	0,21	0,26	0,20	0,20	0,22	0,23	0,05
1959	0,34	0,10	0,15	0,36	0,19	0,21	0,22	0,13	0,10	0,38	0,27	0,35	0,23	0,10
1960	0,20	0,39	0,30	0,23	0,11	0,26	0,22	0,14	0,15	0,24	0,31	0,35	0,24	0,09
1961	0,29	0,21	0,31	0,21	0,26	0,17	0,22	0,24	0,25	0,34	0,34	0,32	0,26	0,06
1962	0,42	0,30	0,34	0,36	0,35	0,31	0,21	0,37	0,28	0,40	0,22	0,37	0,33	0,07
1963	0,19	0,16	0,18	0,26	0,22	0,24	0,17	0,26	0,29	0,31	0,42	0,21	0,24	0,07
1964	0,18	0,21	0,18	0,22	0,25	0,22	0,34	0,22	0,24	0,33	0,29	0,36	0,25	0,06
1965	0,31	0,40	0,23	0,33	0,27	0,24	0,19	0,28	0,31	0,29	0,37	0,31	0,29	0,06
1966	0,25	0,41	0,39	0,24	0,33	0,20	0,17	0,18	0,31	0,36	0,40	0,43	0,31	0,09
1967	0,26	0,44	0,43	0,37	0,22	0,22	0,19	0,28	0,42	0,39	0,48	0,30	0,33	0,10
1968	0,29	0,34	0,35	0,34	0,28	0,24	0,25	0,16	0,23	0,32	0,23	0,34	0,28	0,06
1969	0,35	0,33	0,30	0,36	0,17	0,12	0,17	0,22	0,38	0,14	0,34	0,31	0,27	0,10
1970	0,21	0,35	0,33	0,26	0,15	0,17	0,26	0,25	0,32	0,44	0,42	0,19	0,28	0,09
1971	0,25	0,29	0,30	0,22	0,26	0,14	0,17	0,18	0,26	0,31	0,35	0,27	0,25	0,06
1972	0,28	0,21	0,28	0,32	0,23	0,31	0,15	0,30	0,18	0,27	0,42	0,29	0,27	0,07
1973	0,30	0,27	0,20	0,29	0,32	0,29	0,14	0,24	0,26	0,19	0,43	0,41	0,28	0,08
1974	0,33	0,39	0,27	0,22	0,15	0,20	0,16	0,21	0,31	0,26	0,44	0,37	0,28	0,09
1975	0,36	0,32	0,18	0,31	0,22	0,17	0,20	0,23	0,25	0,20	0,35	0,22	0,25	0,07
1976	0,30	0,20	0,19	0,24	0,22	0,17	0,18	0,23	0,24	0,25	0,25	0,34	0,23	0,05
1977	0,26	0,25	0,30	0,35	0,27	0,22	0,28	0,23	0,27	0,29	0,42	0,30	0,29	0,05
1978	0,30	0,18	0,28	0,17	0,20	0,26	0,24	0,16	0,24	0,16	0,30	0,13	0,22	0,06
1979	0,25	0,26	0,35	0,30	0,22	0,26	0,20	0,24	0,30	0,16	0,26	0,35	0,26	0,06
1980	0,33	0,26	0,14	0,24	0,14	0,21	0,13	0,22	0,23	0,44	0,41	0,31	0,25	0,10
1981	0,36	0,32	0,42	0,19	0,14	0,23	0,14	0,14	0,36	0,43	0,47	0,22	0,29	0,12
1982	0,29	0,20	0,43	0,30	0,36	0,12	0,17	0,35	0,34	0,19	0,41	0,45	0,30	0,11
1983	0,32	0,49	0,27	0,18	0,16	0,21	0,14	0,12	0,38	0,42	0,23	0,29	0,27	0,12
1984	0,40	0,36	0,18	0,20	0,13	0,16	0,14	0,17	0,29	0,41	0,21	0,22	0,24	0,10
1985	0,44	0,29	0,21	0,32	0,19	0,15	0,17	0,25	0,22	0,22	0,36	0,36	0,27	0,09
1986	0,44	0,16	0,41	0,17	0,27	0,15	0,19	0,29	0,23	0,37	0,31	0,39	0,28	0,10
1987	0,36	0,29	0,46	0,17	0,24	0,17	0,16	0,25	0,25	0,35	0,34	0,34	0,28	0,09
1988	0,33	0,45	0,34	0,21	0,14	0,18	0,28	0,31	0,31	0,50	0,22	0,39	0,30	0,11
1989	0,23	0,44	0,31	0,22	0,24	0,18	0,16	0,17	0,22	0,29	0,33	0,47	0,27	0,10
1990	0,33	0,36	0,25	0,35	0,17	0,34	0,30	0,27	0,31	0,40	0,30	0,29	0,31	0,06
1991	0,41	0,25	0,26	0,41	0,09	0,24	0,21	0,20	0,31	0,35	0,43	0,37	0,29	0,10
1992	0,30	0,30	0,29	0,28	0,27	0,15	0,20	0,35	0,32	0,32	0,36	0,25	0,28	0,06
1993	0,46	0,22	0,14	0,24	0,24	0,13	0,27	0,18	0,13	0,29	0,13	0,38	0,23	0,11
1994	0,38	0,29	0,35	0,31	0,15	0,24	0,09	0,23	0,24	0,39	0,24	0,35	0,27	0,09
1995	0,45	0,40	0,42	0,25	0,22	0,17	0,19	0,26	0,27	0,29	0,27	0,19	0,28	0,09
1996	0,19	0,30	0,24	0,29	0,19	0,25	0,21	0,17	0,33	0,31	0,34	0,48	0,27	0,09
Сред- нее	0,32	0,30	0,28	0,27	0,22	0,21	0,20	0,23	0,27	0,30	0,32	0,32	0,27	
σ	0,07	0,09	0,09	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08	0,08	0,03	

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
50° с. ш., 30° в. д.														
1946	0,33	0,19	0,26	0,23	0,14	0,23	0,15	0,18	0,17	0,31	0,38	0,23	0,23	0,07
1947	0,35	0,23	0,38	0,24	0,29	0,30	0,10	0,22	0,28	0,17	0,28	0,19	0,25	0,08
1948	0,33	0,31	0,27	0,10	0,34	0,27	0,20	0,19	0,24	0,25	0,39	0,29	0,27	0,08
1949	0,17	0,36	0,26	0,35	0,36	0,34	0,17	0,15	0,17	0,42	0,22	0,26	0,27	0,09
1950	0,35	0,22	0,47	0,29	0,36	0,28	0,21	0,19	0,14	0,39	0,16	0,14	0,27	0,11
1951	0,21	0,24	0,23	0,17	0,20	0,39	0,14	0,09	0,22	0,31	0,27	0,26	0,23	0,08
1952	0,11	0,41	0,33	0,36	0,38	0,12	0,09	0,19	0,12	0,31	0,23	0,27	0,24	0,12
1953	0,20	0,21	0,19	0,15	0,37	0,18	0,12	0,23	0,19	0,15	0,21	0,37	0,21	0,08
1954	0,23	0,22	0,26	0,25	0,17	0,15	0,21	0,17	0,22	0,37	0,18	0,33	0,23	0,07
1955	0,41	0,43	0,34	0,22	0,31	0,18	0,05	0,20	0,25	0,18	0,15	0,34	0,26	0,11
1956	0,26	0,17	0,25	0,23	0,27	0,09	0,21	0,12	0,23	0,15	0,19	0,30	0,21	0,06
1957	0,20	0,47	0,40	0,24	0,27	0,25	0,09	0,11	0,33	0,15	0,19	0,31	0,25	0,11
1958	0,21	0,28	0,36	0,22	0,18	0,20	0,24	0,23	0,22	0,12	0,23	0,23	0,23	0,06
1959	0,26	0,28	0,32	0,31	0,23	0,23	0,17	0,17	0,24	0,21	0,30	0,35	0,26	0,06
1960	0,39	0,21	0,31	0,31	0,31	0,21	0,09	0,28	0,17	0,22	0,23	0,14	0,24	0,08
1961	0,26	0,39	0,32	0,40	0,26	0,14	0,10	0,23	0,29	0,22	0,14	0,54	0,27	0,13
1962	0,28	0,29	0,31	0,23	0,36	0,27	0,25	0,21	0,24	0,12	0,13	0,24	0,24	0,07
1963	0,31	0,27	0,32	0,18	0,27	0,17	0,20	0,18	0,18	0,31	0,28	0,27	0,25	0,06
1964	0,25	0,34	0,39	0,28	0,24	0,21	0,18	0,29	0,21	0,21	0,29	0,21	0,26	0,06
1965	0,28	0,19	0,37	0,20	0,22	0,23	0,13	0,17	0,15	0,33	0,18	0,23	0,22	0,07
1966	0,38	0,38	0,18	0,41	0,16	0,21	0,11	0,21	0,25	0,22	0,15	0,18	0,24	0,10
1967	0,45	0,30	0,26	0,06	0,18	0,18	0,15	0,19	0,16	0,21	0,18	0,32	0,22	0,10
1968	0,19	0,25	0,24	0,27	0,27	0,27	0,20	0,23	0,23	0,48	0,46	0,26	0,23	0,09
1969	0,29	0,18	0,28	0,25	0,23	0,16	0,16	0,32	0,13	0,21	0,22	0,24	0,22	0,06
1970	0,33	0,18	0,15	0,31	0,18	0,12	0,21	0,13	0,29	0,30	0,20	0,24	0,22	0,07
1971	0,33	0,29	0,21	0,19	0,31	0,11	0,19	0,18	0,26	0,30	0,20	0,25	0,24	0,07
1972	0,43	0,30	0,22	0,20	0,25	0,04	0,16	0,17	0,23	0,30	0,25	0,55	0,26	0,13
1973	0,29	0,08	0,23	0,13	0,21	0,23	0,11	0,23	0,19	0,27	0,13	0,20	0,19	0,07
1974	0,36	0,31	0,27	0,31	0,23	0,19	0,21	0,18	0,20	0,24	0,21	0,36	0,26	0,06
1975	0,21	0,42	0,32	0,28	0,23	0,30	0,14	0,27	0,17	0,35	0,23	0,12	0,25	0,09
1976	0,17	0,41	0,33	0,31	0,19	0,18	0,16	0,15	0,18	0,21	0,18	0,25	0,23	0,08
1977	0,28	0,38	0,30	0,18	0,18	0,12	0,10	0,19	0,20	0,32	0,34	0,47	0,26	0,11
1978	0,18	0,40	0,33	0,28	0,22	0,14	0,18	0,13	0,21	0,25	0,25	0,41	0,25	0,09
1979	0,22	0,34	0,12	0,19	0,21	0,22	0,26	0,10	0,19	0,29	0,22	0,23	0,22	0,07
1980	0,22	0,31	0,20	0,25	0,31	0,17	0,16	0,31	0,27	0,35	0,39	0,19	0,26	0,07
1981	0,21	0,14	0,45	0,19	0,16	0,29	0,11	0,24	0,25	0,29	0,22	0,27	0,23	0,09
1982	0,48	0,33	0,18	0,16	0,20	0,26	0,13	0,15	0,19	0,21	0,21	0,20	0,22	0,10
1983	0,27	0,25	0,27	0,06	0,27	0,12	0,06	0,15	0,42	0,24	0,36	0,27	0,23	0,11
1984	0,18	0,21	0,25	0,26	0,17	0,19	0,23	0,18	0,14	0,23	0,25	0,20	0,21	0,04
1985	0,29	0,42	0,27	0,41	0,15	0,12	0,16	0,20	0,34	0,30	0,34	0,32	0,28	0,10
1986	0,28	0,40	0,29	0,27	0,24	0,20	0,13	0,18	0,18	0,32	0,30	0,26	0,25	0,07
1987	0,29	0,40	0,22	0,19	0,22	0,22	0,15	0,23	0,21	0,21	0,25	0,39	0,25	0,08
1988	0,26	0,25	0,22	0,36	0,19	0,14	0,14	0,24	0,25	0,27	0,24	0,23	0,23	0,06
1989	0,32	0,25	0,30	0,37	0,23	0,29	0,13	0,19	0,39	0,26	0,16	0,38	0,27	0,09
1990	0,39	0,35	0,21	0,20	0,28	0,22	0,19	0,11	0,13	0,23	0,36	0,16	0,24	0,09

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1991	0,29	0,30	0,38	0,30	0,15	0,24	0,14	0,22	0,21	0,24	0,27	0,27	0,25	0,07
1992	0,21	0,24	0,22	0,28	0,31	0,20	0,26	0,20	0,22	0,15	0,23	0,18	0,23	0,04
1993	0,41	0,13	0,28	0,32	0,18	0,23	0,17	0,14	0,34	0,18	0,30	0,28	0,25	0,09
1994	0,30	0,53	0,23	0,18	0,26	0,21	0,18	0,15	0,14	0,26	0,34	0,38	0,26	0,11
1995	0,34	0,28	0,31	0,27	0,34	0,08	0,23	0,18	0,15	0,27	0,39	0,33	0,26	0,09
1996	0,42	0,32	0,28	0,31	0,32	0,26	0,07	0,24	0,12	0,32	0,14	0,44	0,27	0,11
Сред- нее	0,29	0,29	0,28	0,25	0,25	0,20	0,16	0,19	0,22	0,26	0,25	0,28	0,24	
σ	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09	0,02	

50° с. ш., 20° в. д.

1946	0,25	0,12	0,31	0,09	0,28	0,11	0,11	0,20	0,28	0,29	0,29	0,15	0,21	0,09
1947	0,30	0,35	0,39	0,16	0,38	0,22	0,18	0,17	0,12	0,12	0,16	0,21	0,23	0,10
1948	0,29	0,29	0,13	0,19	0,24	0,17	0,19	0,20	0,19	0,11	0,25	0,36	0,22	0,07
1949	0,19	0,32	0,24	0,29	0,21	0,19	0,22	0,16	0,25	0,19	0,14	0,19	0,22	0,05
1950	0,24	0,38	0,32	0,14	0,20	0,13	0,20	0,21	0,20	0,12	0,26	0,19	0,22	0,08
1951	0,09	0,23	0,29	0,12	0,40	0,27	0,20	0,18	0,20	0,25	0,33	0,37	0,24	0,09
1952	0,11	0,22	0,32	0,20	0,32	0,10	0,09	0,24	0,43	0,32	0,31	0,14	0,23	0,11
1953	0,14	0,16	0,19	0,18	0,59	0,09	0,16	0,16	0,20	0,19	0,21	0,26	0,21	0,13
1954	0,23	0,21	0,23	0,30	0,26	0,24	0,13	0,27	0,14	0,24	0,23	0,16	0,22	0,05
1955	0,32	0,26	0,17	0,22	0,23	0,26	0,03	0,09	0,17	0,13	0,38	0,28	0,21	0,10
1956	0,31	0,13	0,36	0,21	0,14	0,19	0,22	0,21	0,25	0,15	0,23	0,17	0,21	0,07
1957	0,14	0,25	0,28	0,14	0,28	0,17	0,15	0,15	0,35	0,15	0,22	0,27	0,21	0,07
1958	0,24	0,38	0,33	0,25	0,24	0,29	0,18	0,27	0,32	0,22	0,13	0,38	0,27	0,08
1959	0,29	0,26	0,33	0,29	0,20	0,20	0,06	0,17	0,16	0,26	0,25	0,28	0,23	0,07
1960	0,30	0,28	0,31	0,40	0,16	0,12	0,15	0,26	0,23	0,28	0,29	0,08	0,24	0,09
1961	0,19	0,17	0,11	0,26	0,14	0,15	0,24	0,26	0,15	0,19	0,12	0,40	0,20	0,08
1962	0,32	0,07	0,32	0,13	0,26	0,17	0,35	0,17	0,29	0,12	0,24	0,18	0,22	0,09
1963	0,30	0,36	0,27	0,24	0,17	0,16	0,12	0,10	0,18	0,35	0,29	0,22	0,23	0,09
1964	0,17	0,39	0,33	0,19	0,32	0,30	0,16	0,26	0,19	0,15	0,18	0,14	0,23	0,08
1965	0,15	0,13	0,34	0,24	0,21	0,17	0,16	0,21	0,14	0,24	0,36	0,25	0,22	0,07
1966	0,34	0,39	0,22	0,44	0,17	0,25	0,02	0,22	0,20	0,34	0,22	0,19	0,25	0,11
1967	0,40	0,33	0,21	0,13	0,23	0,13	0,23	0,19	0,45	0,27	0,21	0,12	0,24	0,11
1968	0,17	0,34	0,18	0,36	0,19	0,25	0,21	0,11	0,25	0,32	0,27	0,27	0,24	0,07
1969	0,36	0,18	0,27	0,20	0,27	0,37	0,22	0,30	0,22	0,23	0,23	0,19	0,25	0,06
1970	0,29	0,25	0,12	0,19	0,15	0,16	0,16	0,16	0,26	0,21	0,26	0,13	0,19	0,06
1971	0,32	0,09	0,25	0,15	0,23	0,14	0,24	0,24	0,16	0,15	0,11	0,13	0,18	0,07
1972	0,28	0,33	0,19	0,14	0,25	0,12	0,11	0,17	0,11	0,23	0,27	0,31	0,21	0,08
1973	0,19	0,07	0,22	0,08	0,26	0,08	0,11	0,14	0,16	0,26	0,19	0,30	0,17	0,08
1974	0,36	0,38	0,16	0,14	0,32	0,22	0,11	0,19	0,22	0,08	0,20	0,38	0,23	0,11
1975	0,27	0,24	0,21	0,16	0,13	0,25	0,24	0,18	0,26	0,26	0,13	0,15	0,21	0,05
1976	0,33	0,22	0,21	0,11	0,16	0,13	0,18	0,11	0,28	0,28	0,14	0,20	0,20	0,07
1977	0,27	0,29	0,35	0,10	0,15	0,06	0,12	0,16	0,24	0,30	0,17	0,29	0,21	0,09
1978	0,22	0,34	0,20	0,31	0,18	0,16	0,18	0,06	0,09	0,51	0,15	0,39	0,23	0,13
1979	0,20	0,39	0,22	0,13	0,19	0,15	0,14	0,19	0,12	0,38	0,20	0,25	0,21	0,09
1980	0,18	0,20	0,20	0,09	0,21	0,19	0,21	0,23	0,20	0,22	0,19	0,06	0,18	0,05
1981	0,10	0,23	0,35	0,09	0,24	0,27	0,15	0,17	0,23	0,24	0,16	0,38	0,22	0,09

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1982	0,44	0,34	0,12	0,24	0,22	0,38	0,10	0,23	0,20	0,26	0,22	0,20	0,25	0,10
1983	0,18	0,26	0,11	0,20	0,26	0,19	0,22	0,17	0,36	0,18	0,26	0,30	0,22	0,07
1984	0,27	0,22	0,26	0,15	0,24	0,21	0,18	0,25	0,11	0,16	0,23	0,19	0,21	0,05
1985	0,26	0,33	0,22	0,26	0,22	0,21	0,14	0,15	0,29	0,19	0,26	0,28	0,23	0,06
1986	0,20	0,30	0,22	0,16	0,27	0,26	0,18	0,35	0,11	0,17	0,25	0,17	0,22	0,07
1987	0,22	0,27	0,19	0,30	0,09	0,18	0,09	0,18	0,22	0,28	0,11	0,30	0,20	0,08
1988	0,31	0,30	0,11	0,33	0,23	0,11	0,13	0,23	0,19	0,36	0,25	0,10	0,22	0,09
1989	0,17	0,30	0,24	0,19	0,12	0,13	0,13	0,17	0,32	0,11	0,27	0,54	0,22	0,12
1990	0,34	0,26	0,14	0,17	0,26	0,14	0,16	0,13	0,18	0,26	0,22	0,23	0,21	0,06
1991	0,24	0,29	0,25	0,18	0,06	0,19	0,15	0,15	0,17	0,33	0,31	0,06	0,20	0,09
1992	0,18	0,22	0,19	0,19	0,27	0,17	0,16	0,18	0,23	0,07	0,31	0,22	0,20	0,06
1993	0,28	0,08	0,20	0,22	0,29	0,20	0,19	0,10	0,25	0,24	0,27	0,27	0,22	0,07
1994	0,32	0,40	0,24	0,26	0,26	0,28	0,17	0,19	0,18	0,27	0,27	0,29	0,26	0,06
1995	0,30	0,21	0,54	0,12	0,28	0,06	0,28	0,08	0,22	0,38	0,29	0,35	0,26	0,13
1996	0,36	0,31	0,31	0,15	0,25	0,17	0,12	0,22	0,15	0,32	0,22	0,24	0,24	0,08
Сред- нее	0,25	0,26	0,24	0,20	0,23	0,19	0,16	0,19	0,22	0,23	0,23	0,24	0,22	
σ	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,08	0,09	0,06	0,10	0,02	

45° с. ш., 40° в. д.

1946	0,30	0,22	0,14	0,20	0,11	0,09	0,18	0,08	0,22	0,17	0,18	0,17	0,17	0,06
1947	0,18	0,15	0,31	0,25	0,16	0,27	0,07	0,12	0,16	0,25	0,35	0,20	0,21	0,08
1948	0,44	0,42	0,34	0,18	0,17	0,18	0,10	0,12	0,16	0,27	0,27	0,31	0,25	0,11
1949	0,19	0,27	0,21	0,30	0,12	0,17	0,13	0,17	0,31	0,33	0,19	0,23	0,22	0,07
1950	0,22	0,26	0,36	0,20	0,25	0,18	0,11	0,09	0,20	0,30	0,27	0,08	0,21	0,09
1951	0,39	0,14	0,24	0,23	0,15	0,25	0,11	0,04	0,28	0,25	0,17	0,28	0,21	0,09
1952	0,11	0,32	0,27	0,23	0,28	0,18	0,09	0,15	0,20	0,15	0,20	0,31	0,21	0,08
1953	0,20	0,25	0,21	0,18	0,16	0,12	0,06	0,14	0,29	0,11	0,28	0,17	0,18	0,07
1954	0,28	0,12	0,16	0,29	0,33	0,19	0,04	0,19	0,16	0,33	0,25	0,28	0,22	0,09
1955	0,40	0,34	0,32	0,28	0,30	0,18	0,10	0,12	0,15	0,24	0,19	0,24	0,24	0,09
1956	0,25	0,28	0,22	0,23	0,17	0,08	0,20	0,10	0,15	0,38	0,23	0,23	0,21	0,08
1957	0,20	0,26	0,33	0,18	0,24	0,12	0,12	0,15	0,14	0,15	0,25	0,20	0,20	0,06
1958	0,29	0,28	0,33	0,16	0,15	0,12	0,13	0,13	0,22	0,16	0,18	0,26	0,20	0,07
1959	0,31	0,24	0,30	0,20	0,27	0,25	0,18	0,18	0,18	0,14	0,21	0,31	0,23	0,06
1960	0,34	0,25	0,35	0,26	0,28	0,14	0,12	0,10	0,14	0,16	0,38	0,12	0,22	0,10
1961	0,22	0,31	0,34	0,25	0,27	0,13	0,11	0,11	0,26	0,23	0,21	0,43	0,24	0,10
1962	0,29	0,39	0,36	0,15	0,22	0,17	0,18	0,16	0,19	0,24	0,21	0,17	0,23	0,08
1963	0,20	0,17	0,24	0,25	0,17	0,24	0,15	0,09	0,21	0,17	0,22	0,28	0,20	0,05
1964	0,30	0,35	0,42	0,23	0,25	0,24	0,08	0,12	0,12	0,21	0,31	0,17	0,23	0,10
1965	0,23	0,30	0,20	0,23	0,26	0,22	0,14	0,05	0,18	0,25	0,16	0,27	0,21	0,07
1966	0,38	0,27	0,24	0,35	0,17	0,21	0,17	0,17	0,18	0,33	0,12	0,19	0,23	0,08
1967	0,25	0,17	0,22	0,17	0,21	0,13	0,15	0,10	0,22	0,20	0,14	0,33	0,19	0,06
1968	0,16	0,25	0,22	0,23	0,24	0,20	0,21	0,17	0,16	0,27	0,30	0,24	0,22	0,04
1969	0,31	0,25	0,29	0,14	0,25	0,18	0,11	0,19	0,11	0,21	0,13	0,25	0,20	0,07
1970	0,25	0,12	0,27	0,29	0,08	0,13	0,13	0,14	0,31	0,20	0,14	0,28	0,19	0,08
1971	0,26	0,35	0,27	0,16	0,20	0,11	0,12	0,14	0,15	0,23	0,13	0,32	0,20	0,08
1972	0,33	0,22	0,27	0,36	0,13	0,00	0,08	0,09	0,35	0,19	0,32	0,28	0,22	0,12

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1973	0,19	0,13	0,18	0,30	0,24	0,21	0,14	0,25	0,16	0,17	0,25	0,14	0,20	0,05
1974	0,32	0,23	0,16	0,25	0,14	0,15	0,15	0,08	0,24	0,10	0,18	0,30	0,19	0,08
1975	0,25	0,33	0,27	0,18	0,35	0,21	0,14	0,14	0,24	0,17	0,27	0,20	0,23	0,07
1976	0,23	0,34	0,17	0,30	0,13	0,15	0,07	0,09	0,10	0,14	0,20	0,14	0,17	0,08
1977	0,21	0,24	0,26	0,21	0,14	0,15	0,10	0,09	0,18	0,18	0,24	0,23	0,19	0,06
1978	0,11	0,46	0,36	0,25	0,21	0,12	0,11	0,18	0,17	0,22	0,17	0,29	0,22	0,11
1979	0,28	0,40	0,19	0,24	0,26	0,11	0,15	0,11	0,11	0,12	0,17	0,19	0,19	0,09
1980	0,23	0,35	0,22	0,24	0,22	0,15	0,08	0,21	0,15	0,15	0,40	0,27	0,22	0,09
1981	0,13	0,24	0,39	0,25	0,16	0,24	0,09	0,17	0,09	0,15	0,20	0,16	0,19	0,08
1982	0,24	0,23	0,20	0,11	0,23	0,17	0,12	0,08	0,09	0,22	0,15	0,16	0,17	0,06
1983	0,23	0,33	0,31	0,15	0,18	0,15	0,07	0,14	0,20	0,20	0,27	0,31	0,21	0,08
1984	0,17	0,19	0,17	0,30	0,13	0,13	0,11	0,10	0,14	0,15	0,23	0,14	0,16	0,06
1985	0,20	0,26	0,15	0,21	0,21	0,27	0,05	0,15	0,21	0,23	0,26	0,25	0,20	0,06
1986	0,16	0,17	0,23	0,24	0,15	0,06	0,13	0,27	0,23	0,22	0,27	0,20	0,19	0,06
1987	0,38	0,26	0,22	0,17	0,34	0,18	0,23	0,22	0,18	0,10	0,21	0,32	0,23	0,08
1988	0,33	0,29	0,24	0,32	0,21	0,09	0,09	0,11	0,18	0,09	0,23	0,21	0,20	0,09
1989	0,34	0,19	0,27	0,30	0,17	0,10	0,16	0,12	0,21	0,22	0,21	0,34	0,22	0,08
1990	0,31	0,27	0,21	0,20	0,24	0,17	0,12	0,10	0,12	0,17	0,25	0,16	0,19	0,07
1991	0,32	0,18	0,33	0,23	0,17	0,22	0,09	0,16	0,10	0,37	0,15	0,18	0,21	0,09
1992	0,41	0,22	0,25	0,22	0,17	0,15	0,19	0,14	0,13	0,25	0,35	0,31	0,23	0,09
1993	0,34	0,17	0,21	0,25	0,26	0,26	0,14	0,21	0,11	0,23	0,22	0,24	0,22	0,06
1994	0,23	0,32	0,28	0,13	0,22	0,13	0,11	0,11	0,20	0,14	0,20	0,27	0,20	0,07
1995	0,29	0,25	0,22	0,46	0,29	0,08	0,18	0,19	0,22	0,31	0,24	0,38	0,26	0,10
1996	0,29	0,24	0,29	0,30	0,20	0,23	0,07	0,13	0,20	0,27	0,13	0,18	0,21	0,07
Сред- нее	0,26	0,26	0,26	0,24	0,21	0,16	0,12	0,14	0,18	0,21	0,22	0,24	0,21	
σ	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,02	

35° с. ш., 40° в. д.

1946	0,07	0,26	0,16	0,08	0,12	0,06	0,00	0,01	0,07	0,19	0,07	0,07	0,10	0,07
1947	0,06	0,14	0,17	0,12	0,07	0,03	0,17	0,08	0,06	0,19	0,13	0,13	0,11	0,05
1948	0,05	0,14	0,13	0,09	0,13	0,07	0,07	0,06	0,06	0,13	0,13	0,07	0,09	0,03
1949	0,19	0,16	0,07	0,09	0,21	0,06	0,16	0,08	0,21	0,08	0,04	0,02	0,11	0,07
1950	0,16	0,05	0,18	0,10	0,05	0,07	0,05	0,00	0,01	0,11	0,21	0,20	0,10	0,07
1951	0,14	0,13	0,17	0,18	0,06	0,07	0,03	0,03	0,10	0,16	0,09	0,14	0,11	0,05
1952	0,13	0,23	0,15	0,05	0,12	0,09	0,08	0,06	0,08	0,02	0,08	0,17	0,11	0,06
1953	0,16	0,14	0,25	0,14	0,07	0,00	0,00	0,04	0,09	0,06	0,08	0,05	0,09	0,07
1954	0,09	0,12	0,06	0,17	0,09	0,07	0,08	0,01	0,09	0,17	0,07	0,12	0,10	0,05
1955	0,15	0,19	0,11	0,09	0,05	0,00	0,00	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,08	0,06
1956	0,10	0,09	0,10	0,14	0,04	0,05	0,06	0,00	0,12	0,13	0,10	0,05	0,08	0,04
1957	0,06	0,10	0,13	0,14	0,06	0,05	0,02	0,03	0,10	0,02	0,28	0,14	0,09	0,07
1958	0,22	0,11	0,13	0,10	0,08	0,10	0,06	0,10	0,04	0,24	0,06	0,07	0,11	0,06
1959	0,13	0,10	0,05	0,04	0,06	0,09	0,02	0,06	0,05	0,13	0,05	0,19	0,08	0,05
1960	0,11	0,20	0,10	0,06	0,10	0,03	0,00	0,07	0,19	0,05	0,17	0,07	0,10	0,06
1961	0,04	0,12	0,11	0,03	0,00	0,02	0,06	0,05	0,16	0,03	0,18	0,10	0,07	0,06
1962	0,00	0,17	0,17	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,09	0,06	0,17	0,10	0,09	0,05
1963	0,16	0,19	0,08	0,11	0,04	0,08	0,05	0,01	0,07	0,08	0,08	0,06	0,08	0,05

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1964	0,12	0,12	0,21	0,08	0,06	0,04	0,05	0,03	0,04	0,10	0,19	0,24	0,11	0,07
1965	0,14	0,17	0,10	0,07	0,14	0,03	0,04	0,08	0,12	0,06	0,12	0,15	0,10	0,05
1966	0,09	0,09	0,16	0,07	0,06	0,08	0,15	0,05	0,08	0,15	0,20	0,16	0,11	0,05
1967	0,21	0,11	0,08	0,13	0,03	0,05	0,03	0,08	0,10	0,13	0,07	0,16	0,10	0,05
1968	0,11	0,12	0,09	0,13	0,07	0,05	0,08	0,11	0,10	0,08	0,02	0,18	0,10	0,04
1969	0,17	0,16	0,17	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,10	0,09	0,15	0,11	0,10	0,05
1970	0,17	0,06	0,14	0,08	0,11	0,02	0,04	0,05	0,07	0,16	0,12	0,12	0,09	0,05
1971	0,11	0,16	0,07	0,12	0,07	0,03	0,03	0,02	0,11	0,11	0,15	0,20	0,10	0,06
1972	0,08	0,06	0,28	0,06	0,03	0,06	0,10	0,03	0,09	0,10	0,08	0,08	0,09	0,06
1973	0,13	0,06	0,13	0,12	0,12	0,06	0,01	0,03	0,07	0,05	0,16	0,12	0,09	0,05
1974	0,07	0,05	0,07	0,10	0,08	0,11	0,05	0,06	0,09	0,09	0,17	0,07	0,08	0,03
1975	0,12	0,10	0,21	0,09	0,06	0,14	0,07	0,08	0,06	0,07	0,14	0,20	0,11	0,05
1976	0,10	0,05	0,08	0,05	0,07	0,05	0,03	0,12	0,14	0,05	0,07	0,09	0,08	0,03
1977	0,10	0,13	0,10	0,12	0,07	0,06	0,02	0,03	0,07	0,04	0,11	0,07	0,08	0,04
1978	0,09	0,14	0,06	0,12	0,07	0,12	0,01	0,07	0,08	0,16	0,09	0,05	0,09	0,04
1979	0,10	0,18	0,10	0,20	0,05	0,09	0,05	0,05	0,05	0,04	0,19	0,08	0,10	0,06
1980	0,19	0,08	0,19	0,09	0,05	0,03	0,00	0,11	0,07	0,09	0,20	0,07	0,10	0,06
1981	0,15	0,18	0,13	0,11	0,06	0,08	0,05	0,08	0,11	0,07	0,07	0,25	0,11	0,06
1982	0,27	0,10	0,15	0,15	0,10	0,06	0,06	0,06	0,04	0,10	0,08	0,14	0,11	0,06
1983	0,06	0,18	0,13	0,15	0,06	0,07	0,03	0,02	0,03	0,11	0,13	0,10	0,09	0,05
1984	0,01	0,11	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04	0,02	0,04	0,07	0,11	0,08	0,06	0,03
1985	0,05	0,09	0,09	0,09	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,14	0,14	0,10	0,08	0,03
1986	0,02	0,10	0,06	0,09	0,06	0,04	0,07	0,08	0,07	0,05	0,22	0,16	0,08	0,06
1987	0,13	0,14	0,12	0,08	0,08	0,09	0,04	0,07	0,13	0,13	0,13	0,11	0,10	0,03
1988	0,05	0,07	0,17	0,12	0,13	0,02	0,00	0,06	0,06	0,10	0,08	0,14	0,08	0,05
1989	0,04	0,06	0,04	0,13	0,11	0,14	0,00	0,03	0,09	0,13	0,07	0,12	0,08	0,05
1990	0,09	0,08	0,09	0,15	0,10	0,06	0,03	0,07	0,05	0,17	0,10	0,22	0,10	0,05
1991	0,08	0,07	0,07	0,12	0,08	0,00	0,06	0,06	0,07	0,13	0,09	0,17	0,08	0,04
1992	0,20	0,06	0,05	0,09	0,04	0,09	0,04	0,05	0,16	0,10	0,07	0,11	0,09	0,05
1993	0,12	0,12	0,09	0,07	0,12	0,07	0,08	0,02	0,08	0,17	0,07	0,15	0,10	0,04
1994	0,07	0,12	0,03	0,08	0,11	0,12	0,04	0,05	0,11	0,11	0,17	0,09	0,09	0,04
1995	0,11	0,09	0,12	0,07	0,06	0,06	0,08	0,03	0,16	0,11	0,12	0,11	0,09	0,04
1996	0,08	0,07	0,20	0,17	0,26	0,07	0,07	0,03	0,07	0,09	0,09	0,28	0,12	0,08
Сред- нее	0,11	0,12	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,09	0,10	0,12	0,12	0,09	
σ	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,01	

35° с. ш., 10° в. д.

1946	0,15	0,09	0,06	0,18	0,08	0,07	0,07	0,04	0,03	0,08	0,17	0,11	0,09	0,05
1947	0,11	0,15	0,03	0,08	0,09	0,06	0,05	0,05	0,10	0,06	0,08	0,06	0,08	0,03
1948	0,06	0,07	0,11	0,13	0,15	0,10	0,10	0,09	0,04	0,07	0,06	0,14	0,09	0,03
1949	0,06	0,06	0,13	0,13	0,07	0,08	0,07	0,09	0,06	0,01	0,11	0,12	0,08	0,04
1950	0,10	0,01	0,09	0,08	0,03	0,06	0,02	0,03	0,06	0,09	0,02	0,12	0,06	0,04
1951	0,02	0,12	0,08	0,07	0,03	0,06	0,05	0,05	0,08	0,03	0,07	0,14	0,07	0,04
1952	0,15	0,15	0,11	0,08	0,15	0,06	0,04	0,06	0,06	0,04	0,08	0,07	0,09	0,04
1953	0,18	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,04	0,07	0,07	0,07	0,10	0,14	0,10	0,04

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1954	0,12	0,18	0,25	0,13	0,06	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,09	0,09	0,10	0,06
1955	0,22	0,07	0,09	0,05	0,08	0,05	0,04	0,04	0,08	0,10	0,11	0,04	0,08	0,05
1956	0,08	0,19	0,07	0,14	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,07	0,07	0,02	0,08	0,04
1957	0,13	0,04	0,11	0,11	0,07	0,04	0,07	0,05	0,09	0,07	0,06	0,09	0,08	0,03
1958	0,05	0,09	0,04	0,09	0,06	0,08	0,05	0,08	0,01	0,08	0,08	0,16	0,07	0,04
1959	0,09	0,06	0,12	0,05	0,12	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06	0,16	0,02	0,08	0,04
1960	0,13	0,08	0,15	0,07	0,06	0,06	0,06	0,02	0,03	0,10	0,14	0,07	0,08	0,04
1961	0,03	0,15	0,13	0,04	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,03	0,11	0,06	0,07	0,04
1962	0,12	0,05	0,11	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,08	0,08	0,10	0,07	0,03
1963	0,12	0,14	0,04	0,09	0,11	0,05	0,07	0,06	0,06	0,04	0,06	0,13	0,08	0,04
1964	0,07	0,06	0,09	0,09	0,04	0,07	0,04	0,06	0,06	0,07	0,05	0,17	0,07	0,03
1965	0,13	0,10	0,12	0,11	0,06	0,08	0,02	0,07	0,07	0,14	0,18	0,13	0,10	0,04
1966	0,06	0,10	0,13	0,07	0,07	0,07	0,08	0,05	0,06	0,07	0,12	0,08	0,08	0,02
1967	0,13	0,14	0,10	0,15	0,08	0,09	0,07	0,05	0,10	0,14	0,23	0,09	0,11	0,05
1968	0,09	0,14	0,17	0,14	0,07	0,07	0,05	0,09	0,03	0,04	0,15	0,13	0,10	0,05
1969	0,17	0,18	0,12	0,07	0,08	0,06	0,05	0,09	0,09	0,10	0,11	0,13	0,10	0,04
1970	0,09	0,11	0,12	0,09	0,07	0,05	0,03	0,04	0,06	0,09	0,09	0,14	0,08	0,03
1971	0,12	0,11	0,15	0,16	0,09	0,05	0,07	0,05	0,06	0,08	0,12	0,10	0,10	0,04
1972	0,11	0,19	0,13	0,12	0,05	0,03	0,08	0,10	0,10	0,09	0,16	0,13	0,11	0,04
1973	0,06	0,09	0,10	0,11	0,04	0,08	0,06	0,03	0,04	0,08	0,11	0,11	0,08	0,03
1974	0,07	0,09	0,20	0,14	0,10	0,09	0,11	0,06	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,04
1975	0,11	0,08	0,16	0,08	0,12	0,05	0,04	0,06	0,03	0,05	0,08	0,16	0,08	0,04
1976	0,05	0,12	0,08	0,16	0,12	0,06	0,06	0,05	0,00	0,10	0,03	0,15	0,08	0,05
1977	0,11	0,14	0,04	0,08	0,04	0,08	0,04	0,04	0,10	0,07	0,11	0,15	0,08	0,04
1978	0,14	0,08	0,05	0,10	0,12	0,07	0,04	0,04	0,05	0,08	0,06	0,14	0,08	0,04
1979	0,21	0,06	0,06	0,03	0,04	0,06	0,08	0,07	0,03	0,10	0,04	0,05	0,07	0,05
1980	0,14	0,16	0,14	0,06	0,07	0,04	0,06	0,09	0,07	0,06	0,10	0,07	0,09	0,04
1981	0,06	0,13	0,05	0,08	0,05	0,05	0,08	0,03	0,03	0,09	0,06	0,05	0,06	0,03
1982	0,18	0,08	0,12	0,10	0,06	0,04	0,04	0,07	0,07	0,04	0,05	0,02	0,07	0,04
1983	0,08	0,12	0,11	0,10	0,11	0,06	0,02	0,04	0,02	0,09	0,12	0,08	0,08	0,04
1984	0,11	0,12	0,11	0,09	0,06	0,09	0,04	0,06	0,04	0,03	0,09	0,13	0,08	0,03
1985	0,13	0,13	0,08	0,09	0,07	0,04	0,05	0,04	0,06	0,04	0,10	0,11	0,08	0,03
1986	0,05	0,17	0,14	0,13	0,09	0,11	0,06	0,09	0,08	0,06	0,06	0,03	0,09	0,04
1987	0,10	0,14	0,15	0,10	0,02	0,04	0,06	0,10	0,04	0,12	0,12	0,22	0,10	0,06
1988	0,13	0,14	0,15	0,01	0,13	0,05	0,05	0,08	0,07	0,10	0,15	0,05	0,09	0,05
1989	0,14	0,13	0,09	0,17	0,07	0,10	0,07	0,06	0,08	0,15	0,13	0,23	0,12	0,05
1990	0,06	0,04	0,17	0,16	0,12	0,12	0,09	0,06	0,07	0,06	0,06	0,22	0,10	0,06
1991	0,11	0,30	0,13	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,09	0,11	0,11	0,11	0,12	0,06
1992	0,09	0,14	0,06	0,06	0,07	0,14	0,06	0,09	0,06	0,09	0,06	0,19	0,09	0,04
1993	0,09	0,12	0,12	0,04	0,10	0,10	0,08	0,09	0,04	0,13	0,12	0,05	0,09	0,03
1994	0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,09	0,05	0,04	0,08	0,12	0,07	0,10	0,09	0,03
1995	0,05	0,07	0,14	0,11	0,10	0,10	0,08	0,08	0,06	0,07	0,15	0,23	0,10	0,05
1996	0,20	0,13	0,15	0,06	0,06	0,10	0,07	0,05	0,11	0,06	0,13	0,14	0,10	0,05
Сред- нее	0,11	0,11	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,10	0,11	0,09	
σ	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	

Приложение 3. Повторяемость циклонов, %

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
70° с. ш., 10° в. д.														
1946	61	46	48	60	52	60	52	39	53	68	43	61	54	9
1947	58	36	26	50	26	50	52	39	53	29	30	55	42	12
1948	3	55	65	43	48	10	39	16	37	39	43	61	38	20
1949	71	68	58	53	42	10	27	42	57	45	63	35	48	18
1950	39	46	65	53	23	50	29	35	60	52	53	52	46	13
1951	52	54	39	33	42	17	55	45	53	58	23	65	45	15
1952	48	41	52	77	39	60	58	32	37	55	40	52	49	12
1953	55	43	55	66	23	30	13	55	43	68	63	71	49	19
1954	29	61	48	33	42	47	45	26	57	58	70	71	49	15
1955	36	36	42	45	26	33	58	76	83	43	53	45	48	17
1956	55	55	50	50	79	25	53	21	45	67	80	60	53	18
1957	73	52	58	72	21	30	24	53	38	69	65	56	51	18
1958	66	52	42	78	26	30	45	73	43	77	67	27	52	19
1959	37	66	66	65	47	50	53	79	63	66	62	63	60	11
1960	43	50	52	73	39	33	52	16	50	26	37	61	44	15
1961	45	64	61	30	39	53	35	39	47	81	53	39	49	14
1962	58	64	23	37	35	50	30	51	47	56	52	53	46	12
1963	36	29	47	40	72	24	51	36	64	53	45	52	46	14
1964	56	43	53	54	50	32	46	63	46	66	51	60	52	9
1965	47	33	32	62	11	40	34	56	54	66	27	37	42	16
1966	32	20	57	42	41	39	62	45	25	56	62	62	45	15
1967	26	46	47	47	27	53	60	45	43	42	55	53	45	10
1968	53	36	48	31	32	42	36	56	48	31	54	58	44	10
1969	47	38	55	50	6	53	81	57	52	63	43	54	50	18
1970	45	41	60	45	55	55	50	54	40	58	52	45	50	7
1971	56	66	42	47	47	40	50	63	53	55	43	61	52	9
1972	42	48	60	59	26	57	73	58	60	64	45	69	55	13
1973	56	38	63	27	41	83	53	60	45	42	22	48	48	16
1974	78	50	47	62	39	54	52	37	58	52	52	48	52	11
1975	40	51	56	36	48	31	64	41	57	58	68	50	50	11
1976	47	73	43	39	60	34	33	69	33	61	62	42	50	15
1977	41	38	53	42	18	55	26	44	67	59	60	60	47	15
1978	42	43	46	31	55	47	52	36	48	53	52	18	44	11
1979	56	48	77	60	56	53	44	58	57	49	44	48	54	9
1980	47	31	57	68	66	59	32	40	53	21	48	55	48	15
1981	44	64	34	42	29	30	50	50	50	44	52	42	44	10
1982	31	73	55	43	27	18	50	73	38	58	66	66	50	19
1983	71	63	53	30	34	40	60	55	17	23	37	42	44	17
1984	55	82	48	73	62	44	40	50	45	46	59	78	57	14
1985	27	38	45	22	34	13	65	36	38	56	25	11	34	16
1986	42	34	58	32	45	72	61	21	49	76	72	65	52	18
1987	33	38	63	73	40	20	37	19	60	68	63	47	47	18
1988	35	76	42	27	35	62	51	40	52	50	38	47	46	13
1989	72	67	52	58	55	47	53	60	72	61	70	53	60	9
1990	72	76	63	56	50	40	61	76	77	65	52	67	63	12

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1991	74	45	55	65	60	58	66	69	57	66	73	52	62	9
1992	54	54	44	52	40	70	48	42	60	57	78	66	55	12
1993	53	64	82	46	52	25	63	79	42	44	67	47	55	16
1994	38	52	67	62	47	40	63	47	48	35	56	66	52	11
1995	72	57	79	32	39	57	56	56	25	58	43	45	52	16
1996	69	55	61	28	18	55	45	53	67	57	48	26	49	16
Сред- нее	49	51	53	49	41	43	49	49	50	54	53	52	49	
σ	15	14	12	15	15	16	13	16	13	14	14	13	6	

70° с. ш., 20° в. д.

1946	39	75	52	67	48	73	48	68	67	35	53	45	56	14
1947	23	68	77	70	39	70	45	32	63	39	53	65	54	18
1948	55	41	39	53	45	63	65	48	73	55	60	61	55	10
1949	61	54	55	57	77	40	40	45	33	71	60	81	56	15
1950	29	68	61	63	48	57	39	39	73	39	47	65	52	14
1951	39	54	84	83	39	60	65	61	37	35	57	74	57	17
1952	77	86	48	63	52	70	32	58	67	23	57	71	59	18
1953	77	39	68	72	61	33	71	55	27	35	60	26	52	19
1954	48	29	58	63	52	63	71	74	70	52	40	71	58	14
1955	55	79	87	67	61	60	29	26	50	64	60	77	60	18
1956	76	52	44	68	63	72	39	76	50	56	42	50	57	13
1957	58	77	65	43	58	67	58	42	65	66	53	69	60	10
1958	54	70	65	55	76	57	65	52	30	44	50	79	58	14
1959	77	46	34	63	44	38	44	53	43	28	30	47	46	14
1960	57	69	42	57	39	60	61	74	30	32	47	65	53	14
1961	71	57	68	63	58	53	68	48	47	48	80	65	61	10
1962	61	79	84	60	68	47	42	61	46	68	52	43	59	14
1963	64	65	33	51	47	50	58	63	58	44	50	82	55	13
1964	63	62	31	67	72	56	61	68	73	52	76	81	64	13
1965	61	69	68	48	40	50	66	48	59	51	58	43	55	10
1966	42	55	68	58	59	53	64	56	59	67	60	56	58	7
1967	55	55	90	55	55	42	63	50	37	69	58	56	57	13
1968	77	71	81	80	32	63	34	42	28	66	66	76	60	20
1969	74	77	60	60	50	50	58	39	50	48	75	51	58	12
1970	40	71	79	70	32	22	69	38	52	60	47	58	53	18
1971	73	41	58	52	25	63	40	61	43	66	72	69	55	15
1972	13	33	50	64	32	65	45	29	55	56	77	60	48	18
1973	47	77	65	83	40	38	56	53	43	60	76	71	59	15
1974	53	73	26	48	45	61	85	66	60	36	32	61	54	17
1975	56	56	53	49	61	56	44	51	64	47	63	80	57	10
1976	68	46	38	54	47	46	35	19	37	27	57	49	44	13
1977	80	66	71	62	33	62	57	50	47	43	74	45	58	14
1978	68	69	52	47	33	62	53	48	43	58	62	44	53	11
1979	64	70	75	77	74	58	64	58	66	42	60	56	64	10
1980	52	36	55	63	61	63	58	42	57	60	50	72	56	10
1981	63	43	71	68	48	57	66	56	42	55	43	32	54	12
1982	45	49	56	55	50	25	31	55	57	42	48	52	47	10

Год.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1983	58	55	58	63	80	48	50	50	53	58	59	69	58	9
1984	55	40	34	46	45	52	72	49	36	61	41	31	47	12
1985	56	44	48	58	32	55	69	77	62	52	50	70	56	12
1986	52	54	53	53	76	40	63	55	59	61	58	50	56	9
1987	42	82	45	60	53	82	34	47	72	49	50	76	58	16
1988	56	62	61	65	47	42	60	55	61	48	57	61	56	7
1989	66	57	66	63	58	43	39	45	42	60	52	47	53	10
1990	61	66	58	45	23	43	60	68	33	60	58	60	53	14
1991	45	30	60	47	58	70	48	35	40	53	78	55	52	14
1992	52	55	63	63	42	23	44	71	50	37	43	66	51	14
1993	52	46	58	53	55	45	71	63	37	48	31	71	53	12
1994	66	38	73	72	63	53	21	26	47	66	60	58	54	17
1995	63	73	77	60	42	62	39	53	35	61	55	55	56	13
1996	23	33	39	53	35	58	50	27	33	51	50	45	41	11
Сред- нее	56	58	59	60	50	54	53	51	50	51	56	60	55	
σ	15	15	16	10	14	13	14	14	13	12	12	14	5	

65° с. ш., 30° в. д.

1946	90	43	61	80	48	47	61	68	63	71	43	84	63	16
1947	77	11	23	57	65	53	65	71	70	52	47	52	54	20
1948	84	66	84	63	61	43	52	58	43	77	63	58	63	14
1949	74	86	65	63	39	40	60	61	57	52	77	81	63	15
1950	86	79	45	70	45	43	81	58	57	77	53	58	63	15
1951	58	75	42	53	35	47	52	55	47	87	33	77	55	17
1952	68	69	61	60	55	37	52	29	47	58	57	45	53	12
1953	71	71	74	34	23	57	45	61	73	71	93	90	64	21
1954	71	75	55	73	58	50	61	45	47	61	83	84	64	13
1955	55	43	42	85	46	60	77	84	77	67	45	39	60	17
1956	66	62	69	48	68	57	48	27	63	72	77	82	62	15
1957	83	21	60	57	47	33	47	55	42	82	52	82	55	20
1958	67	41	56	72	37	47	26	21	60	79	80	50	53	20
1959	27	84	82	45	56	57	63	60	72	84	68	85	65	18
1960	66	40	68	67	77	60	39	3	60	29	43	71	52	22
1961	58	71	74	53	58	67	65	55	60	68	70	39	62	10
1962	81	64	6	53	26	63	47	56	61	68	59	59	54	20
1963	38	38	65	53	67	30	43	37	70	78	52	45	51	15
1964	61	50	74	61	57	37	74	27	36	70	68	67	57	16
1965	69	30	36	76	31	53	33	37	51	77	25	68	49	19
1966	56	43	82	80	62	61	44	27	49	40	62	76	57	17
1967	56	73	79	73	55	72	39	60	57	69	70	69	64	11
1968	84	43	71	41	24	44	21	39	72	40	75	53	51	20
1969	55	59	50	48	34	62	60	67	75	74	50	80	60	13
1970	55	55	48	58	76	52	31	66	58	68	65	61	58	11
1971	53	89	79	80	84	36	52	50	62	73	63	85	67	17
1972	76	57	85	64	55	62	69	58	55	64	62	82	66	10
1973	79	71	68	42	55	65	39	58	53	58	53	58	58	11
1974	92	64	58	67	69	61	48	35	52	61	62	85	63	15

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1975	69	55	58	59	43	49	66	54	53	65	68	65	59	8
1976	73	86	88	70	73	80	57	74	44	78	57	32	68	17
1977	38	46	53	55	28	55	56	60	63	62	50	66	53	11
1978	80	46	85	46	76	58	44	41	50	63	84	49	60	17
1979	49	50	57	45	23	68	51	34	50	61	84	77	54	17
1980	37	62	53	78	27	41	40	40	50	26	38	58	46	15
1981	61	79	44	42	40	53	35	79	50	40	53	44	52	15
1982	50	87	76	67	50	25	63	53	58	61	70	76	61	16
1983	92	61	73	48	32	68	59	65	48	66	44	56	59	16
1984	81	98	57	68	50	52	53	59	54	82	48	78	65	16
1985	22	63	53	63	31	53	32	39	40	79	57	39	48	16
1986	68	25	79	57	50	52	35	39	54	74	67	61	55	16
1987	56	57	63	80	42	15	50	31	67	39	77	66	54	19
1988	55	64	45	35	55	60	52	63	43	48	42	69	53	10
1989	93	87	90	63	65	30	37	47	75	87	58	54	66	21
1990	78	85	77	77	21	23	34	48	70	71	61	81	61	23
1991	85	85	80	54	42	8	15	56	65	62	39	92	61	28
1992	87	94	85	77	56	48	27	31	57	61	95	95	68	25
1993	88	82	92	70	35	28	19	42	52	68	96	92	64	28
1994	72	79	92	48	35	32	24	35	68	79	71	85	60	24
1995	82	84	74	45	37	23	29	65	77	80	50	66	59	22
1996	75	67	54	67	31	30	39	55	70	80	75	69	59	17
Сред- нее	68	63	65	61	48	48	47	50	58	66	62	67	59	
σ	17	20	18	13	16	15	15	16	11	14	16	16	6	

65° с. ш., 0°

1946	42	71	52	60	39	53	42	61	77	26	50	71	54	15
1947	45	57	52	60	6	30	45	23	60	39	80	58	46	20
1948	52	34	35	57	52	33	58	19	60	61	40	58	47	14
1949	58	43	45	63	68	37	23	48	43	48	70	71	51	15
1950	48	64	55	77	19	70	39	58	70	58	63	65	57	16
1951	61	86	84	70	13	23	55	68	63	45	70	68	59	22
1952	68	72	58	63	32	73	61	48	43	45	63	74	58	13
1953	42	46	45	76	42	27	58	48	53	48	63	42	49	12
1954	45	75	52	50	42	40	48	42	80	55	73	77	57	15
1955	64	57	35	45	59	28	23	23	72	59	62	66	49	18
1956	76	38	19	63	63	52	37	48	42	67	53	52	51	16
1957	60	79	60	45	34	45	39	42	63	61	50	68	54	13
1958	69	79	40	57	71	22	50	69	27	69	50	63	56	18
1959	63	34	32	72	29	32	32	45	25	36	73	56	44	17
1960	51	76	24	50	26	33	61	68	47	35	67	65	50	18
1961	55	54	52	50	35	40	48	58	43	65	50	71	52	10
1962	61	50	68	33	52	40	21	66	44	47	59	55	50	14
1963	31	52	53	49	62	33	47	60	67	36	64	27	48	14
1964	30	36	16	46	40	49	56	60	63	44	68	68	48	16
1965	71	28	50	64	31	45	23	47	75	36	63	68	50	18
1966	55	79	78	36	43	20	70	47	44	78	63	88	58	21
1967	40	45	76	49	71	47	60	40	37	73	67	71	56	15

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1968	81	52	52	47	40	39	15	35	38	58	32	50	45	16
1969	84	64	42	52	35	30	53	25	38	50	70	54	50	17
1970	50	77	84	68	52	20	69	54	55	60	67	44	58	17
1971	68	57	73	40	63	48	31	53	40	58	68	62	55	13
1972	39	31	40	50	29	55	19	58	50	51	70	65	46	15
1973	37	71	68	45	49	47	19	45	58	50	71	72	53	16
1974	68	64	21	5	26	49	66	53	73	44	63	82	51	23
1975	71	35	60	53	28	47	33	30	67	45	65	67	50	16
1976	52	36	40	43	50	42	23	14	23	73	62	53	43	17
1977	77	63	45	63	30	38	34	34	40	62	64	57	51	15
1978	68	61	69	47	20	48	53	36	63	68	57	48	53	15
1979	80	31	85	70	82	37	41	43	64	51	74	56	60	19
1980	48	52	42	36	39	37	21	52	62	53	43	63	46	12
1981	53	43	66	37	37	47	47	39	60	87	52	71	53	15
1982	66	62	76	42	61	15	37	73	65	50	71	53	56	18
1983	82	34	73	83	59	40	38	44	67	71	54	69	60	17
1984	61	53	46	34	23	25	32	21	52	77	66	56	46	18
1985	47	52	70	56	39	28	37	67	52	42	52	65	51	13
1986	50	21	65	45	73	25	50	34	64	60	70	65	52	18
1987	26	59	55	38	37	42	34	29	60	67	47	45	45	13
1988	69	83	60	35	29	8	46	50	71	39	38	60	49	21
1989	56	69	76	45	45	23	35	69	52	56	55	60	53	15
1990	77	87	53	65	15	43	34	55	65	56	57	51	55	19
1991	40	53	65	53	40	57	21	40	58	47	75	37	49	14
1992	42	59	61	40	42	43	48	50	68	53	80	66	54	13
1993	60	39	50	38	40	32	77	58	35	53	30	75	49	16
1994	68	36	71	65	24	65	16	48	42	61	48	63	51	18
1995	73	75	77	55	66	28	42	23	60	73	48	37	55	19
1996	39	57	26	60	44	43	58	55	30	65	50	44	48	12
Сред- нее	57	56	55	52	42	39	42	47	54	55	60	61	52	
σ	15	17	18	14	17	13	16	15	14	13	12	12	4	

60° с. ш., 0°

1946	39	68	19	37	19	60	55	77	77	10	47	55	47	23
1947	23	39	48	47	16	40	39	6	53	10	87	42	38	22
1948	71	28	16	57	45	63	55	58	67	52	37	42	49	16
1949	45	25	23	60	48	27	33	32	47	35	67	55	41	14
1950	43	46	35	63	39	57	52	52	63	45	53	48	50	9
1951	68	68	65	67	29	40	52	81	43	23	67	42	54	18
1952	55	41	48	30	45	73	61	52	63	48	47	65	52	12
1953	19	39	16	62	39	33	74	52	53	23	50	19	40	19
1954	35	43	45	37	42	60	71	55	57	61	67	52	52	12
1955	52	50	29	45	57	22	11	11	50	46	38	55	39	17
1956	56	24	21	43	37	48	44	76	35	33	32	42	41	15
1957	30	59	61	12	37	45	53	47	63	37	37	45	44	15
1958	59	45	34	35	68	43	42	58	32	53	27	55	46	13
1959	56	7	26	57	26	38	39	21	8	34	70	65	37	21
1960	46	67	11	33	19	40	65	81	33	42	67	52	46	21

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1961	42	39	32	43	29	40	61	58	30	68	47	52	45	13
1962	55	32	61	40	58	37	42	71	47	27	47	48	47	13
1963	12	19	56	45	55	50	45	71	48	36	67	18	44	19
1964	16	24	7	60	40	58	48	47	51	43	39	46	40	16
1965	61	22	45	41	45	52	51	48	66	30	53	72	49	14
1966	39	55	53	25	39	53	49	44	41	60	55	61	48	11
1967	61	45	60	38	74	37	40	48	45	73	48	65	53	13
1968	47	40	55	42	60	47	34	16	53	61	24	34	43	14
1969	66	41	19	48	66	32	35	33	27	27	72	31	41	18
1970	42	77	74	68	35	22	71	31	52	48	75	31	52	20
1971	56	38	56	35	36	61	29	35	17	39	52	28	40	13
1972	27	38	32	56	52	48	23	32	22	16	58	45	37	14
1973	27	57	24	47	53	23	44	37	50	31	54	52	42	13
1974	47	54	29	5	39	37	57	50	80	61	65	64	49	20
1975	71	4	50	56	36	41	33	36	60	25	47	30	41	18
1976	53	20	25	32	48	44	32	5	30	49	55	46	37	15
1977	62	57	33	72	47	45	34	24	40	47	69	38	47	15
1978	61	48	64	42	20	52	63	53	70	50	34	36	49	15
1979	61	23	85	72	67	45	46	53	50	46	72	48	56	17
1980	39	24	52	20	24	68	55	45	53	61	45	65	46	16
1981	44	16	63	18	53	63	60	29	62	82	60	50	50	20
1982	44	25	56	13	52	23	31	63	47	44	63	47	42	16
1983	48	29	61	73	67	33	26	19	63	58	22	49	46	19
1984	55	30	44	29	20	50	38	22	57	59	77	47	44	17
1985	47	19	53	55	48	60	61	75	35	34	42	70	50	16
1986	60	11	52	45	76	32	60	65	41	42	60	68	51	18
1987	19	32	53	35	47	65	45	65	57	56	45	23	45	15
1988	77	67	74	42	40	22	74	55	50	31	28	40	50	19
1989	31	54	58	53	29	47	24	60	25	52	42	31	42	13
1990	57	70	48	45	32	52	34	48	55	44	45	41	48	10
1991	47	28	53	38	21	63	29	26	33	39	53	32	39	13
1992	19	40	58	60	39	17	39	58	65	58	65	44	47	17
1993	47	30	23	37	42	30	63	45	22	45	17	66	39	16
1994	66	25	66	62	11	48	16	42	43	39	38	58	43	19
1995	48	57	61	47	40	37	42	11	57	48	37	16	42	15
1996	13	43	11	43	53	37	40	50	17	50	57	34	37	16
Сред- нее	46	39	44	44	42	44	45	46	47	44	51	46	45	
σ	16	17	19	16	15	14	15	20	16	15	16	14	5	

50° с. ш., 30° в. д.

1946	45	32	48	20	58	40	32	32	43	52	50	29	40	11
1947	52	79	71	57	65	67	48	39	27	48	83	52	57	16
1948	58	45	61	37	42	53	26	58	43	29	73	68	49	15
1949	29	43	26	47	29	67	40	35	47	42	40	29	40	11
1950	71	79	52	40	29	43	77	35	37	39	33	26	47	19
1951	42	14	39	30	65	60	29	42	60	45	30	32	41	15
1952	29	38	65	50	35	30	10	45	33	52	43	35	39	14

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1953	39	54	39	34	65	43	55	45	43	45	37	39	45	9
1954	61	29	58	43	68	47	26	48	43	35	27	42	44	14
1955	77	36	45	52	54	62	23	27	28	44	55	63	47	16
1956	42	48	56	38	31	32	50	23	52	20	30	47	39	12
1957	53	63	71	45	45	78	27	27	53	23	52	24	47	19
1958	30	68	73	43	47	53	63	60	45	31	42	44	50	14
1959	60	52	48	53	50	50	24	42	40	39	42	39	45	9
1960	64	48	71	53	52	63	39	61	40	42	47	19	50	14
1961	39	61	45	80	48	30	35	35	27	42	30	65	45	16
1962	35	11	61	50	39	40	47	41	61	34	17	45	40	15
1963	62	48	65	60	21	54	45	20	27	47	43	50	45	15
1964	65	74	64	32	67	47	16	47	32	34	49	21	46	19
1965	47	41	68	43	65	58	34	47	39	43	60	53	50	11
1966	81	88	40	73	54	56	7	65	46	31	22	34	50	24
1967	50	41	31	15	35	38	53	52	48	39	18	40	38	12
1968	39	43	26	58	58	56	51	61	48	79	58	56	53	13
1969	55	32	69	55	45	40	37	34	28	53	13	18	40	16
1970	66	27	15	52	45	38	39	41	52	39	32	39	40	13
1971	66	43	40	32	30	58	56	26	53	52	12	49	43	16
1972	52	45	29	44	34	17	21	34	22	20	43	44	34	12
1973	44	21	61	10	58	48	26	50	52	39	25	26	38	16
1974	58	48	58	55	52	53	20	56	30	25	45	34	45	14
1975	56	60	37	24	54	27	43	39	38	57	28	8	39	16
1976	39	45	38	39	44	64	37	29	23	47	43	41	41	10
1977	49	77	73	37	48	31	28	45	47	43	29	52	47	16
1978	27	80	46	51	42	28	50	43	30	25	36	79	45	19
1979	36	75	16	28	52	38	31	48	38	39	25	43	39	15
1980	52	55	22	22	75	39	42	53	37	44	47	30	43	15
1981	21	27	69	23	42	37	31	31	47	42	29	66	39	16
1982	65	62	48	32	42	80	35	45	37	47	32	31	46	15
1983	32	38	32	7	42	38	16	31	53	31	54	56	36	15
1984	34	28	33	44	23	44	30	39	41	48	52	36	38	9
1985	69	69	52	28	37	35	50	51	62	44	63	62	52	14
1986	26	61	37	33	40	32	35	31	46	35	57	45	40	11
1987	53	66	32	37	23	48	50	42	45	32	42	69	45	14
1988	48	26	44	73	34	18	48	48	48	58	50	37	44	14
1989	53	36	56	45	13	22	16	29	30	26	30	72	36	18
1990	43	56	37	22	52	27	50	23	13	35	52	23	36	14
1991	58	46	61	23	26	62	40	27	33	37	35	40	41	14
1992	48	41	26	53	34	35	56	35	52	11	48	34	39	13
1993	35	23	42	40	39	53	35	32	48	37	40	45	39	8
1994	42	59	39	42	52	38	52	32	37	52	55	43	45	8
1995	39	46	21	35	76	28	55	35	27	44	53	55	43	15
1996	50	21	47	50	35	50	35	31	43	47	37	42	41	9
Сред- нее	49	48	47	41	45	45	38	40	41	40	41	43	43	
σ	14	19	16	15	14	15	14	11	11	11	15	15	5	

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
50° с. ш., 20° в. д.														
1946	45	14	42	27	45	43	32	39	57	55	50	35	40	12
1947	55	79	84	40	55	53	39	26	30	39	60	19	48	20
1948	48	34	48	33	39	50	32	52	30	39	73	58	45	13
1949	19	18	23	33	45	57	20	26	57	68	33	26	35	17
1950	50	57	45	30	42	50	58	55	43	32	40	32	45	10
1951	26	46	48	27	45	57	19	48	50	39	63	26	41	14
1952	35	17	68	43	55	27	10	58	7	68	33	45	39	21
1953	23	32	10	45	48	30	48	42	33	26	40	39	35	11
1954	19	39	68	37	42	40	32	48	43	52	27	29	40	13
1955	68	36	16	32	57	55	13	34	25	20	47	53	38	18
1956	40	10	60	37	27	22	55	35	58	15	20	45	35	17
1957	32	75	76	20	32	53	24	37	48	11	53	37	42	20
1958	38	50	53	22	56	48	63	56	70	18	30	44	46	16
1959	56	36	61	42	26	35	23	31	32	54	48	55	42	13
1960	34	43	69	30	68	37	39	55	43	77	57	23	48	17
1961	32	54	16	73	35	27	16	13	37	42	30	71	37	20
1962	32	14	35	30	39	33	55	29	63	29	31	36	36	13
1963	53	71	62	47	22	50	47	34	21	39	72	73	49	18
1964	35	59	57	46	48	35	28	40	31	31	20	21	38	13
1965	39	15	61	31	49	45	52	44	42	31	67	45	43	14
1966	79	89	15	73	48	47	11	60	34	40	18	26	45	26
1967	52	38	21	5	63	22	42	52	38	42	23	10	34	18
1968	35	52	19	61	55	46	33	39	58	71	69	55	49	16
1969	61	29	50	35	66	22	13	33	22	47	33	28	37	16
1970	65	30	3	32	39	53	34	30	52	21	50	26	36	17
1971	66	21	16	40	44	51	44	34	40	40	17	28	37	15
1972	53	57	39	25	42	32	10	24	18	34	23	52	34	15
1973	29	11	29	12	65	22	37	39	48	31	20	27	31	15
1974	57	38	50	33	47	46	21	47	38	10	55	21	39	15
1975	42	56	35	24	26	25	43	39	34	58	30	10	35	14
1976	23	45	35	27	45	32	52	29	47	53	29	51	39	11
1977	49	77	51	23	25	29	11	53	40	52	34	45	41	18
1978	24	63	41	47	38	37	35	24	9	13	31	84	37	21
1979	44	57	31	18	57	27	24	31	28	54	33	41	37	13
1980	47	40	43	7	42	46	48	58	35	35	45	22	39	13
1981	10	41	63	22	71	35	15	13	57	37	26	60	38	21
1982	50	58	29	30	47	83	16	23	37	44	38	29	40	18
1983	21	30	23	52	67	23	34	21	52	24	47	47	37	16
1984	32	23	34	37	17	10	43	39	32	39	66	32	34	14
1985	59	62	47	35	31	27	35	49	43	27	52	62	44	13
1986	37	61	42	30	55	60	27	40	37	29	47	24	41	13
1987	45	52	37	52	13	38	16	21	25	56	18	55	36	16
1988	52	24	32	47	56	12	55	34	27	61	40	18	38	16
1989	34	29	56	48	11	27	19	21	25	18	48	48	32	15
1990	40	58	16	15	34	43	32	24	10	52	28	19	31	15
1991	42	45	56	32	2	63	29	21	43	27	32	15	34	17
1992	23	24	21	42	52	33	47	42	47	11	35	31	34	13

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1993	35	9	40	42	58	27	26	15	60	39	42	37	36	15
1994	37	64	25	33	71	35	53	40	23	47	47	42	43	14
1995	40	46	11	18	50	17	52	16	27	55	68	60	38	20
1996	77	31	58	47	39	38	24	35	32	39	28	47	41	15
Сред- нее	42	42	41	35	44	38	33	36	38	39	41	39	39	
σ	15	20	19	14	16	14	15	13	14	16	16	17	5	

45° с. ш., 40° в. д.

1946	39	50	42	30	29	33	16	26	27	29	53	29	34	11
1947	42	57	65	37	13	37	23	39	30	45	73	61	44	18
1948	39	41	55	33	39	43	45	48	47	58	60	45	46	8
1949	45	39	45	57	39	57	47	29	37	35	20	48	42	11
1950	54	43	52	57	61	27	39	26	33	19	40	32	40	13
1951	29	29	48	63	35	60	16	32	47	35	27	32	38	14
1952	32	66	77	43	68	33	29	32	50	39	47	58	48	16
1953	48	54	58	41	58	33	35	48	27	26	37	35	42	11
1954	55	36	52	37	42	43	35	55	43	48	33	39	43	8
1955	77	39	74	72	66	40	39	23	22	54	35	56	50	19
1956	42	52	47	60	26	40	40	40	23	38	35	44	41	10
1957	35	63	79	55	42	57	27	31	53	39	52	35	47	15
1958	43	66	77	42	26	53	52	35	38	40	42	27	45	15
1959	47	48	34	52	65	65	23	45	38	30	23	37	42	14
1960	75	62	55	57	52	30	10	32	23	42	23	16	40	20
1961	39	54	77	73	48	23	29	35	30	26	37	74	45	20
1962	35	36	84	37	61	50	47	51	46	31	36	45	47	15
1963	52	27	58	64	19	43	34	22	27	25	28	39	37	15
1964	60	57	57	39	43	33	26	44	44	21	49	23	41	13
1965	45	74	68	33	49	30	30	18	24	26	27	38	39	18
1966	81	71	55	73	31	27	15	48	41	40	20	39	45	21
1967	47	34	48	57	26	28	35	12	30	31	25	69	37	16
1968	34	41	34	42	52	42	39	52	22	50	46	50	42	9
1969	52	43	60	47	53	30	44	23	45	45	17	21	40	13
1970	71	29	58	75	31	30	32	43	28	48	27	53	44	17
1971	60	38	32	27	30	49	21	10	32	29	38	54	35	14
1972	34	45	31	42	27	27	45	18	48	25	53	39	36	11
1973	39	23	58	87	37	52	16	47	38	35	49	40	43	18
1974	38	46	45	40	55	53	21	34	40	20	40	48	40	11
1975	52	55	44	44	57	54	18	33	21	42	38	48	42	13
1976	31	36	28	45	40	54	32	31	19	31	33	37	35	9
1977	41	55	59	38	63	50	26	39	52	33	38	48	45	11
1978	22	57	31	53	49	18	29	50	37	48	31	51	40	13
1979	39	66	30	62	49	35	41	40	33	14	33	41	40	14
1980	50	47	53	53	71	22	32	56	23	37	66	42	46	15
1981	42	39	84	48	29	37	37	37	50	47	43	45	45	14
1982	48	40	42	28	24	38	32	24	27	39	23	37	34	8
1983	45	84	44	38	35	33	14	45	47	35	53	36	42	16
1984	34	37	44	56	38	44	28	42	29	51	30	32	39	9

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1985	49	48	58	45	42	27	13	43	40	44	47	36	41	12
1986	26	52	24	25	55	23	44	50	66	47	32	52	41	15
1987	50	64	50	32	40	63	29	42	35	16	50	60	44	15
1988	32	28	47	75	32	27	40	32	46	16	53	52	40	16
1989	44	43	37	42	39	23	29	29	25	31	25	61	36	11
1990	37	57	40	42	56	33	37	11	30	37	45	27	38	12
1991	40	45	56	57	65	45	37	39	28	37	37	39	44	11
1992	47	48	21	48	27	57	48	29	22	56	43	42	41	13
1993	35	36	32	38	39	48	52	47	38	48	38	35	41	6
1994	32	45	45	38	35	37	31	32	52	39	33	40	38	6
1995	47	32	47	68	76	40	39	50	38	37	47	69	49	14
1996	45	34	53	72	39	38	18	47	47	47	32	32	42	13
Сред- нее	45	47	51	49	44	39	32	36	36	36	38	43	41	
σ	12	13	15	15	15	12	11	12	11	11	12	12	4	

35° с. ш., 40° в. д.

1946	19	61	45	27	23	30	30	3	23	42	37	32	31	15
1947	23	32	23	23	32	3	13	29	13	35	63	35	27	15
1948	19	38	35	30	29	13	23	16	17	39	27	23	26	9
1949	61	46	42	33	35	17	10	23	33	42	10	13	30	16
1950	36	29	32	17	42	17	10	3	20	19	30	55	26	14
1951	29	39	68	53	19	43	16	3	27	48	7	32	32	19
1952	19	55	42	3	35	17	29	13	37	6	47	74	31	21
1953	39	29	39	24	19	19	19	10	37	16	13	16	23	10
1954	23	25	10	43	39	3	23	3	3	52	17	26	22	16
1955	29	39	19	15	20	20	20	15	17	31	30	24	23	7
1956	32	41	18	23	6	15	10	10	25	39	33	10	22	12
1957	25	18	42	23	19	23	3	15	30	8	32	6	20	11
1958	52	39	52	28	52	20	24	8	25	31	18	16	30	15
1959	26	25	16	18	16	17	6	35	20	41	33	16	22	10
1960	43	50	24	43	16	23	23	6	20	35	37	13	28	14
1961	16	43	48	23	23	3	6	10	13	16	40	32	23	15
1962	32	18	52	23	29	10	28	22	12	12	48	40	27	14
1963	26	31	24	23	5	28	17	2	15	42	48	30	24	13
1964	35	21	22	33	16	11	18	11	8	16	47	63	25	17
1965	26	52	18	16	24	12	5	24	39	13	23	17	22	13
1966	37	32	42	15	13	5	33	15	7	47	67	45	30	19
1967	40	27	32	42	8	22	11	20	32	47	23	69	31	17
1968	42	48	32	34	23	27	16	32	50	21	14	19	30	12
1969	32	63	40	33	18	12	10	26	42	34	70	36	35	18
1970	40	23	53	28	23	7	13	8	12	65	22	34	27	18
1971	24	29	15	15	23	12	13	8	42	37	60	41	27	16
1972	19	24	32	15	10	18	32	8	38	38	45	11	24	13
1973	34	25	44	60	24	15	3	6	15	35	39	45	29	17
1974	17	16	10	22	24	25	13	18	12	48	38	38	23	12
1975	34	31	29	27	31	12	15	28	5	38	38	75	30	17
1976	34	16	17	20	21	17	25	21	23	19	19	17	21	5

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1977	31	21	29	40	25	26	5	11	18	14	47	38	25	12
1978	24	52	18	37	22	10	6	34	31	55	41	33	30	15
1979	39	63	44	58	30	37	19	23	26	15	58	26	37	16
1980	48	9	28	61	17	3	3	15	12	31	38	25	24	18
1981	23	46	45	37	11	57	19	19	17	34	19	27	30	14
1982	34	22	15	35	31	22	8	2	22	39	32	31	24	11
1983	31	64	42	52	23	30	14	10	32	26	51	40	35	16
1984	3	37	30	22	25	8	18	20	27	15	16	17	20	9
1985	27	33	23	22	16	28	3	10	38	27	47	18	24	12
1986	5	29	10	23	24	22	11	27	34	26	13	48	23	12
1987	44	30	52	38	35	20	13	21	30	16	40	32	31	12
1988	21	24	29	25	21	7	7	11	39	19	32	37	23	11
1989	6	14	13	7	47	50	0	13	17	37	22	27	21	16
1990	15	30	44	27	39	5	18	44	12	34	20	45	28	14
1991	23	13	24	37	47	0	18	27	22	47	28	50	28	15
1992	32	21	6	8	10	17	6	3	37	44	32	24	20	14
1993	27	23	18	33	16	35	8	8	18	34	17	32	22	10
1994	8	20	26	32	11	35	3	11	43	37	23	26	23	13
1995	24	29	29	38	18	47	18	21	37	34	25	35	30	9
1996	21	19	29	38	21	22	5	15	28	37	20	27	24	9
Сред- нее	28	33	31	29	24	20	14	16	25	32	33	32	26	
σ	12	14	14	13	11	13	8	10	11	13	15	16	4	

35' с. ш., 10' в. д.

1946	45	43	32	50	39	33	71	23	27	23	40	23	37	14
1947	45	25	6	50	35	23	35	13	50	39	37	23	32	14
1948	10	34	35	50	39	30	32	26	37	58	7	32	33	14
1949	48	43	81	73	35	23	43	35	37	6	37	48	42	20
1950	46	4	29	40	35	23	32	42	50	39	3	29	31	15
1951	6	21	45	33	6	57	29	26	27	39	20	39	29	15
1952	26	24	3	30	16	30	32	19	23	13	63	23	25	14
1953	35	39	68	55	35	37	42	52	33	42	63	68	47	13
1954	35	25	19	60	19	27	52	29	27	19	50	42	34	14
1955	13	21	42	53	26	37	26	45	53	54	55	21	37	15
1956	47	62	47	48	61	57	32	31	18	57	45	10	43	17
1957	43	7	11	63	68	17	61	53	52	56	37	44	43	21
1958	30	21	6	47	31	33	27	42	7	61	67	35	34	19
1959	26	46	29	38	53	35	60	48	35	23	35	3	36	15
1960	21	21	18	40	13	23	29	6	30	3	13	19	20	10
1961	6	4	42	3	32	33	35	39	13	23	53	19	25	16
1962	29	46	26	33	32	50	25	37	30	64	40	38	38	11
1963	53	25	7	45	66	46	28	54	45	33	26	63	41	17
1964	49	22	34	42	17	49	43	47	49	39	42	51	40	11
1965	35	61	27	47	51	23	5	34	29	75	22	10	35	20
1966	18	27	57	5	48	19	36	19	61	11	40	40	32	18
1967	21	52	55	72	24	62	21	32	22	45	72	56	45	20
1968	35	36	71	22	37	44	25	34	8	21	46	39	35	16

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сред- нее	σ
1969	34	70	35	42	23	38	47	41	33	65	55	25	42	15
1970	31	30	50	30	45	22	40	15	37	69	52	68	41	17
1971	23	54	63	43	33	24	39	35	47	48	70	56	45	15
1972	26	33	47	41	19	15	23	39	53	56	48	44	37	14
1973	31	55	47	52	31	42	35	37	18	42	75	55	43	15
1974	13	34	37	37	32	39	61	40	30	38	35	56	38	12
1975	42	36	18	59	30	22	18	39	22	30	30	88	36	20
1976	60	34	43	43	35	59	30	16	16	22	28	56	37	16
1977	49	11	22	32	22	16	25	19	47	59	22	50	31	16
1978	54	35	8	24	31	15	29	38	57	60	36	20	34	16
1979	52	18	8	28	23	38	29	31	34	25	28	16	28	11
1980	32	33	32	46	14	32	31	16	37	31	29	40	31	9
1981	52	46	8	27	6	33	53	35	13	44	64	24	34	19
1982	26	31	53	58	39	10	16	42	40	15	37	18	32	15
1983	44	46	44	28	8	28	7	31	10	56	44	56	34	18
1984	13	35	48	54	20	33	17	47	32	28	38	49	35	13
1985	41	46	17	38	32	10	26	21	48	53	40	26	33	13
1986	16	20	29	25	29	32	34	8	25	45	45	16	27	11
1987	44	16	27	22	23	32	37	35	32	32	52	37	32	10
1988	27	47	23	2	15	38	24	26	79	50	67	56	38	23
1989	53	41	31	20	55	33	55	24	43	61	57	44	43	14
1990	32	11	69	47	44	32	56	48	48	24	27	47	40	16
1991	35	23	42	52	53	38	55	50	40	45	33	69	45	12
1992	50	59	44	32	40	20	65	40	48	26	22	61	42	15
1993	32	77	50	15	23	32	65	40	17	40	55	34	40	19
1994	45	14	55	30	29	50	37	37	37	37	25	16	34	12
1995	23	18	58	52	40	45	42	52	30	52	35	35	40	12
1996	47	33	47	25	39	55	63	16	33	29	38	53	40	14
Сред- нее	34	34	36	39	32	33	37	33	35	40	41	39	36	
σ_{14}	17	19	16	14	13	15	12	15	17	17	18	6		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 1022 с.
2. Алексеева И. А., Шишков Ю. А. Циклоническая деятельность над Северной Атлантикой и Эль-Ниньо в 1980-е годы // *Океанология*. — 1997. — № 6. — С. 812—818.
3. Бабкин В. И. Сток Волги в периоды ослабления и усиления циклонической деятельности // *Метеорология и гидрология*. — 1995. — № 1. — С. 94—100.
4. Бабкин В. И., Постников А. Н. Циклонические осадки и сток рек Невы, Северной Двины и Печоры // *Тр. РГГМУ*. — 1999. — Вып. 123. — С. 153—160.
5. Багров Н. А. Аналитическое представление полей // *Тр. ЦИП*. — 1958. — Вып. 64. — С. 3—25.
6. Бардин М. Ю. Статистические характеристики циклоничности на уровне 500 гПа в северном полушарии // *Тр. ГМЦ*. — 1990. — Вып. 304. — С. 96—104.
7. Бардин М. Ю. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт северного полушария // *Метеорология и гидрология*. — 1995. — № 11. — С. 24—37.
8. Бардин М. Ю. Основные моды изменчивости повторяемости циклонов зимой в Атлантическом секторе // *Метеорология и гидрология*. — 2000. — № 1. — С. 42—52.
9. Бардин М. Ю., Нестерова Г. А. Корреляционные связи характеристик циклоничности и положения планетарной высотной фронтальной зоны в северном полушарии // *Тр. ГМЦ*. — 1990. — Вып. 304. — С. 105—111.
10. Безмельницын А. В., Малинин В. Н. Крупномасштабная модель формирования влагообмена в системе океан—атмосфера // *Тр. ЛГМИ*. — 1986. — Вып. 93. — С. 20—34.

11. Белинский Н. А. Опыт установления индекса циркуляции атмосферы // Тр. НИУ ГУТСМ. — 1946. — Сер. 5, вып. 14. — С. 3—130.
12. Блинова Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления и центров действия атмосферы // ДАН СССР. — 1943. — Т. 39, № 7. — С. 284—287.
13. Вортковский Р. С. Тепло- и влагообмен атмосферы и океана при шторме. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 159 с.
14. Вайновский П. А., Малинин В. Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч. 1. Одномерный анализ. — Л.: Изд. РГМИ, 1991. — 136 с.
15. Вайновский П. А., Малинин В. Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Ч. 2. Многомерный анализ. — СПб.: Изд. РГМИ, 1992. — 96 с.
16. Валерианова М. А. Атлас изменения состояния системы океан-атмосфера в северной Атлантике. Вып. I. Типы атмосферных процессов в Атлантическом секторе северного полушария. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 29 с.
17. Вангенгейм Г. Я. О колебаниях атмосферной циркуляции над северным полушарием // Изв. АН СССР. Сер. географ. и геофиз. — 1946. — Т. 5, № 5. — С. 405—416.
18. Вангенгейм Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Тр. ААНИИ. — 1952. — Т. 34. — 314 с.
19. Ван Мигем Д. Энергетика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 327 с.
20. Вильфанд Р. М., Садоков В. П., Гиченко В. А. О связи границы снежного покрова с интенсивностью циклонической деятельности в северном полушарии // Метеорология и гидрология. — 2002. — № 9. — С. 32—39.
21. Вительс Л. А. Об определении индекса циркуляции по данным синоптического каталога // Метеорология и гидрология. — 1947. — № 5. — С. 39—48.
22. Воробьев В. И. Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 616 с.
23. Гирс А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 487 с.
24. Гирс А. А., Кондратович К. В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. — Л.: Гидрометеиздат, 1978. — 344 с.
25. Гордеева С. М. О роли Северной Атлантики в формировании аномальных условий увлажнения Европейской территории России // Тр. РГГМУ. — 1999. — Вып. 123. — С. 80—92.

26. Гущина Д. Ю., Петросянц М. А., Соколихина Е. В. Интегральные характеристики глобального поля ветра. 2. Интенсивность западного и восточного переносов // *Метеорология и гидрология*. — 2002. — № 5. — С. 5—16.

27. Дзерdzeевский Б. А., Курганская В. М., Витвицкая З. М. Типизация циркуляционных механизмов северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // *Тр. НИУ ГУГМС*. — 1946. — Сер. 2, вып. 21. — 80 с.

28. Дзерdzeевский Б. Л., Монин А. С. Типовые схемы общей циркуляции атмосферы в северном полушарии и индекс циркуляции // *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.* — 1954. — № 6. — С. 562—574.

29. *Динамическая метеорология* / Под ред. Д. Л. Лайхтмана. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 607 с.

30. Дмитриев А. А. Динамика атмосферных процессов над морями Российской Арктики. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000.

31. Добровольский С. Г. Аномалии глобального тепловлагообмена. — М.: Изд. Межведомств. геофиз. комитета, 1991. — 128 с.

32. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Кн. 1, 2. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 366 с.; 1987. — 351 с.

33. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — 315 с.

34. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. — М.: Статистика, 1977. — 128 с.

35. Жаков С. И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 230 с.

36. Захаров В. Ф., Малинин В. Н. Морские льды и климат. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 91 с.

37. Ийамуремье Энок. Автоколебания в системе океан—атмосфера в северной Атлантике // *Дисс. на соискание ученой степени канд. географ. наук: 11.00.09*. — СПб, РГГМУ, 2000. — 175 с.

38. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 270 с.

39. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I. — М.: Изд. физ.-мат. литературы, 1963. — 583 с.

40. Кузнецова Л. П. Атмосферный влагообмен над территорией СССР. — М.: Наука, 1983. — 172 с.

41. Куликова Л. А., Радикевич В. М. Оценка циклоничности и антициклоничности барического поля над Северной Атлантикой // *Тр. РГГМУ*. — 1999. — Вып. 123. — С. 216—223.

42. Лагун В. Е., Романов В. Ф. Атмосферный синоптические вихри над океаном (по экспериментальным данным) // Изв. АН СССР. Серия ФАО. — 1985. — Т. 21, № 5. — С. 474—484.

43. Лагун В. Е., Язев А. И. О бюджете кинетической энергии синоптических вихрей в атмосфере южного полушария // Сб. Исследование вихревой динамики и энергетики атмосферы и проблемы климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — С. 315—330.

44. Лагун В. Е., Язев А. И. Глобальное распределение и временная изменчивость параметров циклонических возмущений в атмосфере // Докл. РАН. — 1994. — Т. 334, № 5. — С. 642—645.

45. Малинин В. Н. Влагообмен в системе океан—атмосфера. — СПб.: Гидрометеиздат, 1994. — 197 с.

46. Малинин В. Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. — СПб.: Изд. РГГМИ, 1994. — 160 с.

47. Малинин В. Н. Водный баланс атмосферы в Норвежской энергоактивной зоне // Тр. ЛГМИ. — 1986. — Вып. 93. — С. 99—112.

48. Малинин В. Н., Гордеева С. М. Физико-статистический метод прогноза океанологических характеристик. — Мурманск: Изд. ПИНОРО, 2003. — 164 с.

49. Малинин В. Н., Радикевич В. М. О методологии расчета характеристик вихревой активности атмосферы в Северной Атлантике // Тр. РГГМУ. — 1999. — Вып. 123. — С. 32—42.

50. Малинин В. Н., Радикевич В. М., Куликова Л. А., Гордеева С. М. Каталог индексов вихревой активности атмосферы над Северной Атлантикой. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 11 с.

51. Малинин В. Н., Чернышков П. П., Гордеева С. М. Канарский апвеллинг: Крупномасштабная изменчивость и прогноз температуры воды. — СПб.: Гидрометеиздат, 2002. — 153 с.

52. Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.

53. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 750 с.

54. Материалы по климату и циркуляции свободной атмосферы над зарубежными странами северного полушария. — М.: Гидрометеиздат. — Т. 1, вып. 1. — 1973. — 206 с.; Т. 3, вып. 1. — 1975. — 215 с.

55. Материалы по климату и циркуляции свободной атмосферы над тропической зоной Атлантического океана. Т. 1. — М.: Гидрометеиздат, 1976. — 86 с.

56. Мещерская А. В. и др. Естественные составляющие метеорологических полей. — Л.: Гидрометеиздат, 1970. — 109 с.

57. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 639 с.

58. Многомерный статистический анализ в экономике / Под ред. В. Н. Тамашевича. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 1999. — 598 с.

59. Мохов И. И., Мохов О. И., Петухов В. К., Хайруллин Р. Р. Влияние глобальных климатических изменений на вихревую активность в атмосфере // Изв. РАН. Сер. ФАО. — 1992. — Т. 28, № 1. — С. 11—26.

60. Нестеров Е. С. Особенности состояния океана и атмосферы в разных фазах северо-атлантического колебания // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 8. — С. 74—82.

61. Николаев Ю. В. Классификация гидрометеорологических процессов с помощью ЭВМ. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 36 с.

62. Петросянц М. А., Гущина Д. Ю. Об оптимальном временном масштабе взаимодействия циркуляции вектора скорости ветра вдоль круга широты и в центрах действия атмосферы с температурой поверхности экваториального Тихого океана // Изв. РАН. Сер. ФАО. — 2000. — Т. 36, № 1. — С. 5—15.

63. Погосян Х. П. Циклоны. — Л.: Гидрометеиздат, 1976. — 147 с.

64. Радикевич В. М. Использование разложений полей давления с помощью полиномов Чебышева для характеристики режима атмосферной циркуляции над северной Атлантикой // Тр. ЛГМИ. — 1970. — Вып. 41. — С. 19—27.

65. Радикевич В. М., Ийамуремье Энок. Типизация барического поля для северной Атлантики и описание Северо-Атлантического колебания (САК) // Тр. РГГМУ. — 1999. — Вып. 123. — С. 43—56.

66. Репинская Р. П. Разложение поля давления по естественным составляющим координат и времени // Метеорология и гидрология. — 1969. — № 5. — С. 28—37.

67. Романов В. Ф., Лагун В. Е. О вихревой динамике и энергетике атмосферы южного полушария // Докл. АН СССР. — 1986. — Т. 291, № 4. — С. 817—822.

68. Романова Н. А., Романов Ю. А. Повторяемость циклонов и антициклонов над Атлантикой в 1980—1989 гг. // Метеорология и гидрология. — 1995. — № 7. — С. 56—67.

69. Смирнов Н. П., Вайновский П. А., Титов Ю. Э. Статистический анализ и прогноз океанологических процессов. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 198 с.

70. Смирнов Н. П., Воробьев В. Н., Качанов С. Ю. Северо-атлантическое колебание и климат. — СПб.: Изд. РГГМУ, 1988. — 122 с.

71. Смирнов Н. П., Калинин В. Н. Водный баланс атмосферы как гидрологическая задача. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. — 200 с.
72. Современные проблемы гидрометеорологии / Под ред. В. Н. Малинина // Сб. науч. тр. РГГМУ. — 1999. — Вып. 123. — 233 с.
73. Старр В. Физика явлений с отрицательной вязкостью. — М.: Мир, 1971. — 260 с.
74. Статистические методы для ЭВМ/ Под ред. К. Эйслейна и др. — М.: Наука, 1986. — 439 с.
75. Степанов В. Н. и др. Климатолого-статистическое исследование термohалинных полей Северной Атлантики. — М.: Гидрометеоздат, 1990. — 164 с.
76. Строкина Л. А., Богданова Э. Г. Новые данные о влагообмене Мирового океана с атмосферой // Тр. ГГИ. — 1990. — Вып. 348. — С. 17—32.
77. Хайруллин Р. Р. Структура и динамика циклогенеза в Северном полушарии. — Казань: Изд. Казанского ГУ, 1989. — 135 с.
78. Швер Ц. А. Генезис атмосферных осадков, выпадающих в пределах СССР // Тр. ГГИ. — 1991. — Вып. 352. — С. 52—67.
79. Alpert P., Neeman B. U., Shay-El Y. Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data // Tellus, 1990. — Vol. 42A, N 1. — P. 65—77.
80. Bell G. D., L. F. Bosart L. F. A 15-year climatology of Northern Hemisphere 500 mb closed cyclone and anticyclone centers // Monthly Weath. Rev. — 1989. — Vol. 117, N 10. — P. 2142—2162.
81. Devis C. A., Grell E. D., Shapiro M. A. The balanced dynamical nature of rapidly intensifying oceanic cyclone // Monthly Weather Rev. — 1999. — Vol. 124, N 1.
82. Lackman G. M., Bosart L. F., Keyser D. Planetary and synoptic scale characteristics of explosive wintertime cyclogenesis over the western North Atlantic ocean // Monthly Weather Rev. — 1996. — Vol. 124, N 12. — P. 2672—2702.
83. Parker S. S., Hawes G. T., Colucci S. J., Hayden B. P. Climatology of 500 mb cyclones and anticyclones 1950—1985 // Monthly Weath. Rev. — 1989. — Vol. 117, N 3. — P. 558—570.
84. Peixoto J. P. Atmospheric vapor flux computation for hydrological purposes // WMO Publ. — 1973. — N 357. — 83 p.
85. Peixoto J. P., Oort A. H. The atmospheric branch of the hydrological cycle and climate // Variation Global Water Budget. — Reidel, 1983. — P. 5—65.

86. Rasmusson E. M. Hydrological application of atmospheric vapor flux analyses // WMO Publ. — 1977. — N 476. — 50 p.

87. Roebber P. J. On the statistical analysis of cyclone deepening rates // Monthly Weath. Rev. — 1989. — Vol. 117, N 10. — P. 2293—2298.

88. Rossby C. G. et. al. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semipermanent centers of action // J. Mar. Res. — 1939. — Vol. 2, N 1. — P. 38—55.

89. Schmitt R. W., Bogden P. S., Dorman C. E. Evaporation minus precipitation and density fluxes for the North Atlantic // J. Phys. Oceanogr. — 1989. — Vol. 19, N 9. — P. 1208—1221.

90. Walsh J. E., Portis D. H. Variations of precipitation and evaporation over North Atlantic Ocean, 1958—1997 // J. Geoph. Res. — 1999. — Vol. 104, N D14. — P. 16,613—16,631.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Краткий обзор индексов циркуляции атмосферы	7
Глава 2. Обоснование индексов вихревой активности атмосферы	18
Глава 3. Исходные данные и методика расчета индексов вихревой активности	27
3.1. Исходные данные	27
3.2. Численная схема и оценка выбора оптимального шага расчета лапласиана	28
3.3. Оценка влияния ошибок при аппроксимации поля давления в узлы регулярной сетки	31
3.4. О сопоставимости архивов данных по давлению	33
Глава 4. Климатическая характеристика индексов вихревой активности	35
4.1. Особенности распределения среднесезонных значений индексов вихревой активности	35
4.2. Межгодовая изменчивость индексов вихревой активности ...	39
4.3. Внутрисезонная изменчивость индексов вихревой активности	43
Глава 5. Кластерный анализ индексов вихревой активности	51
5.1. Методология кластерного анализа	51
5.2. Районирование акватории океана по характеру межгодовых колебаний ИВА	59
5.3. Классификация сезонного хода индексов вихревой активности	62
5.4. Временная классификация межгодовых колебаний индексов вихревой активности	64
Глава 6. Анализ межгодовых трендов индексов вихревой активности	67
6.1. Пространственное распределение трендов по акватории ..	69
6.2. Оценка трендов осредненных для Северной Атлантики индексов вихревой активности	72
6.3. О причинах формирования трендов в рядах индексов вихревой активности	73

Глава 7. Взаимосвязь индексов вихревой активности с гидрометеорологическими процессами	82
7.1. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с геострофическим ветром	85
7.2. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с высотой геопотенциальной поверхности 500 гПа	87
7.3. Взаимосвязь индексов вихревой активности атмосферы с центрами действия атмосферы	88
7.4. Концептуальная модель формирования межгодовых колебаний зонального переноса водяного пара	91
7.5. Оценка влияния синоптических вихрей на ледовитость морей Северо-Европейского бассейна	93
Глава 8. Крупномасштабная изменчивость переноса атмосферной влаги над Северной Атлантикой	95
8.1. Оценки горизонтального переноса водяного пара по аэрологическим данным	95
8.2. Параметризация горизонтального переноса водяного пара	98
8.3. Пространственно-временная изменчивость горизонтального переноса водяного пара	104
8.4. Оценка влияния испарения и циклонической активности на изменчивость зонального выноса влаги за пределы Северной Атлантики	116
Заключение	121
Приложения	127
Список литературы	163

54200

Монография

Валерий Николаевич **Малинин**, Виталий Михайлович **Радикович**,
Светлана Михайловна **Гордеева**, Лидия Александровна **Куликова**

**Изменчивость вихревой активности атмосферы
над Северной Атлантикой**

Редактор *А. Б. Иванова*.

Компьютерная верстка и дизайн *А. Б. Иванова*.

Технический редактор *Н. Ф. Грачева*.

Корректор *И. А. Крайнева*.

ЛР № 020228 от 10.11.96 г.

Подписано в печать 26.12.03. Формат 60 × 84 1/16.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Печ. л. 10,75. Усл. печ. л. 10. Уч.-изд. л. 10,98.

Тираж 300 экз. Индекс 297/03.

Гидрометеиздат. 199397, Санкт-Петербург, В. О., ул. Беринга, д. 38.