

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ —
МИРОВОЙ ЦЕНТР ДАННЫХ

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ФАКТОРОВ КЛИМАТА



МОСКВА · ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ — 1986

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ —
МИРОВОЙ ЦЕНТР ДАННЫХ

М. Х. БАЙДАЛ, Д. Г. ХАНЖИНА

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ФАКТОРОВ КЛИМАТА



МОСКВА · МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА — 1986

В монографии рассматриваются способы определения параметров ряда объектов общей циркуляции атмосферы (типов циркуляции, форм высотного барического поля по секторам северного полушария, планетарной высотной фронтальной зоны, центров действия атмосферы, блокирующих синоптических ситуаций) и анализируются характеристики их многолетних колебаний. Выделены длительные (многомесячные и многолетние) эпохи однородного соотношения циркуляционных механизмов на полушарии, определена многолетняя их тенденция.

Содержится анализ примеров тесной связи между различными параметрами общей циркуляции атмосферы, а также между циркуляционными параметрами и некоторыми внешними факторами. На примерах рассматриваются вопросы методики диагноза структуры физических связей между факторными и зависимыми элементами.

Приводятся примеры тесных синхронных и асинхронных связей между параметрами атмосферной циркуляции и гидрометеорологическими характеристиками (температурой воздуха, атмосферными осадками, индексами засушливости, стоком рек, теплообменом водных масс Северной Атлантики и Ледовитым океаном).

Монография рассчитана на климатологов, специалистов, занимающихся долгосрочными и сверхдолгосрочными гидрометеорологическими прогнозами, моделированием крупномасштабных атмосферных процессов.

От авторов

В многочисленных исследованиях по общей циркуляции атмосферы, касающихся как глобальных, так и региональных ее схем, выявлены многие закономерности, представляющие большой общепознавательный и практический интерес. На их основе объяснены некоторые особенности климата, разработаны методики краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды. Рядом авторов выработаны также некоторые соображения о предстоящих изменениях климата земного шара и отдельных его районов. Имеются прогностические указания на предстоящий ход уровня замкнутых морей и озер.

В настоящее время, в результате пополнения рядов наблюдений, составления проконтролированных информационных массивов, занесенных на магнитные ленты, имеется возможность с помощью ЭВМ осуществлять более глубокие многосторонние исследования атмосферной циркуляции. Это особенно касается высотной барической топографии. Если 20—30 лет назад не представлялось возможным выполнить достаточно надежный статистический анализ структуры многолетней изменчивости параметров атмосферной циркуляции, то сейчас это уже осуществимо.

Тридцатипятилетние ряды характеристик барической топографии позволили авторам данной монографии исследовать свойства планетарной высотной фронтальной зоны (ее интенсивности, широты, извилистости и площади), полюса циркуляции и блокирующих систем.

Более широко, чем это осуществили предыдущие авторы, рассмотрены соотношения между многолетними характеристиками различных макроциркуляционных объектов, а равно и между этими объектами и внешними факторами.

В исследовании многолетней изменчивости глобальных параметров циркуляции впервые широко осуществлен расчет автокорреляционных и взаимокорреляционных функций, а также гармонический анализ.

Приводимые в данной монографии итоги получены в основном в процессе выполнения научно-исследовательских тем VI.40a.06 и VI.40a.10 плана НИР и ОКР Госкомгидромета.

В создании гл. 6 участвовала Д. Г. Ханжина, остальная часть монографии и редакция выполнены М. Х. Байдалом. Д. Г. Ханжиной выполнена также значительная часть работы по созданию архива блокирующих антициклонов, его контролю и записи на МЛ.

Авторы выражают благодарность инженерам Л. А. Молевой и Л. Ю. Самсоновой за большую работу по подготовке исходной информации и участие в выполнении расчетов.

Введение

На первый взгляд может показаться странным, что с интенсификацией научно-технического прогресса, возрастанием экономического могущества и «независимости» человечества от окружающей среды проблема климата становится все более актуальной. Однако если принять во внимание, что дальнейшая интенсификация производственной деятельности человека и в первую очередь сельского хозяйства все более связывается с рациональным учетом климатических ресурсов, то становится очевидным, что наилучших результатов можно достигнуть, соотнося текущие и стратегические планы с происходящими и предстоящими состояниями погодно-климатических условий. Ясно, например, что с учетом надежного прогноза погоды на вегетационный период в принципе можно не только устойчиво получать урожай на уровне, соответствующем его многолетнему тренду, но и значительно превысить его. Зная о предстоящем влажном лете, путем максимального сокращения паровых площадей, внесения соответствующего количества удобрений в пахотные поля и выполнения ряда других агротехнических мероприятий (глубину вспашки, нормы высева, сроки сева и т. п.) можно добиться валового сбора урожая, значительно больше обычного. Можно было бы привести множество примеров важности учета колебаний погодно-климатических условий в деле территориального размещения культур, лесного хозяйства, строительства, транспорта и т. д., но мы упомянем лишь об одном еще из области строительства, имевшем место в действительности. Известно, что до 60-х годов текущего столетия уровень Каспия заметно снижался, причем в мелководной ее части в Гурьевской области берег уходил ежегодно на многие десятки метров. В связи с этим стоял вопрос о передвижении предприятий по заготовке каркасно-камышитовых плит ближе к морю, куда уходила зона произрастания камыша. Однако в соответствии с прогнозами это мероприятие не было выполнено. В действительности уровень северо-восточной части Каспия в 60-х годах стал прибавляться, и даже на старом месте указанные предприятия стали временами затопляться.

Постановка задачи исследования атмосферной циркуляции и на этой основе разработка надежных методов сверхдолгосрочных прогнозов климата и осуществления объективного мониторинга его вполне очевидна. Важность решения этой проблемы

подчеркнута рядом международных симпозиумов и научных организаций. Об этом можно судить и по комплексным целевым программам ВМО, под эгидой которой уже осуществлен ряд специализированных международных климатических программ (ПГЭП, ЗАМЭКС, АЛЬПЭКС, МОНЭКС).

Проблема климата не только в научном, но и в практическом отношении становится проблемой номер один прежде всего в связи с нарастающими масштабами антропогенных воздействий. Поэтому разработка методов предсказания изменений климата на годы, десятилетия и даже столетия сейчас и впредь приобретают первостепенную важность. Каким будет климат «завтра», интересует всех. Климат — это прежде всего значительная доля ресурсов любой страны. Традиционное мнение о том, что колебания климата влияют только на продуктивность сельскохозяйственного производства, сейчас уже сильно устарело. С климатом тесно связано не только сельское хозяйство, но и промышленность, транспорт и все хозяйство.

Сейчас все чаще и чаще понятия «экономика» и «климат» встречаются рядом, ибо производство энергии и продовольствия в зависимости от колебания климата либо имеет внушительную выгоду, либо убытки. Так, по расчетам американских климатологов, при понижении температуры воздуха всего лишь на один градус затраты только на теплую одежду и отопительные мероприятия могут составить 10 млрд. долларов. Что же касается общего ущерба от такого понижения температуры, то оно обойдется в 50 млрд. долларов.

Для сельскохозяйственных культур понижение температуры воздуха на один градус влечет за собой укорочение вегетационного периода на две недели, что означает большие недоборы урожая.

Следовательно, изменения климата диктуют определенный режим хозяйствования, стратегию развития экономики на долгие годы.

Насколько сильно отражаются долговременные колебания климата на экономике целых стран, убедительно показали фактические явления в текущем столетии. С потеплением климата в первой половине столетия произошло повышение температуры океанических вод, особенно заметное в северных широтах, что в свою очередь создало условия для распространения далеко на север нереста и откорма средиземноморских пород рыб. Даже в Баренцевом море предметом промысловой ловли стали сельдь, треска, пикша. Аналогичные явления отмечались и в дальневосточных водах, где гораздо севернее обычного стали отлавливать незнакомую для новых мест салаку. Однако северным странам не так уж долго пришлось ловить богатую и дешевую рыбу близко от своих берегов.

В результате похолодания, начавшегося в шестидесятые годы, и связанного с ним увеличения ледовитости в северных морях

последние обеднели рыбой. Снова изменились места нереста и откорма рыбных стай.

Таким образом, в результате похолодания многие страны были вынуждены заняться активными поисками других районов и других объектов рыболовства. Рыболовные флотилии стали перемещаться к водам южного полушария. Предметами лова стали новые сорта рыб (хек, нототения, тунец и др.). Однако новые (далекие) места рыбных промыслов не обошлись без обработки рыб на месте, новых средств лова и в конечном итоге удорожания продукции.

Общеизвестны сильные бедствия, постигшие ряд стран африканского и других континентов в результате суровых и длительных засух, связанных с колебаниями климата в последние десятилетия. Это тоже дорогая плата за изменения климата.

Приведенные примеры показывают, насколько важно располагать расчетами о характере ожидаемых колебаний климата. И надо отметить, что успешные попытки предвидения колебаний климата в промежутках до 30—40 лет уже имели место. Например, о том, что в конце шестидесятых годов текущего столетия произойдет довольно скачкообразное нарушение глобального восходящего тренда температуры воздуха похолоданием продолжительностью примерно около десяти лет, после которого вновь начнется повышение, своевременно отмечалось в литературе несколькими авторами [4, 5, 10, 13, 45].

Наряду с этим приходится констатировать, что изменения климата настолько сложны, что сегодняшний уровень наших знаний не позволяет уверенно судить ни о достоверности оценок колебания текущего климата, ни тем более о предстоящих его колебаниях. Скудные знания о факторах, влияющих на общую циркуляцию атмосферы, и о закономерностях развития самой циркуляции вынуждают многих исследователей воздерживаться от предположений насчет будущего климата. Этим объясняются попытки заниматься вариантами слепого экстраполирования. Однако, как отмечают Ван Лун и Вильямс, различные воздействия на атмосферную циркуляцию настолько усложняют ее развитие и влияние на климат, что экстраполяция климатических трендов делается сомнительным занятием [78].

Вывод из вышесказанного один — необходимо дальнейшее продолжение теоретических и физико-статистических исследований атмосферной циркуляции, продолжение совершенствования их методов и методологии. Пора прекратить объяснения неразрешенных вопросов по циркуляции и климату лишь недостаточностью наблюдений и соответствующих вычислительных средств. Нужны, прежде всего, новые идеи и серьезные теоретические исследования, нужно физическое понимание глобальных атмосферных процессов в их конкретных структурных механизмах.

В данной работе ставится задача прежде всего рассмотреть многолетние колебания еще мало исследованных глобальных параметров атмосферной циркуляции и их связей как между собой,

так и с некоторыми внешними факторами, что, как нам кажется, поможет уточнить понимание многолетней изменчивости и трендовых изменений климата. Для этого авторы, кроме метеорологических рядов располагали данными по центрам действия атмосферы и по макротипам циркуляции (согласно классификации Вангенгейма и Гирса) за период с 1891 г., а по параметрам планетарной высотной фронтальной зоны и блокирующим антициклонам с 1949 г.

Анализ многолетних колебаний упомянутых объектов атмосферной циркуляции осуществлялся путем выявления следующего ряда показателей:

- 1) построения многолетних кривых годовых и месячных значений параметров;

- 2) построения многолетних кривых числа случаев за год с экстремальными значениями параметров;

- 3) расчета трендов различной степени и выявления их вклада в общую дисперсию;

- 4) расчета автокорреляционных функций и построения интегрально-разностных кривых;

- 5) при выявлении соотношений между различными параметрами циркуляции, а также между циркуляционными параметрами и внешними факторами (солнечной активностью, величиной радиуса — вектора мгновенного полюса вращения Земли и теплообменом между Северной Атлантикой и арктическим бассейном) вычислялись взаимокорреляционные функции и уравнения регрессии.

Сопряженность между циркуляционными параметрами и некоторыми гидрометеорологическими элементами устанавливалась в основном путем вычисления коэффициентов корреляции. При этом оценка степени связи между ними осуществлялась и по всему ряду и по выборкам, полученным после исключения коллигационным способом из общего ряда определенного интервала значений сопоставляемых элементов, который характеризует случайные соотношения. Подробно о коллигационном способе фильтрации исходных рядов будет изложено в гл. 8.

Мнение о том, что главным и непосредственным фактором колебаний погоды и климата является атмосферная циркуляция, стало доминирующим. Поэтому успехи в диагнозе и прогнозе погоды и климата связываются с успехами в познании закономерностей общей циркуляции атмосферы, в свою очередь зависящей от основных источников энергии солнечной радиации и подстилающей поверхности. В последнее время, кроме того, особое внимание обращают на себя еще такие факторы, как антропогенные воздействия на атмосферную оболочку Земли (вследствие ее загрязнения и поступления энергии от тепловых источников), а также эпизодическая активизация вулканических выбросов и космических воздействий.

Эмпирические и теоретические исследования показывают, что кроме упомянутых факторов в долговременном плане на режим

атмосферных процессов определенное влияние оказывают и гео-динамические явления [9, 12, 23, 53, 58].

Неудивительно поэтому, что общая циркуляция атмосферы является очень сложным и многоструктурным механизмом. Например, во временном аспекте приходится иметь дело с явлениями чрезвычайно широкого диапазона — от короткопериодических локальных систем до многомесячных глобальных структур так называемых циркуляционных эпох. Все они находятся в очень сложных взаимосвязях. Поэтому выбор для той или иной цели комплекса и масштаба циркуляционных механизмов, а также соответствующей детализации их и точности — задача не из простых. Например, для краткосрочного прогноза (на 1—3 сут) в основном учитываются процессы цикло- и антициклогенеза, регулируемые механизмами длинных волн и блокирования, для долгосрочных прогнозов (на месяц и сезон) — явления ритмичности и свойства преобразования естественных синоптических сезонов, а для прогнозов на группу лет — циркуляционные эпохи и их стадии развития [10, 36, 37, 62].

Выявлению этих закономерностей предшествовали весьма обширные и многочисленные эмпирические и теоретические исследования целого ряда звеньев общей циркуляции атмосферы и прежде всего пассатной и муссонной циркуляции, центров действия атмосферы [1, 3, 14, 63, 66] различных систем (типов) макросиноптических положений [6, 8, 42, 63, 65, 75, 81, 84] индексов интенсивности циркуляции [40] и т. д.

Ряд работ был посвящен исследованиям атмосферной циркуляции полярных областей и структуры барических полей до границ тропосферы [51, 59, 61, 69].

Определенное внимание обращалось на эмпирические связи между атмосферно-циркуляционными условиями, с одной стороны, и космическими и нутационными воздействиями, с другой, как в их непосредственном проявлении, так и во влиянии на режим циркуляции через океанические течения и полярные льды [50, 53, 65].

Ввиду усиливающейся взаимосвязи между человеческой деятельностью и окружающей средой (прежде всего с климатом) в последние 30—40 лет изучение атмосферной циркуляции приняло глобальные масштабы. Этому способствовал общий научно-технический прогресс (в частности, применение электронно-вычислительной техники и автоматизации наблюдений), значительное расширение пунктов наблюдений (в том числе и над большими акваториями океанов и полярных областей), а также получение непрерывной информации от искусственных спутников земли и управляемых космических кораблей.

Безусловно, решающим фактором расширения и интенсификации фронта научных исследований по проблеме погоды и климата стала Всемирная метеорологическая организация (ВМО) при активном участии многих стран, которая организовала и выполнила

ряд программ в системе ПИГАП (Программы исследований глобальных атмосферных процессов).

Поскольку в дальнейших разделах монографии речь будет идти только о некоторых объектах атмосферной циркуляции, представляет интерес перечислить здесь основные итоги исследований, выполненных в течение последних десятилетий, отечественными и зарубежными учеными:

1. На основе почти векового ряда наблюдений выявлен многолетний режим и динамика центров действия атмосферы, их сопряженность и влияние на макропогоду отдельных районов земного шара.

2. Выполнены многие типизации (в том числе и объективные) макроциркуляционных процессов для обоих полушарий земли, выявлена многолетняя повторяемость их и сопряженность с погодно-климатическими изменениями.

3. Установлено наличие длительных эпох с однородной структурой типов циркуляции и связанные с ними направленные изменения климата отдельных регионов земного шара. Особенно эффективными оказались эпохи циркуляции, выявленные по типизациям Б. Л. Дзердзеевского, а также Г. Я. Вангенгейма и А. А. Гирса. В тесной связи с этими эпохами находятся отдельные черты многолетних колебаний климата, стока рек уровней водоемов, ледовитость Арктики и т. д.

4. Проведена числовая индексация интенсивности атмосферной циркуляции в глобальном масштабе, для отдельных зон и секторов полушария. Это, прежде всего, индексы циркуляции Россби, Блиновой, Каца, на основе которых выявлены многие особенности многолетнего хода интенсивности циркуляции ее составляющих (зональной и меридиональной). Широкое применение эти индексы нашли в долгосрочных прогнозах.

5. На основе анализа изменений индексов циркуляции выявлены и изучены длинные волны в тропосфере, циклы индексов и проведены аналитически обоснования динамики длинных волн (их направления и скорости перемещения). Длинные волны, как и индексы, в последнее время стали применяться в качестве предсказателей в ряде методов долгосрочного прогнозирования как за рубежом, так и в СССР.

6. Выполнены исследования внутритропической зоны конвергенции, в результате которых выявлены ее сезонные колебания и ее связь с процессами во внетропических широтах.

7. Выявлена двухлетняя цикличность направленности воздушных потоков в экваториальной стратосфере и отражение этой цикличности в циркуляции умеренных широт. Хотя нет единого мнения в том, что является причиной и что следствием (цикличности на экваторе и в умеренных широтах), но сам факт двухлетней цикличности представляет несомненно познавательный и практический интерес.

8. Изучение барической структуры тропосферы и нижней стратосферы над полярными областями позволило уточнить сезонные колебания, и в частности сроков формирования летнего стратосферного антициклона. Выявлены географические изменения местоположения центра как летнего стратосферного антициклона, так и зимней, так называемой циркумполярной депрессии. С динамикой этого полярного центра (полюсом циркуляции) ряд авторов связывают аномалии погоды в средних широтах.

9. Выявлена энергетика как общей циркуляции в целом, так и отдельных ее звеньев. Показано, что значительная часть энергии сосредоточена в сравнительно узких зонах (фронтальных зонах). Так, например, в планетарной высотной фронтальной зоне (ПВФЗ), средняя ширина которой около 1000 км, сосредоточено 60% общего запаса энергии. Наиболее активные в энергетическом отношении «струйные» течения наблюдаются именно в ПВФЗ.

10. Исследована энергетика и причины формирования тропических циклонов. Выявленные закономерности динамики тайфунов послужили основой для разработки физико-статистических методов их прогнозирования.

11. Рассчитаны данные о тепловом балансе как в отдельности для подстилающей поверхности и атмосферы, так и в целом для системы земля—атмосфера, что дало возможность приступить к математическому моделированию глобальных схем циркуляции. Последнее является также перспективной основой для моделирования в целом климатической системы — подстилающая поверхность — атмосфера.

Из вышеприведенного краткого перечня выполненных в мировом масштабе исследований и полученных результатов по общей циркуляции атмосферы видно, как много уже сделано по этой проблеме. Тем не менее сегодня еще нельзя сказать, что природа общей циркуляции атмосферы и обусловленные ею колебания климата достаточно ясны. По меткому замечанию О. А. Дроздова, недостаточно тесные связи, выявленные между колебаниями циркуляционных параметров и элементов климата, вероятно, свидетельствуют о том, что мы еще не знаем о наиболее информационных характеристиках циркуляционных структур. Можно даже сказать, что единого взгляда на причины происходящих изменений климата еще не существует. На возможность полного объяснения и предвидения климатических колебаний существуют весьма различные взгляды. Это обусловлено выдвижением в качестве причин различных возбуждающих климатические изменения факторов, вплоть до полного отрицания возможности климатических прогнозов.

Ряд авторов (Ван Лун и Вильямс, Кларк, Дуванин и др.) объясняют многолетние тренды гидрометеорологических элементов проявлением автоколебательных явлений в системе земля—атмосфера. Другие (Старр, Оорт и др.) придерживаются концепции о главенстве астрономических факторов, а именно колебаний спектрального состава солнечной радиации. Шурманс, Шнайдер,

Максимов, Смирнов, Саруханян, Байдал и др. отмечают существенное влияние на атмосферную циркуляцию и климат солнечной активности. Последние четыре автора отмечают также, что определенное влияние на циркуляцию атмосферы и морские течения, а значит и на климат, оказывают нутационные силы, обусловленные непостоянством местоположения мгновенного полюса вращения Земли. Наконец, особенности колебаний климата некоторые ученые (Шнайдер, Масс, Будыко и др.) связывают с прозрачностью атмосферы, подверженной влиянию вулканической пыли и загазованности.

Однако несмотря на множество факторов, влияющих на климат, ведущим и непосредственным из них является общая циркуляция атмосферы. Поэтому климатические колебания в первую очередь следует сопоставлять с многолетними колебаниями циркуляции. Это тем более справедливо, что колебания атмосферно-циркуляционных структур и их статистические параметры в том или ином долговременном промежутке отражают некоторые внешние влияния. Отсюда необходимость дальнейших широких исследований характеристик как общей циркуляции в целом, так и отдельных циркуляционных объектов и в первую очередь таких, как центры действия атмосферы, макротипы циркуляции, планетарная высотная фронтальная зона, полюс циркуляции и блокирующие системы. Новым результатом исследования этих объектов и посвящена данная монография. В ней сделана также попытка выяснить характер сопряженности между циркуляционными и гидрометеорологическими параметрами.

ГЛАВА 1

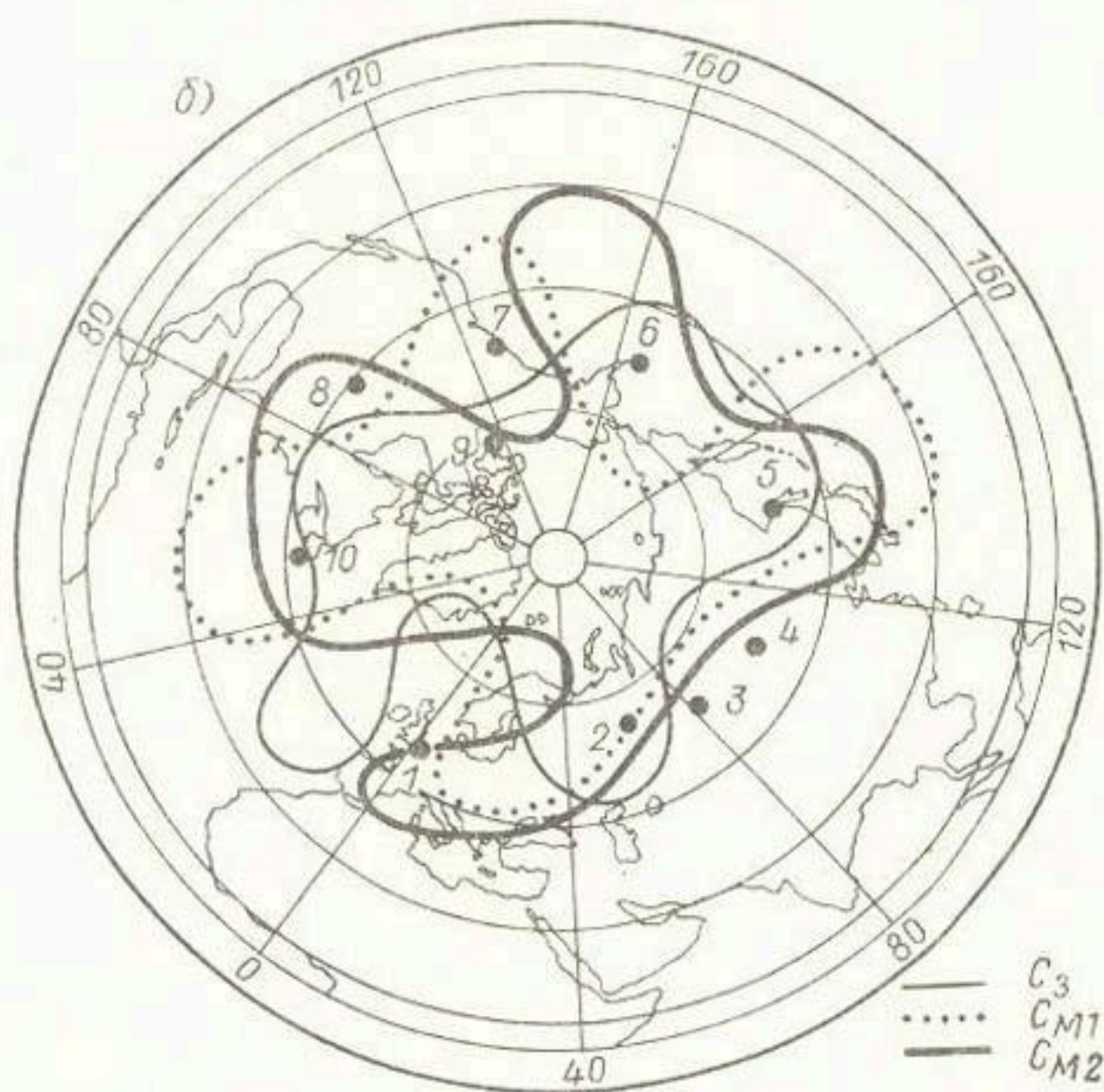
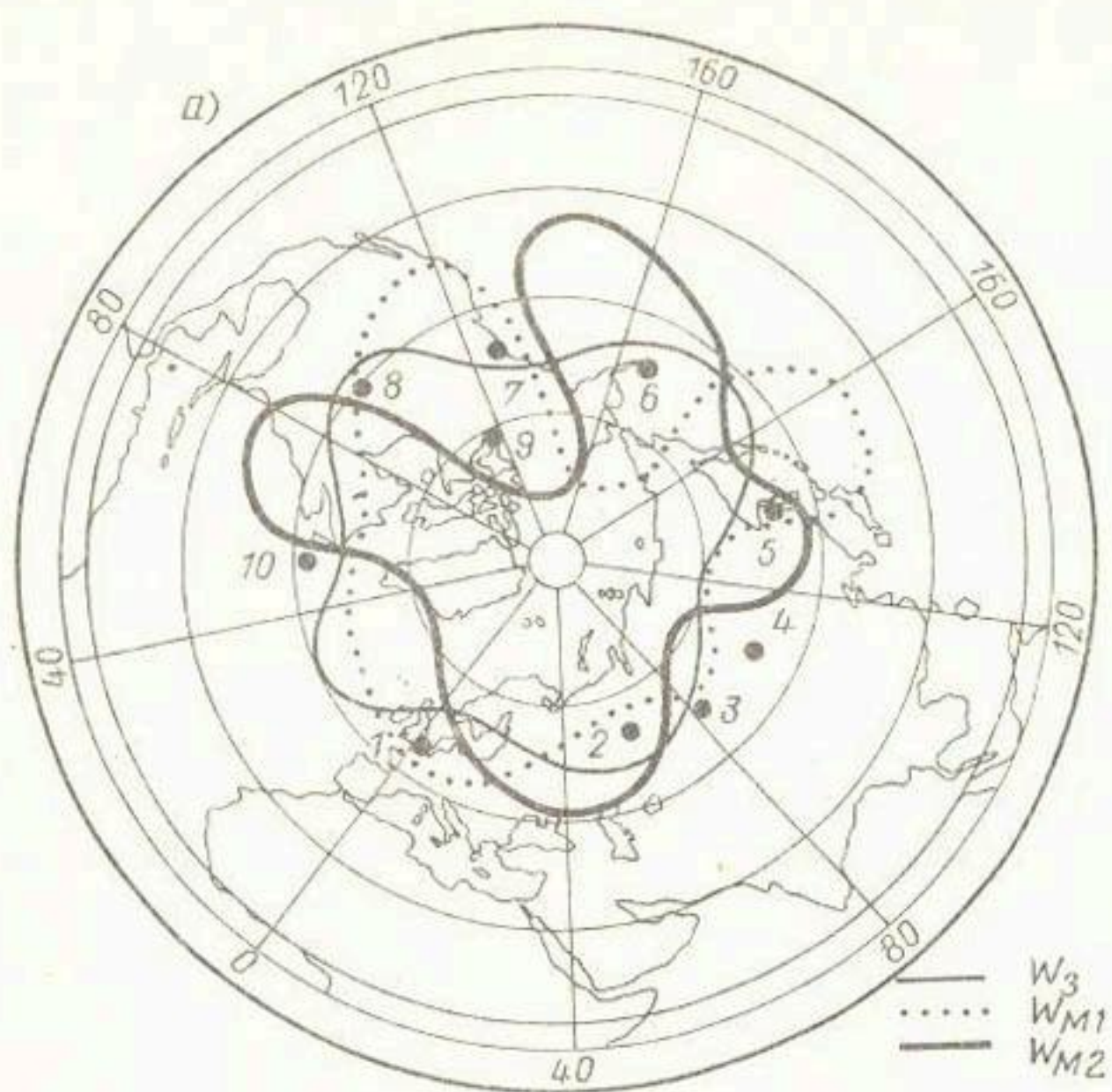
МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ТИПОВ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

1.1. Предварительные замечания

Абстрактные схемы общей циркуляции атмосферы, безусловно, сыграли определенную роль в познании самых крупных черт циркуляции атмосферы в целом. Однако в целях отображения сезонных колебаний и особенностей циркуляции над различными районами подстилающей поверхности одних только классических схем далеко не достаточно. Этим объясняется тот факт, что еще с конца прошлого столетия предпринимались попытки расчленить общую циркуляцию атмосферы в пространственно-временном отношении на различные макроположения.

За время около столетия накопилось большое количество классификаций атмосферных процессов. Даже их простое перечисление заняло бы большое место в прилагаемом списке литературы. Поэтому мы упомянем лишь те классификации, которые нашли широкое применение в анализе колебаний климата и в долгосрочном прогнозировании. Это прежде всего классификации по Вангенгейму—Гирсу [8, 10], по Дзердзеевскому [42] и по Кацу, которые характеризуют процессы атмосферной циркуляции на северном полушарии. Первая из них отображает три формы общей циркуляции (W, C, E), характеризующие развитие зональной циркуляции (тип W) и определенные состояния длинных волн (типы C и E), которые приведены схематически на рис. 1.

Типы циркуляции по Дзердзеевскому представляют собой различные масштабы и географическую локализацию междуширотных воздушных потоков. Наконец, типы циркуляции по классификации Каца, по существу, представляют собой некоторую детализацию типов Вангенгейма—Гирса. Более детализировано классификация Вангенгейма—Гирса представлена в работах Байдала [8—11], в которых рассматриваются три типа (формы) циркуляции по семи разновидностям (Ш — 1, Ш — 2, Ш — 3, C — 1, C — 2, E — 1, E — 2). Эти разновидности трех форм циркуляции диагностируются на основе объективных критериев (числового и пространственного характера). Так, широтные разновидности вы-



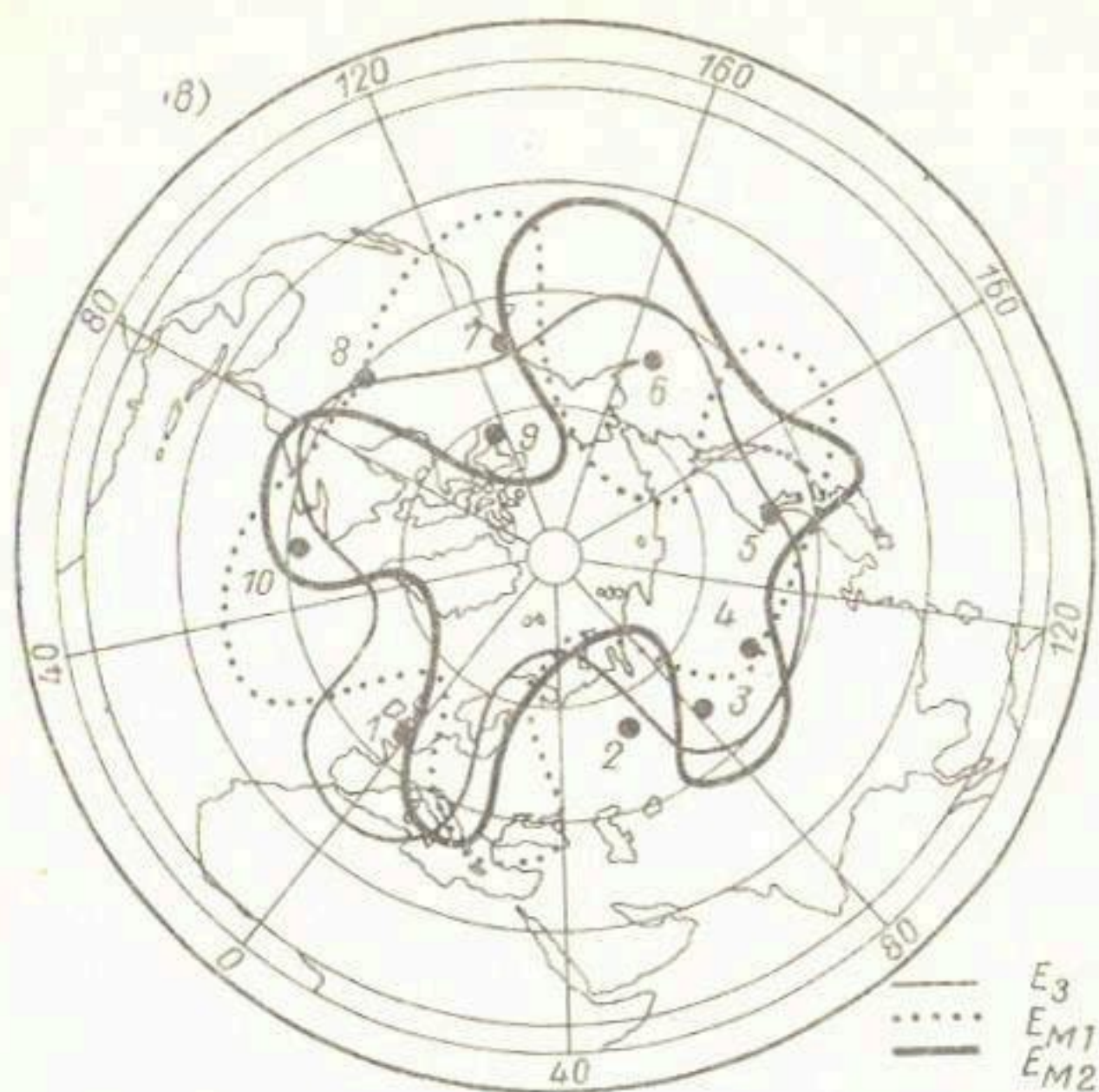


Рис. 1. Схемы географического положения основных высотных (AT_{500}) гребней и ложбин при разновидностях форм W (а), С (б), Е (в) циркуляции в северном полушарии (1—10 — реперные точки)

деляются из меридиональных на основе общего индекса $I = \frac{I_M}{I_3}$ по Кацу. Типы С и Е разграничиваются определенными меридианами расположения основных гребней и ложбин в барическом поле. Поэтому эти типы и их разновидности на численной основе могут определяться с помощью ЭВМ, что полностью объективизирует процесс расчленения атмосферной циркуляции и дает возможность изучать многолетние колебания механизированным способом.

Ввиду использования карт барической топографии, к сожалению, каталог такой типизации начинается лишь с 1949 г. [6]. Этим объясняется то обстоятельство, что для исследования многолетних колебаний трех форм циркуляции мы вынуждены пользоваться каталогом классификации Вангенгейма—Гирса, начинающимся с 1981 г. Лишь в отдельных очевидных случаях с 1949 г. мы вынуждены в этом каталоге делать коррективы к повторяемости типов циркуляции за отдельные месяцы. Годовые числа дней с тремя типами циркуляции по каталогу Вангенгейма—Гирса и нашему коррелируют между собой с коэффициентом около 0,90.

Формы атмосферной циркуляции и их основные характеристики в северном полушарии подробно изложены в работах Г. Я. Ван-

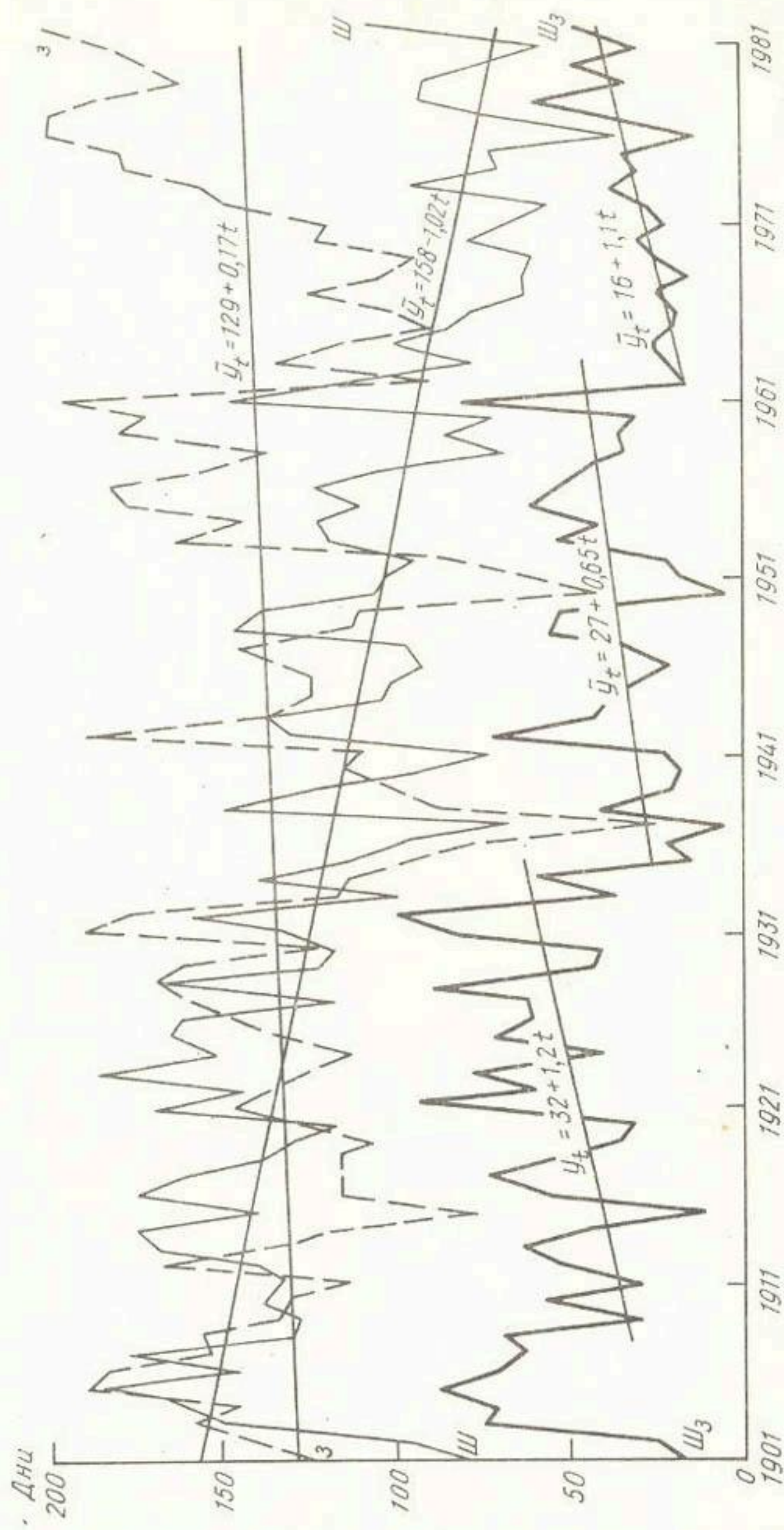


Рис. 2. Годовое число дней с зональной циркуляцией в тихоокеано-американском (3), в атлантико-евразийском (Ш) секторах и одновременно на полушарии (Ш₃)

генгейма, А. А. Гирса и М. Х. Байдала [6—11]. Поэтому нет необходимости останавливаться на них в данной монографии. Предметом анализа в этой главе в основном являются многолетние колебания повторяемости форм циркуляции как в целом на полушарии, так и в двух его секторах (в атлантико-евразийском и тихоокеано-американском) в отдельности.

1.2. Вековой ход основных форм циркуляции

На рис. 2—5 приведены кривые многолетнего хода годовой повторяемости (в днях) отдельных форм циркуляции и их сочетаний на полушарии и в отдельных его секторах за 80 лет текущего столетия. Рассматривая их, можно прийти к нескольким весьма важным выводам. Во-первых, о том, что повторяемость зональной

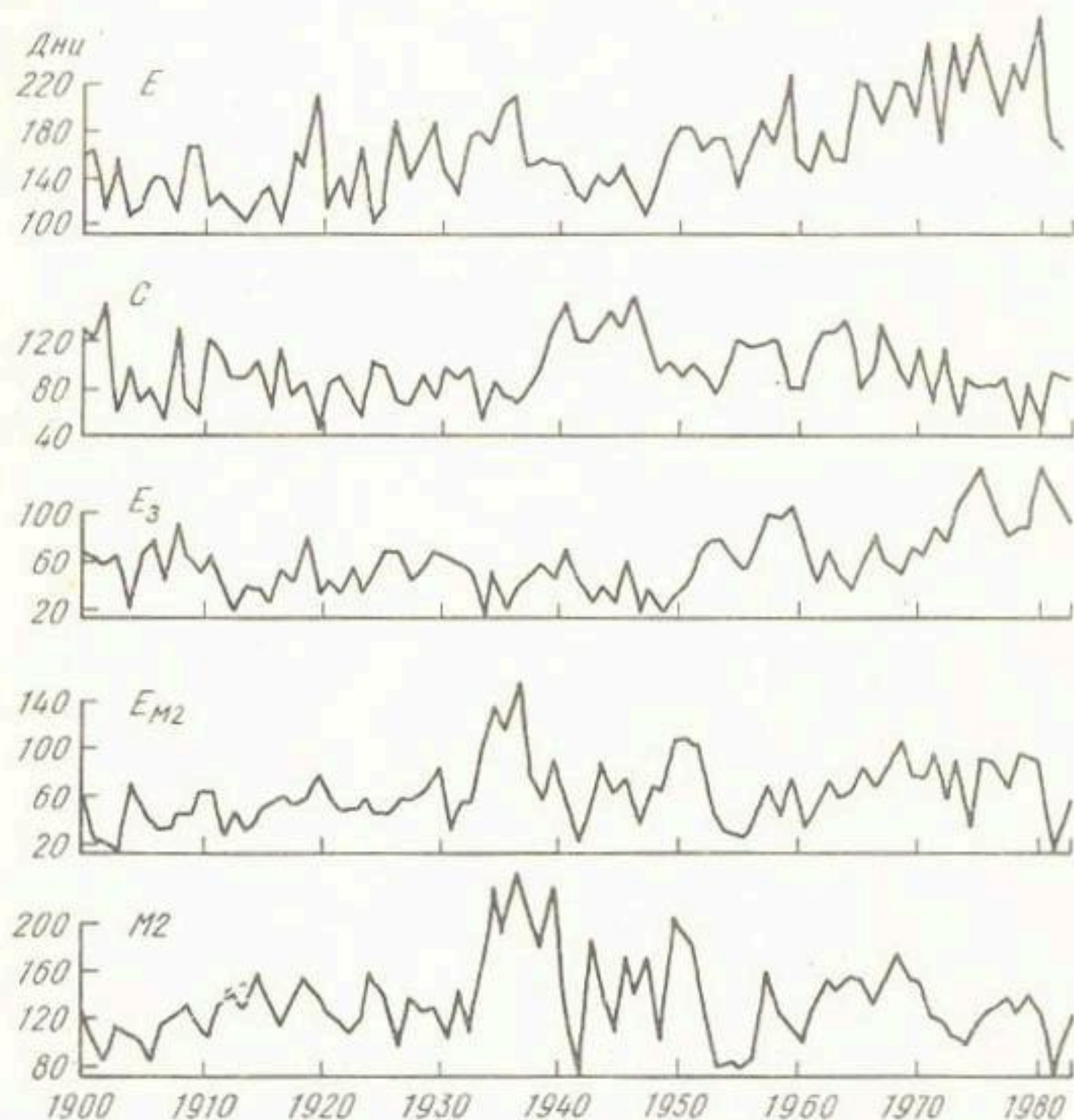


Рис. 3. Многолетний ход числа дней за год с различными типами циркуляции над Евразией и северным полушарием

циркуляции, наблюдающейся одновременно на всем северном полушарии (W_3), имеет нисходящий общий тренд, во-вторых, повторяемость этой формы циркуляции отдельно в атлантико-евразийском секторе полушария также характеризуется нисходящим трендом, но более значительного наклона, в-третьих, что в тихоокеано-американском секторе повторяемость зональной циркуля-

ции не только не уменьшается, но, наоборот, даже несколько увеличивается (рис. 2).

В тихоокеано-американском секторе полушария увеличение повторяемости зональной (3) циркуляции до начала тридцатых годов происходило в основном за счет уменьшения повторяемости типа М1 циркуляции, т. е. океанических гребней, а с начала тридцатых годов — за счет уменьшения повторяемости типа М2, т. е. континентальных гребней (рис. 3). Что касается уменьшения повторяемости зональной циркуляции (обозначаемой нами буквой Ш) в атлантико-евразийском секторе, то оно до тридцатых годов и после происходило в основном за счет учащения повторяемости меридиональной формы Е-циркуляции, т. е. высотных гребней над Восточной Европой. Особенно четко оно видно за последние 30 лет (верхняя кривая на рис. 3).

Рисунок 2 свидетельствует еще об одном важном обстоятельстве, заключающемся в том, что уменьшение повторяемости широтной циркуляции одновременно на всем полушарии ($Ш_3$) происходит не равномерно, а как бы ступеньками. Лет 20—25 она увеличивается, после чего в течение 3—4 лет резко падает, причем каждый такой цикл начинается на более низком уровне (рис. 2). Пересечение линии нисходящего тренда значениями повторяемости циркуляции $Ш_3$ приведено на рис. 4, подтверждающем вышесказанное.



Рис. 4. Многолетний ход сглаженных по скользящим пятилетиям значений аномалии годового числа дней с циркуляцией W_3 в отклонениях от тренда

Ступенчатый характер процесса ослабления зонального переноса над Евразией ранее отмечался автором в [4, 12, 13, 18]. Элементы эволюционного и скачкообразного характера уменьшения повторяемости широтной циркуляции над Евразией отдельно показаны на рис. 5. Как отмечается в работе Кальницкого: «Во временном ряду отдельных индексов циркуляции наблюдается тенденция к аналогии с моделью ступенчатой функции для изменения климата». Исследуя северо-атлантическую атмосферную циркуляцию с 1952 по 1977 г., Родевальд констатирует, что в пятилетии

1952—1956 гг. здесь имело место усиление западного переноса, а затем наступило ослабление, наиболее сильное в пятилетии 1962—1966 гг. Однако, указывает далее Родевальд, уже в 70-е годы наступило резкое возрастание западного переноса до нового максимума в пятилетии 1972—1976 гг., что подтверждается кривыми на рис. 2 и 4.

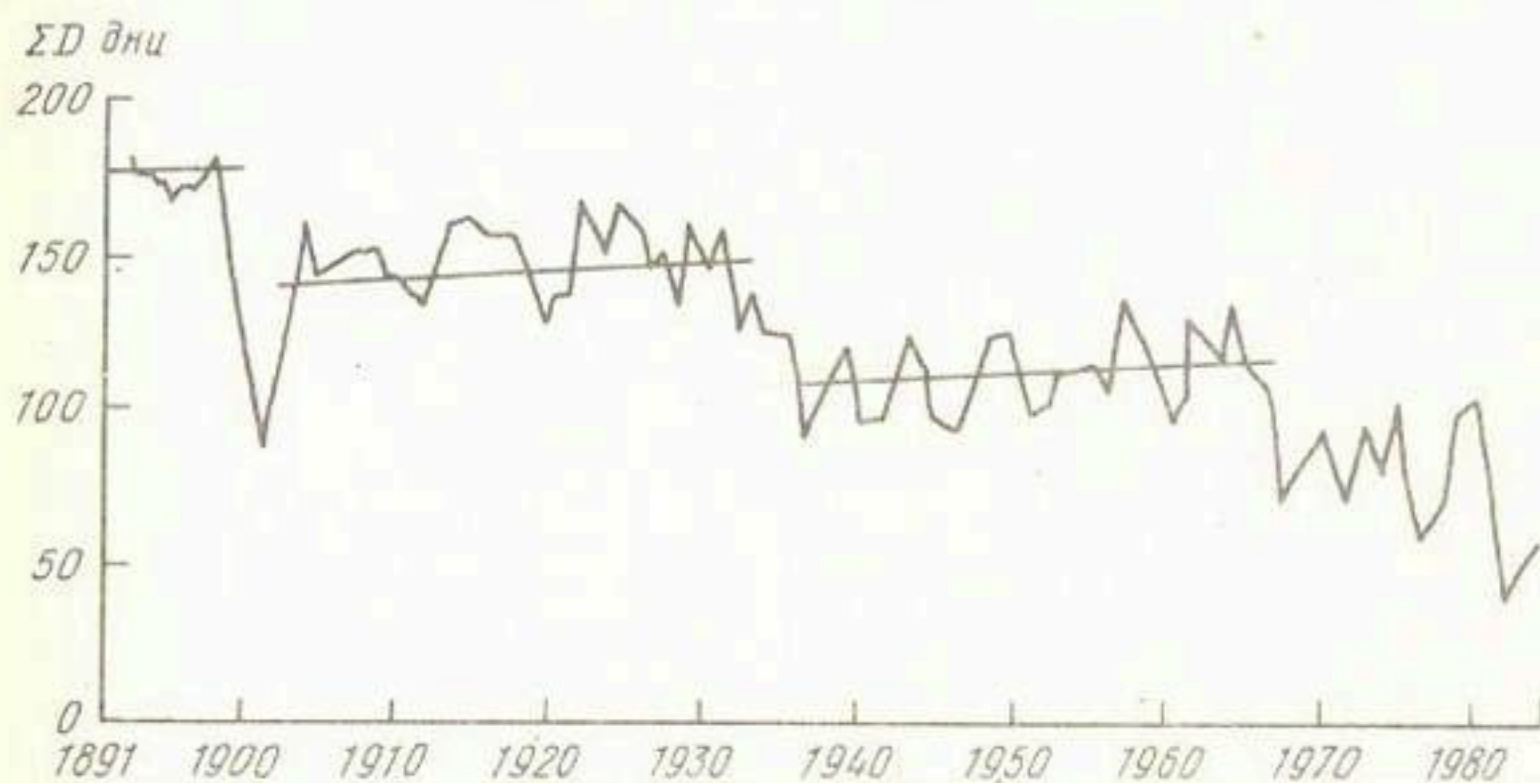


Рис. 5. Многолетний ход годового количества дней с широтной циркуляцией над Евразией по скользящим трехлетиям

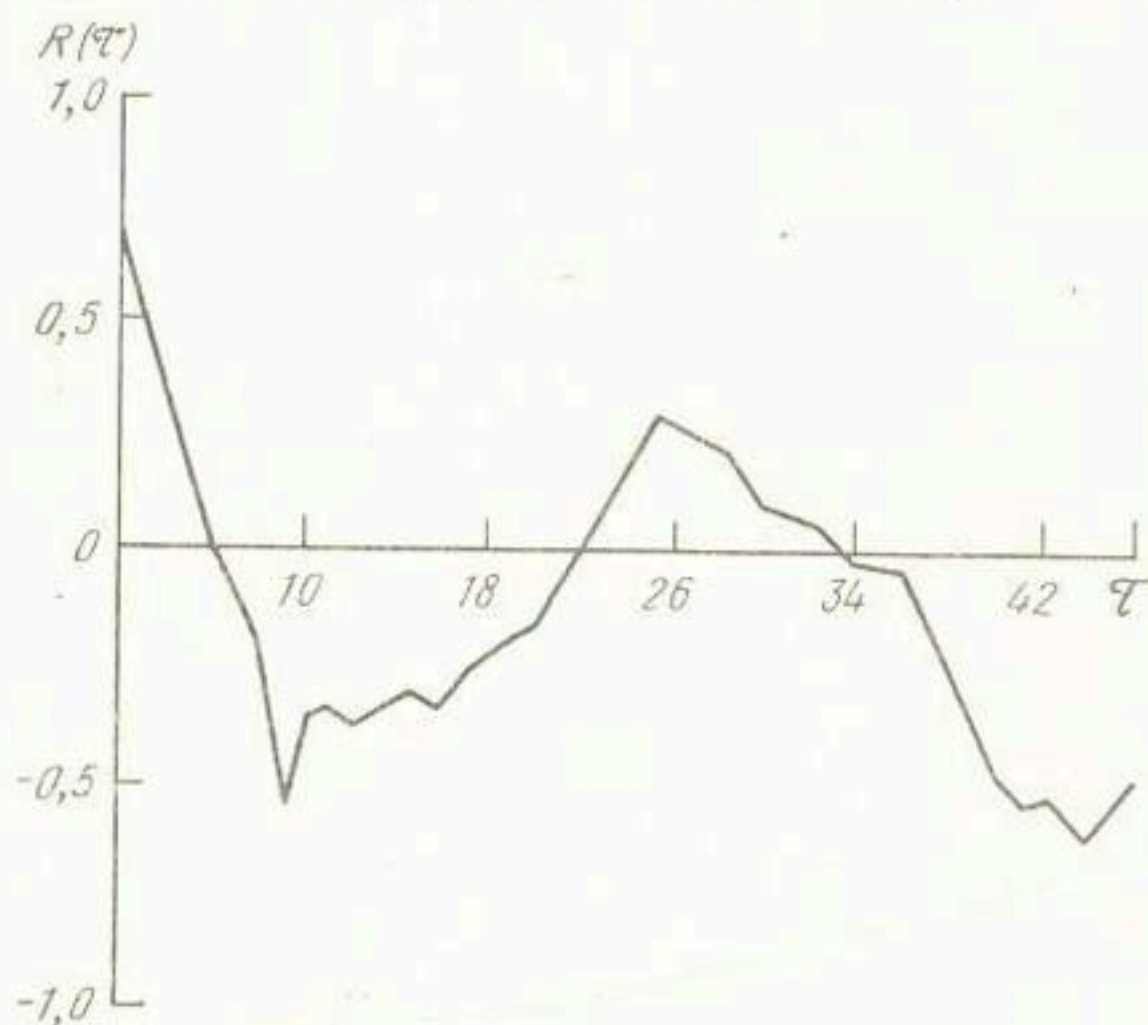


Рис. 6. Автокорреляция годового числа дней с планетарной зональной циркуляцией (W_3)

В [20] на основе вышеизложенных черт развития широтной циркуляции по циклам было указано, что начиная с семидесятых годов широтная циркуляция, не будучи господствующей, постепенно будет учащаться и станет основной в эпоху 2001—2013 гг. Действительно, как будет показано в главах 2 и 3, тренд широтной циркуляции в последнее десятилетие положительный.

О циклическом характере многолетнего хода повторяемости широтной циркуляции на полушарии ($Ш_3$) свидетельствует также автокоррелограмма, приведенная на рис. 6. Коэффициент автокорреляции для сдвига в 25—27 лет статистически значим даже для однопроцентного уровня.

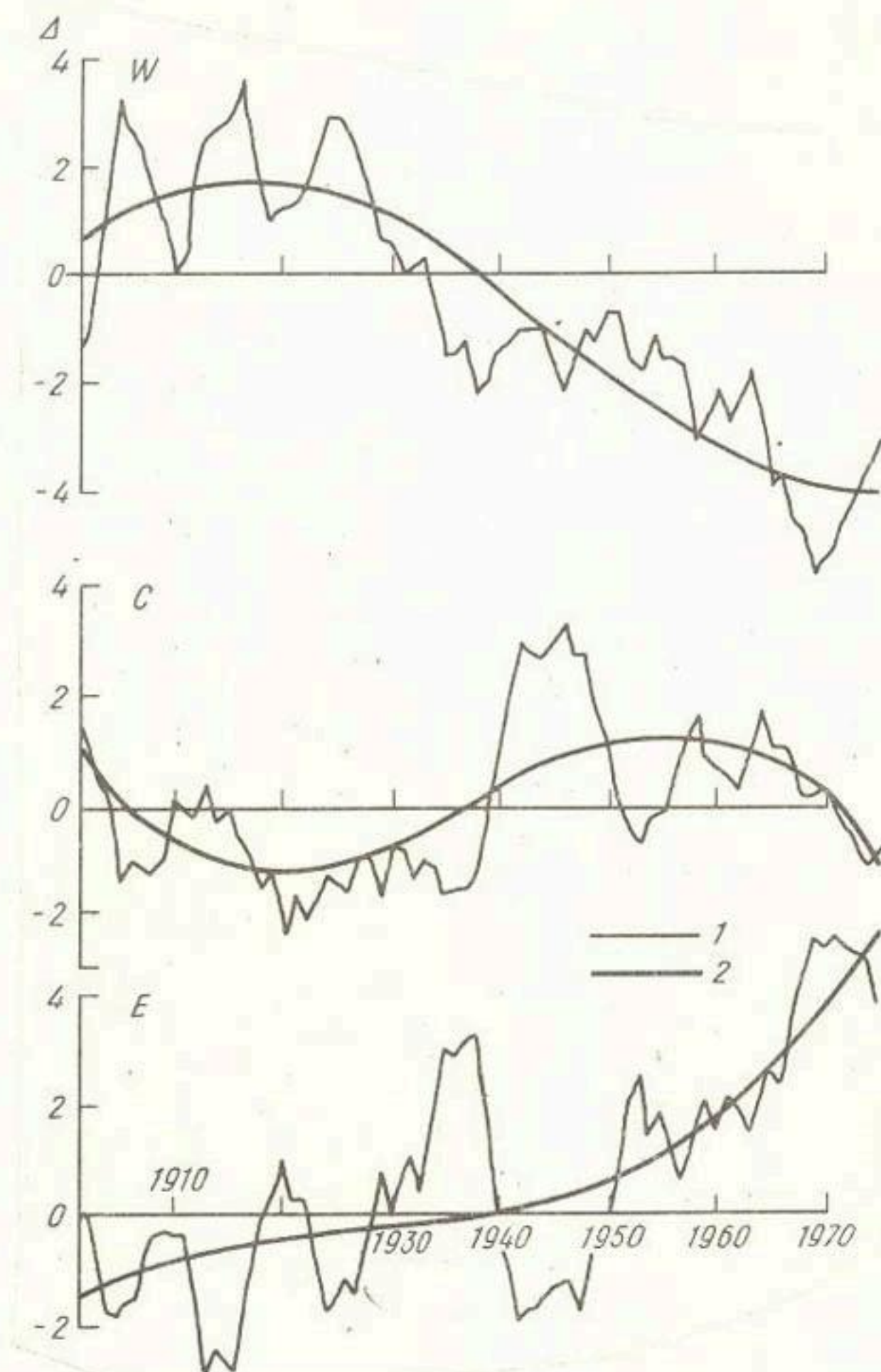


Рис. 7. Вековой ход аномалий повторяемости пяти-летних скользящих значений форм циркуляции W, C, E (1) и тренд третьей степени (2)

Вековой ход повторяемости трех форм циркуляции над атлантико-евразийским сектором четко виден также в аномалиях (от нормы 1901—1970 гг.) на рис. 7. Весь период (70 с лишним лет) можно разделить по ходу аномалий на две части. Границы между ними по обоим видам кривых и по всем трем формам циркуляции умещаются в тридцатых годах. Отметим кратко лишь главные

особенности этих кривых. Ход аномалий широтной формы циркуляции (W) почти противоположен ходу для обеих других форм. Наиболее четкий обратный (почти зеркальный) ход до тридцатых годов соблюдался между формой W и С, а после — между W и Е.

Кроме эпохи 1940—1950 гг., меридиональная циркуляция формы характеризовалась восходящим трендом третьего порядка. В восьмидесятих годах текущего столетия, как видно на рис. 3, число дней с такой циркуляцией составляло более 220 дней, т. е. около 60% и более дней за год. Судя по ходу кривых векового хода циркуляции, этот тип в ближайшие десятилетия, по-видимому, будет оставаться доминирующим наряду с возрастанием роли широтной формы. Более короткопериодические колебания циркуляционных форм будут рассматриваться в последующих главах.

1.3. Эпохи атмосферной циркуляции

1.3.1. Эпохи циркуляции, выделенные по годовой повторяемости

Как известно, одним из важнейших факторов естественных колебаний климата является атмосферная циркуляция на планете. Не отрицая влияния других факторов на климат, многие ученые [54, 70] связывают его основные колебания с колебаниями в режиме атмосферной циркуляции. Так, в [25] В. А. Бугаев отмечает, что климат — это в конце концов погодный режим механизмов атмосферной циркуляции. Динамическая климатология, по его мнению, — это климатология основных объектов атмосферной циркуляции. Английский ученый Сатклифф, также подчеркивая необходимость учитывать в понятии о климате общую циркуляцию атмосферы, считает, что общая циркуляция атмосферы и теория климата — одно и то же.

В последнее время в связи с широким внедрением в метеорологию статистических методов анализа возникло и укрепилось иное определение климата, которое трактуется как ансамбль статистических характеристик многолетних рядов метеорологических элементов. Однако такое определение не исключает того факта, что многолетние изменения структуры ансамбля статистических характеристик связаны в первую очередь с изменениями в режиме атмосферной циркуляции.

Вопрос о колебаниях атмосферной циркуляции рассматривался во многих работах отечественных и зарубежных авторов. При этом одни из них делали упор на использование различных индексов, характеризующих интенсивность западно-восточного переноса в определенных широтных зонах на полушарии, другие — на разности давления между центрами действия атмосферы (ЦДА) или определенными координатами [30]. Такие подходы дали возможность оценить некоторые черты в развитии атмосферных процессов в глобальном масштабе. Однако ряд важных особенностей пространственно-временной структуры циркуляции они не в состоянии

четко отразить и даже погашают их. Эти факты отмечались в работе Г. Я. Вангенгейма [30]. В связи с изложенным школа Вангенгейма—Гирса, сторонником которой является и автор, считает целесообразным способом изучения многолетних колебаний общей циркуляции атмосферы изучение ее конкретных форм в их непрерывном формировании и преобразовании.

В [28] Г. Я. Вангенгеймом предпринята попытка выделить в непрерывном развитии трех форм циркуляции над атлантико-евразийским сектором многолетние периоды (эпохи), базируясь на годовых повторяемости (в днях) трех форм циркуляции. Каждая эпоха представляет собой период доминирования одной из форм как над средней многолетней повторяемостью, так и над повторяемостью других форм. При этом в диагнозе важную роль играли интегрально-разностные кривые аномалии давления в характеристических пунктах, а также аналогичные кривые аномалии годового числа дней с формами циркуляции. В текущем столетии им были выделены следующие эпохи: 1900—1928 гг. (W), 1929—1939 гг. (E), 1940—1948 гг. (C), 1949—1952 гг. (E+C).

По исследованиям А. А. Гирса [37] комбинированная эпоха продлена до 1973 г. В его последних работах определены также эпохи циркуляции для тихоокеано-американского сектора, обозначая здесь формы циркуляции индексами «з», «M1», и «M2», что соответствует типам W, C, E. К сожалению, преобладающая циркуляция во втором секторе полушария определялась в рамках эпох первого (атлантико-евразийского) сектора, что не совсем отвечает естественным границам циркуляционных режимов во втором секторе. Вот как выглядят таким образом выявленные эпохи циркуляции:

$$1900—1928 \text{ гг.: } W_z + M1 + M2 + C_{M1} + E_z;$$

$$1929—1939 \text{ гг.: } E_{M2+M1} + C_{M2};$$

$$1940—1948 \text{ гг.: } C_{M2+z+M1} + E_{M2} + W_{M2};$$

$$1949—1973 \text{ гг.: } E_{M1+z+M2} + C_{z+M2+M1}.$$

Как видно из этих схем, все выделенные циркуляционные эпохи являются комбинированными и весьма сложными. Это — в основном результат способа их выделения, имеющего частично субъективный характер. Если в основу определения границ циркуляционных эпох положить не интегрально-разностные кривые, а скользящие 10-летние значения годовой повторяемости форм циркуляции, то картина эпох несколько изменится (рис. 9). Мы считаем, что, поскольку интегрально-разностные кривые зависят от нормы, которая все время меняется, использование абсолютных величин повторяемости типов циркуляции более обоснованно. Кроме того, критерием перехода от эпохи к эпохе при этом является превышение тем или иным типом циркуляции 50% годового числа дней.

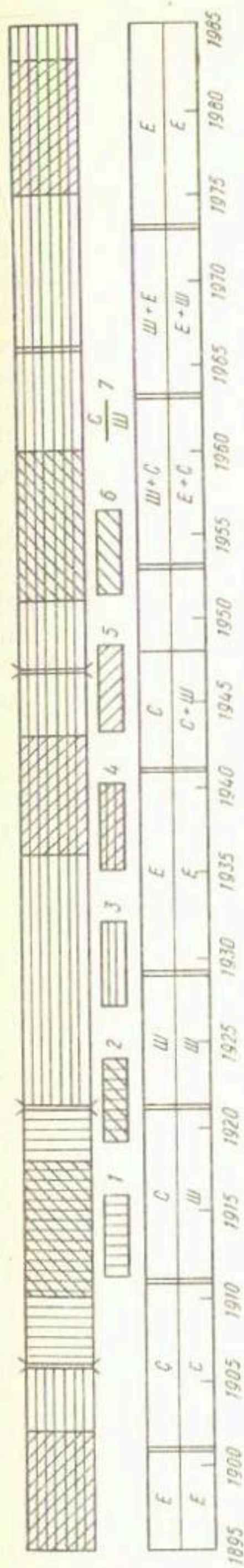


Рис. 8. Фазы многолетних изменений радиуса-вектора МПВЗ (1 — выше среднего, 2 — максимум, 3 — ниже среднего, 4 — минимум, 5 — падение, 6 — рост) и типы атмосферной циркуляции на полушарии (в верхней части по тихоокеано-американскому сектору, в нижней по атлантико-евразийскому (7))

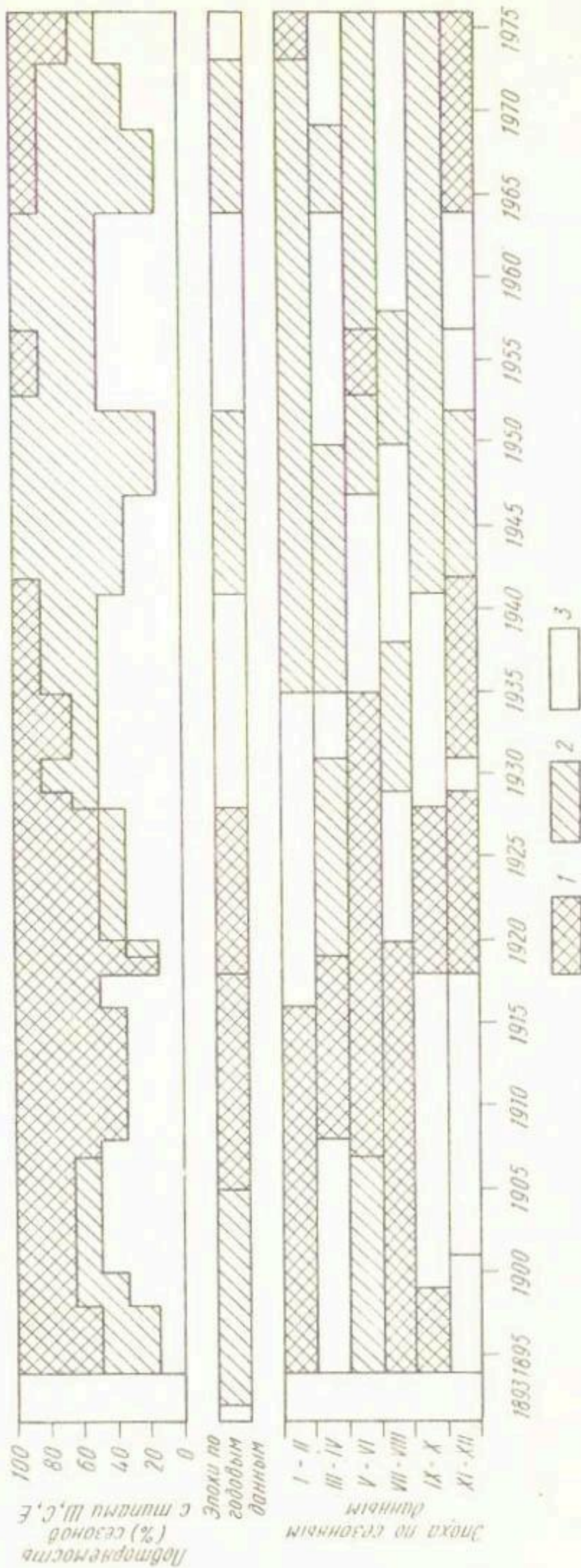


Рис. 9. Эпохи атмосферной циркуляции в атлантико-евразийском секторе полушария:
1 — тип Ш, 2 — тип С, 3 — тип Е

Кстати сказать, в этом случае (при учете 10-летних скользящих значений) изменение уровней повторяемости доминирующего типа происходит плавно, без кратковременных нарушений.

Рисунок 8 свидетельствует о том, что эпохи циркуляции на полушарии являются более детализированными и вместе с тем более простыми, причем в I-м секторе полушария границы эпох до начала 50-х годов оказались близкими с теми, которые выделены Гирсом, а в дальнейшем они более детализированы. Вообще говоря, полного совпадения границ эпох и не следовало ожидать, поскольку способы диагноза их различные.

Как в целом эпохам циркуляции, так и их стадиям, посвящен ряд работ [31, 42].

1.3.2. Эпохи циркуляции применительно к отдельным сезонам года

В целях изучения многолетних колебаний годовых величин гидрометеорологических элементов вполне применимы приведенные выше эпохи циркуляции. Однако если рассматривать эти элементы в разрезе того или иного сезона года (например, осадки мая—июня, даты наступления сезонных метеорологических явлений, вероятность засух и т. п.), то циркуляционные эпохи, выделенные по годовым итогам повторяемости форм циркуляции, уже не применимы. На фоне одной и той же такой эпохи отдельный сезон на протяжении ряда лет (иногда переходя из эпохи в эпоху) может идти под знаком другого типа. Так, например, в эпоху широтной циркуляции, которая продолжалась с 1911 по 1929 г. над Евразией, зимние два месяца (январь—февраль) характеризовались преобладанием меридиональной циркуляции формы Е (с 1916 г. вплоть до 1935 г.), тогда как март—апрель с 1919 по 1931 г. характеризовались меридиональной циркуляцией формы С. Все «сезонные» эпохи циркуляции представлены на рис. 9. Эти сезоны выделялись несколько иным способом, нежели «годовые» эпохи.

Сообразуясь с тем, что шесть естественных синоптических сезонов в году имеют многолетние границы, близкие к границам пар месяцев (I—II, III—IV, V—VI, VII—VIII, IX—X, XI—XII), для каждого сезона строились скользящие 10-летние кривые повторяемости типов циркуляции и по границам перехода через 50% дней сезона находились границы эпох циркуляций, которые условно названы «сезонными» эпохами в отличие от «годовых» эпох, т. е. эпох, выделенных по значениям годовой повторяемости форм циркуляции. Эти сезонные эпохи циркуляции в свое время автором широко были использованы для анализа временных колебаний сезонных метеорологических, гидрологических, агрометеорологических и гляциологических явлений [9, 10, 13, 19, 20].

1.4. Многолетний ход экстремальных значений повторяемости форм циркуляции

При рассмотрении многолетнего хода элементов климата (температуры воздуха, осадков и пр.) обычно используются среднегодовые данные или средние данные определенного месяца года. При этом предметом анализа служат либо абсолютные значения, либо их отклонения от какой-либо нормы. Такой подход дает возможность выявить некоторые пространственно-временные черты климата. Так установлены периоды наиболее существенных потеплений и похолоданий, называемые малыми климатическими эпохами. Наиболее широкоизвестной стала эпоха глобального потепления в 20—50 гг. текущего столетия. Эта эпоха хорошо известна не только климатологам, но и мало сведущему в климатологии кругу лиц.

Часто можно слышать, что климат стал более капризным. Многие пытаются объяснить это самыми различными причинами — то вырубкой леса, то поступлением в земную атмосферу тепловой энергии от предприятий, то загазованностью атмосферы CO_2 , то наличием в стратосфере спутников Земли, то вулканическими выбросами пыли и т. д. Не отрицая влияния в той или иной степени некоторых из перечисленных естественных и антропогенных факторов, можно уверенно утверждать, что главной непосредственной причиной наступившей нестабильности климата является атмосферная циркуляция, которая во второй половине истекшей части столетия также стала нестабильной.

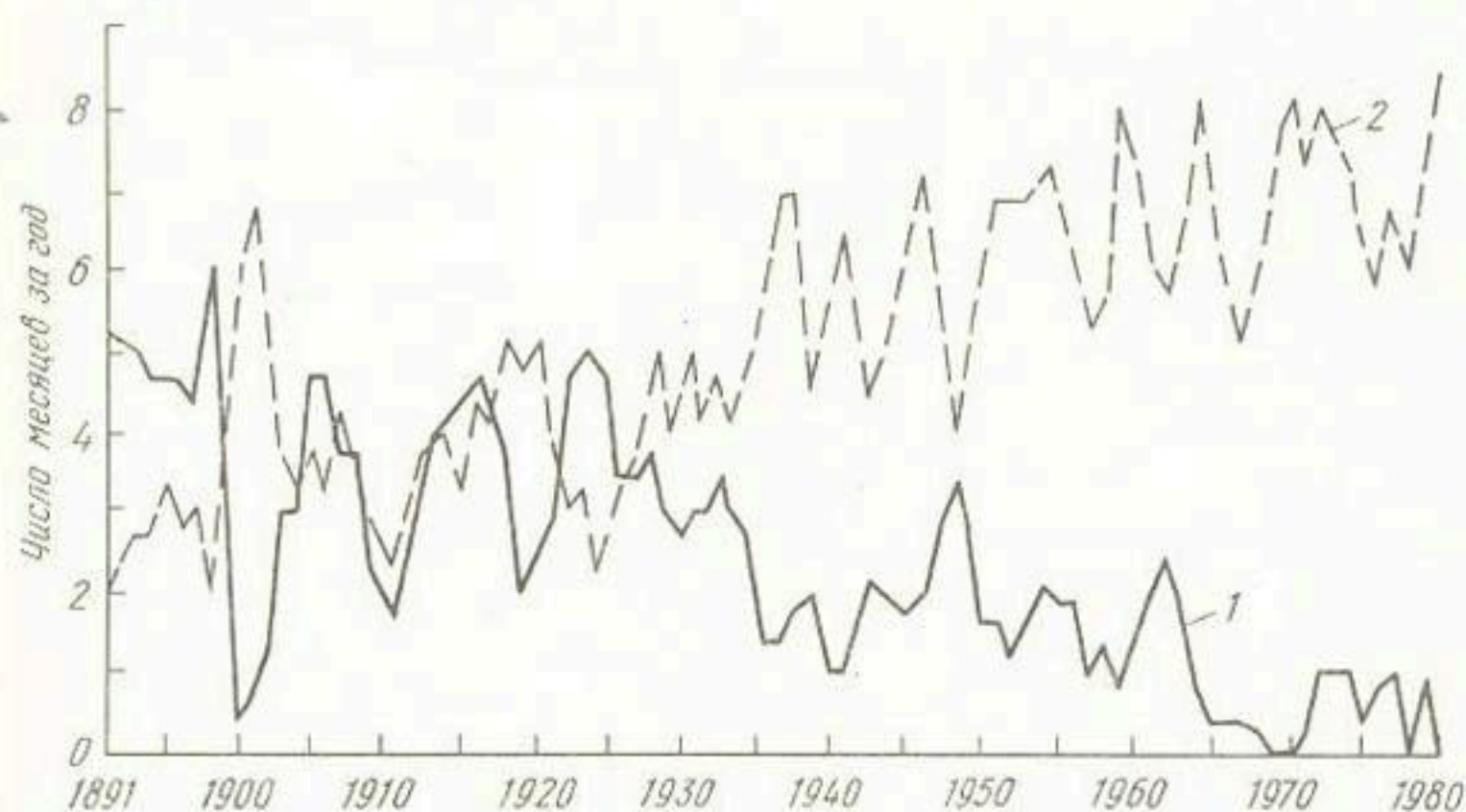


Рис. 10. Многолетний ход числа месяцев за год с экстремальным развитием (≥ 18 дней) форм циркуляции:

1 — число месяцев с типом W, 2 — число месяцев с типами C и E

В тридцатые годы произошел явный перелом в режиме атмосферной циркуляции. Свидетельством этого служит следующее обстоятельство. Если построить многолетнюю кривую — не просто

повторяемость форм меридиональной циркуляции (С и Е, вместе взятые) по годам, а кривую числа месяцев за год с экстремальным числом дней (например, более 25 или более 20 дней за месяц), то оказывается, что число таких случаев с тридцатых годов и до последнего времени продолжало увеличиваться. Так, если до тридцатых годов число месяцев с каждым из меридиональных типов циркуляции колебалось в году около 3—4, то в последние десятилетия оно дошло до 7—8, т. е. увеличилось вдвое и больше. Это подтверждается рис. 10, на котором видно, что ход числа экстремальных месяцев с широтной, с одной стороны, и меридиональными формами циркуляции, с другой, напоминает ножницы. А ведь известно, что с широтной циркуляцией связана умеренная погода, тогда как меридиональные формы обуславливают аномальную погоду, причем эта аномальность особенно важна при большой устойчивости меридиональной циркуляции.

О том, что указанные циркуляционные ножницы не остались без отражения на климате, свидетельствует вековой ход числа месяцев за год со значительными аномалиями ($\Delta t > \sigma$) температуры воздуха. Такое увеличение произошло как на Европейской территории СССР (в два раза), так и в Казахстане и Средней Азии (в два с половиной раза).

Причины увеличения повторяемости экстремальных месяцев с меридиональной циркуляцией пока определенно не установлены, хотя имеется предположение о том, что это результат антропогенных воздействий. По нашему мнению, наиболее вероятной причиной увеличения масштабов колеблемости циркуляции (а значит, и климата) являются внешние по отношению к циркуляции факторы, а именно: структура динамики движения мгновенного полюса вращения Земли и колебание солнечной активности. Весьма возможно, что в этих воздействиях на циркуляцию определенную роль играют и океанические течения. Некоторые материалы на этот счет будут приведены в гл. 7.

1.5. Соотношения между повторяемостью форм циркуляции, наблюдаемых в разных секторах северного полушария

Прежде чем рассмотреть связи между формами циркуляции в двух секторах северного полушария, целесообразно привести некоторые сведения о повторяемости по годам как отдельных форм, так и их сочетаний. В среднем за 84-летний период повторяемость основных форм циркуляции и их сочетаний на полушарии довольно различная. Так, в атлантико-евразийском секторе формы Е и С отличаются на 67 дней, а в противоположном секторе формы М1 и М2 на 41 день. Обращает на себя внимание и то, что зональная циркуляция в американском секторе длится на 23 дня дольше, чем в евразийском.

Что касается сочетаний форм циркуляции между обеими частями северного полушария, то они все девять по числу дней в году по средним данным уступают основным формам в несколько

раз. И это вполне понятно, ибо последние учитывались в своих секторах, независимо от противоположных секторов. Наиболее редко (в среднем два дня в месяц) встречающимся сочетанием является сочетание C_{M1} , т. е. одновременное развитие высотных гребней над восточными частями океанов. Мала также повторяемость сочетаний W_{M1} (31 день в году), C_{M2} (32 дня в году) и C_3 (34 дня в году).

Колеблемость годовой повторяемости отдельных форм циркуляции и их сочетаний на полушарии, выраженная через дисперсию, весьма различная. Однако следует учесть, что она имеет связь с величиной нормы. В этом случае колеблемость форм циркуляции и их сочетаний на полушарии выступает в чистом виде. Так, например, дисперсия для C и C_3 равна соответственно 666,3 и 219,6, т. е. отличаются в три раза, а показатели σ^2/M у них отличаются только на 0,8. Оценка тесноты связи между годовой повторяемостью (в днях) широтной формы циркуляции в двух секторах северного полушария осуществлена при помощи коэффициента корреляции как в целом за период 1901—1982 гг., так и по его частям. Итоги приведены в табл. 1, из которой следует, что существенная положительная корреляция отмечалась практически в двух периодах: 1901—1940 и 1910—1932 гг., причем наибольшего значения положительный коэффициент корреляции достигал в 1910—1932 гг. ($r=0,56$). Таким образом, статистически значимая связь между повторяемостью циркуляции W и z в основном имела место в эпохи зональной циркуляции (рис. 8), которые соответствовали большим частям отмеченных выше двух циркуляционных циклов зональной циркуляции.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между годовыми числами дней с формами циркуляции W и z

Период, гг.	Коэффициент корреляции	Период, гг.	Коэффициент корреляции
1901—1982	0,16	1910—1932	0,56
1901—1940	0,47	1933—1961	0,08
1941—1982	—0,01	1944—1973	0,30
1921—1950	0,24	1962—1982	—0,16

В целом за весь период 1901—1982 гг. корреляция положительная, но статистически незначимая. Это можно объяснить тем, что часто наблюдается перекидка зональной циркуляции из одного сектора в другой, причем зональная циркуляция в исходном секторе после индуцирования в противоположном секторе часто сама преобразуется в меридиональную. Давно было замечено, что такая перекидка относительно чаще бывает из тихоокеано-американского сектора в атлантико-евразийский сектор [8, 9].

В отношении меридиональных состояний циркуляции на полушарии получены следующие показатели корреляции: Е и М1 связаны коэффициентом 0,02; Е и М2 коэффициентом 0,72; С и М1 — коэффициентом $-0,05$ и С и М2 — коэффициентом $-0,34$. Следовательно, более координированными являются континентальные высотные гребни и антициклоны.

Кроме вышеприведенных оценок связи между широтными формами циркуляции (W и з) на полушарии по многолетним периодам, на основе годовых данных рассчитана также характеристика связи по центральным месяцам сезонов года (января, апреля, июля и октября). Она рассчитана только для случаев, когда в атлантико-евразийском секторе полушария широтная циркуляция превышала свою месячную норму на различное число дней. Оказалось, что число дней во втором секторе коррелирует с числом дней первого сектора с коэффициентом в январе 0,12, в апреле 0,77, в июле 0,73 и в октябре 0,84. Таким образом, для октябрей свойственна довольно тесная связь, которая может быть использована для восстановления данных о повторяемости широтной формы циркуляции в тихоокеано-американской части полушария.

В заключение данного раздела кратко коснемся прогнозирования форм атмосферной циркуляции на ближайшие годы. К решению этой задачи предложено несколько способов.

Синоптический метод прогноза развития атмосферной циркуляции в предстоящих эпохах сводится к использованию преемственных связей таких эпох с различной типовой структурой. Используется связь границ циркуляционных эпох с периодами максимума солнечной активности. Некоторые положения методики составления прогноза преобладающего типа циркуляции в ближайших эпохах приведены в [13].

Укажем здесь лишь, что согласно составленному прогнозу, в эпохе 1969—1979 гг. доминирующим типом циркуляции определен тип Е, а в следующей эпохе (1980—1990 гг.) — комбинированная циркуляция Е+С. Время, прошедшее после составления прогноза, подтвердило его правильность, ибо положительные аномалии годового числа дней за этот период с типом Е-циркуляции преобладали и в некоторые годы доходили до значений, близких к стандартам (1972 г. — 97 дней, 1976 г. — 92 дня, 1981 г. — 103 дня).

Кроме определения преобладающего типа циркуляции эпохи, желательно, конечно, иметь также примерную погодичную повторяемость того или иного типа циркуляции. Такой прогноз невозможно построить только на основе преемственных связей или по воздействующим на циркуляцию факторам.

Что касается широтной формы циркуляции, то некоторые указания на ее общую тенденцию развития можно получить при учете геоклиматических циклов [13, 19]. Такие предположения довольно надежно можно строить только в определении фоновой характеристики, не претендующей на высокую точность значений повторяемости широтной формы циркуляции по отдельным годам или переломов от года к году.

Некоторая возможность в указании на основные волновые характеристики повторяемости широтной формы циркуляции в течение ближайших 10—15 лет заложена в гармоническом анализе, об использовании которого кратко изложено далее.

В 1945 г. автором совместно с Е. А. Тихоновой и Г. И. Дробновой в модели расчета трехлетних скользящих значений широтной циркуляции на 15-летние отрезки времени, кроме регрессии, использована известная периодическая функция вида:

$$Y_t = \bar{Y} + A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + A_3 \sin 3x + \\ + A_4 \sin 4x + A_5 \sin 5x + A_6 \sin 6x + \\ + B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + B_3 \cos 3x + \\ + B_4 \cos 4x + B_5 \cos 5x + B_6 \cos 6x. \quad (1)$$

После нахождения коэффициентов A и B и подстановки их в это уравнение для 15 значений Y_t получены следующие гармоники (табл. 2).

Шестью гармониками в целом для периода 1935—1949 гг. охвачено около 95% общей дисперсии ряда значений с циркуляцией типа Ш, причем главной гармоникой, долевое участие которой в общей дисперсии составляет 63% (табл. 2), является третья гармоника с периодом в 5 лет.

Следовательно, главным видом колебаний годового числа с широтной циркуляцией, происходящих на фоне тренда геоклиматического цикла [20], является пятилетний вид колебаний. Однако существенную долю дисперсии обуславливает также колебание с периодом 7,5 лет. Вместе эти два вида колебаний обуславливают 80% общей дисперсии.

Из табл. 3 следует, что ошибка аппроксимации годового числа дней с помощью периодической функции из 6 составляющих не превышает 4 дней, а в среднем ошибка равна 2,4 дня, что составляет 8% амплитуды колебаний за 1935—1949 гг. и лишь 2,7% амплитуды колебаний за 1891—1970 гг. В хронометрическом отношении максимумы и минимумы рассчитанных и фактических повторяемостей широтной циркуляции хорошо совпали. Из 7 экстремумов (трех минимумов и четырех максимумов) 6 точно совпали, а второй минимум по расчетам наступил на год раньше.

Таблица 2

Частная дисперсия, обусловленная различными гармониками, и их период

Номер гармоник	Период гармоник, лет	Обусловленная доля дисперсии, %
1	15	6,55
2	7,5	16,30
3	5,0	63,03
4	3,8	7,24
5	3,0	0,83
6	2,5	0,99
Σ		94,94%

Таблица 3

Погрешность аппроксимации
годового числа дней
с широтной циркуляцией
по 15 годам периода
1935—1949 гг.

Год	Расчет	Факт.	Погреш- ность
1935	122,5	126	—3,5
1936	96,8	93	4,8
1937	100,2	104	—3,8
1938	110,0	114	—4,0
1939	118,3	122	—3,7
1940	100,3	97	2,7
1941	96,1	99	—2,7
1942	115,3	113	2,3
1943	122,6	124	—1,4
1944	114,8	114	0,8
1945	99,0	99	0
1946	95,1	96	—0,9
1947	112,8	111	1,8
1948	124,8	127	—2,2
1949	133	130	3,0
Средняя ошибка			±2,4

Таблица 4

Фактическое и рассчитанное
годовое число дней
с широтной циркуляцией,
1950—1964 гг.

Год	Расчет	Факт.	Погреш- ность
1950	122	115	7,8
1951	98,7	100	—1,3
1952	102,6	105	—2,4
1953	121,4	112	9,4
1954	122,2	117	5,2
1955	105,1	118	—12,9
1956	102,0	111	—9,0
1957	121,8	138	—16,2
1958	130,8	126	4,6
1959	123,5	115	8,5
1960	108,4	101	7,4
1961	105,2	115	—7,8
1962	124,0	135	—11,0
1963	136,9	119	17,9
1964	145,8	138	7,8
Средняя ошибка			±8,6

Для расчета на последующие 15 лет (1950—1964 гг.) достаточно к результатам, полученным выше, прибавить дополнительные значения, согласно уравнению регрессии числа дней с циркуляцией Ш в первом периоде (1935—1949 гг.), которое имеет вид

$$Y_t = 104,45 + 0,83t.$$

Полученные результаты после введения дополнений приведены в табл. 4.

Как видно из сопоставления табл. 3 и 4, погрешность расчетов годового числа дней с широтной формой циркуляции на второй 15-летний период в 3,5 раза больше, чем на первый период. Однако такой расчет на независимом исходном материале все же по погрешности не превышает 20% амплитуды во втором периоде и составляет менее 9,5% общей амплитуды колебания за весь период с 1891 г.

Что касается временного хода рассчитанных данных на второй период, то он также неплохо согласуется с ходом фактических данных. Их экстремумы либо совпадают, либо отличаются на год. Коэффициент корреляции между рассчитанными и фактическими величинами равен 0,68.

Поскольку расчеты годового числа дней с широтной циркуляцией на второй период, составленные на основе статистических данных первого периода, получились удовлетворительными, можно было бы думать, что аналогично по характеристикам второго периода (1950—1964 гг.) стоит прогнозировать еще больше, т. е. на 1965—1972 гг. Такой расчет на основе первоначально проведенного гармонического анализа и тренда второго периода действительно был осуществлен:

$$Y_t = 104,72 + 1,6t.$$

Однако, как явствует из табл. 4, он неудачен, ибо рассчитанные величины систематически и значительно завышены по отношению к фактическим. Это произошло потому, что применена регрессия второго периода, которая относилась к одному геоклиматическому циклу, а расчет произведен на отрезок времени, значительная часть которого относится к новому геоклиматическому циклу, линия регрессии которого должна быть опущена на столько, на сколько это произошло от первого цикла 1900—1934 к 1935—1949 гг., а именно примерно на 30 дней. Табл. 5 показывает рассчитанные и фактические значения годового числа дней с широтной формой циркуляции в 1965—1979 гг.

Расчеты на тот же период с учетом поправки к свободному члену линии тренда помещены в табл. 6.

Таблица 5

Рассчитанное и фактическое годовое число дней с широтной циркуляцией

Год	Расчет	Факт.	Погрешность
1965	116,6	110	6,6
1966	103,2	80	23,2
1967	109,8	87	22,8
1968	118,4	93	25,4
1969	125,0	102	23,0
1970	127,6	105	22,6
1971	122,2	87	35,2
1972	150,8	107	43,1
1973	110,4	123	—12,6
1974	101,0	95	6,0
1975	88,6	91	2,4
1976	102,2	66	—36,2
1977	125,8	99	—26,8
1978	111,4	96	—15,4
1979	132,0	125	—7,0

Таблица 6

Окончательный вариант расчета годового числа дней с широтной циркуляцией

Год	Расчет	Факт.	Погрешность
1965	86,6	110	—23,4
1966	73,2	80	—6,8
1967	79,8	87	—7,2
1968	88,4	93	—4,6
1969	95,0	102	—7,0
1970	97,6	105	—7,4
1971	92,2	87	5,2
1972	120,8	107	13,8
1973	110,4	123	—12,3
1974	103,0	95	8,0
1975	88,6	91	—2,4
1976	102,2	93	9,2
1977	111,4	100	—11,4
1978	125,8	114	—11,8
1979	132,0	125	—7,0
Средняя ошибка			9,2

ГЛАВА 2

ФОРМЫ ВЫСОТНОГО БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО ШЕСТИ СЕКТОРАМ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

2.1. Принципы определения форм высотного барического поля

Несмотря на большие достоинства классификация макросиноптических положений, охватывающих в целом естественные синоптические районы и половины северного полушария, для более детального изучения структурных механизмов преобразования циркуляции на полушарии и в отдельных его регионах целесообразно располагать также более детальной классификацией. Такая классификация была предложена автором в [6—8]; согласно ей непрерывный ход процессов на уровне 500 гПа в оперативном порядке продолжался с 1944 г. Теперь уже накопились данные за 40 лет.

Диагноз форм высотного барического поля (ФВБП) осуществлялся по картам AT_{500} северного полушария ежедневно в пределах шести секторов, границы которых приведены на рис. 11. При определении ФВБП обращается внимание не только на барическое поле в секторе, но и на конфигурацию планетарной высотной фронтальной зоны. Цифровая шифровка барического поля осуществляется в соответствии с наиболее часто встречающимися положениями, которых насчитывается 10. Это как бы региональные типы, фиксируемые по каждому из шести секторов одной цифрой [8].

Поскольку принятые секторы сравнительно небольшие (протяженностью в широтном направлении 60°), за редким исключением легко по картам AT_{500} определить принадлежность ФВБП к тому или иному цифровому шифру. В целом каждый день для полушария (севернее 50° с. ш.) высотное барическое поле записывается шестизначным числом, например, 111111 или 531354. В первом случае это означает широтное расположение изогипс во всех шести секторах (зональная циркуляция на полушарии), а во втором — наличие высотных ложбин в первом (Европа) и пятом (Америка) секторах, гребней на северной части Тихого океана и на востоке северной Атлантики.

Непрерывные записи день за днем (например, столбцом) в течение некоторого периода времени дают возможность наглядно анализировать и определять преобладающие поля в том или ином

секторе и делать соответствующие временные объединения. Каталог ФВБП, записанный в такой цифровой форме, дает возможность осуществлять машинным способом всевозможные подсчеты, устойчивости во времени тех или иных ФВБП, синхронных и асинхронных соотношений ФВБП между секторами и т. п.

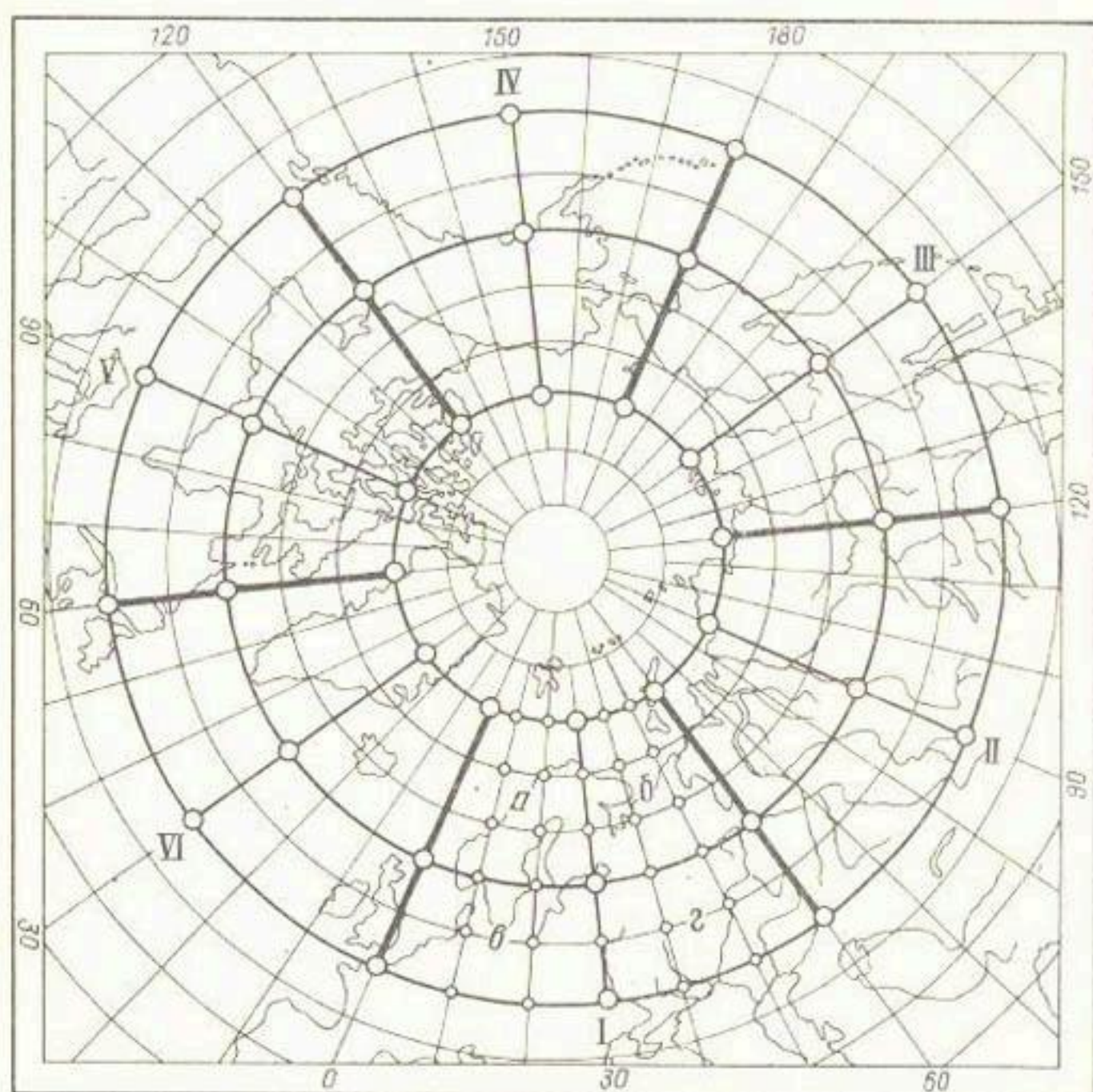


Рис. 11. Секторы (I—VI), районы (a—г) и пункты (кружочки) регулярной сетки для численного определения форм высотного барического поля

Плодотворными оказались, например, расчеты числа единиц (зональных состояний) за тот или иной период (месяц, сезон и т. д.), которые характеризуют в целом на полушарии степень развития зональных процессов. Так, число единиц по полушарию за зимний сезон (ноябрь—февраль) оказалось неплохим предиктором для прогноза аномалии температуры воздуха на ЕТ СССР [11], а также одним из параметров дискриминантного уравнения для прогноза засухи на ЕТ СССР [15]. Для этой цели был использован каталог ФВБП, записанный на магнитной ленте. В настоящее время ведутся работы по составлению программы для автоматизированного определения форм барического поля за весь период, начиная с 1949 г. Программой будет предусмотрено также одновременное объективное определение и типа циркуляции по Вангенгейму.

Однако при этом оказалось необходимым несколько сократить число записываемых ФВБП, сведя некоторые, сравнительно редко встречающиеся, к близким, но часто встречающимся. Теперь —

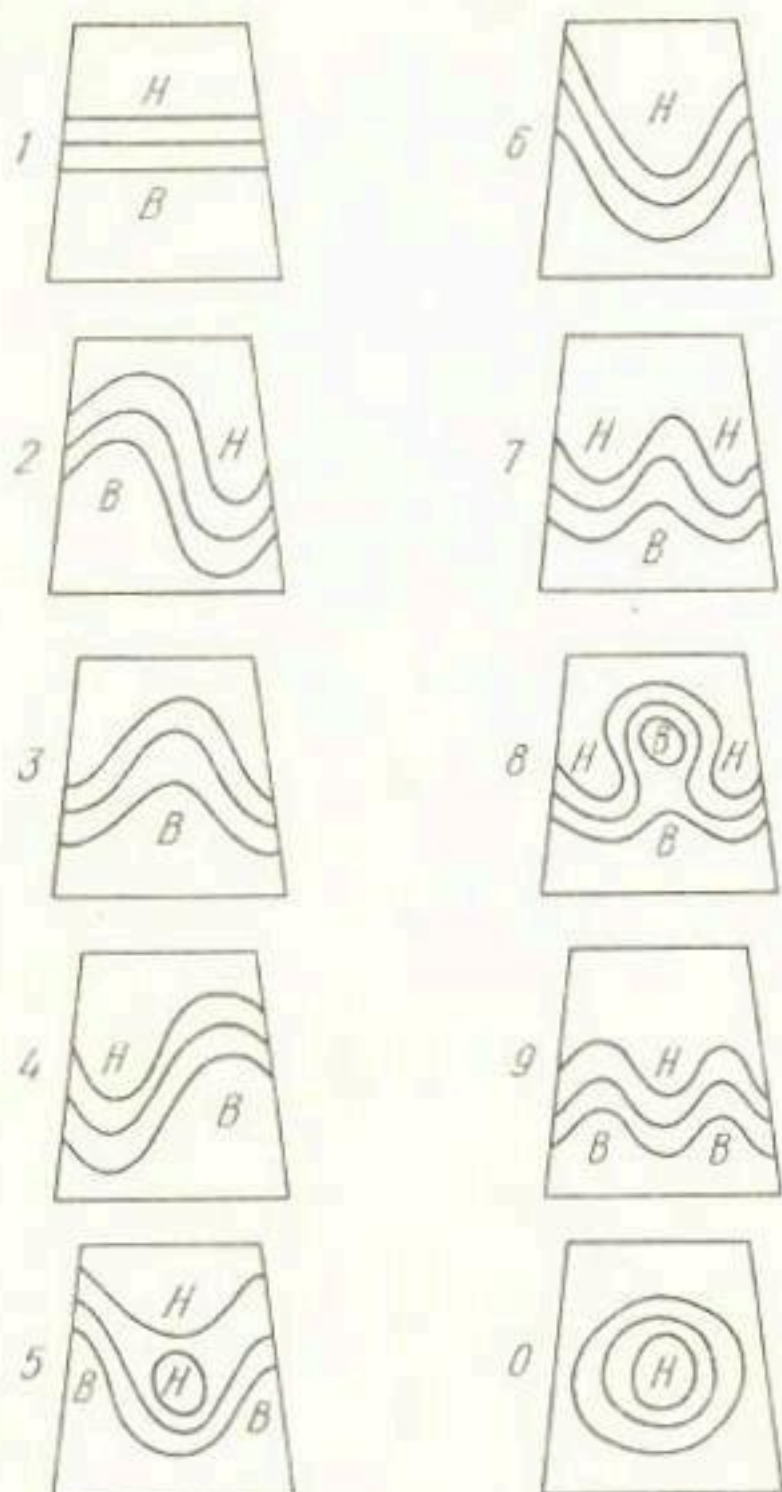


Рис. 12. Модификации ФВБП, соответствующие различным цифровым обозначениям (1—0)

доминирующей является ФВБП, шифруемая индексом 1. Эта форма в третьем секторе (дальневосточный регион) в среднем за год составляет 50% повторяемости всех форм, а в шестом секторе (Атлантика) — даже 52%. В летние месяцы (июнь—август) здесь широтная форма изогипс занимает даже более 60%.

Степень зональности (число форм 1) на полушарии в целом за 1944—1977 гг. характеризуется положительным трендом (рис. 13) почти одинаковой величины как для зимнего сезона, так и для летнего. Рассмотрение многолетнего хода годового числа смен форм высотного барического поля показывает, что за 1944—1976 гг. только в первом секторе (Европа в границах от нулевого до шестидесятиградусного меридиана восточной долготы) число смен увеличивалось, а в других оно в различной степени уменьшалось. Уравнения соответствующих трендов приведены в табл. 8.

Наиболее значительный нисходящий тренд имел место в третьем секторе, охватывающем восток Азиатского материка и запад-

это формы высотного барического поля в количестве восьми, представленные на рис. 12. При определении типа циркуляции, кроме ФВБП, учитывается также величина вихря скорости в том или ином секторе полушария.

Ниже остановимся на некоторых закономерностях многолетнего режима ФВБП на полушарии и его отдельных секторах.

2.2. Многолетние колебания повторяемости ФВБП

Повторяемость ФВБП в среднем за год приведена в табл. 7.

В целях сопоставления с повторяемостью полей трех типов циркуляции некоторые ФВБП объединены: индексы за номерами 6, 7 рассмотрены вместе с индексом 3, а 0 и 9 — с индексом 5.

Как видно по данным табл. 7, во всех секторах

ную часть севера Тихого океана. Близок к нему и тренд для восточной части этого океана, а далее к востоку отрицательный тренд уменьшается до $-0,38$ над северной Атлантикой. Отсюда следует, что тенденции сменяемости ФВБП в европейском секторе и противоположных к нему секторах северной части Тихого океана находятся в оппозиции. Такое явление в последующих главах будет отмечено и по другим параметрам атмосферной циркуляции.

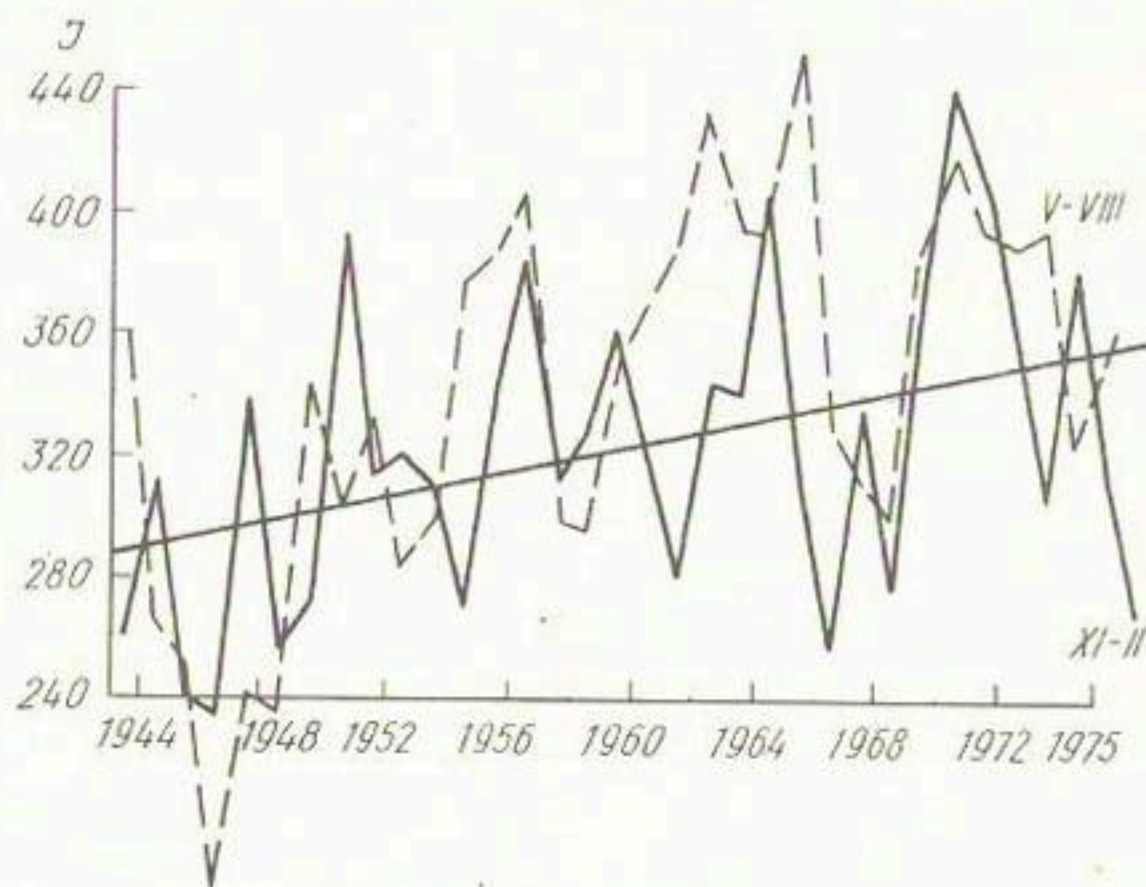


Рис. 13. Многолетний ход и тренд ($y = 295 + 1,6t$) значений степени зональности (I) поля AT_{500} на северном полушарии

Таблица 7

Частота повторяемости (%)
ФВБП по секторам
северного полушария

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1	28	37	50	48	40	52
2	21	16	8	10	22	6
3	22	18	12	15	10	14
4	14	11	18	15	14	20
5	15	18	12	12	14	8

Таблица 8

Уравнения регрессии
многолетних трендов
повторяемости ФВБП
по секторам северного полушария

Сектор	Уравнение тренда
1	$y_t = 122 + 0,59t$
2	$y_t = 147 - 0,91t$
3	$y_t = 146 - 2,14t$
4	$y_t = 156 - 1,29t$
5	$y_t = 146 - 0,57t$
6	$y_t = 137 - 0,38t$

2.3. Синхронные и асинхронные соотношения повторяемости форм высотного барического поля по шести секторам северного полушария

Частота повторяемости форм высотного барического поля по шести секторам северного полушария, приведенная в табл. 7, характеризует частоту повторяемости той или иной формы в каждом

секторе независимо от того, какие ФВБП наблюдались в других секторах. Однако немалый интерес для понимания взаимоотношений и взаимодействия между барическим полем шести секторов, отличающихся характером подстилающей поверхности и взаимным расположением океанов и континентов, представляет рассмотрение повторяемости ФВБП по секторам при заданной форме в данном секторе. Ниже в ряде таблиц приводятся соответствующие данные за пятидесятые годы, поскольку в более поздние и более ранние десятилетия сильно преобладал тот или иной тип циркуляции на полушарии, тогда как взятый период характеризуется комбинированной циркуляцией. Повторяемость ФВБП за номерами 6, 7 и 0 (в случае антициклонического поля) рассматривается вместе с повторяемостью формы 3, а формы 9 и 0 (в случае циклонического поля). — с повторяемостью формы 5, на том основании, что они сходны и сравнительно редко встречаются.

При форме 1 (зональная циркуляция) в первом секторе (Европа), как следует из табл. 9, всюду наибольшую повторяемость имеет эта же форма. Таким образом, можно сказать, что зональная циркуляция в первом секторе признак того, что такая циркуляция охватывает все полушарие. Характерно, что во втором секторе это вероятно на 68%, а в шестом — даже на 74%.

Таблица 9

Повторяемость (%) ФВБП
по секторам северного полушария
при форме 1 в первом секторе

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1	100	68	60	47	53	74
2		14	8	8	24	1
3		10	11	17	4	8
4		3	12	12	10	12
5		5	9	16	9	5

Таблица 10

Повторяемость (%) ФВБП
по секторам северного полушария
при форме 2 в первом секторе

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1		40	46	40	53	44
2	100	9	9	14	24	5
3		31	9	16	0	2
4		11	18	13	16	28
5		9	18	17	7	21

Если в первом секторе наблюдается форма 2 высотного барического поля (гребень на западе сектора и ложбина на востоке сектора), то повторяемость при этом зонального расположения изогипс в других уменьшается против приведенного выше. Только в пятом секторе (Америка) вероятность формы 1 остается той же, т. е. 53% (табл. 10).

При форме 2 в первом секторе заметно возрастает вероятность формы 3 (гребень) во втором секторе, т. е. над Западной Сибирью, что вполне понятно, ибо, как правило, при высотной ложбине на ЕТ СССР над Западной Сибирью и Казахстаном формируется высотный гребень, означающий вынос тепла перед ложбиной, что над ЕТ СССР.

В этом случае на востоке Атлантики наличие формы 4 имеет вероятность 28%. При этом высотный гребень занимает одновременно и восток Атлантики и западную часть континентальной Европы.

Форма за номером 3 в первом секторе характеризуется тем, что при ней еще больше уменьшается вероятность широтной формы в других секторах (табл. 11), исключение составляет шестой сектор, в котором форма 1 даже увеличивает свою повторяемость до 67%. Следовательно, характерным для формы 3 (и подобным ей формам) является наличие широтных изогипс над Атлантикой. Характерно далее, что в пятом секторе (Америка) 50% ФВБП составляет вторая форма, т. е. гребень на западе и ложбина на востоке. Такая ситуация в этом секторе характерна для типа М1 циркуляции по Гирсу. Можно, следовательно, сказать, что если над Европой поле типа Е, то поле аналогичного типа над Америкой наиболее вероятно.

Таблица 12 в целом мало отличается от табл. 11. Заметно лишь уменьшение повторяемости формы 1 в шестом секторе от 67 до 48%.

Таблица 11

Повторяемость (%) ФВБП
по секторам северного полушария
при форме 3 в первом секторе

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1		31	31	30	40	67
2		8	13	12	50	9
3	100	16	26	16	1	4
4		15	15	21	6	13
5		30	15	21	3	7

Таблица 12

Повторяемость (%) ФВБП
по секторам северного полушария
при форме 4 в первом секторе

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1		30	48	36	36	48
2		24	8	15	35	1
3		6	16	20	1	15
4	100	8	16	17	16	30
5		32	12	12	12	6

Наконец, при форме 5 в первом секторе (т. е. поле типа С), как правило, что следует из табл. 13, над востоком Северной Атлантики наблюдается высотный гребень, что характерно для типа С циркуляции по Вангенгейму. При этом зональное барическое поле (т. е. форма 1) в шестом секторе имеет вероятность лишь 20%.

Следует также отметить повышенную вероятность при этом формы 4 в пятом секторе, что также подтверждает естественность характерного хода изогипс на типовых картах, составленных Вангенгеймом и Гирсом для трех основных форм циркуляции.

Не приводя данных о повторяемости ФВБП по секторам при исходных состояниях в секторах 2—6, отметим лишь, что при этом имеет место в общем обратная зависимость, т. е. при ФВБП, на-

пример над Америкой (сектор 5), соответствующих типам циркуляции М1 и М2, в первом секторе (Европа) наиболее вероятны ФВБП, соответствующие типам циркуляции С и Е. Исключение, пожалуй, составляет тот факт, что при широтной форме барического поля над Америкой аналогичное поле над Европой наблюдается менее 50%. Это значит, что при отсутствии соответствующих данных над Америкой о наличии зональной циркуляции здесь по аналогичной циркуляции над Европой можно судить с большей уверенностью (53%), чем по зональной циркуляции Америки о зональной циркуляции в Европе.

Таблица 13

Повторяемость (%) ФВБП
по секторам северного полушария
при форме 5 в первом секторе

ФВБП	Сектор					
	1	2	3	4	5	6
1		25	32	26	48	20
2		16	12	10	22	1
3		35	15	26	0	9
4		6	18	13	15	62
5	100	18	29	13	15	9

Таблица 14

Повторяемость (%) ФВБП
в пятом секторе
при формах 2 и 5
вместе в первом секторе
по ЭСП

ФВБП	Номер ЭСП			
	1	2	3	4
1	64	28	28	52
2	12	8	4	20
3	0	0	0	0
4	20	48	56	20
5	4	16	12	8

В целях анализа асинхронных связей и взаимодействия ФВБП по цифровым индексам элементарных синоптических процессов, т. е. однородным обозначениям за период 2—3 дня, для двух аналогичных (в смысле расположения континента и океана) секторов, а именно для первого и пятого, была подсчитана вероятность ФВБП периодов элементарного синоптического процесса (ЭСП) в течение нескольких последующих ЭСП после исходного при условии сохранения в течение всего этого периода ФВБП в данном секторе.

Таблица 14 показывает, что в первом послеисходном ЭСП в американском секторе преобладающей по повторяемости формой высотного барического поля является широтная, однако затем она во втором и третьем ЭСП имеет вероятность формирования менее 30% и только в третьем ЭСП достигает 52%.

Интересно, что при большой устойчивости форм 2 и 5 в первом секторе (тип циркуляции С) форма за номером 3 над Америкой совсем не встречается. Это может служить хорошим признаком отсутствия высотного гребня над Америкой и соответствующего характера погоды там. Что же касается форм 4 и 5, означающих наличие типа М1 (по Гирсу) над Америкой, при ФВБП 2 и 5 над Европой, то они во втором ЭСП имеют суммарную вероятность 64%, а в третьем ЭСП — даже 68%, резко уменьшая свою вероятность до 28% в четвертом ЭСП.

Это обстоятельство еще раз подтверждает большую сопряженность типовых полей на полушарии при основных формах циркуляции по Вангенгейму и Гирсу.

Рассмотрим теперь обратную картину, т. е. вероятность формирования ФВБП, означающих тип С циркуляции над Европой, при формах 4 и 5, сохраняющихся над Северной Америкой в течение 1—4 ЭСП.

Таблица 15

Повторяемость (%) ФВБП
в первом секторе
при формах 4 и 5 вместе
в пятом секторе по ЭСП

ФВБП	Номер ЭСП			
	1	2	3	4
1	20	7	0	13
2	47	50	62	53
3	0	3	0	0
4	13	7	1	13
5	19	33	37	21

Таблица 16

Повторяемость (%) ФВБП
в пятом секторе
при формах 3 и 4
в первом секторе по ЭСП

ФВБП	Номер ЭСП			
	1	2	3	4
1	33	7	0	30
2	47	86	93	50
3	10	7	4	6
4	10	0	3	14
5	0	0	0	14

В табл. 15 мы видим, что аналогичный тип циркуляции (формы 2 и 5) при устойчивом меридиональном типе М1 над Европой является доминирующим во всех четырех (последующих после исходного) ЭСП. В первом ЭСП вероятность равна 66%, во втором — 83%, в третьем даже 99%, несколько снижаясь в четвертом ЭСП до 74%.

Из этого можно сделать практически важное заключение, что примерно в течение 3—12 дней и особенно в 4—9-е дни после исходного ЭСП при устойчивом типе С над Северной Америкой можно уверенно судить о наличии меридионального типа С над Европой.

Посмотрим теперь, в каком взаимодействии в тех же двух почти противоположных географических секторах находятся ФВБП при исходных формах, относящихся к меридиональным типам Е и М2 (табл. 16 и 17).

Таблица 16 свидетельствует о том, что во втором послеисходном ЭСП о наличии типа М2 циркуляции (форма 2) над Северной Америкой при устойчивом типе Е над Европой можно судить с

Таблица 17

Повторяемость (%) ФВБП
в первом секторе
при формах 2 и 3 в пятом секторе

ФВБП	Номер ЭСП			
	1	2	3	4
1	0	0	0	10
2	18	4	6	20
3	37	50	64	35
4	35	26	20	35
5	10	20	10	0

уверенностью около 90%. Однако обратно по типу M1 (формы 2 и 3) над Америкой судить о наличии типа E (формы 3 и 4) над Европой можно с уверенностью, несколько меньшей, а именно: в первом ЭСП на 82%, во втором на 76%, в третьем на 84% и в четвертом ЭСП на 70%.

По данным табл. 14—17 можно считать, что наибольшая вероятность формирования кульминационной стадии формирования меридиональных типов циркуляции, т. е. форм высотного барического поля, относящихся к одному типу, наблюдается в третьем ЭСП после исходного ЭСП при условии сохранения ФВБП в исходном секторе.

Отдельно в табл. 18 приведены лишь данные, характеризующие сопряженность форм высотного барического поля (типов циркуляции) на этапе 3-го элементарного синоптического процесса. Как видно из табл. 8—11, в четвертом ЭСП, т. е. спустя около 10 дней после исходного состояния, сопряженность, нарастающая до третьего ЭСП включительно, резко уменьшается, что, вероятно, свидетельствует о смене естественного синоптического периода однородной циркуляции на полушарии.

Таблица 18

Вероятность (%) одновременного существования ФВБП
одноименного типа циркуляции
в противоположных секторах полушария в третьем ЭСП

ФВБП в секторы	Вероятность %
4 и 5 (тип M1) в пятом секторе при формах 2 и 5 (тип C) в первом секторе	68
2 и 5 (тип C) в первом секторе при формах 4 и 5 (тип M ₁) в пятом секторе	99
2 и 3 (тип M2) в пятом секторе при формах 3 и 4 (тип E) в первом секторе	97
3 и 4 (тип E) в первом секторе при формах 2 и 3 (тип M2) в пятом секторе	84

Приведенные в табл. 3—12 данные о повторяемости форм высотного барического поля по секторам северного полушария, конечно, нельзя считать незыблемыми и выводы, сделанные по ним, окончательными, ибо удлинение периода или смещение на более поздние годы может изменить результат. Однако это изменение, как нам кажется, не будет значительным. Расчеты, например, отдельно по трем годам следующего периода не дали заметного различия. Кстати, они подтвердили, что в пятом ЭСП, т. е. примерно через 15 дней, сопряженность форм высотного барического поля между секторами полушария низка и статистически незначима.

ГЛАВА 3

ПЛАНЕТАРНАЯ ВЫСОТНАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА

3.1. Понятие о планетарной высотной фронтальной зоне (ПВФЗ) и способы определения ее параметров

В начале сороковых годов с введением в практику карт барической топографии началось исследование высотных фронтальных зон, формируемых обычно между циклоническими и антициклоническими образованиями. Была установлена их большая роль в цикло- и антициклогенезе. Изучены струйные течения во фронтальных зонах (их протяженность, скорости, энергетика и пр.).

Не прошло и десяти лет, как наряду с понятием высотная фронтальная зона появилось более макромасштабное понятие о планетарной высотной фронтальной зоне [6—8], под которой понималась зона, опоясывающая полушарие на тех или иных широтах, в которой сосредоточены наиболее значительные термобарические контрасты и энергия циркуляции. Неудивительно поэтому, что интерес к планетарной высотной фронтальной зоне (ПВФЗ) среди ученых и практиков метеорологов стал быстро возрастать и в настоящее время даже простой перечень публикаций, посвященных этому объекту общей циркуляции атмосферы, был бы очень длинным [6—10, 26, 27, 34, 39, 46, 47, 50, 56, 60].

В [6—8] было показано, что в ПВФЗ сосредоточено около 60% температурного контраста между экватором и полюсом. Важность изучения этого глобального параметра циркуляции, помимо ее роли в формировании циклонов и антициклонов, а также в динамике струйных течений, обусловлена еще и тем, что она наиболее компактно отражает волновые процессы в барическом поле и, как показано рядом работ [8—10, 63], ее долговременные колебания характеризуют колебания климата [15—74].

Способов диагноза планетарной высотной фронтальной зоны существует несколько [6, 49]. Наиболее простым из них является способ, предложенный Ю. Б. Храбровым. Он заключается в том, что обычно по карте AT_{500} фиксируется та изогипса, которая на многолетних средних картах лежит в середине зоны максимальных контрастов. Такая изогипса, названная характерной, используется в ежедневном анализе циркуляции и служит показателем для оп-

ределения границ естественных синоптических периодов. Сборные карты ПВФЗ могут использоваться также в анализе месячных, сезонных процессов и других квазиоднородных периодов как в целом на полушарии, так и в отдельных секторах его.

Ц. А. Кантер [49] предложила способ определения ПВФЗ на основе моделирования площадей, ограниченных изогипсами различного значения. Не останавливаясь на других способах определения, укажем, что все они не лишены тех или иных недостатков, хотя основные статистические характеристики ПВФЗ оказываются близкими.

Способы вычисления основных параметров ПВФЗ (интенсивности, широты расположения, степени извилистости, длины, площади и т. д.) подробно изложены в монографии [11], и поэтому здесь на них нет смысла останавливаться. Перейдем непосредственно к анализу многолетних характеристик ПВФЗ.

3.2. Многолетние колебания параметров ПВФЗ

Хотя ряды данных по различным параметрам ПВФЗ довольно коротки (они начинаются с 1949 г.), но все же представляет интерес на 35-летнем ряде рассмотреть их, и результаты сопоставить с тенденциями других объектов циркуляции. В предыдущих главах указывалось, что по результатам некоторых работ (в том числе и зарубежных) зональная циркуляция в семидесятых годах несколько активизировалась, причем эта тенденция обнаруживается и в самые последние годы. Правда, это проявляется не во всех сезонах года. Например, в 1980, 1981, 1982 и 1983 гг. над Евразией широтные процессы доминировали в основном в сезоне предзимья (ноябрь—декабрь). Вместо нормы 19 дней за эти два месяца соответственно наблюдалось 37, 31, 30 и 37 дней.



Рис. 14. Многолетний ход (кривая) и тренд средней годовой интенсивности ПВФЗ на северном полушарии

Рассматривая конкретно временной ход средней годовой интенсивности (рис. 14), мы можем констатировать, что в течение времени с 1949 по 1977 г. с некоторыми колебаниями она увеличивалась. Положительные отклонения от прямолинейного тренда наблюдались в этом периоде дважды — во второй половине пятиде-

сятых годов и во второй половине шестидесятых годов, т. е. в годы повышенного значения солнечной активности.

Одновременно с тенденцией повышения интенсивности ПВФЗ наблюдалось также уменьшение ее извилистости в среднем на полушарии, которая вычисляется как отношение фактической длины к длине широтного круга, характеризующегося широтой, равной средней широте ПВФЗ (рис. 15). Наконец, наряду с уменьшением извилистости в последние 18 лет уменьшилась и широта ПВФЗ. Ход последней подтверждается тем, что в это время увеличивалась площадь, ограниченная этой фронтальной зоной.

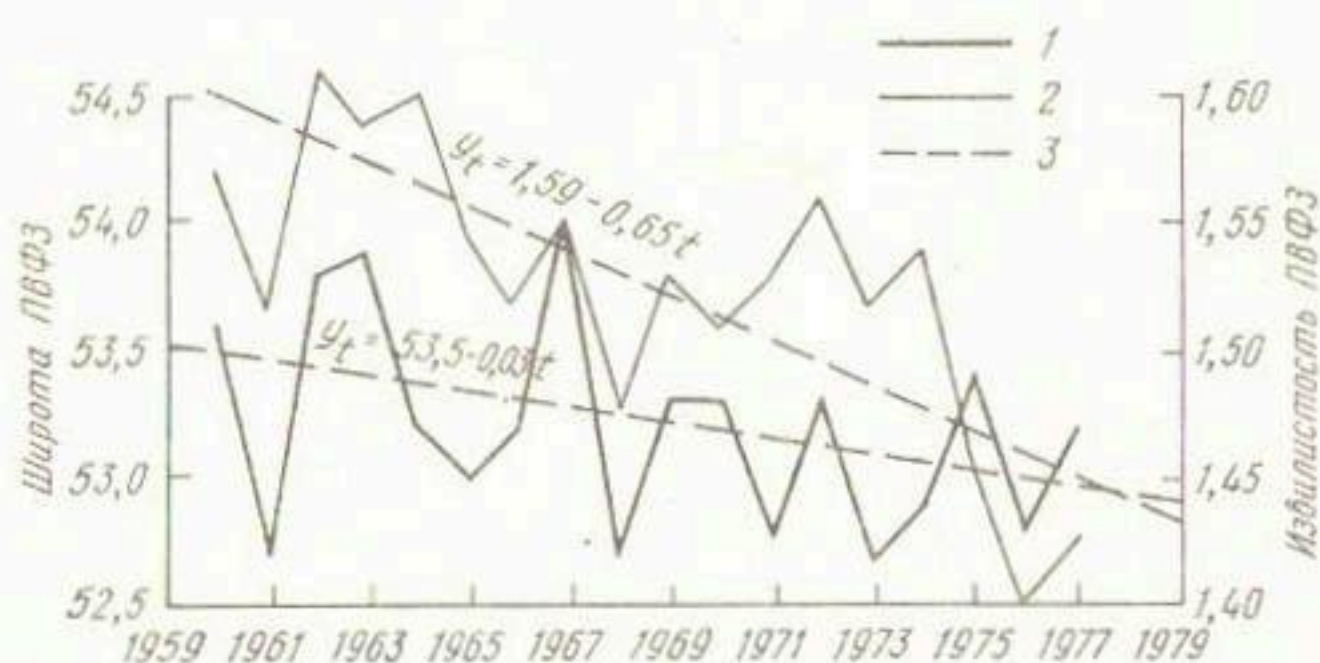


Рис. 15. Многолетний ход среднегодовой широты (1) и извилистости (2) ПВФЗ в северном полушарии; 3 — линии трендов

Таким образом, можно констатировать, что в последнее время происходила, согласованная в различных своих параметрах, определенная эволюция планетарной высотной фронтальной зоны в северном полушарии.

Некоторые ученые [74] связывают эволюцию ПВФЗ с изменениями размеров и местоположения циркумполярного вихря. Так, в [74] отмечается, что существует значительная корреляция между приземной температурой в США и размерами полярного вихря (увеличение размера, понижение температуры и наоборот).

3.3. Соотношения между среднемесячными характеристиками параметров ПВФЗ

Кроме многолетнего хода годовых характеристик параметров ПВФЗ, представляющих собой определенно сглаженную картину, рассмотрим соотношения между этими параметрами по месячным экстремальным значениям, т. е. случаям, когда отклонения исходных параметров по значениям превышают среднее квадратическое отклонение.

Таблица 19 показывает, что при экстремально повышенной интенсивности ПВФЗ значительно выше вероятность экстремально пониженной извилистости и маловероятна экстремально повышенная извилистость. Это соотношение подтверждается и при исход-

ных экстремальных значениях извилистости. Экстремально повышенной извилистости соответствует экстремально пониженная интенсивность, и наоборот.

Таблица 19

Связь между глобальными параметрами ПВФЗ
в северном полушарии

Соотношение параметров	Знак экстремума исходного параметра	Вероятность (%) экстремальных значений зависимого параметра		Общее число случаев
		+	—	
Интенсивность (исходная)	+	3	23	30
Извилистость	—	33	17	12
Извилистость (исходная)	+	2	10	40
Интенсивность	—	21	6	34
Широта (исходная)	+	37	3	32
Извилистость	—	9	38	34
Извилистость (исходная)	+	29	7	41
Широта	—	3	33	36

В соотношениях между экстремумами широты и извилистости следует отметить, что с экстремально увеличенной широтой ПВФЗ связана повышенная извилистость, а с экстремально пониженной широтой — экстремально пониженная извилистость. Эта связь наблюдается и при рассмотрении в качестве исходной экстремальной извилистости. Связи между экстремумами широты и интенсивности менее тесны. В целом все же можно отметить, что соотношения между месячными значениями параметров ПВФЗ подтверждают те выводы, которые были указаны для тенденций годовых данных.

Необходимо иметь в виду, что в табл. 19 не приведены данные о вероятности значений параметров ПВФЗ в пределах между экстремумами, однако и так очевидно, что она превышает вероятность экстремумов обоих знаков, вместе взятых, за исключением строки второй, где она равна 50%.

3.4. Статистические характеристики параметров ПВФЗ в северном полушарии

В табл. 20 приведены средние многолетние значения трех параметров ПВФЗ (интенсивности, широты и извилистости) в целом по полушарию для всех месяцев года, из которых видно, что, в частности, интенсивность планетарной высотной фронтальной зоны имеет значительный годовой ход. В летние месяцы градиент барического поля в направлении, перпендикулярном к ПВФЗ, в полосе шириной 1000 км (по 500 км в обе стороны от характерной изогипсы) равен 19—21 дкм на 100 км, а в зимние достигает до 28.

Что касается широты ПВФЗ, то она в летние месяцы, наоборот, против зимних месяцев несколько уменьшается. Так, если в нояб-

Статистические характеристики параметров ПВФЗ северного полушария

Статистический показатель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Интенсивность ПВФЗ, 1949—1977												
Среднее	27	27	26	26	22	21	19	20	24	26	28	28
Стандарт	1,6	1,7	1,9	2,1	2,1	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	2,1	1,9
Асимметрия	0,86	0,39	0,26	0,22	0,25	0,25	0,25	0,28	0,27	0,30	0,27	0,21
Эксцесс	3,62	2,84	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0	-0,0
Широта ПВФЗ, 1960—1977												
Среднее	52,9	53,4	53,4	53,3	53,9	50,7	52,9	52,1	52,9	53,4	55,8	54,6
Стандарт	1,3	1,2	1,0	1,1	1,4	1,1	1,0	1,0	0,7	1,1	1,4	1,4
Асимметрия	0,63	0,34	0,71	0,30	-0,39	-0,11	-0,46	0,51	0,17	0,25	0,27	0,33
Эксцесс	2,66	2,85	3,99	3,55	3,63	3,06	2,11	2,03	2,29	5,26	4,80	3,64
Извилистость ПВФЗ, 1960—1977												
Среднее	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6
Стандарт	0,13	0,16	0,14	0,09	0,10	0,13	0,11	0,12	0,10	0,10	0,08	0,15
Асимметрия	-0,12	0,35	0,17	0,12	0,17	0,14	0,02	0,54	0,19	-0,20	-0,07	0,15
Эксцесс	2,84	3,21	4,21	2,05	2,27	2,58	1,82	1,97	2,14	2,61	2,43	2,00

Таблица 21

Среднемесячная многолетняя (1949—1977 гг.) интенсивность ПВФЗ по секторам северного полушария

Месяц	Сектор, °											
	0—30	30—60	60—90	90—120	120—150	150—180	180—210	210—240	240—270	270—300	300—330	330—360
Январь	28	23	20	17	18	17	21	23	28	29	29	35
Август	14	12	12	14	15	14	15	15	14	15	15	16

ре средняя широта равна почти 56° , то в июне она уменьшается даже до 51° . С первого взгляда — это как бы противоестественный факт, противоречащий сезонному ходу термобарического поля. Тем не менее, если учесть, что в летние месяцы (по сравнению с зимними) трансформационные эффекты в западно-восточном переносе воздушных масс ослаблены и высотные теплые гребни менее выдвинуты к северу, то такой годовой ход широты ПВФЗ кажется понятным. Правда, ряд данных настолько короток, что такой вывод нельзя считать категоричным, хотя к аналогичному выводу авторы приходили и в других работах [7, 9, 11].

В годовом ходе извилистости ПВФЗ максимум наблюдается в зимние месяцы, минимум в летние.

Переходя к средним значениям интенсивности ПВФЗ по 30-градусным секторам, прежде всего отметим, что годовой ход ее не всюду одинаков. Так, в секторе $30-60^\circ$ в. д. минимум наблюдается в мае—августе, в секторе $90-120^\circ$ — в июне—сентябре, а в секторе $330-360^\circ$ — даже в июле—сентябре. Неодновременно наступает и максимум интенсивности ПВФЗ.

В табл. 21 приведена интенсивность ПВФЗ за январь и август, характерных для большинства секторов максимумов и минимумов соответственно. Однако, например, в секторе $150-180^\circ$ максимум наблюдается не в январе, а в ноябре (28), тогда как в январе здесь интенсивность равна лишь 19, т. е. мало отличается от августовской. Характерно далее, что в секторе $30-60^\circ$ в. д. (ЕТ СССР) максимум интенсивности (26) наступает в марте.

Все сказанное здесь свидетельствует о том, что характеристики параметров ПВФЗ в целом для полушария являются слишком сглаженными и далеки от особенностей отдельных секторов, зависящих от орографии.

В заключение данной главы уместно привести данные о дисперсии, обусловленной трендами разной степени, от общей дисперсии. Такие сведения помещены в табл. 22, из которой видно, что максимальный вклад в общую дисперсию вносит кубический тренд. Им в исходном ряду обусловлено 18 с лишним процентов, а в сглаженном ряду даже 42,6%.

Таблица 22

Вклад (%) трендов различной степени
в общую дисперсию годовых значений
интенсивности ПВФЗ в северном полушарии

Исходный ряд	Степень тренда		
	1	2	3
Наблюденный	11,6	16,1	18,3
Сглаженный по скользящим 3-летиям	32,7	40,8	42,6

ГЛАВА 4

ПОЛЮС АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

4.1. Предварительные замечания

Поскольку в ряде работ [9, 10, 22, 38, 56, 67] подробно рассмотрены различные способы определения центра циркуляции северного полушария, здесь есть смысл лишь кратко остановиться на принципиальных вопросах этой проблемы. А определение центра циркуляции северного полушария — действительно проблема. Во-первых, этот объект атмосферной циркуляции, как показали многочисленные исследования, представляет собой, пожалуй, самый крупный показатель общей циркуляции атмосферы, с которым связаны многие другие глобальные циркуляционные параметры. В ряде работ [8—10, 82] показана тесная связь с ним широты главных зональных западных потоков, квазидвухлетняя цикличность в циркуляционных процессах умеренных широт, дислокация центров действия атмосферы и пр. (подробнее об этом в гл. 7). Во-вторых, многолетние колебания преимущественного местоположения центра (полюса) циркуляции играют существенную роль в колебаниях климата как высоких, так и умеренных широтах. Имеются даже указания о влиянии колебаний центра циркуляции на процессы в субтропических широтах [8].

Центр циркуляции представляет собой важную проблему, в-третьих, потому, что его динамика сложным образом связана с динамикой вращения Земли и служит промежуточным звеном между климатом Земли и внешними по отношению к атмосфере факторами.

Касаясь истории исследований, отражающих последовательные этапы понимания и способов определения центра циркуляции, следует сказать, что она началась вскоре после появления карт высотной барической топографии северного полушария. Анализ таких в 1947—1948 гг. в Арктическом научно-исследовательском институте позволил автору сформировать два понятия о глобальных атмосферных объектах — о планетарной высотной фронтальной зоне (названной вначале планетарной зоной максимальных контрастов) и о полюсе атмосферной циркуляции (ПЦ). Этот полюс определялся как геометрический центр площади, ограниченной с юга планетарной высотной фронтальной зоной [6, 7]. Такой спо-

соб был первым и наиболее простым способом определения ПЦ. Вскоре аналогичный способ был принят за рубежом Ла-Сером.

Почти за сорок лет издана многочисленная литература, посвященная динамике ПЦ, многолетнему изменению местоположения, влиянию на климат и погоду [10, 70]. Кинематика движения циркуляционного полюса автором данной монографии все время используется в качестве важного предиктора в методике составления сезонных прогнозов погоды. Было установлено, что с районом дислокации в Арктике полюса циркуляции связан главный очаг холода в нижней части тропосферы, который имеет преимущественное движение с востока на запад, подчиняясь «восточному управлению». Кроме того, работами Х. Х. Рафанловой (1973 г.) показано, что высотный очаг тепла, выходящий в чукотский сектор Арктики из северной части Тихого океана, в дальнейшем также часто поворачивает в своем движении с востока на запад.

С начала шестидесятых и особенно в семидесятых годах число работ, посвященных центру циркуляции, резко увеличилось. Им стали заниматься многие авторы как в СССР, так и за рубежом. При этом в качестве центра циркуляции стали изучать циркумполярную депрессию, предлагая для ее определения различные объективные способы (центр тяжести массы атмосферы, расположенной к северу от определенной изогипсы, центр кинематической энергии, центр моделированных площадей северее ПВФЗ и т. д.).

Следует, однако, сказать, что, во-первых, циркумполярный (стабильный в своем положении) вихрь был известен еще давно. Во-вторых, полюс циркуляции в нашем понимании и циркумполярный вихрь — понятия (а значит и объекты) не всегда тождественные. Часто циркумполярный вихрь определяется самым глубоким циклоном (или циклонической серией) в Арктике, но в это время ПВФЗ не обязательно расположена симметрично к этому центру. Лишь при определенной стадии зональной циркуляции на полушарии с сосредоточением циклонической деятельности в центральном полярном бассейне центр площади, ограниченной с юга планетарной фронтальной зоной, совпадает с центром циркумполярной депрессии.

4.2. Многолетняя повторяемость и преемственность различных местоположений полюса циркуляции

Ниже приводятся результаты исследования годового и многолетнего хода повторяемости ПЦ как центра циркуляции всего пространства, опоясываемого с юга планетарной высотной фронтальной зональной (табл. 23). Данные таблицы показывают, что такие местоположения ПЦ, как центральные (при циклоническом поле), аляскинское, чукотское и канадское, повторяются в течение года почти одинаково.

Наиболее сильное изменение в течение года претерпевает повторяемость таймырского ПЦ. Максимум его повторяемости (32—

36%) наблюдается в сентябре—ноябре, а минимум — в январе. Большим годовым ходом повторяемости отмечается также центральный ПЦ с антициклоническим полем. Его максимум повторяемости наблюдается летом (20—23%), а минимум — зимой (6—12%). Баренцевоморский и гренландский ПЦ имеют минимум повторяемости летом и максимум зимой, но с меньшим годовым ходом, равным соответственно 8 и 5%.

Таблица 23

Повторяемость (%) различных местоположений ПЦ по месяцам в различных секторах Арктики

Район локализации ПЦ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центральный антициклонический	12	13	18	23	22	22	20	24	14	12	10	6
Центральный циклонический	9	8	8	8	6	7	8	8	6	2	2	10
Аляскинский	6	4	5	8	10	8	5	2	2	2	3	4
Чукотский	5	7	8	8	4	8	11	10	5	8	12	8
Таймырский	18	22	25	24	21	22	23	22	36	32	32	25
Баренцевоморский	18	14	8	6	10	8	6	10	4	12	8	13
Гренландский	24	20	22	16	20	20	22	16	18	20	23	24
Канадский	8	12	6	7	7	5	5	8	10	12	10	10

В среднем за год наибольшей повторяемостью (25%) отличается таймырский ПЦ, затем следует гренландский (20%) и центральный антициклонический (16%). Минимальной повторяемостью (5%) обладает аляскинский ПЦ.

4.3. Преемственные связи различных местоположений полюса циркуляции

Для выявления преемственных связей по каталогу, в котором на основе среднемесячных карт АТ₅₀₀ указаны местоположения ПЦ за все месяцы 1949—1981 гг., подсчитаны переходы от исходного положения в другие, а также сохранение на месте на второй месяц. При этом последовательно каждый месяц принимался за исходный. Результаты этих подсчетов приведены в табл. 24, основные особенности которой сводятся к следующему. В среднем каждое местоположение ПЦ остается на месте в 21% случаев.

На третий месяц в одном и том же районе полюс циркуляции остается редко. Наиболее преимущественным переходом является переход в соседний западный район (в среднем в 31% случаев), а в соседний восточный — только в 9% случаев. Характерно, что из таймырского, гренландского и канадского ПЦ в более восточный сектор вообще не переходил.

Преемственные связи различных местоположений ПЦ
(% случаев)

Исходные ПЦ	Послеисходные ПЦ						
	Ц	А	Ч	Т	Б	Г	К
Ц	34	2	0	33	25	6	0
А	28	20	40	18	0	0	0
Ч	14	10	33	29	14	0	0
Т	20	0	0	22	42	9	7
Б	16	0	9	25	25	25	0
Г	50	0	0	4	0	24	22
К	32	28	0	12	8	0	20

Районирование местоположений полюса циркуляции осуществлено на основе карт повторяемости барических центров, на которых последние распределены отдельными очагами, между которыми приняты условные границы. Для районирования взята площадь севернее 70° с. ш., причем местоположение ПЦ считалось центрально-арктическим, если центр находился севернее 82° с. ш. Расположение ПЦ южнее 70° с. ш. встречается крайне редко и только в районах Таймыра и Гренландии.

4.4. Двухлетняя цикличность летнего местоположения полюса циркуляции

Кроме месячных характеристик динамики местоположения ПЦ рассмотрены также его местоположения по средним картам AT_{500} и более высоких уровней за май—август 1961—1981 гг. Хотя осреднение сделано за большой период (123 дня), тем не менее барическое поле на уровне 500 гПа характеризуется некоторой (четкой и очень важной) особенностью. Она заключается в том, что центр низкого давления на средней карте AT_{500} за май—август характеризуется определенным чередованием центрирования то в восточном, то в западном секторе северного полушария (относительно меридианов $0-180^\circ$). Это подтверждается табл. 25, в которой наличие ПЦ в том или ином секторе полушария отмечено знаком плюс.

За двадцать лет только дважды нарушилась двухлетняя цикличность пребывания ПЦ в отдельных полушариях. Конкретное местоположение центров циркуляции приведено на рис. 16. На нем видно, что наибольшее удаление центра циркуляции в сторону западного полушария наблюдалось в 1961, 1965, 1972 и 1978 гг., а в восточное полушарие — в 1966, 1968, 1973 и 1977 гг.

Чередование местоположения центра низкого давления на AT_{500}

Сектор полушария	Год									
	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Западный	+		+		+		+		+	
Восточный		+		+		+		+		+

Сектор полушария	Год										
	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Западный	+	+		+		+		+	+		+
Восточный			+		+		+			+	

На рис. 16 можно заметить еще одно интересное обстоятельство. Ареал разброса мест дислокации ПЦ напоминает собой эллипс, главная ось которого ориентирована от Таймыра в сторону северо-канадского архипелага. Такая ориентировка совпадает с расположением большой оси эллипса свободного движения полюса Земли в плоскости меридиана наименьшего сжатия Земли, т. е. примерно в пределах 60° — 90° в. д. и соответственно в противоположных долготах. Это приводит к тому, что амплитуда «полюсного прилива», например, в районе Таймыра всегда заметно меньше амплитуд в районах Исландии и Берингова пролива.

Следовательно, полюсный прилив, а значит, и результат его влияния на атмосферу, по своему характеру не только преимущественно высокоширотное, но и особенно выраженное явление в районах, расположенных в полосе долгот вблизи 90° восточной и западной долготы. На этом основании мы и выбрали линию раздела летних сосредоточений ПЦ перпендикулярно к линии наименьшего полюсного прилива.

О связи полюса циркуляции с другими атмосферными параметрами и внешними факторами речь будет идти в гл. 7.

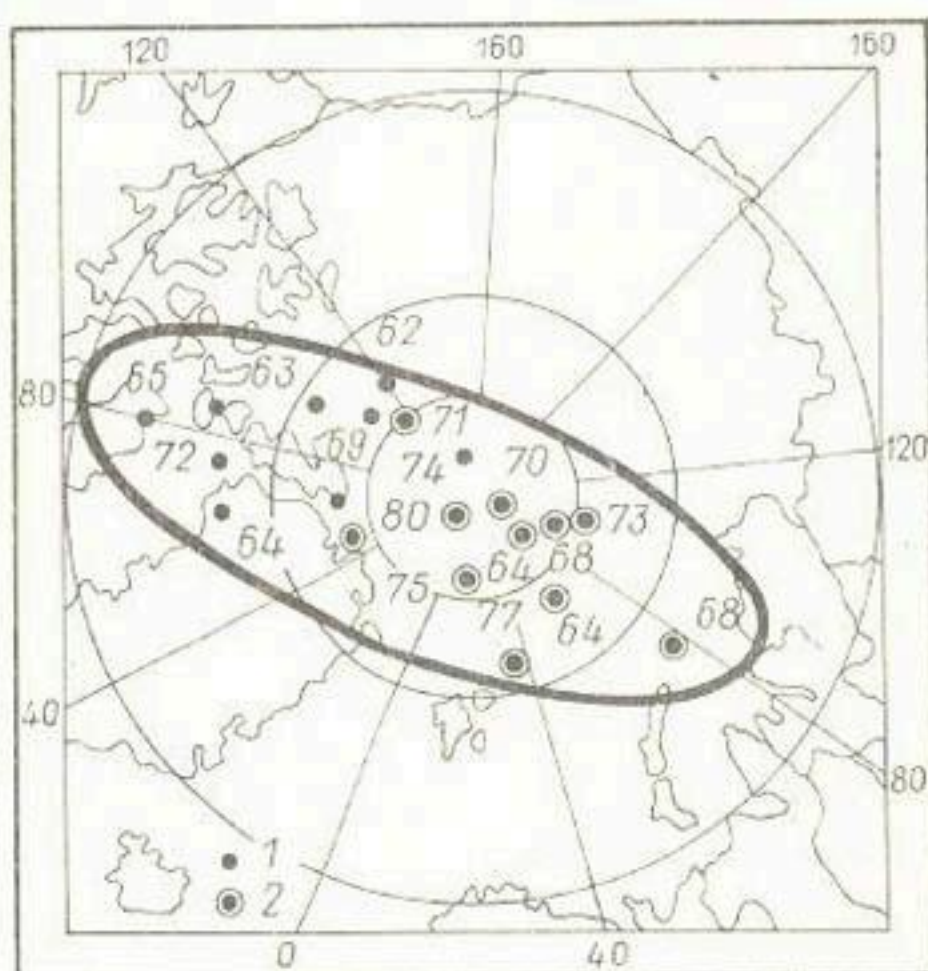


Рис. 16. Местоположение центра циркуляции на AT_{500} (среднее за май—август):
1 — засушливое лето, 2 — влажное лето; цифры у точек — годы

ГЛАВА 5

МНОГОЛЕТНИЕ КОЛЕБАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ ЦЕНТРОВ ДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ

5.1. Вековые колебания параметров основных центров действия атмосферы

История изучения центров действия атмосферы в северном полушарии так же длинна, как и история классификации атмосферных процессов по однотипным термобарическим полям [30, 54, 63]. Однако последние, т. е. типы непрерывного развития процессов, до сего времени привлекали больше внимания исследователей, нежели центры действия атмосферы (ЦДА). Правда, в последние годы ряд работ [16, 52, 55, 71] выполнен по кинематике ЦДА в связи с нутационными силами Земли. Вековой ход годовых изменений положения и интенсивности изучался мало. Из отечественных работ можно назвать только исследование многолетней тенденции изменения ЦДА в отдельных месяцах года [1].

В настоящее время имеются соответствующие данные о состоянии параметров (интенсивности и координатах) ЦДА уже за 90 лет, что позволяет рассмотреть вековые тенденции этих параметров и сопоставить их между собой. Такая задача рассматривается в данной главе, а что касается сопряженности ЦДА с типами среднеширотной циркуляции и с динамикой мгновенного полюса вращения Земли, то о них речь пойдет в гл. 7.

Перед тем как перейти непосредственно к многолетним тенденциям параметров ЦДА, отметим, что здесь рассматриваем отклонения их годовых значений от нормы в осреднении по скользящим пятилетиям. Учтем далее, что на иллюстрируемых графиках выше базисной линии отложены положительные аномалии давления, северная и западная аномалии координат. Ниже базисной (нулевой) линии соответственно отложены отрицательная аномалия давления в центрах ЦДА, южное и восточное смещения координат.

На рис. 17 прежде всего замечаем, что ход аномалий давления воздуха в центрах двух ЦДА Северной Атлантики почти противоположен. Далее обращает на себя внимание значительно больший размах колебаний долготы центров ЦДА по сравнению с колебаниями широты, особенно у азорского антициклона.

Что касается временного хода параметров, то отмечена отрицательная аномалия давления в исландском центре в 1905—1940 гг. и после 1970 г., положительная — до 1905 г. и в 1940—1970 гг. Давление в азорском центре было ниже нормы до 1905 г. и в 1940—1960 гг., а выше нормы — в 1905—1940 гг. и после 1960 г. До 1930 г. оба ЦДА располагались западнее обычного, после — восточнее. Наконец, в широтном движении до 1930 г. и после эта пара ЦДА находилась в оппозиции, а именно: в первом периоде исландский центр севернее нормального, азорский — южнее, во втором периоде, наоборот, исландский южнее, азорский севернее.

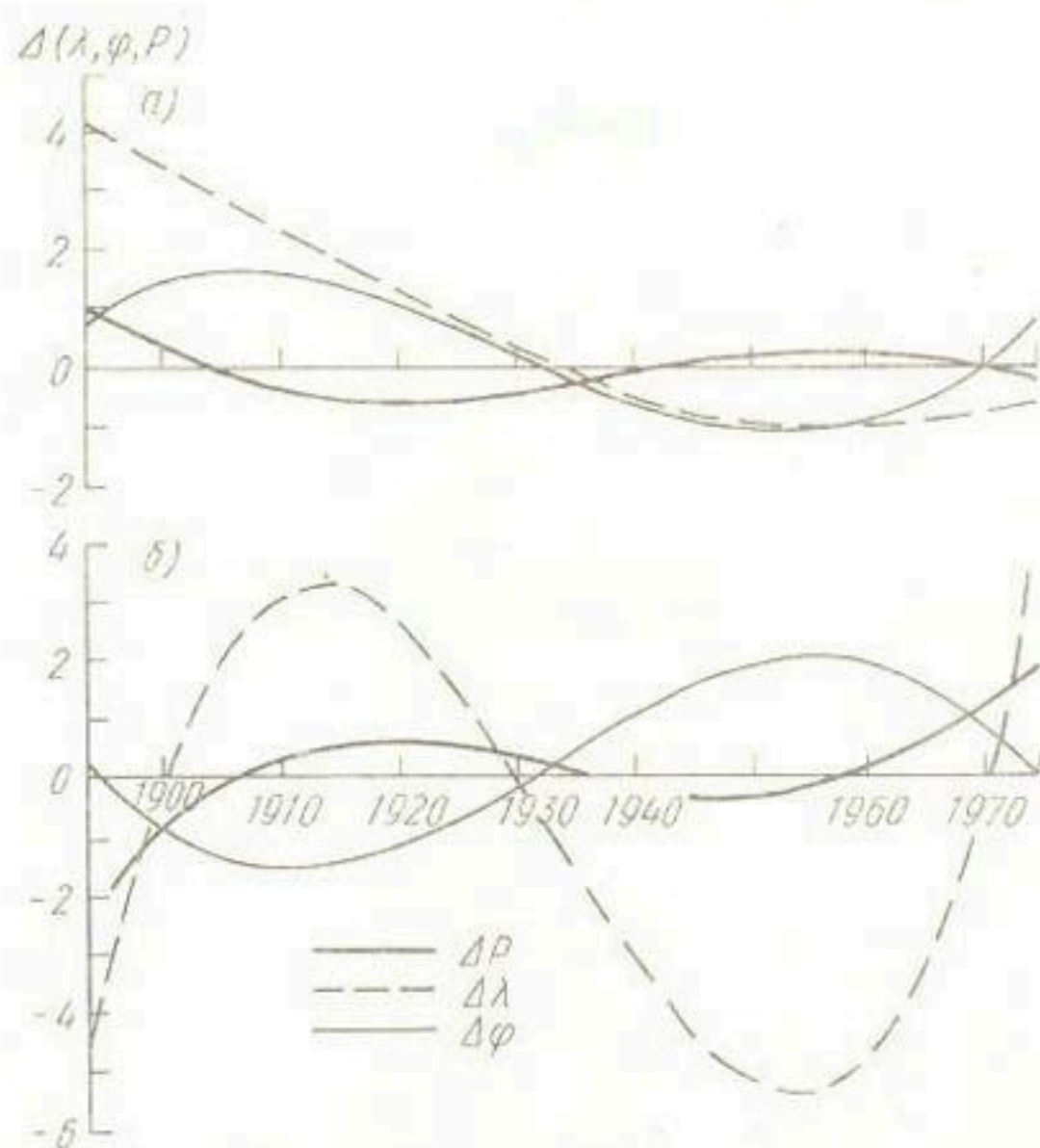


Рис. 17. Тренды третьего порядка отклонений параметров атлантической пары ЦДА от среднего многолетнего значения:

а — исландский минимум, б — азорский максимум

В целом по трем параметрам приблизительно можно отметить три временных порога: в последнем пятилетии 19-го столетия, около тридцатого и около семидесятого года 20-го столетия. Таким образом, в двадцатом столетии полностью наблюдались две эпохи продолжительностью около 35 лет.

Если оценить самую общую тенденцию (на основе линейного тренда) динамики атлантической пары ЦДА, то можно сказать, что исландская депрессия смещалась в юго-восточном направлении, а азорский антициклон — к северу и несколько к западу. Это явление наиболее четко наблюдалось до сороковых годов, т. е. в период, когда в европейском секторе доминировала зональная циркуляция.

Переходя к рассмотрению тихоокеанской пары ЦДА (рис. 18), прежде всего отметим относительно меньшие колебания всех трех параметров. Здесь также ход давления в двух центрах является зеркальным. На большем участке минимум углублялся, а гонолульский максимум усиливался. Если в Атлантике отмечены два полных периода противоположных тенденций параметров, то тихоокеанская пара характеризуется одним полным периодом (эпой) с окончанием, как в Атлантике, около 1970 г., но началом не около 1930 г., а на десять с лишним лет раньше.

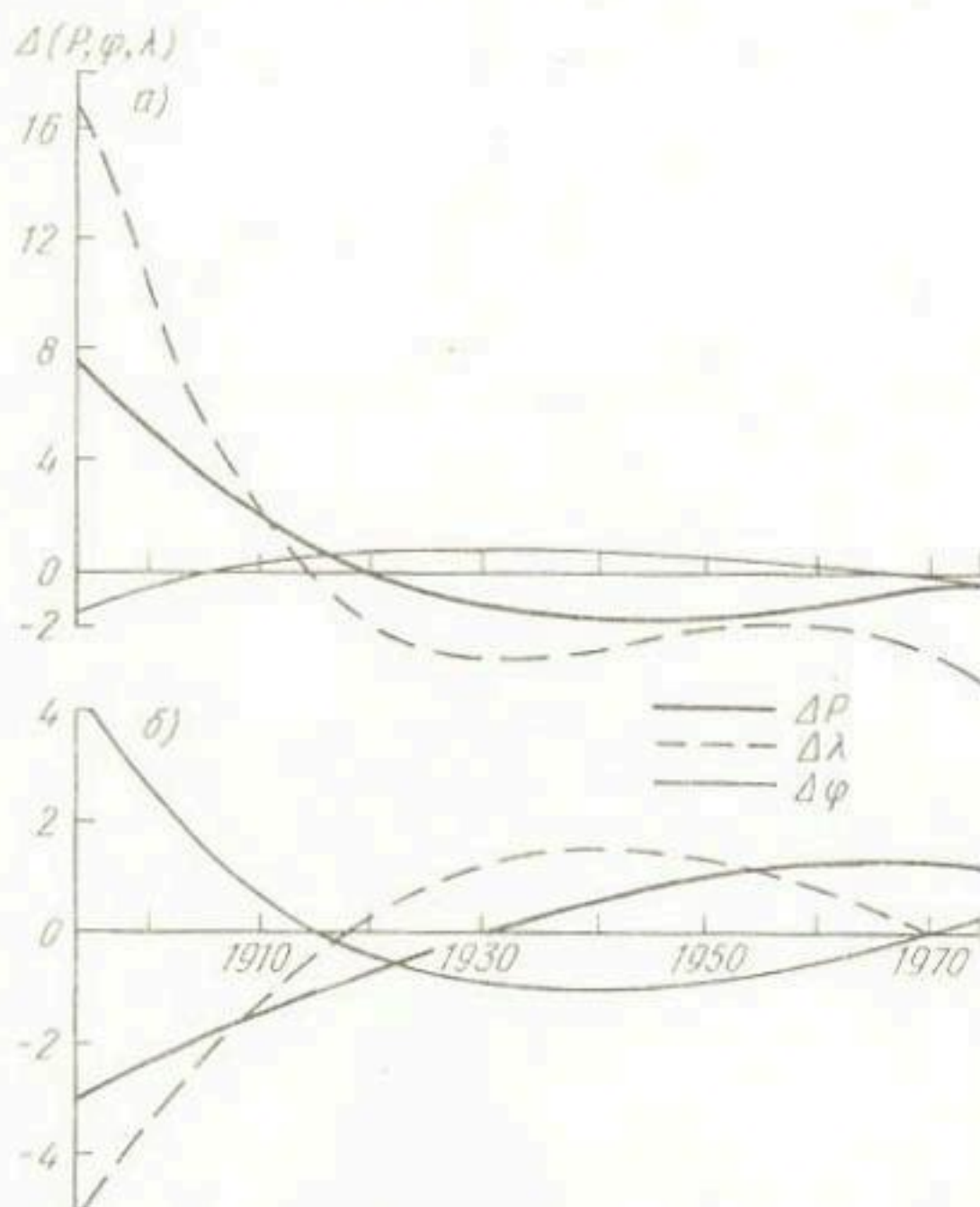


Рис. 18. Тренды третьего порядка отклонений параметров тихоокеанской пары ЦДА от среднего многолетнего значения:
а — алеутский минимум, б — гонолульский максимум

До 1905 г. алеутская депрессия была южнее среднего многолетнего, а затем до 1970 г. несколько севернее. До 1915 г. она располагалась западнее, затем все время восточнее.

Гонолульский центр до 1915 г. был северо-восточнее, а затем юго-западнее обычного.

Сопоставляя общий тренд широты расположений исландской и алеутской депрессий, следует сказать, что в целом в текущем столетии происходил крен этой пары ЦДА в сторону атлантического сектора.

Континентальные зимние максимумы (рис. 19) до 1940 г. были слабее среднего многолетнего, после — более мощные. Широта расположения мало отличалась от многолетнего среднего, но имели тенденцию учащения более западных положений.

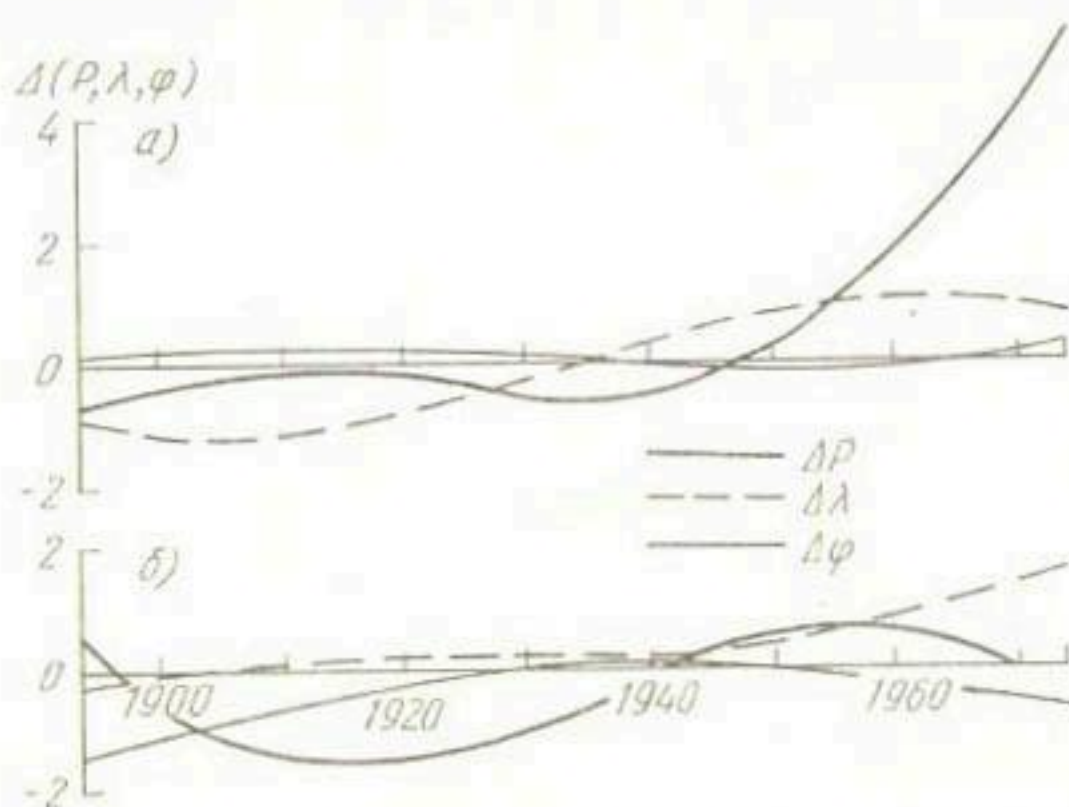


Рис. 19. Тренды третьего порядка отклонений параметров сезонных антициклонов от среднего многолетнего значения:
а — сибирский максимум, б — канадский максимум

5.2. Аномалии местоположения атлантических ЦДА в эпохах форм атмосферной циркуляции

Данные, характеризующие аномалию координат океанических пар ЦДА в эпохах различных форм циркуляции, приведены в табл. 26, из которой видно, что эти два объекта циркуляции довольно определенно сопряжены друг с другом. Так, например, в атлантическом секторе при двух противоположных эпохах меридиональной циркуляции характер аномалий координат местоположения ЦДА противоположны — в эпоху Е-циркуляции исландский минимум располагается в первом квадранте на удалении среднего многолетнего положения по широте на 4° , долготе на 3° , а азорский в это время локализуется в третьем квадранте с широтой -2° и долготой 4° . Напомним, что $+\Delta\lambda$ означает западное отклонение, и $-\Delta\lambda$ — восточное отклонение ЦДА от многолетнего среднего меридиана.

В эпоху Е-циркуляции нередко центр атлантической депрессии отходит в район Скандинавии, но при этих экстремальных случаях азорский антициклон, пожалуй, чаще севернее обычного положения. Для эпохи типа С-циркуляции в первом своем квадранте располагается азорский антициклон, а исландская депрессия отходит к юго-западу. Очень сильно к северо-востоку при этом смещается азорский максимум, который в экстремальных случаях располагается над районом английских островов и Северного моря. По широте он бывает на 18° севернее обычного.

Характерные аномалии координат центров ($\Delta\varphi/\Delta\lambda$) действия атмосферы
в эпохах форм атмосферной циркуляции

ЦДА	III 1911—1928 гг.	E 1929—1941 гг.	C+Ш 1942—1953 гг.	E+C 1954—1964 гг.
Исландский	$\frac{6}{7}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{-6}{5}$	$\frac{-12}{4}$
Азорский	$\frac{-7}{2}$	$\frac{-2}{4}$	$\frac{18}{-15}$	$\frac{6}{-3}$
	C 1903—1921 гг.	Ш 1922—1929 гг.	E 1930—1941 гг.	C 1942—1953 гг.
Алеутский	$\frac{-2}{3}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{2}{-9}$	$\frac{4}{6}$
Гонолульский	$\frac{-3}{2}$	$\frac{-3}{1}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{-6}{-2}$

Не останавливаясь подробно на аномалии координат тихоокеанских ЦДА в циркуляционных эпохах, отметим лишь, что они также в значительной степени противоположны при меридиональных эпохах разного типа.

Данные табл. 26, конечно, слишком обобщенные. В отдельные годы и месяцы, когда тот или иной тип атмосферной циркуляции оказывается в большей степени доминирующим, ЦДА как в своем местоположении, так и в интенсивности отличаются большей аномальностью.

Чтобы показать частоту нахождения исландского и азорского ЦДА по четырем квадрантам, центром которых взято многолетнее их положение, в табл. 27 приведены данные для тех месяцев, в которых тот или иной тип циркуляции наблюдался более 20 дней.

При любом типе преобладающей циркуляции в месяце оба ЦДА могут находиться в любом квадранте, однако вероятность этого является весьма различной. При продолжительной широтной циркуляции исландская депрессия чаще всего (41%) располагается в первом квадранте, т. е. сдвинута к северо-востоку (в отличие от эпохи такого типа). При этом азорский максимум чаще находится в третьем квадранте (что соответствует эпохальной характеристике). Для типа С-циркуляции характерно расположение исландского ЦДА в третьем квадранте, а азорского в первом (41%). Наконец, при типе Е исландская депрессия относительно чаще (39%) находится в первом квадранте, тогда как азорский антициклон в 42% случаев размещается в третьем квадранте.

Чтобы подтвердить неслучайность приведенного фактического распределения вероятности ЦДА по квадрантам, была вычислена статистика χ^2 отдельно каждого ЦДА. В результате они оказались выше доверительных границ для 5%-ного уровня значимости.

5.3. Двухлетняя цикличность местоположения исландской депрессии

Двухлетняя цикличность выявлена во многих характеристиках атмосферной циркуляции как глобального, так и регионального масштаба [69]. Часть этих исследований посвящена центрам действия атмосферы.

Таблица 27

Повторяемость (%) различных местоположений атлантических ЦДА в экстремальные месяцы по числу дней с типами циркуляции

ЦДА	Тип циркуляции	Квадрант			
		1	2	3	4
Исландский	Ш	41	26	21	12
	С	13	32	47	8
	Е	39	26	19	16
Азорский	Ш	26	15	41	18
	С	41	3	38	18
	Е	31	15	42	12

Для периода 1891—1967 гг. с учетом знака алгебраической суммы $\Delta\lambda$ за июль—август было подсчитано число случаев со сменой знака от года к году и с сохранением его. Из 77 лет смена знака $\Delta\lambda$ исландского ЦДА произошла в 51 случае, а сохранение — в 26. В процентах это составляет соответственно 68 и 32%.

Характерно, что степень регулярности двухлетней цикличности долгот исландской депрессии по частям указанного ряда лет оказывается неодинаковой. Учитывая, что во второй половине этого периода лет заметно увеличилась меридиональность атмосферной циркуляции, двухлетняя цикличность меридиана расположения исландского ЦДА была рассчитана еще отдельно для 1891—1923 и для 1924—1967 гг. В этом случае получилась смена знаков $\Delta\lambda$ в первом периоде в 71%, а во втором в 59%. Такой результат можно объяснить тем обстоятельством, что при широтной циркуляции как от месяца к месяцу, так и от года к году процессы циркуляции меняются чаще, нежели при меридиональных формах. Показано, например, что серии однозначной аномалии среднемесячной температуры воздуха (Δt) в последние 40—50 лет заметно удлинились. Если до сороковых годов их средняя продолжительность на Европейской территории СССР равнялась 6—7 мес, то после она возросла в среднем до 10 мес.

Примером может служить хотя бы последняя серия Δt положительного знака, которая длилась с ноября 1982 г. до мая 1984 г., т. е. 19 мес, среди которых только два месяца встретились с отрицательным знаком (июнь и август 1983 г.), что составляет менее 11% длительности этой серии.

Двухлетняя цикличность местоположения исландского ЦДА (также как и азорского) имеет не только любознательный и научный, но и большой практический интерес. Так, например, в [15] показано, что с восточным (против многолетнего среднего) положением исландской депрессии летом связана повышенная вероятность засух на ЕТ СССР, ибо в этом случае над Центральной Европой преобладает циклоническая деятельность при устойчивом антициклогенезе над Восточной Европой и Уралом. Долгота исландского ЦДА за летние месяцы служит информативным предиктором в дискриминантных уравнениях для прогноза засухи на ЕТ СССР с годовой заблаговременностью.

В заключение данного раздела укажем, что наличие двухлетней цикличности исландского ЦДА доказана двумя статистическими способами. Во-первых, для ряда 1891—1967 гг. по данным $\Delta\lambda$ исландского ЦДА рассчитан критерий χ^2 , значение которого оказалось равным 8,38, что при четырех степенях свободы показывает статистически значимый результат. Нулевая гипотеза об отсутствии различия между знаками $\Delta\lambda$ соседних лет отвергается с достоверностью в 90%.

Существенность различия знаков $\Delta\lambda$ июля—августа в соседних годах подтверждена также методом серий.

ГЛАВА 6

БЛОКИРУЮЩИЕ АНТИЦИКЛОНЫ

6.1. Годовой ход и повторяемость блокирующих антициклонов

Изучение антициклонов вообще было начато еще в начале текущего столетия академиком Б. П. Мультановским, который выявил основные траектории антициклонов («оси») и их движение по ведущему потоку [54]. Его последователи С. Т. Пагава, Н. А. Аристов, Е. И. Борисова и др. с конца сороковых годов широко изучали свойства антициклонов применительно к долгосрочным прогнозам погоды.

Введение понятия «Блокирующий антициклон», изучение их структуры, механизма формирования и влияние их на погоду произошло в начале пятидесятых годов [8, 63, 77] и к настоящему времени имеется уже более десятка работ [16, 29, 48, 64, 68, 72, 76, 79]. Однако большинство из них посвящено процессам блокирования в отдельных регионах северного полушария и за сравнительно короткие периоды лет.

В 1982 г. во ВНИИГМИ-МЦД впервые авторами проанализированы блокирующие синоптические ситуации по северному полушарию в зоне $40-70^\circ$ с. ш. с 1949 по 1982 г. При этом за блокирующий антициклон принимался такой, который обязательно прослеживается на высоте 500 гПа, имеет на ней не менее одной замкнутой изогипсы и сохраняется в одном районе три дня и более. Полученный массив данных по блокам занесен на магнитную ленту и теперь может быть использован для различных расчетов широко. В каталоге блоков содержатся координаты местонахождения по дням, сроки начала и разрушения, число замкнутых изобар, давление в центре антициклона, число замкнутых изогипс на уровне 500 гПа и значение геопотенциала в центре. Этот каталог успешно используется для изучения колебаний гидрометеорологических характеристик как во ВНИИГМИ-МЦД, так и в других НИИ.

Переходя к климатологии блокирующих антициклонов, прежде всего отметим, что повторяемость их по территории северного полушария довольно неоднородная. В связи с этим некоторые характеристики изучались по четырем секторам, границами которых взяты меридианы относительно малой повторяемости блоков. Это

меридианы 80° и 140° в. д. и 40° и 100° з. д., делящие полушарие на четыре сектора, первый и третий шириной по 120° , второй и четвертый по 60° . Основная масса блокирующих ситуаций приходится на первый и третий секторы, в которых сосредоточено более 90% общего количества.

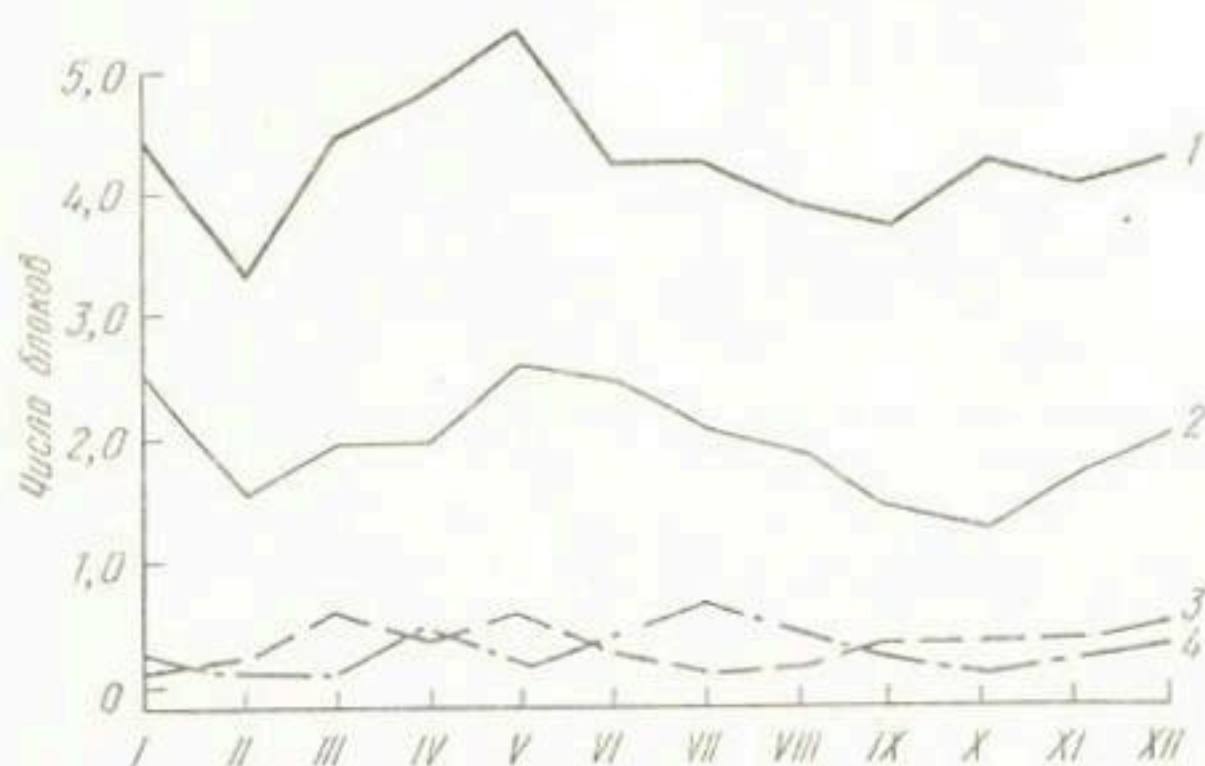


Рис. 20. Годовой ход среднего многолетнего числа блоков по секторам северного полушария:
1 — европейский, 2 — азиатский, тихоокеанский, 4 — американский

Годовой ход числа блоков по четырем секторам приведен на рис. 20. Он свидетельствует о том, что в первом (европейском) районе основной максимум блоков наблюдается в весенние месяцы (март—май), когда число блоков достигает 45 и более за месяц. Минимум блоков здесь имеет место в феврале (34 блока). В остальных месяцах года блокирующие ситуации колеблются в пределах 42—45 случаев.

В третьем (тихоокеанском) секторе годовой ход характеризуется двумя максимумами и двумя минимумами. Главный максимум с повторяемостью 25—26 блоков наблюдается в мае—июне, второй — в декабре—январе с повторяемостью 25 блоков.

Во втором и четвертом секторах полушария, охватывающих восточные районы континентов и западные районы океанов, число блокирующих ситуаций в течение года колеблется в пределах 2—6. Это секторы, в которых в течение года имеют место наибольшие, по сравнению с остальными секторами, термобарические контрасты.

В европейском секторе, где формируется более 60% общего полушарного количества блоков, последние по годовым данным обнаруживают два очага наибольшей повторяемости. Первый очаг локализован над английскими островами, второй — над бассейном р. Камы. Эти два очага напоминают два фокуса эллипсовидной фигуры изолиний повторяемости блоков, вытянутых в широтном направлении от прианглийского района Северной Атлантики до районов Северного Урала.

Два европейских очага учащенной повторяемости блокирующих ситуаций совпадают с районами локализации антициклонов и высотных гребней, характерных для двух меридиональных форм атмосферной циркуляции, а именно: английский очаг для циркуляции С и приуральский — для циркуляции Е, чем подтверждается правильность принципа классификации атмосферных макропроцессов по Вангенгейму—Гирсу.

В третьем секторе полушария наблюдается только один очаг повышенной повторяемости блокирующих процессов. Он расположен над Аляской. Его форма в северной своей части также несколько вытянута в западно-восточном направлении и, видимо, отражает местоположение высотных гребней и антициклонов, формирующихся при меридиональных циркуляциях М1 и М2 (по А. А. Гирсу). Данное обстоятельство есть отражение того факта, что при циркуляции М2 высотный гребень над западными районами Северной Америки своей осью часто ориентирован на северо-запад вдоль горных районов. Интересно, что по данным за летний сезон (май—август) в первом секторе наблюдается один очаг частого блокирования, центр которого помещается над северной половиной ЕТ СССР, что также согласуется с режимом типов атмосферной циркуляции, ибо летом тип Е-циркуляции, для которого характерны антициклоны над ЕТ СССР, встречается почти в два раза чаще, чем тип С.

Тихоокеанский очаг остается на месте, как и в годовом итоге. Однако повторяемость блоков в это время еще больше уступает европейскому очагу.

6.2. Многолетний ход повторяемости блокирующих антициклонов

Поскольку значительная доля блокирующих ситуаций приходится на европейский сектор, то многие черты многолетнего хода блоков этого сектора отражают многолетний ход таких процессов всего полушария. Среднее квадратическое отклонение годового числа блоков от нормы (σ) как по европейскому сектору, так и по полушарию в целом довольно велико (26,4% годовой амплитуды). Это обусловлено наличием в многолетнем ходе их цикличности со значительной амплитудой колебания (рис. 21). В 1949—1980 гг. практически наблюдались три эпохи повышения и три эпохи понижения годового числа блоков. Максимумы приурочены к концу пятидесятых, шестидесятых и семидесятых годов. Минимумы же приходятся на середины пятидесятых, шестидесятых и семидесятых годов. Первый максимум повторяемости блоков на полушарии был наиболее значительным (с числом случаев около 170). При втором максимуме число блоков было в два раза меньше и равнялось первому минимуму. Третий максимум, вероятно, еще не завершился, но по данным 1979 г. он достиг ста с лишним случаев. Что касается минимумов числа блоков, то они последовательно снижались от 90 случаев до 42.

Кривая тренда третьей степени, по сравнению с кривой сглаженных значений по трехлетиям, значительно проще и характеризуется одним максимумом и одним минимумом. Этот максимум своими наивысшими значениями приходится на 1955—1957 гг., а минимум — на 1973—1974 гг. Можно предположить, что существует цикл длительностью около 34 лет, т. е. цикл, о котором упоминалось в многолетнем ходе других циркуляционных параметров. Вклад тренда третьей степени в общую дисперсию колебания годовых значений повторяемости блоков составляет более 50% (рис. 22).

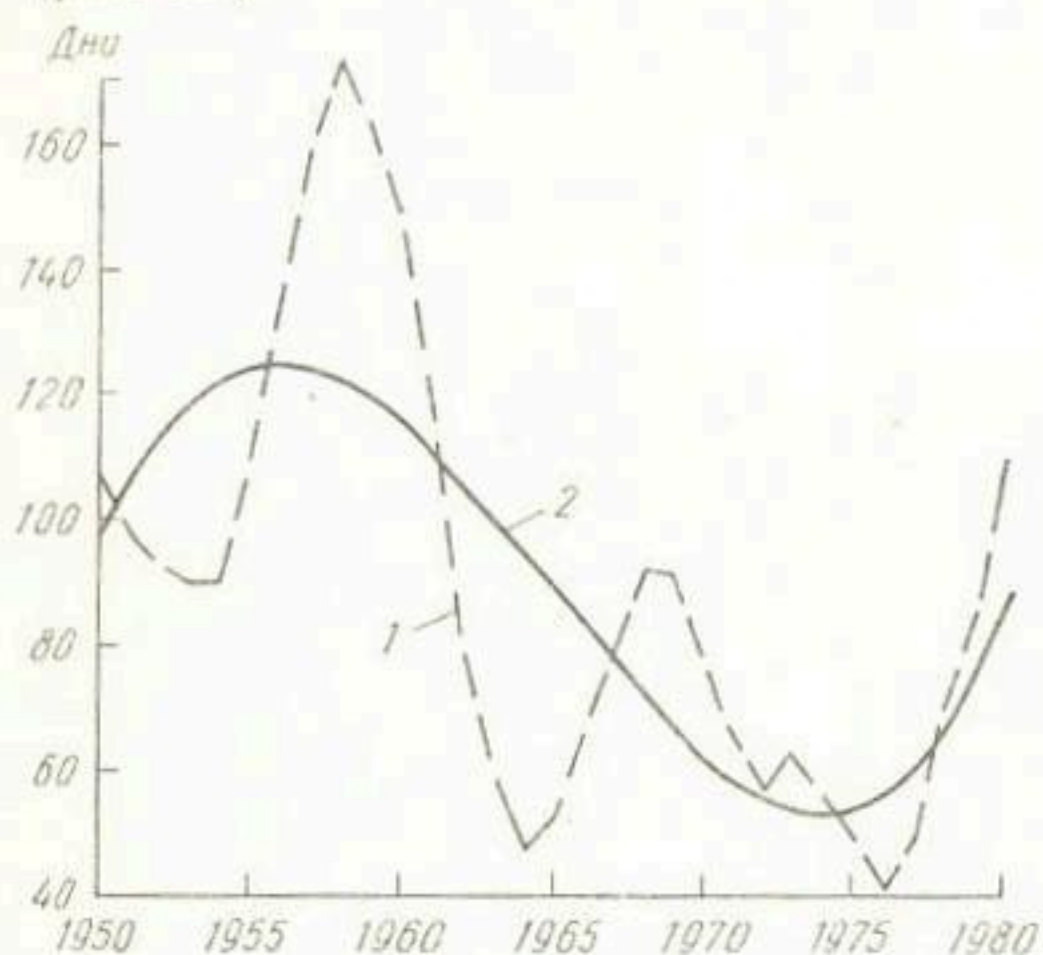


Рис. 21. Многолетний ход и тренд годового числа блокирующих антициклонов на полушарии:
1 — сглаженный ряд по 3-летиям, 2 — полиномиальный тренд 3-й степени

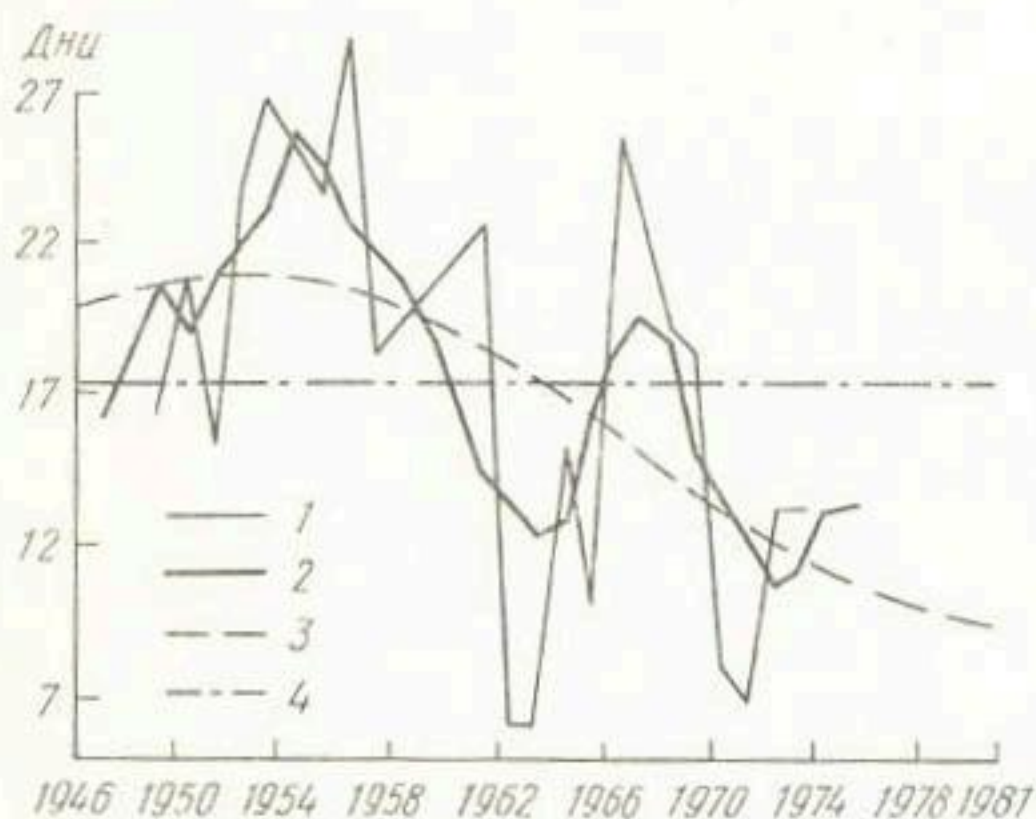


Рис. 22. Многолетний ход годовых (1) и пятилетних (2) скользящих средних значений числа блоко-дней по срединному региону и линия тренда третьей степени (3); 4 — норма

Как на рис. 21, так и на рис. 22 хорошо видна одиннадцатилетняя цикличность в многолетнем ходе блокирования, причем максимумы близко совпадают с максимумами солнечной активности. Подробно об этом будет идти речь в следующей главе.

Реальность наличия годовых значений повторяемости блокирующих антициклонов подтверждается автокорреляционной функцией (рис. 23), которая показывает высокий коэффициент корреляции при сдвигах сопоставляемых значений около одиннадцати лет. Для полушария такой коэффициент достигает значения 0,75, а для европейского сектора — 0,50. Наконец, подтверждающим фактом может служить и то, что автокорреляционная функция числа смен форм высотного барического поля в европейском секторе похожа на автокорреляционную функцию блоков. Это, конечно, не значит, что максимумы этих двух показателей синхронны. Наоборот, в многолетнем ходе максимуму блокирования соответствует минимальная повторяемость смен барического поля, ибо вне блокирующих ситуаций наблюдаются частые смены в одном и том же районе форм высотного барического поля, обусловленные значительными скоростями низких, сравнительно незначительных барических образований.

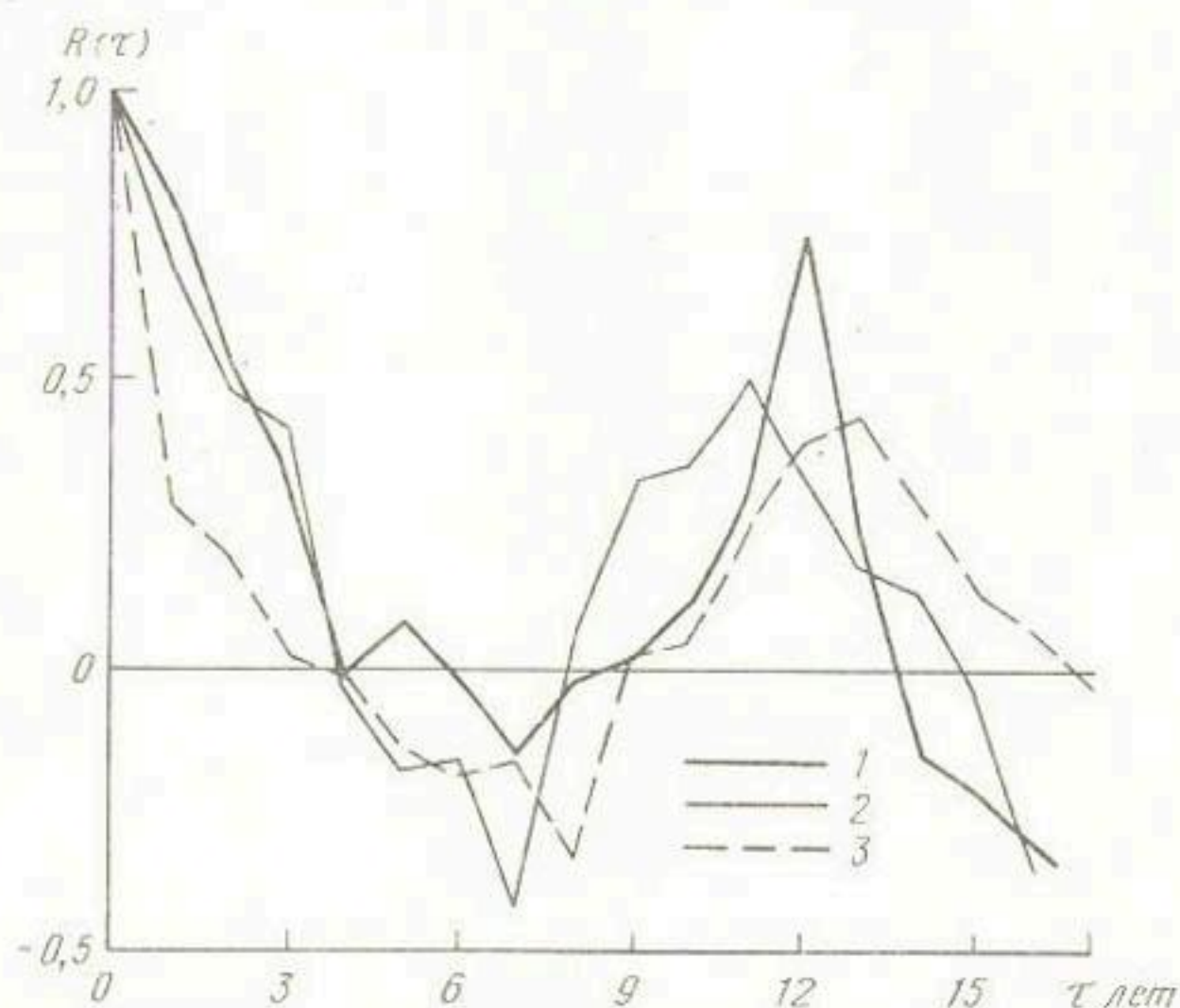


Рис. 23. Автокорреляционная функция годового числа блокирующих антициклонов в северном полушарии (1), в европейском секторе (2) и числа смен высотного барического поля в европейском секторе (3)

Оценивая многолетнюю повторяемость процессов блокирования при помощи линейной регрессии 1-го порядка, прежде всего следует отметить нисходящий тренд для всех секторов полушария как в отношении самих случаев, так и в отношении общего числа дней их развития. Соответствующие данные по секторам полушария приведены в табл. 28. У всех показателей тренд отрицательный. Коэффициент при параметре времени колеблется от $-0,3$ до $-11,4$. В среднем он больше для блоко-дней, нежели для блоков.

По четырем секторам первые в среднем равны $-2,8$, по вторым $-0,35$. Для полушария коэффициент наклона тренда также больше для блоко-дней.

Таблица 28

Уравнения трендов
многолетнего хода годовых значений
повторяемости блоков (1)
и блоко-дней (2)

Район (сектор)	Уравнение регрессии
Полушарие	$y_t = 100,3 - 1,8t$ (1) $y_t = 56,1 - 11,4t$ (2)
Сектор I	$y_t = 49,2 - 0,5t$ (1) $y_t = 296,6 - 4,4t$ (2)
Сектор II	$y_t = 13,1 - 0,3t$ (1) $y_t = 70,5 - 1,9t$ (2)
Сектор III	$y_t = 22,3 - 0,4t$ (1) $y_t = 149,7 - 3,6t$ (2)
Сектор IV	$y_t = 7,7 - 0,2t$ (1) $y_t = 43,4 - 1,4t$ (2)

В заключение данной главы отметим, что, несмотря на большое сходство кривых многолетнего хода повторяемости блокирующих процессов в первом и третьем секторах полушария, синхронные связи между ними невысоки. Коэффициент корреляции равен только 0,44. Это объясняется следующими двумя обстоятельствами. Во-первых, нередко формы меридиональных циркуляций в этих двух секторах противоположны и, во-вторых, повторяемость широтных процессов в третьем секторе значительно больше, чем в первом. Поэтому не всегда при блокировани-ях в европейском секторе ана-

логичные явления имеют место и в третьем секторе.

ГЛАВА 7

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ И ВНЕШНИМИ ФАКТОРАМИ

7.1. Соотношения между параметрами атмосферной циркуляции

В литературе по циркуляции мало работ, посвященных взаимосвязи отдельных циркуляционных объектов. Имеется лишь несколько работ по соотношениям между типами циркуляции и индексами циркуляции [2, 10, 19, 30, 63].

О связи между формами циркуляции и центрами действия атмосферы уже говорилось в гл. 5. Показано, что местоположение ЦДА довольно хорошо отражает преобладающий тип циркуляции за месяц и, наоборот, преобладающий тип циркуляции — местоположение ЦДА (особенно в тех случаях, когда тип циркуляции насчитывает в месяце более 20 дней). Сопоставление местоположения ЦДА с типами циркуляции за промежутки времени менее месяца не производилось ввиду отсутствия соответствующих данных по ЦДА.

Для выяснения соотношений между основными формами циркуляции (Ш, С, Е) и различными местоположениями полюса циркуляции прежде всего обратимся к данным табл. 29, которая позволяет сделать следующие выводы. Наиболее дифференцированное распределение вероятности форм циркуляции наблюдается при центральных, чукотском и таймырском ПЦ, при которых вероятность той или иной формы циркуляции достигает или превышает 50%. Для центральных и особенно антициклонического ПЦ в значительном проценте случаев характерна широтная форма циркуляции. Это вполне понятно, ибо при длительном сохранении центра циркуляции около полюса, как правило, циклонические серии имеют преимущественно западно-восточное движение. Оно происходит в субарктической зоне при центральном циклоническом ПЦ и несколько южнее при центральном антициклоническом ПЦ. Нередко приземный антициклон в Арктическом бассейне настолько сильно разрастается, что циклоны вынуждены смещаться в зоне умеренных и даже южных широт.

Повторяемость преобладающих форм циркуляции в месяцах
с различным местоположением ПЦ в ноябре—марте (1949—1975 гг.)

Разновидность ПЦ	Число случаев	% случаев		
		Ш	С	Е
Центральная циклоническая	12	67	0	33
Центральная антициклоническая	23	74	17	9
Чукотская	14	22	64	14
Таймырская	18	17	33	50
Баренцевоморская	18	22	45	33
Гренландская	14	43	43	14
Канадская	10	50	10	40
Всего случаев ПЦ	109			

В случаях сильной асимметрии ПЦ, т. е. когда наблюдается периферийное его стационарирование и формирование меридиональных типов циркуляции, главные пути циклонов приобретают значительные меридиональные составляющие.

Наибольшими меридиональными составляющими обладают пути циклонов при сочетании меридиональных форм циркуляции (С/С, Е/Е). Районы и компактность выхода тропических циклонов тоже в значительной мере определяются характером циркуляции в средних широтах. Примером в летнее полугодие может служить типовая карта путей циклонов при циркуляции С/Е, когда и в Тихом океане и в Атлантическом океане тропические циклоны перемещаются по многим путям.

Достаточно взглянуть на схематическую карту локализации высотных гребней ложбин при трех основных формах циркуляции (рис. 1), чтобы получить самое общее представление о главных особенностях планетарной высотной фронтальной зоны, которая по существу и окаймляет высотные гребни и ложбины. В ряде работ [8—10, 34] высотные фронтальные зоны охарактеризованы детально для разновидностей и стадий развития форм циркуляции. Так, в [8—10] подробно рассмотрены как высотные фронтальные зоны, так и районы сосредоточения приземных фронтов при всех разновидностях трех форм циркуляции над первым синоптическим районом. Конфигурации ПВФЗ по всем стадиям развития форм циркуляции подробно изложены для полушария в [35].

Основные формы циркуляции определяют собой не только пути циклонов, зоны облачности и осадков на полушарии, но также такие циркуляционные объекты, как блокирующие антициклоны. Последние в основном стационарируют в районах расположения высотных гребней при меридиональных формах циркуляции. Блоки в последнее время изучаются многими исследователями, но главным образом в климатологическом отношении и в отношении их влияния на погоду. К прогнозированию их пока никто не подошел, а попытки объяснить их влиянием подстилающей поверхности пока мало успешны, ибо блоки не только и не столько результат влия-

ния местных условий, сколько продукт механизма общей циркуляции атмосферы, основными формами развития которой являются три формы циркуляции по Вангенгейму—Гирсу.

Часто авторы, изучающие циркуляцию атмосферы, любят отмечать, что процессы глобального масштаба определяют в каждом случае тот фон, который сказывается на характере локальных процессов, и что в свою очередь процессы в любом районе земного шара в той или иной степени сказываются на процессах глобального масштаба. Так, например, Рейт в [84] отмечает: «Процессы, происходящие в атмосфере, чрезвычайно сложны. Атмосфера всего земного шара реагирует на некоторые возмущения, и, наоборот, циркуляция, имеющая место в каком-то одном районе, может быть подвержена влиянию любых других циркуляций, развивающихся в любом другом районе». Далее Рейт продолжает: «Так что, если мы хотим достигнуть прогрессов, мы должны прибегнуть к упрощению. Упрощение путем рассмотрения только одного района или одного механизма имеет мало успеха, мы должны подходить к синоптическим ситуациям так, как это делает атмосфера, т. е. рассматривать их всесторонне и в глобальном масштабе». Это мнение, конечно, справедливое и важное. Но дело все в том, как конкретно учесть и использовать то, что подсказывает сама природа. Указать на подход к изучению атмосферных процессов, конечно, само по себе важно, но как идти дальше, этого почти никто не знает. Пока самым правильным, на наш взгляд, является глубокое и всестороннее исследование трех форм атмосферной циркуляции, их стадии развития во взаимосвязи с внешними по отношению к глобальной циркуляции факторами.

7.2. Особенности связей параметров атмосферной циркуляции с солнечной активностью

Это тема издавна и широко затрагивалась очень многими авторами. Даже простой перечень работ занял бы много страниц. Часть из них уже упоминалась. Поэтому здесь мы будем ссылаться лишь на наиболее принципиальные из них. Как отечественные, так и зарубежные исследователи чаще всего сопоставляли циркуляционные параметры с пятнообразовательными явлениями на Солнце, ибо числа Вольфа характеризуются наиболее длинным рядом наблюденных данных.

Еще с первых десятилетий текущего века выдвигалась теория о связи некоторых форм планетарного барического поля с солнечной активностью. Затем последовала теория об акцентации типов барического поля под влиянием солнечных максимумов, автором которой был О. Ю. Визе. Согласно этой теории в средних и высоких широтах во время усиления солнечной активности акцентируется тот тип циркуляции, который в это время наблюдается. Эта теория физически может иметь объяснение через появившуюся позже конденсационную теорию воздействия солнечной активности. Клей-

тоном были построены мировые карты знака изменений температуры воздуха, атмосферного давления и осадков в периоды максимумов солнечной активности.

По мнению А. А. Гирса, ультрафиолетовая радиация, возрастающая в периоды максимума солнечной активности, повышает содержание озона в полярной стратосфере, где формируется очаг теплого воздуха, в свою очередь способствующий увеличению меридиональных форм циркуляции. Тем не менее оказалось, что связь векового хода солнечной активности с ходом повторяемости не очень четкая и различная по времени проявления в европейском и тихоокеанском секторах полушария. В сопоставлениях развития форм циркуляции в двух секторах полушария отдельно в четном и нечетном одиннадцатилетних солнечных циклах, проведенных М. Ш. Болотинской [23], оказалось, что в первом из них преимущественное развитие на пространстве обоих секторов полушария получает зональная циркуляция, а в нечетных — меридиональная формы E и M2.

Таблица 30

Среднее годовое число дней с формами циркуляции Ш и E
в солнечных четных и нечетных одиннадцатилетних циклах
(0 — год максимума)

Цикл	Год цикла											Всего дней
	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	
Ш-циркуляция												
Четный	125	125	147	122	140	148	148	118	120	119	132	1444
Нечетный	129	146	147	141	121	139	131	101	136	128	160	1479
Разность	-4	-21	0	-19	+19	+9	+17	+17	-16	-9	-28	-35
Е-циркуляция												
Четный	135	117	124	148	117	128	146	140	154	151	139	1499
Нечетный	139	130	150	160	155	138	151	174	135	115	117	1554
Разность	-4	-13	-26	-12	-38	-10	-5	-34	+19	+36	+22	-55

Однако внимательный анализ графиков временного хода повторяемости (в отклонениях от нормы) форм циркуляции по годам циклов солнечной активности показывает, что максимум развития форм E и M2 имеет место в обоих солнечных циклах, приходясь на первую половину спада после максимума, что было подтверждено Л. Е. Суловым. Что касается зональных форм циркуляции, то они развиты сильно в четном цикле в фазу максимума, а в нечетные — в фазу его подъема. Следует отметить, однако, что при перерасчете с каждым новым циклом результаты о временном ходе повторяемости форм циркуляции несколько меняются. Включив, например, данные по 20-й цикл солнечной активности включительно, можно констатировать новый вывод, который следует из табл. 30, а именно, что в целом в четных циклах число дней как с типами Ш,

так и с типами Е меньше, чем в нечетных (конечно за счет типа С) соответственно на 35 и 55 дней. Видно также, что общее число дней за цикл широтные процессы по продолжительности в нечетных циклах уступают по повторяемости процессам формы Е больше, чем в четных.

Наконец, и это, видимо, самый главный вывод из табл. 30, что в фазе подъема цикла у обеих форм циркуляции число дней за год в четных циклах уступает нечетным, а в год максимума и последующих за ним три года широтных процессов больше в четных циклах, тогда как меридиональных по-прежнему больше в нечетных. С четвертого по шестой год после максимума цикла наступает картина, обратная второму периоду. Процессов Ш здесь больше вновь в нечетных циклах, а процессов формы Е больше в четных.

Таким образом, из ограниченного числа циклов, за которые имеются данные по циркуляции, внутрициклические закономерности хода повторяемости процессов слишком условны. Это справедливо и потому, что на вышеприведенных выводах в сильной степени сказывается вековой ход форм атмосферной циркуляции, о котором уже упоминалось в первой главе. Здесь же мы в подтверждение приведем еще таблицу, свидетельствующую о противоположности векового хода форм Ш- и Е-циркуляции (табл. 31).

Таблица 31

Многолетний ход повторяемости числа дней с циркуляцией Ш и Е
в сумме по солнечным циклам

Форма цирку- ляции	Номер солнечного цикла							
	13	14	15	16	17	18	19	20
Ш	1755	1559	1709	1538	1220	1245	1145	894
Е	—	1472	1417	1612	1417	1554	1547	1593

От 13-го к 20-му циклу число дней с процессами Ш за цикл уменьшилось вдвое, причем отдельно в четных циклах это уменьшение происходило почти по прямолинейному тренду. Рост повторяемости процессов Е-циркуляции происходит с колебаниями от цикла к циклу, не обнаруживая четкой закономерности от четного цикла к нечетному и наоборот.

Исключительно четкая связь обнаружена между солнечной активностью и годовым числом смен типов атмосферной циркуляции (Ш, С, Е). Эту связь иллюстрирует рис. 24, на котором видна противоположность многолетнего хода сопоставляемых показателей. Всем минимумам солнечной активности соответствуют максимумы сменяемости форм циркуляции. Асинхронность в ходе этих элементов может использоваться для ориентировки в части ближайшей тенденции уровня частоты сменяемости форм циркуляции. Так, последний максимум солнечной активности (цикл 21) характерен фактическим уменьшением сменяемости форм циркуляции на фоне уменьшения зональных процессов, которыми и характерна частая

сменяемость на кратковременные всплески меридиональной циркуляции. Тесную сопряженность между солнечной активностью и циркуляцией иллюстрирует далее рис. 25. Многолетний ход интенсивности ПВФЗ довольно точно повторяет ход солнечной активности (чисел Вольфа, рассчитанных в процентах от максимального значения в каждом цикле). Коэффициент корреляции между относительными числами Вольфа и интенсивностью планетарной высотной фронтальной зоны равен 0,98, что характеризует почти функциональную связь.

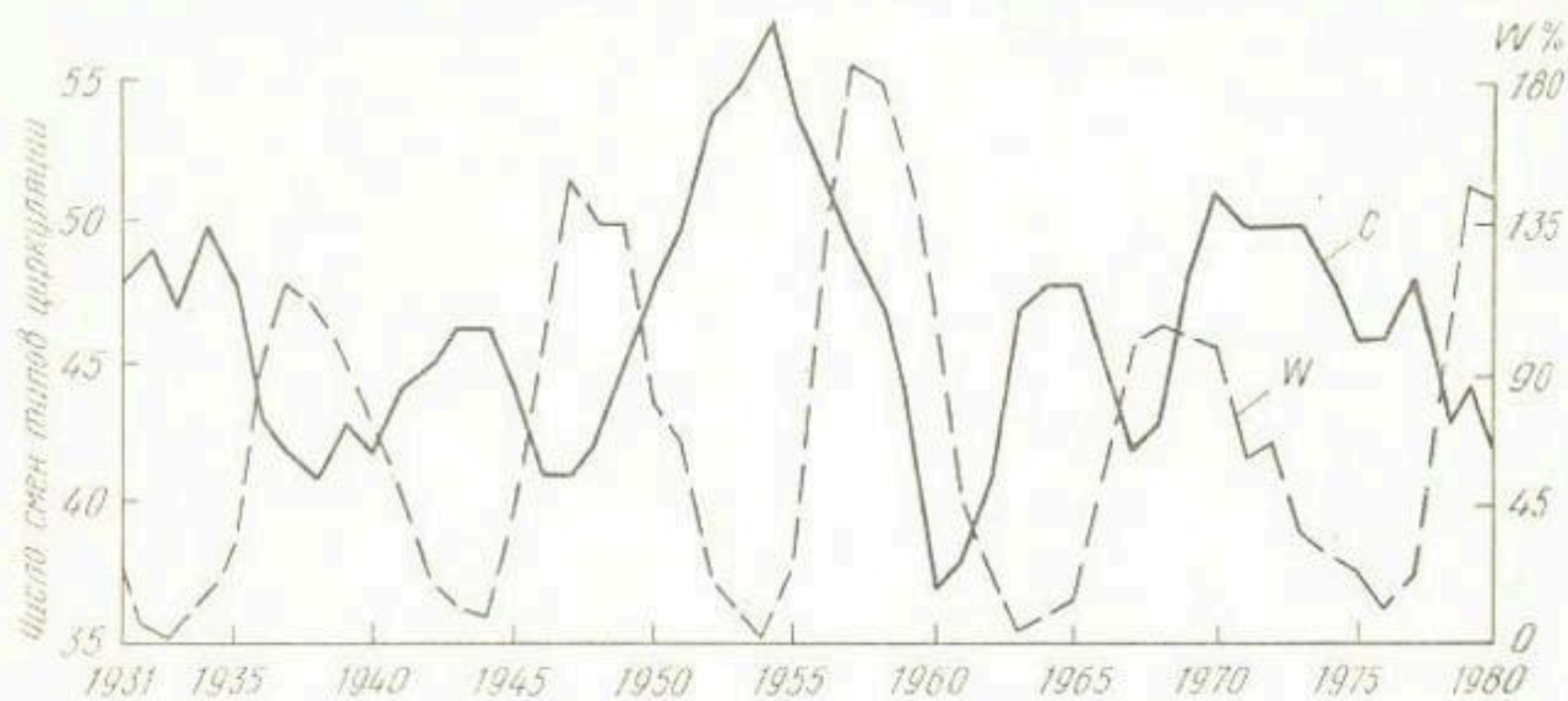


Рис. 24. Временной ход чисел Вольфа (W) и годового числа смен типов циркуляции, осредненного по трехлетиям (C)

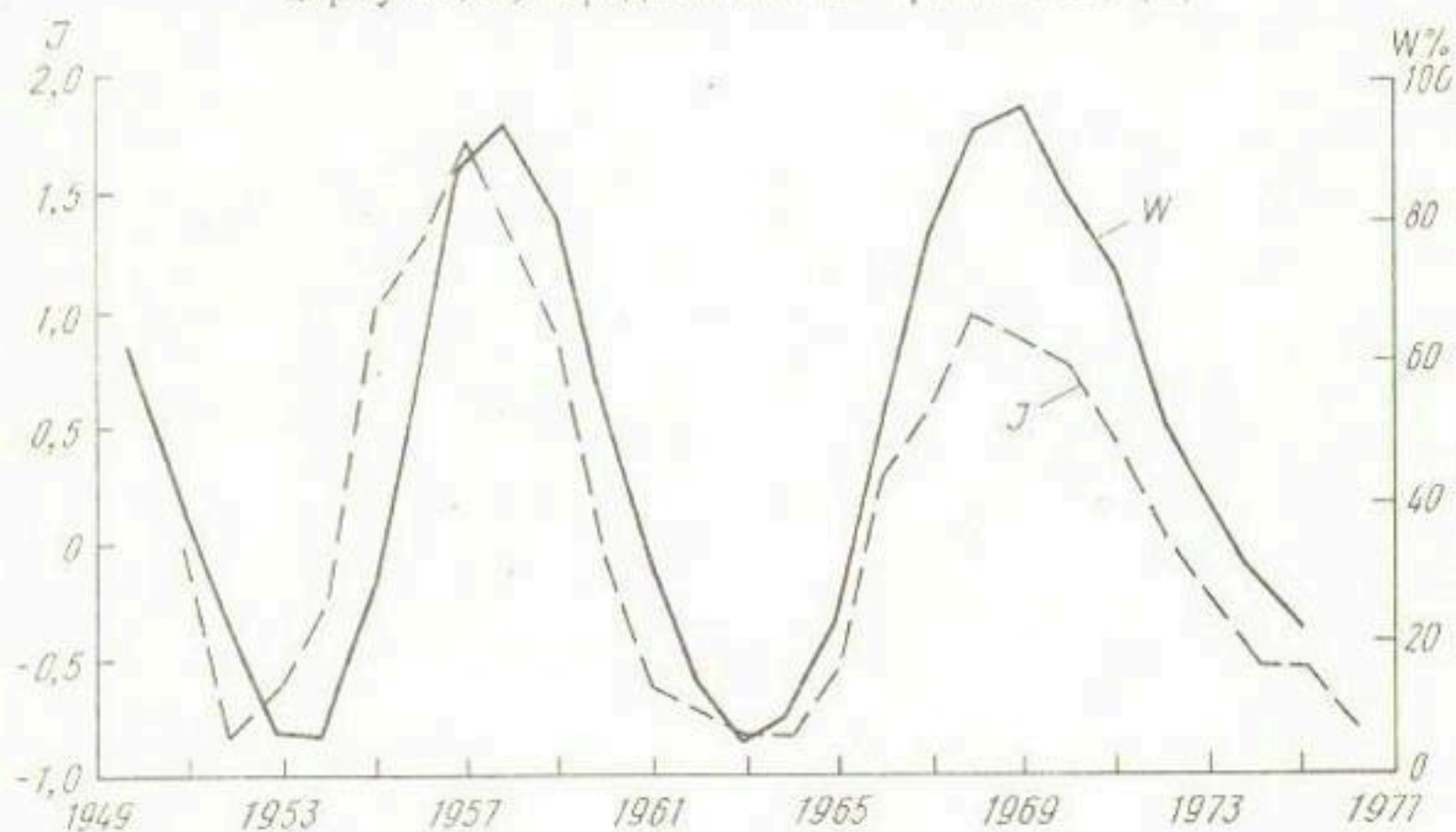


Рис. 25. Многолетний ход интенсивности ПВФЗ (I в отклонениях от тренда) и солнечной активности (W % от максимума в 11-летних циклах), сглаженный по 3-летиям; $R=0,92$, $\sigma_r=0,082$

Переходя к соотношениям между временными характеристиками повторяемости блокирующих ситуаций и других параметров, прежде всего укажем на вполне естественную и очевидную связь между блоками и сменой типов циркуляции (рис. 26). В самом де-

ле, блокирующие ситуации, как известно, ситуации продолжительные и, представляя собой макросиноптическую ситуацию, своей географической локализацией определяют и тип циркуляции на большом пространстве. При этом следует учесть, что с блокирующими антициклонами (антициклонами, крупными по масштабам охвата территории и высокими барическими объектами) тесно связаны процессы циркуляции в окружающих регионах. Это — также стационарные циклонические образования (так называемые центральные циклоны). Некоторые авторы даже считают, что с блокирующим антициклоном обязательно сопряжен стационарный циклон, что блокирующая ситуация — это ситуация барической пары — антициклона и циклона. Тем не менее нередки случаи, когда в результате формирования в высоких широтах теплого антициклона в средних широтах продолжается интенсивный западно-восточный перенос и нормальное движение циклонов.

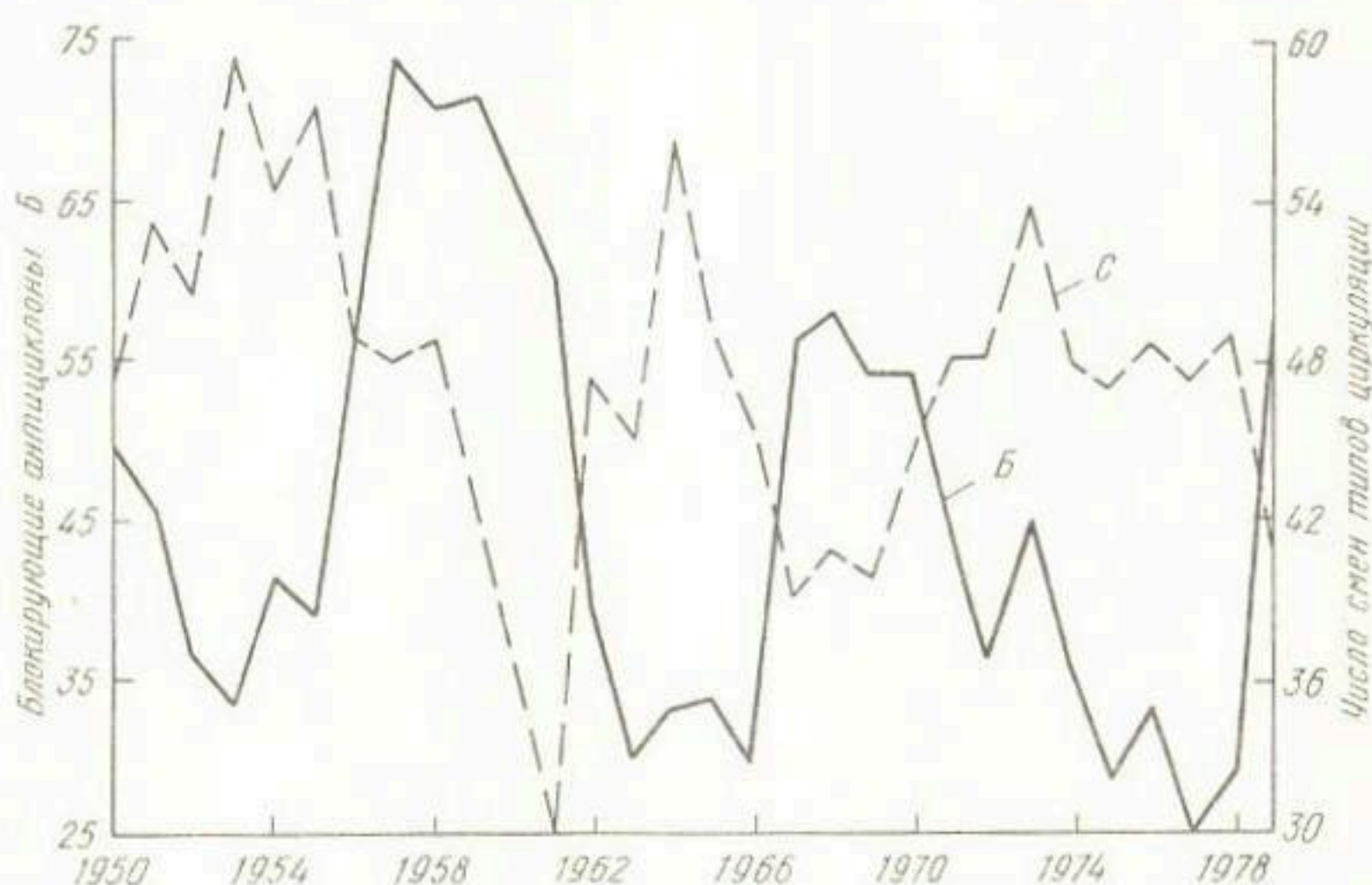


Рис. 26. Ход годовых сумм блокирующих антициклонов (B) и числа смен трех типов циркуляции над Европой (C)

Если считать в целом по северному полушарию число блокирующих антициклонов и центральных циклонов, то, вероятно, можно заметить между ними некоторую связь. Так, подсчеты Мультановского для первого синоптического района показали между повторяемостью блокирующих антициклонов и центральных циклонов хорошую связь (табл. 32). При сравнительно значительных случаях повторяемости разность между ними в среднем составляет 8 случаев. При этом, как следует из табл. 32, увеличение в годы максимума и уменьшение в годы минимума солнечной активности происходит у обоих циркуляционных объектов. От минимума к максимуму солнечной активности удваивается как число антициклонов, так и число циклонов.

О тесной связи повторяемости блокирующих антициклонов с числами Вольфа можно судить также по непрерывному ряду лет (рис. 27). Коэффициент корреляции между этими двумя характеристиками для территории Европы равен 0,78, а для полушария — 0,69.

Таблица 32

Годовое число блокирующих антициклонов
и центральных циклонов над территорией между
40 и 70° с. ш. и 60° з. д. и 100° в. д.
в годы минимума (первая строчка)
и максимума (вторая строчка)
солнечной активности

Год	Число блоки- рующих антициклонов	Число центральных циклонов	Разность
1954	53	35	18
1957	84	75	9
1963	30	24	6
1968	58	63	5
1975	28	33	5
1981	61	54	7

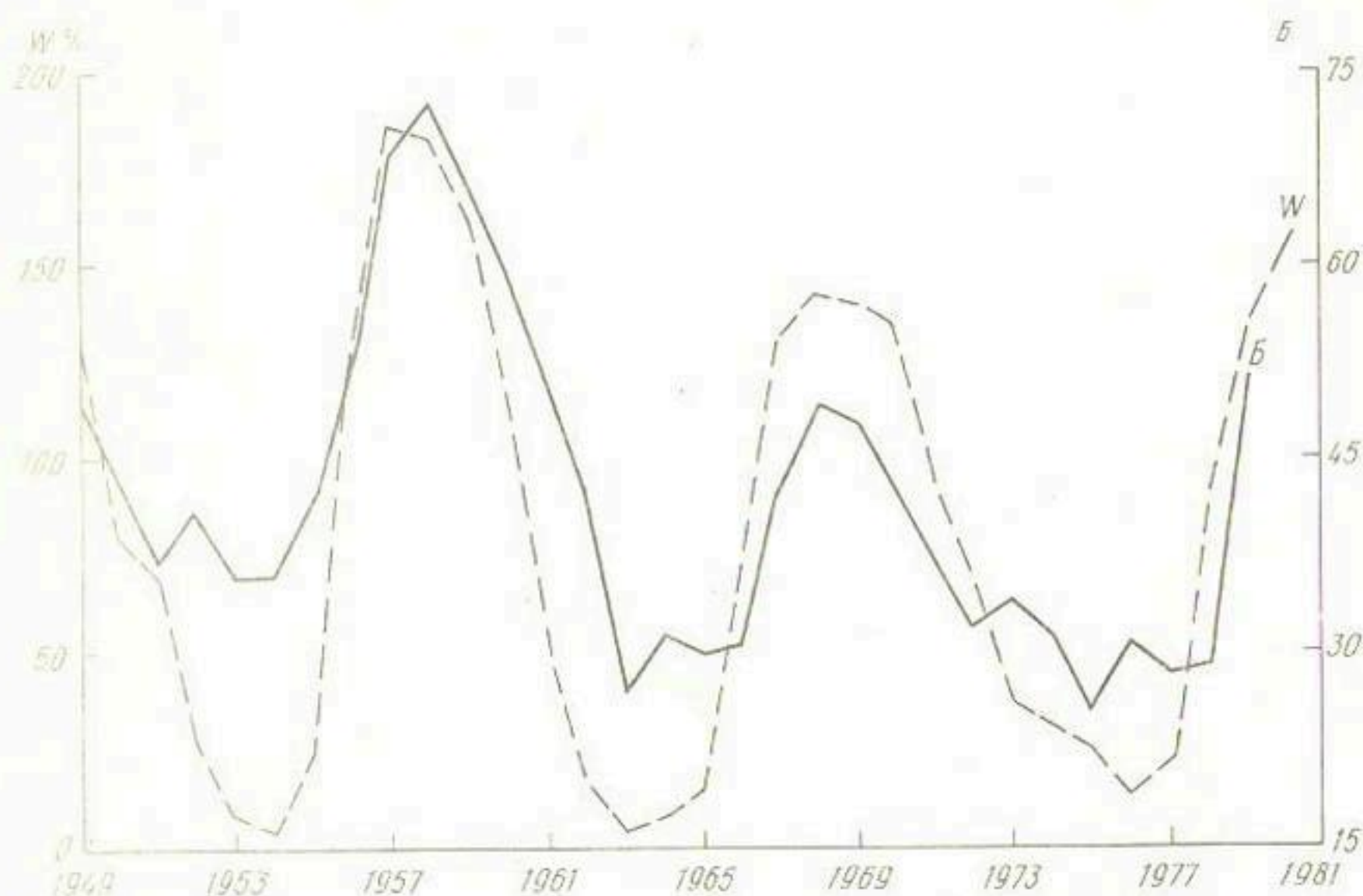


Рис. 27. Многолетний ход годового числа блокирующих антициклонов над европейским сектором (Б) и чисел Вольфа (W)

Как указывают некоторые авторы (Сазонов, Клаус), в многолетнем среднем тенденция атмосферы к образованию блокирующих областей высокого давления больше управляется колебания-

ми солнечной активности, чем крупномасштабными колебаниями температуры.

Доказательству влияния солнечной активности и космоса в целом на гидрометеорологические явления на земле и, в частности, на атмосферу учеными уделялось внимание уже больше ста лет. В настоящее время можно с полным основанием утверждать, что такое влияние существует и является существенным внешним фактором колебаний атмосферной циркуляции.

Кроме статистически значимых связей между компонентами солнечной активности и климата, основанных на анализе рядов наблюдений, в последнее время имеются и вещественные доказательства воздействий солнечной активности. Так, в ежемесячном журнале «Ракетная техника и космонавтика» (февраль 1972 г., том 10, № 2) сообщалось, что число оборотов ИСЗ вокруг Земли при вспышке солнечной активности за неделю уменьшилось на шесть.

Одним из последствий вспышки солнечной активности в 1979 г. явилось непредвиденное торможение и падение американской космической станции «Скайлэб», которая прекратила свое существование 11 июля 1979 г.

7.3. Нутация полюсов и атмосферная циркуляция

В ряде работ И. В. Максимова и его последователей [12, 17, 19, 53] широко исследованы трендовые и циклические параметры нутационных сил вращения Земли, а также их отражения на динамике океанических вод и атмосферной циркуляции. Выявлена определенная связь между динамикой мгновенного полюса вращения Земли (МПВЗ), определяющего вектор нутационных сил, и такими циркуляционными объектами, как формы атмосферной циркуляции по Вангенгейму—Гирсу, и центрами действия атмосферы.

В качестве механизма, посредством которого динамика МПВЗ сказывается на циркуляции атмосферы, И. В. Максимов, Н. П. Смирнов и Э. И. Саруханян [53] считают колебания уровня океана, от чего зависят направление и интенсивность океанических течений, в свою очередь термически влияющих на атмосферу.

Известно [20, 52, 55], что в многолетнем изменении радиуса-вектора мгновенного полюса вращения Земли обнаружены циклические составляющие разного временного масштаба (от 3—4-летних до 12—14-месячных и больших периодов). Действительно, глядя на спиралевидные траектории МПВЗ за много лет, сразу можно заметить наиболее крупный цикл длительностью около 35—36 лет. Через такой промежуток лет величина радиуса-вектора (расстояние МПВЗ от географического полюса) в одни периоды лет сильно уменьшается, а в другие — увеличивается. Наиболее яркими периодами минимума радиуса-вектора МПВЗ были 1898—1904 и 1934—1940 гг., причем в последнем периоде радиус вращения МПВЗ вокруг географического полюса был самым минимальным за весь период наблюдений. Этот минимум-миниморум

по времени совпал с серединой эпохи максимального потепления на Земле и максимальной повторяемости зональной формы атмосферной циркуляции.

Можно спорить, что первично и что вторично, т. е. нутация Земли влияет на атмосферу в целом или атмосфера влияет на вращение Земли и вызывает нутацию. По мнению В. В. Шулейкина, нутация полюсов Земли определяется перераспределением масс воздуха от сезона к сезону. Океаны и материки расположены несимметрично относительно оси вращения Земли, и в сезонном плане происходит непрерывное изменение момента инерции соответствующих масс воздуха относительно оси вращения Земли, а, согласно законам механики, такого рода система не может вращаться спокойно, происходит непрерывное смещение оси вращения Земли, а значит, и нутация полюсов в пространстве.

Переходя непосредственно к связям циркуляционных параметров с динамикой МПВЗ, отметим кроме этих максимума и минимума радиуса-вектора еще одну его важную особенность, заключающуюся в том, что от максимума к минимуму уменьшение его с шестилетними колебаниями идет более продолжительное время, а от минимума к максимуму — скачкообразно (в течение 5—6 лет). Так, достигнув минимума около 1905 г. (до $0''.10$), к 1910 г. он удвоился, а после минимума в начале сороковых годов (при расстоянии от $0''.05$) к концу сороковых годов достиг $0''.30$. В последние годы радиус-вектор находится в фазе минимума, однако уровень его довольно высокий, как и в фазе минимума в конце прошлого столетия.

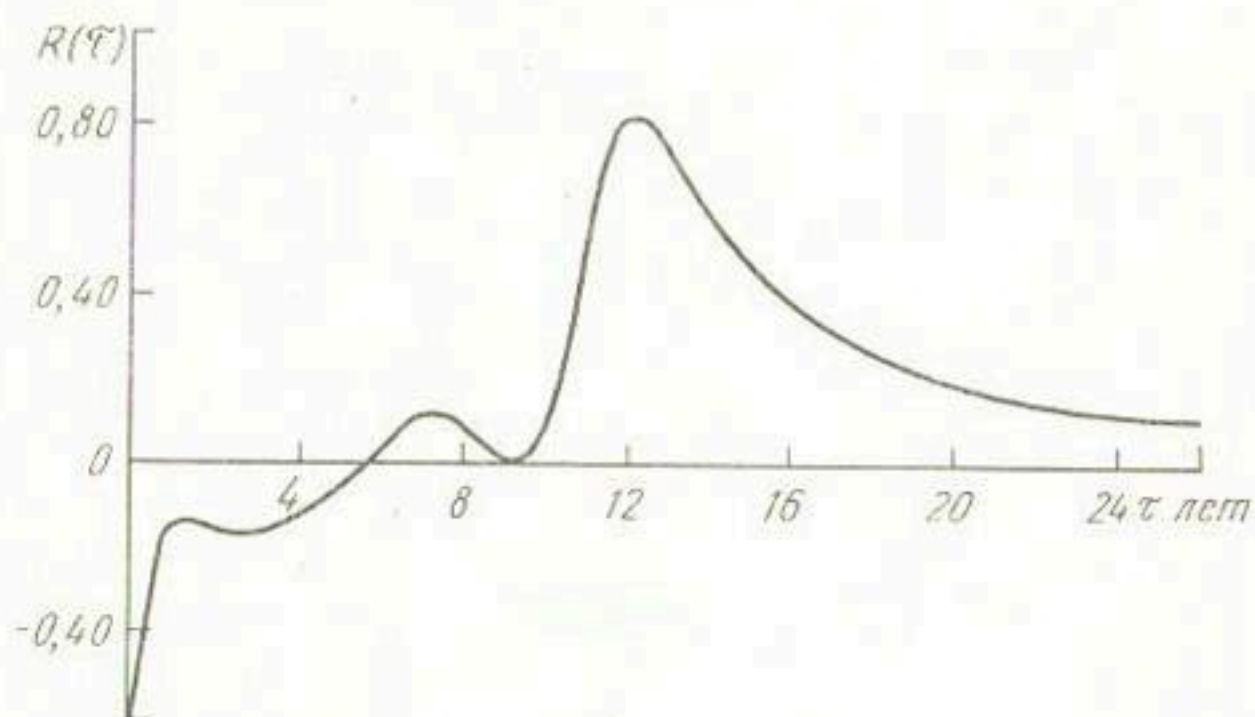


Рис. 28. Взаимокорреляционная функция между годовыми значениями радиуса-вектора МПВЗ и числами дней с зональной циркуляцией на полушарии, осредненных по 7-летиям

В период минимума радиуса-вектора МПВЗ скорость вращения Земли увеличивается, что способствует развитию зональной циркуляции, но наибольшая интенсификация последней наступает несколько позже, о чем можно судить по взаимокорреляционной

функции, представленной на рис. 28. Наиболее тесная связь (коэффициент корреляции около 0,80) наблюдается при сдвиге 12 лет.

В эпоху уменьшения радиуса-вектора МПВЗ как атлантическая, так и тихоокеанская пара ЦДА несколько смещаются к востоку по отношению к многолетнему среднему положению и одновременно сближаются друг с другом, чем и достигается увеличение барических градиентов и зонального переноса. В эпоху увеличения радиуса-вектора ЦДА возвращаются в первоначальное положение. Подробно корреляционные соотношения в динамике центров действия атмосферы по фазам радиуса-вектора МПВЗ рассмотрены в [12, 14, 19].

Определенное влияние МПВЗ испытывает на себе и полюс атмосферной циркуляции. Так, коэффициент корреляции между радиусом-вектором МПВЗ и частотой повторяемости полюса циркуляции в центре Арктики равен $-0,92$. Из периферийных местоположений ПЦ наиболее сильно реагируют канадское и гренландское (66 и 77% случаев), которые наблюдаются при значениях радиуса-вектора МПВЗ больше среднего (нормы). Более восточные местоположения ПЦ характеризуются меньшим различием в повторяемости при аномалиях радиуса-вектора МПВЗ разного знака, а чукотское ПЦ при них равновероятно (табл. 33). Что касается аляскинского местоположения, то преимущественное формирование при радиусе-векторе больше нормы, вероятно, обусловлено малым числом случаев.

Таблица 33

Повторяемость (%) периферийных местоположений полюса атмосферной циркуляции при различных знаках аномалии величины радиуса-вектора МПВЗ

Аномалия $R_{МПВЗ}$	А ляска	Чукот- ка	Тай- мыр	Барен- цево море	Грен- ландия	Канада
$<N$	0	50	46	40	34	23
$>N$	100	50	54	60	66	77
Число случаев	6	12	94	41	73	22

Поскольку имеется определенная связь радиуса-вектора МПВЗ с динамикой центров действия атмосферы и с полюсом циркуляции, естественно было ожидать также его связь с формами циркуляции, ибо последние в свою очередь тесно связаны как с ЦДА, так и с местоположением центра циркуляции.

Соответствующие данные о соотношениях между значениями радиуса-вектора мгновенного полюса вращения Земли ($R_{мпвз}$) и повторяемостью месяцев с преобладающими (более 20 дней в месяц) процессами трех основных форм циркуляции помещены в табл. 34, в которой левая часть содержит фактические данные, а правая — данные о повторяемости индексов циркуляции, полу-

ченные способом умножения вероятностей в предположении, что связь между группами $R_{\text{мпвз}}$ и формами циркуляции отсутствует. Эта нулевая гипотеза проверяется при помощи непараметрической статистики χ^2 , определяемой по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\Phi - T_i)^2}{T_i}, \quad (2)$$

где m — число групп $R_{\text{мпвз}}$, Φ — фактическое число случаев соотношения показателей, T — теоретическое число показателей при каждом соотношении.

Таблица 34

Повторяемость (%) процессов трех форм циркуляции по группам значений $R_{\text{мпвз}}$

Форма циркуляции	Факт			Теория		
	$<N$	около N	$>N$	$<N$	около N	$>N$
Ш	64	39	26	47	37	45
С	22	13	10	18	12	15
Е	31	37	63	52	40	39

На основе данных табл. 34

$$\chi^2 = \frac{(64 - 47)^2}{47} + \frac{(39 - 37)^2}{37} + \frac{(26 - 45)^2}{45} + \frac{(22 - 18)^2}{18} + \frac{(31 - 52)^2}{52} + \frac{(37 - 40)^2}{40} + \frac{(63 - 39)^2}{39} = 42. \quad (3)$$

Сопоставление полученного значения χ^2 с доверительными границами при четырех степенях свободы (согласно исходной табл. 34) показывает, что нулевая гипотеза в исследуемом соотношении отвергается при всех уровнях значимости (от 10 до 0,1%). Следовательно, таблица фактических данных о соотношениях повторяемости форм циркуляции при разных уровнях $R_{\text{мпвз}}$ характеризует реальную действительность, а не случайный результат.

7.4. Особенности связей между масштабами выноса тепла из Северной Атлантики в Арктический бассейн и атмосферной циркуляцией

Роли обмена теплом между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном в формировании ледовитости и погоды в Арктике посвящено много исследований (Визе, Вангенгейм, Иванов и др.), но они либо не затрагивали процессы атмосферной циркуляции, либо последняя учитывалась в ограниченном районе (в основном приатлантическом), хотя и не отрицается, что основное значение в долговременных связях имеют глобальные параметры циркуляции.

Здесь мы рассмотрим соотношения между вышеуказанным теплообменом и атмосферной циркуляцией на полушарии.

Коррелирование количества тепла, выносимого в приатлантический сектор Арктического бассейна через Фареро-Шетландский пролив ($Q \cdot 10^{15}$ кг/кал) с годовой повторяемостью в днях различных сочетаний форм циркуляции на полушарии показало, что с некоторыми из них теплообмен связан довольно тесно и почти не связан с другими. Наиболее воздействующими сочетаниями форм циркуляции на полушарии оказались СМ1, ШМ1 и ШМ2, соответствующие океаническим высотным гребням и сочетаниям широтной циркуляции над европейским сектором с высотным гребнем над севером Тихого океана или западом Северной Америки. Коэффициенты корреляции соответственно равны 0,57 (при квадратической ошибке 0,138), 0,48 (при квадратической ошибке 0,153) и 0,45 (при квадратической ошибке 0,0163). При зональной циркуляции на полушарии (Ш) коэффициент корреляции имеет отрицательный знак и равен $-0,29$, что свидетельствует об отрицательном характере влияния глобальной зональной циркуляции на водный теплообмен между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном. Объяснение этому мы находим в том, что при глобальной зональной циркуляции над Арктическим бассейном обычно формируется обширный приземный антициклон, обуславливающий северные потоки арктических масс воздуха при смещении ПВФЗ к югу.

Выше уже приводился пример связи величины теплообмена между Северной Атлантикой и приатлантической частью Ледовитого бассейна через Фареро-Шетландский пролив с циркуляцией, который показывает тесную синхронную связь только с некоторыми глобальными условиями циркуляции атмосферы. Здесь же рассмотрим характер связи теплообмена между Атлантикой и Ледовитым бассейном по более северному разрезу Баренцбург — кромка льда (до 2° в. д.) в слое 0—500 м ($Q \cdot 10^{12}$ ккал/ч) по данным, предоставленным А. В. Янесом (ААНИИ), с годовыми числами блоко-дней на полушарии.

Синхронная связь между этими двумя характеристиками невелика ($R=0,19$), но при сдвиге на два года она становится статистически значимой и доходит до 0,36 (рис. 29). Затем при сдвиге около 10 лет, принимая отрицательный знак, коэффициент корреляции доходит до $-0,57$, что значимо при 23 сопоставляемых годах даже для уровня значимости 0,01.

Вполне естественен вопрос, почему синхронная связь между теплообменом Атлантики с Арктикой и частотой блокирования в синхронном плане незначительна, а при сдвиге на девять она почти удваивается, принимая обратный знак? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо учесть, во-первых, что увеличение количества блоков означает уменьшение повторяемости зональных процессов, которые в меньшей степени способствуют выносу тепла в Арктический бассейн, нежели соответствующая меридиональная циркуляция, и, во-вторых, что увеличение зональной циркуляции, как уже

отмечалось, происходит вблизи максимума одиннадцатилетних солнечных циклов. Поэтому понятна и автокорреляционная функция величины теплообмена, согласно которой сдвиги около десяти лет дают статистически значимый коэффициент корреляции.

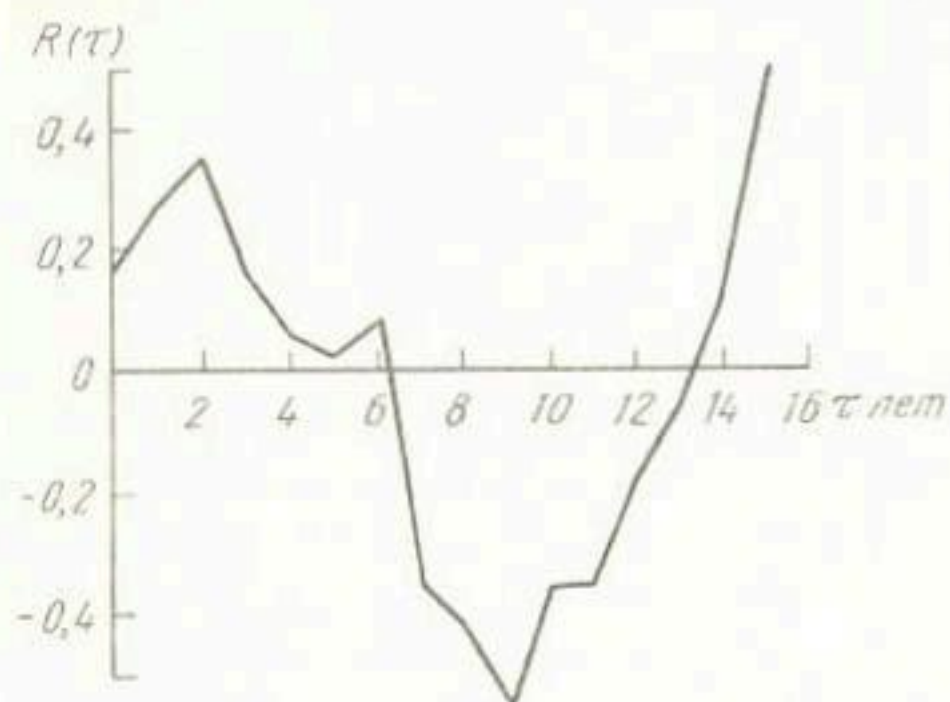


Рис. 29. Взаимокорреляционная функция между среднегодовыми значениями выноса тепла (10^{12} ккал/ч) из Северной Атлантики в Арктику в слое 0—500 м на разрезе Баренцбург — кромка льда до 2° в. д. и годовыми числами блоко-дней на полушарии

Приведенные здесь связи не ограничиваются сугубо познавательным аспектом, а имеют и прогностическое значение, ибо колебания выноса тепла в Ледовитый бассейн, как следует из многочисленных работ, определенным образом влияют на ледовитость Арктики. Так, существенное уменьшение выноса тепла в Арктику в шестидесятых годах сказалось в том, что в семидесятых годах происходило увеличение ледовитости (происходило увеличение толщины льдов, их сплоченности и приближение летней кромки к побережью).

В свою очередь с колебаниями ледовитости, оказывающей обратное влияние на нижние слои атмосферы, связана определенная вероятность формирования летних циркуляционных условий. Например, выявлено, что после годового выноса тепла в Арктику через Фареро-Шетландский пролив размером более $2000 \cdot 10^{15}$ кг/кал в летние месяцы (май—июль) последующего года преобладает меридиональный тип Е-циркуляци с вероятностью около 60%, а при выносе тепла $1700 \cdot 10^{15}$ кг/кал почти с такой же вероятностью — меридиональный тип С. Не случайно поэтому, что после повышенного выноса тепла в Арктику летом следующего года вероятность засухи на ЕТ СССР равна 57%, а в Казахстане — 11%, тогда как после пониженного количества вынесенного тепла вероятность засухи соответственно равна 38% и 67%.

Учитывая тесную связь теплообмена между Северной Атлантикой и Ледовитым бассейном с некоторыми состояниями глобальной циркуляции и последующее формирование определенных форм циркуляции, можно эти прямые и обратные связи выразить следующей схемой: атмосферная циркуляция → теплообмен Атлантики с Арктикой → атмосферная циркуляция (засухи).

Судя по тому, что глобальные состояния атмосферной циркуляции, обуславливающие экстремальные величины океанического теплообмена, встречаются сравнительно редко, приведенная схема является лишь эпизодом в многолетнем взаимодействии океана с

атмосферой, однако четким взаимодействием, результаты которого не погашаются вмешательством других факторов.

Таким образом, можно сказать, что отдельные «выбросы» во временном ходе того или иного природного показателя являются результатом двух основных обстоятельств: либо такие выбросы — результат совпадения знака влияния двух или более факторов, либо результат случая, когда один из влияющих факторов находится в состоянии экстремума (свой выброс).

Отсюда напрашивается вывод о том, что анализ соотношений между двумя элементами или явлениями целесообразно проводить в условиях, когда рассматриваемому влияющему фактору (его выборке) соответствуют одинаковые состояния (значения) всех прочих факторов. В этих целях полезно иметь специальные каталоги значений каждого из основных факторов (например, повторяемость форм циркуляции, характеристики ПВФЗ, ЦДА, ПЦ, солнечной активности, радиуса-вектора МПВЗ) при прочих примерно равных значениях.

Невыполнение этого условия при анализе связей создает впечатление о чрезвычайной сложности процессов в природе, о случайности полученных выводов и в крайних случаях о непознаваемости явлений. Можно было бы привести еще немало примеров связи между глобальными параметрами атмосферной циркуляции и гидрометеорологическими элементами, однако ограничимся лишь перечислением некоторых связей:

1) между типом расположения ПВФЗ и классами аномалии среднемесячной температуры воздуха в укрупненных районах СССР [11];

2) между величиной радиуса-вектора МПВЗ и вероятностью засухи [15];

3) между повторяемостью различных местоположений полюса циркуляции и уровнем Аральского моря [20];

4) между числом блокирующих антициклонов и индексами засушливости атмосферы, в частности, с гидротермическим коэффициентом [16];

5) между степенью извилистости ПВФЗ и годовым количеством осадков.

При этом следует отметить, что теснота связей как перечисленных здесь, так и приведенных ранее, в существенной степени зависит от того, исключены или нет из ряда такие значения предиктора, которые находятся в случайных соотношениях с данными предиктанта. Подробно об этом сказано в [21].

Из всего сказанного в данной монографии и из многочисленных ссылок на работы по атмосферной циркуляции следует, что общая циркуляция атмосферы является важнейшим звеном в климатической системе. Через нее происходит передача и перераспределение по земному шару тепловой энергии солнца и океанических масс, посредством ее можно объяснить разного вида колебания прошедшего и настоящего климата [4, 13, 20, 44, 45], а значит, и определить в каком-то приближении вклад естественных и антропо-

погенных составляющих в текущем и предстоящем климатическом процессе.

Учет атмосферно-циркуляционных эпох очень важен для выбора периода при определении климатических норм, ибо произвольный (основанный на идее полноты и однородности климатической информации) выбор периода может привести к тому, что как нормы, так и аномалии от них в создаваемых климатических справочниках рискуют оказаться весьма нехарактерными для предстоящего периода и вместо пользы принести вред пользователям. Установлено, что при преобладании длительных циклов в многолетнем ходе осадков (обусловливаемых соответствующими циклами атмосферной циркуляции) последние колеблются, летом в 1,5 раза превышая норму для колебаний бессвязного ряда, а при коротких циклах — в два раза.

Главнейшим параметром при моделировании ожидаемых изменений климата должна служить циркуляция атмосферы, наряду с учетом антропогенного фактора.

Контроль текущих данных и отсортровка выдающихся «ошибок» должны производиться с учетом циркуляционной (а значит и климатической) эпохи.

Прогноз глобальных параметров атмосферной циркуляции очень важен с точки зрения перспективы хода вероятности опасных для народного хозяйства явлений погоды (засухи, наводнения, штормовая деятельность и т. п.).

Не следует забывать и о том, что атмосферная циркуляция во всей своей толще является преемником космических и геодинамических воздействий, без учета чего исследования непосредственных связей между солнцем и климатом, между геодинамикой и климатом рискуют стать источниками заблуждений.

Не будет, видимо, преувеличением, сказать, что мониторинг атмосферной циркуляции — важнейший компонент мониторинга климата в целом. Из этого следует, что общую циркуляцию атмосферы и прежде всего ее главные глобальные параметры необходимо продолжать изучать, и с большим вниманием, чем это имеет место в настоящее время.

ГЛАВА 8

СВЯЗИ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ С ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

8.1. Связи циркуляционных параметров с метеорологическими элементами

Изучение зависимости климата и погоды от атмосферной циркуляции — тематика многих ученых-метеорологов [17, 32, 33, 41, 44, 45, 54, 58, 80, 83].

Особенностям связи температуры воздуха и осадков с основными формами циркуляции как в месячном, так и в сезонном плане посвящено много работ школы Вангенгейма—Гирса и его сторонников. Такие связи исследованы для районов Арктики [7, 36, 37], Казахстана [2, 8—16, 70] и в целом для полушария [36, 37].

Много работ выполнено также по влиянию на температуру воздуха и осадки комплексов различных параметров циркуляции, таких, как формы циркуляции и местоположения полюса циркуляции, формы циркуляции и центры действия атмосферы, формы циркуляции и параметры ПВФЗ [11, 15, 16, 18].

Опыт показал, что нельзя рассматривать связи метеоэлементов с каким-либо параметром циркуляции изолированно от других объектов циркуляции и считать результаты достаточно характерными, ибо каждому типовому состоянию одного циркуляционного параметра могут соответствовать любые состояния других параметров. Например, характеристики температуры воздуха и осадков для каждой формы циркуляции без учета местоположения полюса циркуляции оказываются мало различными. Так, зимние аномалии температуры воздуха для Западной Сибири и Казахстана при меридиональных формах циркуляции С и Е отличаются друг от друга на 4—6°C. На такое же число градусов отличаются аномалии при одном и том же типе циркуляции, но различных местоположениях ПЦ. Поэтому для объяснения и для прогнозирования аномалий температуры воздуха и осадков целесообразно иметь карты распределения этих элементов для различных сочетаний форм циркуляции и местоположений полюса циркуляции.

Рисунок 30 показывает, как велика может быть отрицательная аномалия температуры в зимние месяцы над Западной Сибирью и

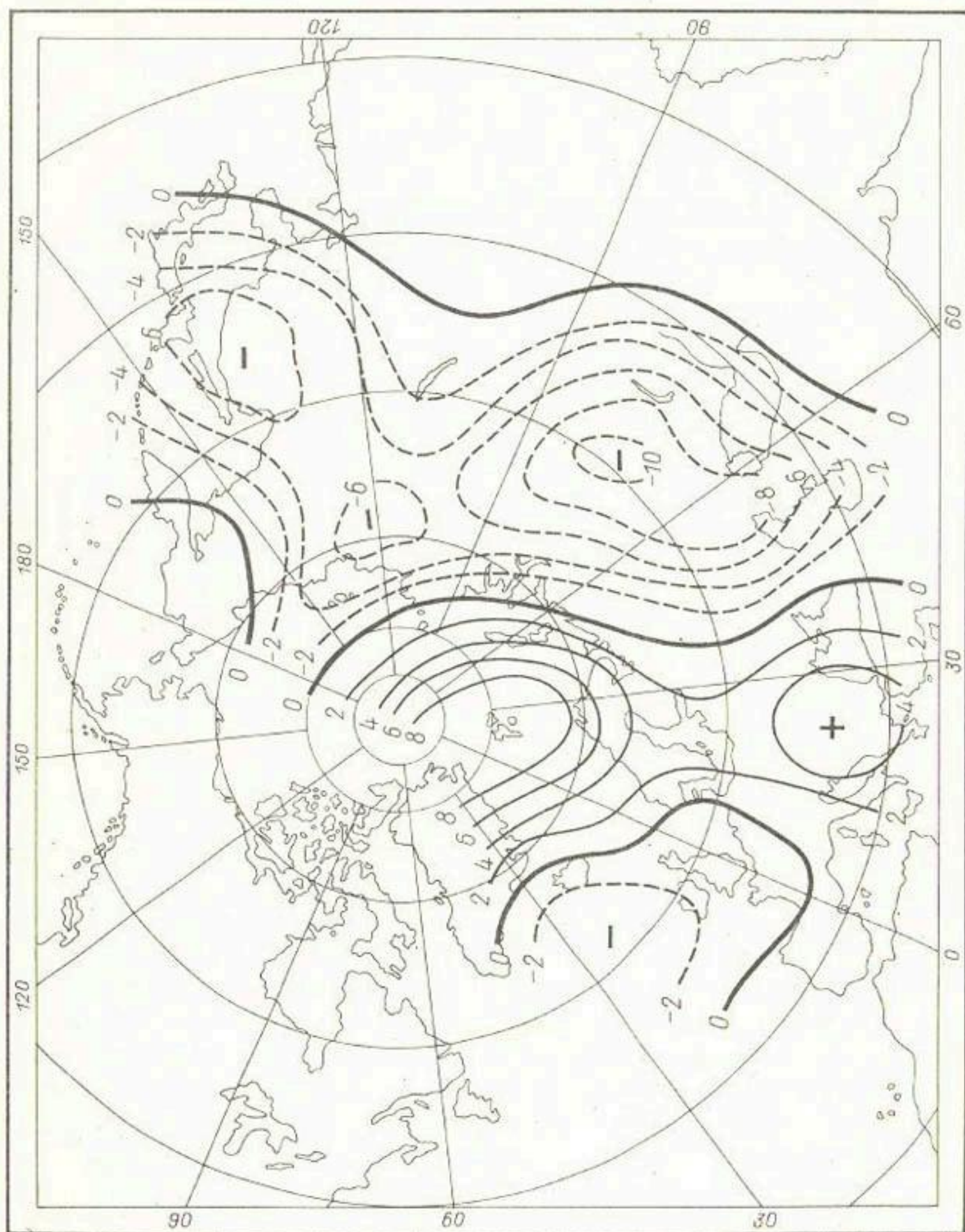


Рис. 30. Распределение аномалии зимней температуры воздуха над Евразией при сочетании таймырского ПЦ с формой Е-циркуляции

Казахстаном, если преобладание формы Е-циркуляции сочетается с таймырским ПЦ. Десять градусов отрицательной аномалии в среднем для ряда случаев такого сочетания формы Е и полюса циркуляции является предельным из всех других возможных сочетаний. Если же сопоставить эту аномалию с аномалией средне-месячной температуры зимой при сочетании формы С циркуляции с баренцевоморским расположением ПЦ, то мы увидим различие для районов Западной Сибири и Казахстана в $13-14^{\circ}\text{C}$, а на ЕТ СССР — в $8-10^{\circ}\text{C}$. И такие переходы не очень редки, ибо таймырский ПЦ в 42% случаев перемещается в более западный сектор, т. е. в баренцевоморский. Что же касается смен преобладающей циркуляции формы Е на форму С от месяца к месяцу, то они также не очень редки. Для зимних месяцев они происходят около 40% случаев, ибо от месяца к месяцу форма Е сохраняется в 33% случаев, а в широтный — переходит в 28% случаев.

Из вышеприведенного, очевидно, следует, что основывать месячный и сезонный прогноз погоды только на ожидаемом типе атмосферной циркуляции явно недостаточно. Предварительный прогноз циркуляции обязательно должен характеризоваться в глобальном масштабе, т. е. с учетом и типа циркуляции, и местоположения центра циркуляции. В самом деле, ведь в понятие и критерии диагноза типа (формы) циркуляции любой системы классификации атмосферных процессов пока не входит учет местоположения полюса циркуляции северного полушария. По существу, типовое положение атмосферной циркуляции — это система расположения и динамика длинных волн, это определенная географическая локализация гребней и ложбин. И любая такая локализация может иметь место как при симметричном расположении ПВФЗ по отношению к параллелям и центрально-арктическому центру циркуляции, так и при существенном крене ПЦ в тот или иной сектор субарктики. Однако в последнем случае в один и тот же район будут поступать уже другие воздушные массы воздуха. Достаточно сказать, например, что тип С в сочетании с баренцевоморским ПЦ обуславливает, как правило, поступление на большую часть Европейской территории СССР холодных арктических масс воздуха, тогда как этот же тип при расположении ПЦ над Таймыром или в более восточном секторе Арктики способствует поступлению на ЕТ СССР не арктических масс воздуха, а масс воздуха, которые поступили в гренландско-баренцевоморский район из Атлантики и, обогнув область повышенного давления над Центральной Европой или Скандинавией, затем в тылу ныряющих циклонов вторгаются в направлении центральных районов ЕТ СССР.

В [9, 10] предлагалась типизация атмосферных процессов на базе форм W, С, Е, з, M1, M2 по Вангенгейму—Гирсу, но с учетом местоположения центра циркуляции. При этом для территории Евразии предлагалось рассматривать 24 разновидности циркуляционных комплексов, которые учитывают одновременно и тип циркуляции, и полюс циркуляции, а также в определенной степени ЦДА.

Важность непрерывного определения и учета динамики центра циркуляции оценивается не только прогностической деятельностью, но и изучением климатической изменчивости, ибо будет ли крен ПЦ в тот или иной сектор или будет центральное его местоположение в ряде лет, от этого зависят и годовые характеристики температур воздуха и осадков по районам северного полушария. В первой главе уже отмечалось, что эпоха потепления, наиболее отчетливое проявление которой наблюдалось в высоких широтах северного полушария в тридцатых и сороковых годах текущего столетия, соответствовала повышенной повторяемости зональной циркуляции и максимальному сокращению радиуса-вектора МПВЗ.

Отсылая читателя, интересующегося влиянием динамики ПЦ на распределение полей температуры воздуха, к предыдущим работам [8, 9, 70], остановимся здесь кратко еще на явлении, имеющем большое значение для сверхдолгосрочного прогнозирования знака аномалии температуры воздуха по отдельным регионам. Речь идет о том, что длительные серии месяцев однозначной аномалии температуры воздуха в том или ином регионе (например, в Западной Сибири или ЕТ СССР) в основном обусловлены также креном центра циркуляции в разные части территории Арктики.

Соответствующий анализ показал; над ЕТ СССР серия месячных $-\Delta t$, начавшаяся с августа 1977 г., продолжалась 21 мес до апреля 1979 г. включительно. Всего в этом периоде наблюдалось пять разрозненных месяцев с положительной аномалией температуры, а все остальные — с отрицательной аномалией. Известно также, что над Европейской территорией СССР последняя теплая серия (т. е. положительная аномалия среднемесячной температуры воздуха), начавшаяся с ноября 1982 г., завершилась маем 1984 г. Из 19 мес имели отрицательную аномалию только два — июнь и август 1983 г.

Средняя продолжительность серий Δt , конечно, короче, чем эти и ряд других подобных серий, и равна 6—8 мес, причем до окончания эпохи планетарного потепления серии имели среднюю продолжительность 5—6 мес, а после — 8—9. Это обусловлено довольно резким изменением режима атмосферной циркуляции после 40—50 гг., на что указывается в многочисленных отечественных и зарубежных работах [4, 5, 12, 13, 19, 20, 78, 79].

Этим изменением в режиме циркуляции, как уже указывалось, обусловлен существенный тренд, который имеется в многолетнем ходе годового числа месяцев с экстремальной аномалией температуры воздуха. Наличие этого тренда для ЕТ СССР за 1947—1976 гг. доказано методом серий. Действительно, разбив этот период лет пополам и подсчитав число случаев в каждой части, получаем число, не входящее в стандартный интервал достоверности нулевой гипотезы о том, что в ряду нет тренда.

Переходя к рассмотрению связей между атмосферными осадками и параметрами циркуляции, напомним, что этот элемент характеризуется более пестрым распределением своих характерис-

тик по территории. Поэтому чаще, чем по температуре воздуха, авторы оперируют данными каких-либо длиннорядых пунктов либо осредненными осадками по той или иной зоне.

Перейдем к рассмотрению конкретных примеров связи осадков по Москве за июнь и июль с повторяемостью меридионального Е типа циркуляции. Выбор для анализа осадков по Москве именно этого типа циркуляции вызван тем, что по характеру влияния его он противоположен двум другим типам (широтному и меридиональному С). Поэтому, учитывая колебания от года к году числа дней с типом Е, мы одновременно учитываем и роль двух других типов, ибо с увеличением повторяемости циркуляции Е уменьшается повторяемость двух других типов и наоборот.

Во всех сезонах года с типом Е связан дефицит осадков, и не только по Москве, но и по значительной части Европейской территории СССР. Поэтому кривая взаимно-корреляционной функции между числом дней за июль и количеством осадков (мм) начинается с отрицательного коэффициента $-0,65$ (рис. 31). Довольно высокие коэффициенты положительной корреляции, превышающие $0,40$, зарегистрированы при сдвиге сопоставляемых характеристик на величины около 10 и около 32 лет. Здесь можно говорить о циклическом характере связи между осадками и процессами циркуляции меридиональной формы Е.

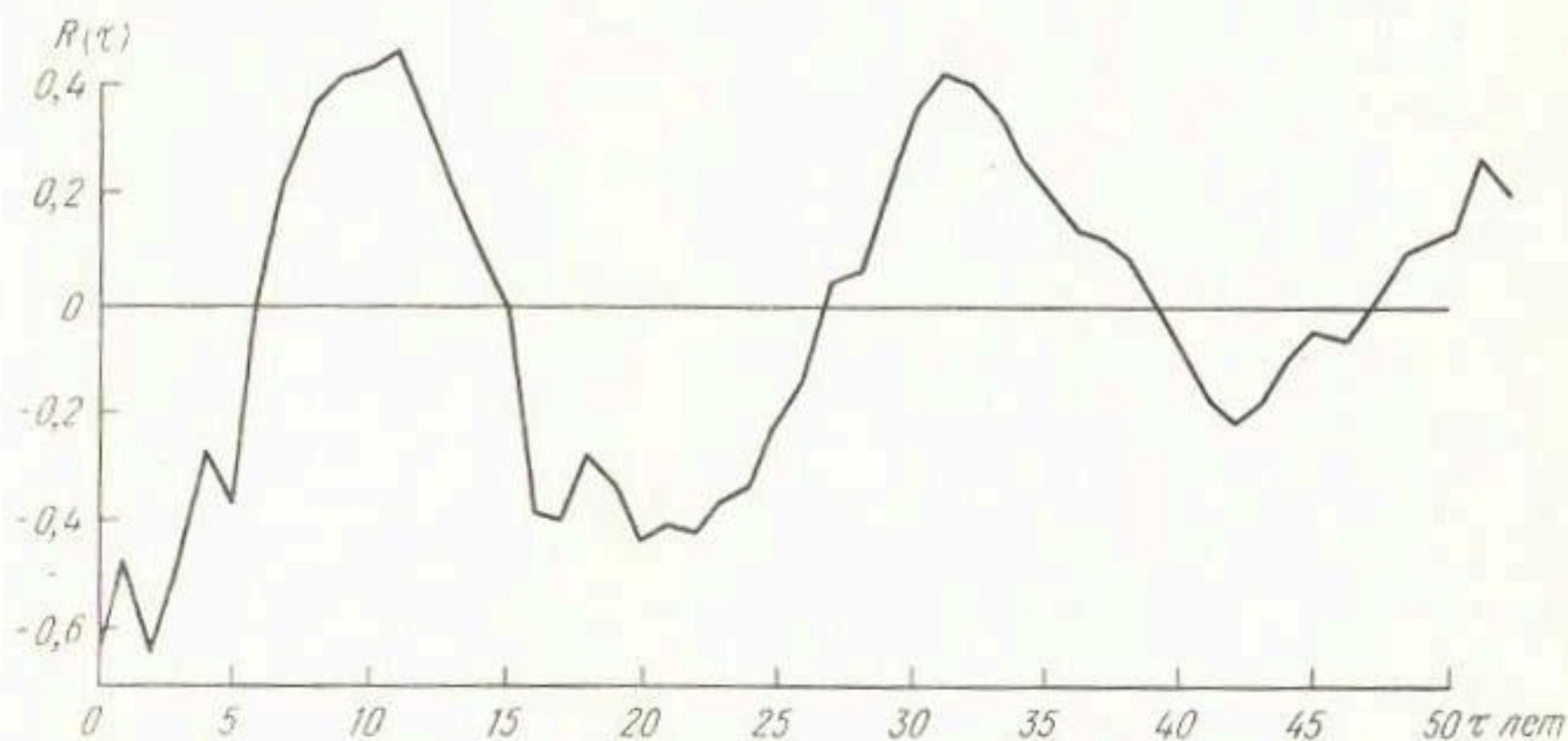


Рис. 31. Взаимокорреляционная функция между числами дней с типом Е-циркуляции и количеством осадков в Москве за июль

В табл. 35 приведены июньские осадки в миллиметрах и в процентах от нормы (в скобках) в Москве по трем формам циркуляции отдельно для фаз максимума и минимума (по 3 года из каждой) 11-летних циклов солнечной активности. Наряду с существенными различиями в осадках между разными условиями циркуляции, составляющими около 50% многолетней нормы, наблюдается заметное различие в июне для однотипной циркуляции в зависимости от фазы солнечной активности. Если рассматривать вместе по обоим факторам, то разность в крайних значениях осад-

Количество осадков при преобладании (более 20 дней за месяц)
различных форм циркуляции

Фазы солнечной активности	Ш	С	Е	Разность между крайними значениями
Максимум	96(135)	90(127)	55(78)	41(57)
Минимум	76(107)	82(116)	50(70)	32(46)
Разность	20(21)	8(11)	5(8)	

ков получается весьма солидной, а именно 46 мм, или 65% от многолетней нормы (71 мм).

Поскольку существует мнение о том, что кроме чисел Вольфа на метеорологические явления влияет также уровень магнитной возмущенности (в частности индекс K_p), то были осуществлены следующие расчеты с июньскими осадками по Москве. Отдельно для совпадающих фаз максимума и совпадающих фаз минимума чисел Вольфа и K_p выделены по три года (всего 21 год из максимумов и 21 из минимумов) и по ним получены средние значения июньских осадков, которые оказались равными соответственно 84 и 61 мм при общих суммах за все учтенные годы 587 и 387 мм. Подстановкой этих данных в соответствующую формулу для подсчета статистического показателя t_ϕ [67] было получено:

$$t_\phi = \frac{29}{\sqrt{\frac{(2159 - 1579)(7+7)}{(7+7-2)7 \cdot 7}}} = \frac{29}{17.7} = 1,69, \quad (4)$$

$$\text{а } S_t = S_{(1.69)} = 0,948.$$

Тогда

$$p \left[|\tilde{x}' - \tilde{x}''| > 29 \right] = 2 [1 - S_{(1.69)}] = \\ = 2(1 - 0,948) = 2 \cdot 0,052 = 0,104. \quad (5)$$

На основании такого малого значения p можно утверждать, что различие средних значений осадков при разных сочетаниях фаз чисел Вольфа и магнитной возмущенности существенно.

Поскольку имеются доказательства существенного влияния двух упомянутых факторов на величину осадков, представляло интерес выяснить долю дисперсии, обусловленную ими, от общей дисперсии годовых сумм осадков по сети станций при помощи двухфакторной модели классического дисперсионного анализа и таким образом выяснить и долю случайной дисперсии. Для этой цели из ряда 1901—1967 гг. выбраны группы лет, характеризующиеся большим и малым числом дней за год с процессами формы Е, а также высоким и низким уровнем солнечной активности (чисел Вольфа), причем эти исходные данные взяты одинаково для 31 станции по Евразии. Результаты расчетов приведены на рис. 32.

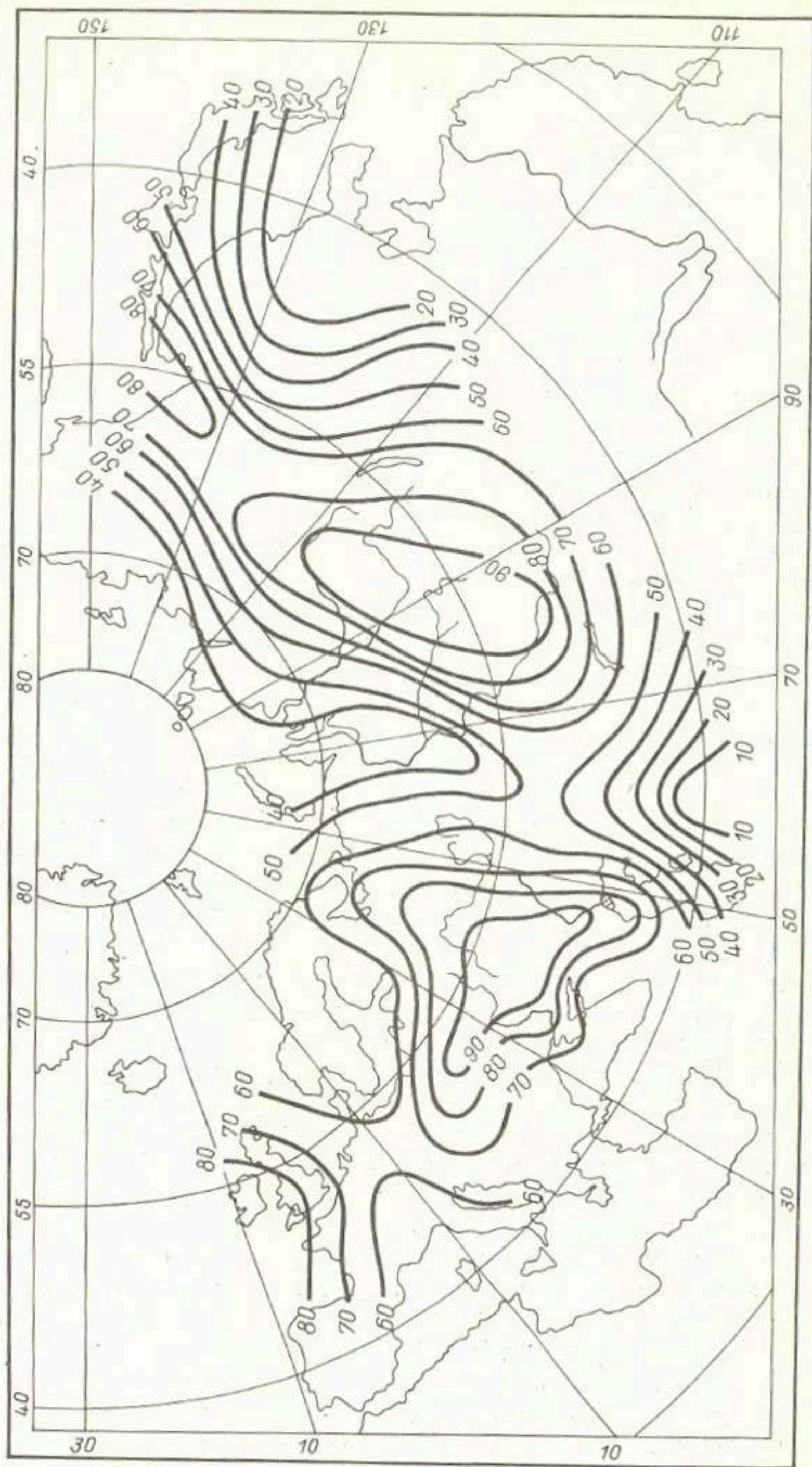


Рис. 32. Доля дисперсии, обусловленной солнечной активностью и годовой повторяемостью дней с типом Е-циркуляции, от общей дисперсии годовых сумм осадков (%)

В территориальном плане факториальная дисперсия практически колеблется от нескольких процентов до 95. Однако эти колебания имеют закономерный характер территориального распределения. Все поле факториальной дисперсии разделено на очаги, чередующиеся с запада на восток областями низких значений. Два полностью очерченных изолиниями максимума расположены один над ЕТ СССР с центром над ее южной половиной, второй над центральными районами Сибири. В центре обоих очагов значения факториальной дисперсии превышают 90%. Над крайним западом Европы (у Англии) и в районе Охотского моря просматриваются части других максимумов. Зоны пониженных значений вытянуты в меридиональном направлении. Одна из них простирается через центральную Европу, другая вдоль меридиана Урала (60° в. д.) и третья — вдоль меридиана 130° в. д.

Такое распределение зон и очагов факториальной дисперсии неслучайно и сильно напоминает распределение полей аномалии температуры воздуха и осадков при Е-циркуляции. Давно установлено [8—10], что зоны, на которые приходятся пониженные значения факториальной дисперсии, известны как зоны, в которых типы Е и С для аномалий температуры воздуха и осадков являются равнозначными, а именно — там каждый из этих типов может обусловить любой знак аномалии двух рассматриваемых элементов погоды. В этих зонах более контрастно влияют процессы циркуляции в разделении на широтные и меридиональные (Е и С вместе).

Попытки выделить среди факториальной дисперсии отдельно вклад типа Е-циркуляции и солнечной активности показали, что распределение их доли влияния по территории менее закономерно. Тем не менее в качестве общего можно считать, что около 65% факториальной дисперсии приходится на атмосферную циркуляцию. Это в основном касается центральных частей очагов повышенной общефакториальной дисперсии.

В гл. 7 указывалось, что в ряде работ получено доказательство того, что внутри одиннадцатилетних циклов солнечной активности существует определенная последовательность преобладания той или иной формы циркуляции, а именно: в фазе минимума преобладание меридиональной формы С, накануне максимума — формы Ш и в первой половине спада — меридиональной формы Е. На самом максимуме равновероятно преобладание и Ш и Е (в зависимости от четности цикла). Из этого следует, что, сопоставляя гидрометеорологические элементы с циркуляцией, мы одновременно в той или иной мере учитываем и уровень солнечной активности. В свою очередь, сопоставляя годовые значения гидрометеорологических элементов с фазами солнечной активности, в среднем мы учитываем и влияние атмосферной циркуляции.

Важным условием при дифференцированном учете одиннадцатилетних циклов солнечной активности в целях показа их влияния на атмосферную циркуляцию и гидрометеорологические элементы является разделение этих циклов по ходу в них показателей чисел Вольфа и индекса геомагнитной активности K_p , например, на пе-

риоды совпадающих максимумов, периоды совпадающих минимумов и периоды, когда минимуму солнечной активности соответствует максимум K_p или его ветвь спада. При этом имеются в виду трехлетия, срединным годом которых являются годы максимальной или минимальной величины показателя в фазе цикла.

К числу совпадающих максимумов относятся максимумы в циклах с номерами 13, 15 и 19, к числу совпадающих минимумов — минимумы между циклами с номерами 13 и 14, 14 и 15, 15 и 16, 19 и 20, а к числу периодов, в которых минимуму солнечной активности соответствует максимум или спад K_p , относятся периоды между 16-м и 17-м, 18-м и 19-м, 20-м и 21-м циклами.

Анализ количественных показателей метеоэлементов по этим группам показал, что между характеристиками их наблюдаются более значительные различия, нежели при анализе по группам четных и нечетных циклов. В качестве примера рассмотрим по трем упомянутым группам повторяемость осадков (в процентах от нормы) в мае, июне, июле по п. Целиноград (табл. 36). Подсчеты показали, что различие осадков в месяцы, имеющие важное значение для вегетации сельхозкультур в Казахстане, по трем группам внешних условий весьма значительное. В группе совпадающих максимумов 60% месяцев оказались с осадками более 140% нормы, тогда как в третьей группе на такие осадки приходится только 6%. Наоборот, в группе с совпадающими минимумами в 69% случаев осадки меньше 80% нормы.

Таблица 36

Повторяемость (%) месячных сумм осадков
по различным градациям аномалий для трех групп
сочетания фаз солнечной активности и индекса K_p

Градация аномалии осадков, %	Максимум солнечной активности и максимум K_p	Максимум солнечной активности и минимум K_p	Максимум солнечной активности и минимум K_p
≤60	0	15	44
61—80	9	44	25
81—100	11	21	6
101—120	14	5	19
121—140	6	10	0
141—160	25	0	0
>160	35	5	6
Сумма	100	100	100
Число случаев	35	19	16

В качестве подтверждения неслучайности распределения повторяемости осадков по группам условий был рассчитан статистический критерий χ^2 . Он (в значении, равном 45,7) показал, что гипотеза о случайности распределения осадков по группам отвер-

гается даже на уровне значимости 0,1% при десяти степенях свободы, для которых доверительной границей является $\chi^2=29,59$.

Нет сомнения в том, что вероятностные характеристики, помещенные в табл. 20, представляют значительный интерес в плане перспективных соображений в отношении фона летних осадков.

В заключение данного параграфа рассмотрим еще особенности соотношений между повторяемостью блокирующих ситуаций и экстремальными аномалиями среднемесячной температуры воздуха и месячных сумм осадков, а также между блокирующими ситуациями и известным комплексным индексом сухости — гидротермическим коэффициентом (ГТК) по Г. Т. Селянинову. К сожалению, каталог блокирующих антициклонов ограничен 28 годами, и поэтому связь с блоками проанализирована без учета состояния других циркуляционных параметров.

Учитывая различие радиационных процессов в условиях антициклонов летом и зимой, связь между экстремумами температуры воздуха и блоками рассмотрена по сезонам. В табл. 37 приведены соответствующие расчеты по температуре воздуха для восьми укрупненных районов СССР.

В летнее полугодие в большинстве районов экстремально теплые условия формируются при большей повторяемости блокирующих ситуаций, нежели экстремально холодные. Разность числа дней близка к двум. Только в Казахстане и в Средней Азии в экстремально холодные месяцы средняя продолжительность блокирующих ситуаций больше, нежели в экстремально теплые. Это, по видимому, объясняется большим суточным ходом температуры воздуха при малооблачной погоде над равнинной супесчаной поверхностью за счет сильного ночного выхолаживания.

Таблица 37

Среднее число дней с блокирующей синоптической ситуацией при экстремальных значениях среднемесячной температуры воздуха ($\Delta T > \sigma$)

Укрупненные районы	Летнее полугодие (IV—IX)		Зимнее полугодие (X—III)	
	экстремально тепло	экстремально холодно	экстремально тепло	экстремально холодно
ЕТ СССР	15	9	6	10
Северная половина ЕТ СССР	17	9	8	10
Южная половина ЕТ СССР	6	1	4	3
Западная Сибирь	7	3	2	5
Казахстан	4	5	6	3
Средняя Азия	2	5	2	4
Восточная Сибирь	3	1	1	1
Дальний Восток	4	2	2	0,3

В зимнее полугодие в целом для всех районов характерна относительная близость повторяемости антициклональных условий, хотя в азиатских районах знаки различия не одинаковы.

Соотношения между устойчивостью блокирующей ситуации и осадками рассмотрены в среднем за год. При этом под экстремальным избытком осадков в укрупненном районе подразумевалось наличие на 50% и более площади района с осадками $\geq 120\%$ и не менее чем на 30% площади осадки $\geq 160\%$ нормы. К классу «экстремальный дефицит» отнесены случаи, когда на 50% и более площади района выпали осадки $\leq 80\%$ и не менее чем на 30% — осадки $\leq 40\%$ нормы.

Таблица 38 показывает, что по всем укрупненным районам экстремальный дефицит осадков формируется при бóльшей общей за месяц повторяемости блокирующих ситуаций, обычно лишенных облачности и осадков. Это превышение на ЕТ СССР и Западной Сибири доходит до трехкратного. В среднем для восьми районов экстремальный избыток осадков бывает при 2,4 дня с блоками, а экстремальный дефицит — при шести блокирующих днях. Наибольшее различие в этом отношении наблюдается на территории северной половины ЕТ СССР (соответственно три и одиннадцать дней). Ряд случаев показывает, что здесь при 15 и более днях с

Таблица 38

Среднее число дней с блокирующей синоптической ситуацией при экстремальных значениях месячной суммы осадков

Укрупненный район	Экстремальный избыток	Экстремальный дефицит
ЕТ СССР	3	10
Северная половина ЕТ СССР	3	11
Южная половина ЕТ СССР	2	5
Западная Сибирь	2	6
Казахстан	2	3
Средняя Азия	3	7
Восточная Сибирь	1	2
Дальний Восток	3	4

блокирующей синоптической обстановкой экстремальная аномалия осадков бывает в 70% случаев.

Как упомянуто выше, устойчивость блокирующих синоптических условий сопоставлялась также с величиной гидротермического коэффициента, выражающего отношение количества осадков, умноженного на 10, к сумме активных среднесуточных температур ($>10^{\circ}\text{C}$). Результаты, приведенные в табл.39, свидетельствуют о том, что увеличение числа дней с блокирующей ситуацией в районе приводит к снижению величины гидротермического коэффициента, выраженного в наших расчетах в виде первого коэффициен-

та разложения ГТК по естественным ортогональным составляющим, значения которого любезно нам предоставила А. В. Мещерская.

Наибольшего различия число дней с блокирующей ситуацией достигает при анализе относительно бóльшей территории. Так, в целом вся территория европейской части СССР характеризуется при данном индексе засушливости в значении $\leq 1,0$ в среднем 32 днями с блокирующей ситуацией, что в полтора раза превышает число таких дней за сезон при индексе $> 1,0$.

Таблица 39

Среднее число блоко-дней за май—август, соответствующее различным группам параметра ГТК

Укрупненный район	Группа ГТК		Раз- ность
	$> 1,0$	$\leq 1,0$	
ЕТ СССР	21	32	11
Северная половина ЕТ СССР	20	24	4
Южная половина ЕТ СССР	11	16	5
Западная Сибирь	14	18	4
Казахстан	9	14	5

Данное обстоятельство свидетельствует о том, что на термогигрометрический режим каждого района влияют частично блокирующие ситуации соседних районов, где локализуются центры блокирующих антициклонов.

Коэффициент корреляции между числом дней с блокирующей синоптической ситуацией и величиной параметра ГТК по ЕТ СССР в целом равен $-0,38$. Коэффициент этот статистически значим на 5%. Для других (более мелких) районов коэффициент статистически незначим.

8.2. Связи между циркуляционными параметрами и стоком рек

Здесь мы рассмотрим только пару примеров соотношений между циркуляционными параметрами и стоком рек, но аналогичные результаты имеются также по рекам Северная Двина, Кама, Днепр, Дон, Обь.

Рисунок 33 показывает, что аномалии годовой повторяемости форм циркуляции (W, C, E) и среднегодовые расходы рек тесно связаны, причем во временном ходе намечается цикличность. Здесь мы опять встречаемся с циклом около одиннадцати лет. Характерно, что синхронная связь ($R=0,67$) уступает уровню связи при шаге в несколько лет, где он доходит до $R=0,80$. В промежутке 5—8-летнего сдвига положительная корреляция сменяется отрицательной, доходящей до $R=-0,80$. Корреляция при временном сдвиге в 11 лет имеет уровень порядка 0,59. Следовательно, уровень связи между повторяемостью форм циркуляции и годовы-

ми расходами (по календарным годам за 1901—1955 гг.) воды Волги для подавляющего большинства рассмотренных сдвигов настолько высок, что представляет большой прогностический интерес.

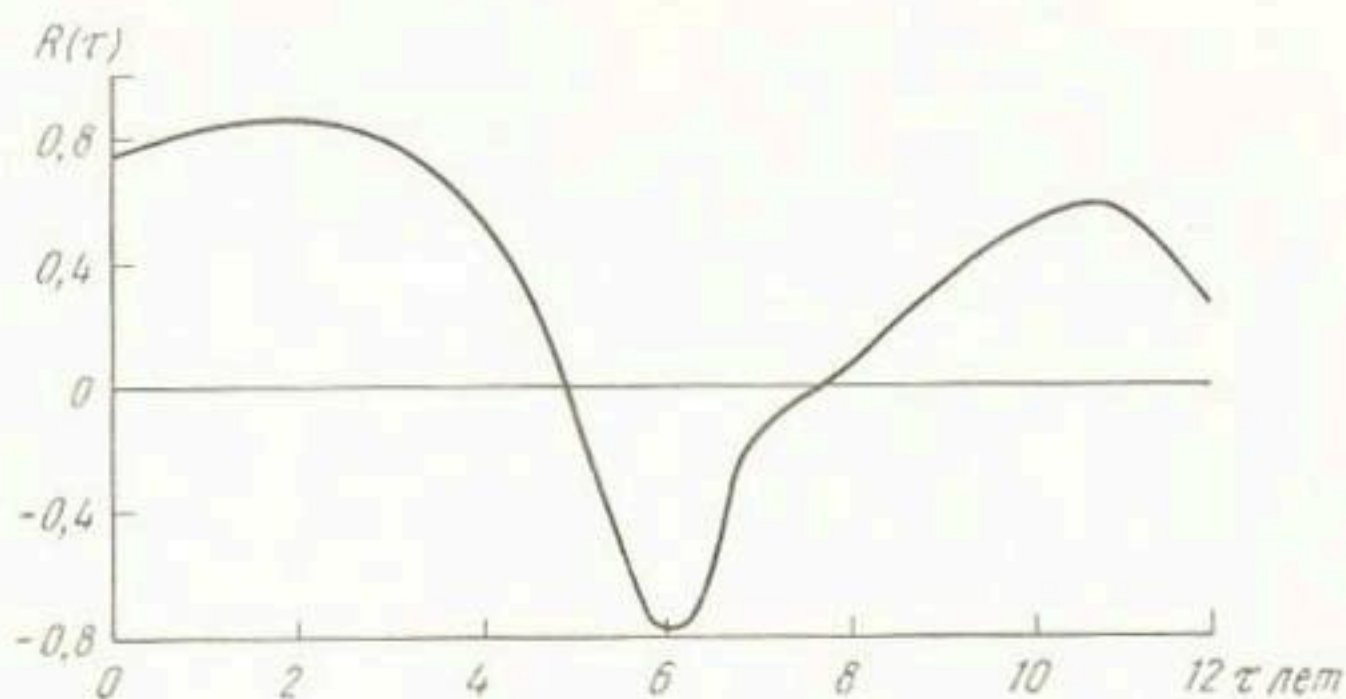


Рис. 33. Взаимно-корреляционная функция между аномалиями повторяемости форм циркуляции (пятилетние скользящие значения) и среднегодовыми расходами р. Волги у г. Куйбышева (семилетние скользящие значения)

Уравнения регрессии, построенные по коэффициентам особых точек кривой взаимокорреляционной функции, позволили рассчитать расходы воды с высокой обеспеченностью.

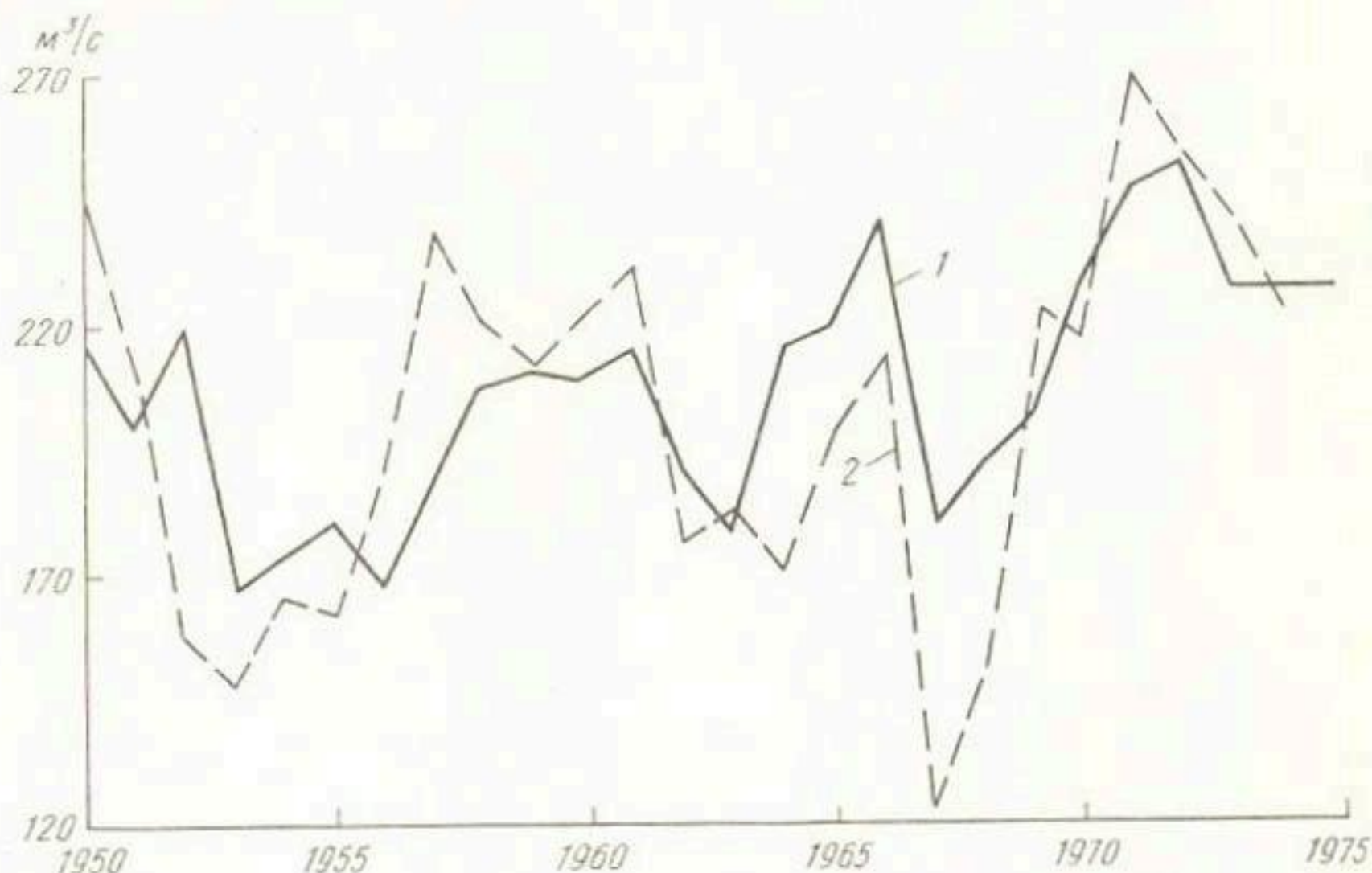


Рис. 34. Рассчитанные (1) по уравнению регрессии ($y(x) = 282 - 4,1x$) и наблюдаемые (2) значения годового (X—IX) расхода воды ($\text{м}^3/\text{с}$)

В качестве второго примера рассмотрим соотношения между рассчитанными и наблюдаемыми значениями годового расхода воды р. Иртыш у г. Тобольска (рис. 34). Рисунок показывает, что с

помощью уравнения регрессии, где в качестве аргумента (x) взяты повторяемость блокирующих барических ситуаций в срединном регионе, куда входит бассейн водосбора р. Иртыш, можно довольно успешно рассчитать расход р. Иртыш.

Таблица 40

Перечень наиболее тесных связей стока рек
с параметрами атмосферной циркуляции

Река	Циркуляционный параметр и период его учета	Характеристика связи	
		R	σ_r
Печора	Сумма блоко-дней за X—IV по северной половине ЕТ СССР	—0,80	0,070
Северная Двина	Число дней с типом Е-циркуляции за X—III	—0,65	0,069
Кама (у г. Перми)	Сумма блоко-дней по району бассейна за X—III	—0,67	0,108
Волга (у г. Куйбышева)	Сумма блоко-дней по ЕТ СССР за X—III	—0,67	0,108
Волга (у г. Куйбышева)	Аномалия годовой повторяемости типов W и C за 6 предыдущих лет	—0,81	0,048
Иртыш	Сумма блоко-дней по срединному региону за X—IX	—0,68	0,176

Таблица 41

Характеристики регрессионных расчетов годового стока некоторых рек,
затрагиваемых переброской водных ресурсов

Статистические характеристики	Речной бассейн и предиктор			
	Северная Двина, блоко-дни	Северная Двина, тип Е-циркуляции	Волга, блоко-дни	Иртыш, блоко-дни
R	—0,62	—0,65	—0,67	—0,68
	0,122	0,069	0,108	0,176
Уравнение регрессии	$y = 83 - 3,7x$	$y = 149 - 25x$	$y = 165 - 6x$	$y = 282 - 4,1x$
Ошибка уравнения регрессии	50,6	48,6	25,5	26,6
Связь между рассчитанными и наблюдаемыми значениями R	0,96	0,49	0,67	0,71

Данный пример показывает высокую погодообразующую роль блокирующих антициклонов. Результаты других сопоставлений различных циркуляционных параметров со стоком рек приведены в табл. 40 и 41. Они показывают, что как основные формы циркуляции, так и блокирующие антициклоны в том или ином регионе достаточно точно отражают такой сложный элемент, как сток больших рек, имеющих бассейны водосбора в сотни тысяч и миллионы квадратных километров. Поэтому обоснованно будет сказать, что для мониторинга климата и для прогнозирования на перспективу нельзя обойтись без соответствующего мониторинга глобальных параметров циркуляции и их перспективного прогнозирования.

Заключение

По всему комплексу вопросов, рассмотренных в восьми главах, можно сформулировать следующие выводы:

1. Разработаны основные принципы параметризации таких сравнительно мало изученных синоптических объектов, как формы высотного барического поля по секторам северного полушария, планетарная высотная фронтальная зона, блокирующие ситуации. С помощью количественных критериев объективным способом на ЭВМ созданы каталоги их параметров за период с 1949 по 1979 г. Таким образом, информация по этим параметрам, записанная на магнитные ленты, может быть доступной для широких исследований.

2. Получены многолетние тренды и доля влияния в общей дисперсии таких циркуляционных объектов, как типы атмосферной циркуляции, форм высотного барического поля, планетарной высотной фронтальной зоны, полюса атмосферной циркуляции, центров действия атмосферы, блокирующих синоптических ситуаций.

3. Показано, что характерным признаком многолетней тенденции циркуляционных параметров является тренд повторяемости случаев экстремальных значений. Так, после 50-х годов наблюдался восходящий тренд числа месяцев за год с преобладанием одного из меридиональных типов циркуляции более 20 дней за месяц при незначительном изменении общей повторяемости за год. Этим объясняется и тот факт, что число месяцев за год с экстремальной аномалией среднемесячной температуры воздуха над европейской частью СССР, в Казахстане и в Средней Азии в последние десятилетия почти вдвое увеличилось против начала столетия.

4. На основе ряда характеристик многолетних колебаний параметров циркуляции показано, что 30—40-е годы являются периодом перехода общей циркуляции из одного статистического и физического режима в другой. Амплитуды колебаний, автокорреляционные функции и тренды экстремальных значений после сороковых годов почти втрое превысили те значения, которые характерны для 1901—1930 гг. Естественно, что соответственно изменились и статистики климатических элементов.

5. Повторяемость зональной циркуляции над атлантико-евразийским сектором полушария после периода глобального потепления до начала семидесятых годов интенсивно уменьшалась, а над тихоокеано-американским сектором, наоборот, несколько увели-

чилась. Тем не менее глобальная зональная циркуляция (W_3) также становилась более редким явлением, чем в первые 30—40 лет. Есть основания утверждать, что с начала семидесятых годов и до последнего времени зональная циркуляция в целом на полушарии снова участвовала, хотя это учащение может оказаться непродолжительным, ибо скорее всего это очередной эпизод на генеральной тенденции ослабления зональных процессов, ход которых напоминает ход ступенчатой функции.

6. Со времени шестидесятых годов происходило уменьшение средней по полушарию широты и извилистости планетарной высотной фронтальной зоны, что объясняет тенденцию к похолоданию в высоких широтах, ибо с уходом основной фронтальной зоны северного полушария к югу увеличивается резервуар холодных арктических масс, которые проникают в средние широты все чаще и чаще.

7. На основе данных за 90 с лишним лет выделены эпохи однородных соотношений типов атмосферной циркуляции на полушарии. Показано, что смены этих глобальных циркуляционных эпох четко сопряжены с различными режимами в динамике истинного полюса вращения Земли. Так, например, все три эпохи с циркуляцией восточного (Е) типа в глобальном масштабе имели место в периоды минимума радиуса-вектора МПВЗ.

8. На многочисленных примерах показана тесная связь между макроциркуляционными параметрами, с одной стороны, и солнечной активностью и радиусом-вектором МПВЗ — с другой. Это дает основание считать, что анализ связей между гидрометеорологическими величинами и циркуляционными параметрами необходимо проводить при однородных значениях прочих факторов. Этот принцип соблюден в монографии в примерах анализа сопряженности между циркуляционными параметрами такими элементами, как температура воздуха, атмосферные осадки и речной сток.

9. Выявлены тесные связи между определенными режимами глобальной циркуляции и интенсивностью теплообмена водных масс в слое 0—500 м между Северной Атлантикой и Ледовитым океаном. Эти асинхронные связи определенным образом отражаются далее на последующей циркуляции в европейском секторе.

10. В примерах анализа циркуляционно-климатических связей использован авторский способ фильтрации сопоставляемых рядов на основе физического анализа и критериев коллигационных коэффициентов, в результате чего достигаются высокие коррелятивные соотношения.

11. Тесная сопряженность между элементами климата и комплексами циркуляционных параметров, выявляемая при помощи факторно-компонентного анализа, дает основание считать, что мониторинг глобальной циркуляции должен составлять одно из основных звеньев мониторинга климата.

Выявленные закономерности параметров общей циркуляции атмосферы имеют важное значение также для моделирования глобальных атмосферных процессов и климатических прогнозов. В

связи с этим особая забота должна проявляться в деле дальнейших исследований синоптических объектов в системе общей циркуляции атмосферы и их влияний на климат.

Первоочередными задачами в дальнейших исследованиях атмосферной циркуляции, по нашему мнению, должны быть следующие:

а) исследование прямых и обратных связей между длительными однородными процессами на полушарии и теплообменом между океанами, включающим как промежуточное условие ледовитость Арктики;

б) дальнейшее исследование соотношений между глобальными параметрами атмосферной циркуляции и внешними факторами космико-геодинамического характера;

в) выявление характера связей между долговременными изменениями макропроцессов в северном и южном полушариях;

г) исследование динамики глобальной тропопаузы и ее взаимосвязей как с известными параметрами циркуляции, так и с внешними по отношению к общей циркуляции факторами;

д) полная объективизация определения форм атмосферной циркуляции по классификации Вангенгейма—Гирса за весь период с 1891 г. до последних лет и издание соответствующего справочника;

е) переход к регистрации блокирующих синоптических ситуаций автоматизированным способом;

ж) дальнейшее уточнение принципов факторно-компонентного анализа соотношений между циркуляционными и климатическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Р. В. Многолетние и сезонные изменения географического положения исландского минимума атмосферного давления. — Изв. ВГО, 1966, № 4, т. 98, с. 317—325.
2. Андрусенко К. А. О центрах действия атмосферы при различных местоположениях полюса циркуляции. — Труды КазНИГМИ, 1977, вып. 60, с. 59—63.
3. Апасова Е. Г. О характеристиках местоположения центров действия атмосферы. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1979, вып. 58, с. 89—97.
4. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. — Труды КазНИГМИ, 1970, вып. 36, с. 54—61.
5. Байдал М. Х., Неушкин А. И. Глобальные атмосферно-циркуляционные факторы климата и их тенденции на ближайшие десятилетия. — В кн.: Сб. «Физические основы изменения современного климата». М., 1980, № 1, с. 46—49.
6. Байдал М. Х. Индексация высотного барического поля. — Проблемы Арктики, 1951, № 3, с. 21—31.
7. Байдал М. Х. Зональные стадии циркуляции и погоды в Арктике. — Проблемы Арктики, 1951, № 4, с. 18—29.
8. Байдал М. Х. Основные формы циркуляции атмосферы и их влияние на погоду в Казахстане. — М.: Гидрометеиздат, 1955. — 106 с. (Труды КазНИГМИ. Вып. 9).
9. Байдал М. Х. Основы комплексного макроциркуляционного метода долгосрочных прогнозов погоды. — Труды КазНИГМИ, 1959, вып. 10, с. 37—72.

10. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Ч. I и II, — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 446 с.
11. Байдал М. Х., Неушкин А. И., Глуховец Л. М. Глобальные параметры атмосферной циркуляции и их роль в формировании аномальных условий погоды над территорией СССР. — М.: Гидрометеиздат, 1982. — 128 с. (Труды ВНИИГМИ-МЦД. Вып. 86).
12. Байдал М. Х. Роль динамики мгновенного полюса вращения Земли во внутривековых колебаниях гидрометеорологических характеристик. — Труды КазНИГМИ, 1972, вып. 24, с. 67—75.
13. Байдал М. Х. Предстоящие и внутривековые условия солнечной активности, атмосферной циркуляции и уровня Аральского моря. — Труды КазНИГМИ, 1972, вып. 44, с. 100—104.
14. Байдал М. Х. О центрах действия атмосферы в связи с полюсом вращения Земли. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1983, вып. 98, с. 53—68.
15. Байдал М. Х., Неушкин А. И. Макроциркуляционные факторы и прогноз засух в основных сельскохозяйственных районах СССР. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1975, вып. 59, с. 49—58.
16. Байдал М. Х. Многолетняя изменчивость блокирующих антициклонов и связанных с ними явлений. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1984, вып. 104, с. 89—96.
17. Байдал М. Х. Циркуляционные параметры климата до и после тридцатых годов XX столетия. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1986, вып. 129.
18. Байдал М. Х. Структурный анализ и прогноз колебаний климата. — Труды КазНИГМИ, 1970, вып. 35, с. 3—9.
19. Байдал М. Х. Влияние полюса атмосферной циркуляции на синоптические процессы и погоду умеренных широт. — Циркуляция атмосферы в полярных странах. Л., Гидрометеиздат, 1978, с. 14—27.
20. Байдал М. Х. Связь вековых колебаний уровня Аральского моря с соотношениями солнечной активности и макротипов циркуляции. — Труды КазНИГМИ, 1972, вып. 44, с. 62—66.
21. Байдал М. Х. Оценка соотношений осадков с помощью коэффициентов коллигации. — Труды КазНИГМИ, 1976, вып. 60, с. 3—12.
22. Багров Н. А. О центре циркуляции. — Метеорология и гидрология, 1975, № 2, с. 3—11.
23. Болотинская М. Ш. К вопросу о связи изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции с солнечной активностью. — Проблемы Арктики и Антарктики, 1965, вып. 20, с. 40—48.
24. Борисенков Е. П., Приемов В. Н. Энергетическая оценка климатических трендов последнего столетия. — Письма в астрономический журнал, 1976, т. 2, № 1, с. 44—48.
25. Бугаев В. А. Исследования подинамической климатологии Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 96 с.
26. Бугаев В. А., Джорджо В. А. Планетарная высотная фронтальная зона. — Труды ЦИП, 1951, вып. 25(52), с. 120—125.
27. Бугаев В. А. Планетарная высотная фронтальная зона и циклогенез. — В кн. Метеорология и гидрология в Узбекистане. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1955. — 327 с.
28. Вангенгейм Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. — Л.: Гидрометеиздат, 1952. — 314 с. (Труды ААНИИ. Т. 34).
29. Вангенгейм Г. Я. Процессы блокирования зональных течений и их роль в режиме общей циркуляции атмосферы. — Труды Всесоюз. науч. метеорол. совещ., 1963, т. 3, с. 3—14.
30. Вангенгейм Г. Я. Смещение центров действия атмосферы и среднеширотного потока в связи с преобразованием западной циркуляции. — Проблема Арктики, 1958, вып. 5, с. 47—56.
31. Виноградов Н. Д. О длительных тенденциях в развитии процессов текущей циркуляционной эпохи. — Проблемы Арктики и Антарктики, вып. 35, 1978, с. 75—83.

32. Вительс Л. А. Многолетние изменения барико-циркуляционного режима и их влияние на колебания климата. — Труды ГГО, 1948, вып. 8(70), с. 51—108.
33. Винников К. Я., Ковалева Н. П. О распределении изменений климата при глобальном потеплении. — Метеорология и гидрология, 1983, № 5, с. 10—19.
34. Воробьев В. И. Высотные фронтальные зоны северного полушария. — Л., Гидрометеиздат, 1968. — 225 с.
35. Гирс А. А. К вопросу об изучении общей циркуляции атмосферы. — Изв. АН СССР. Сер. географ., 1955, № 4, с. 16—28.
36. Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 280 с.
37. Гирс А. А. Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 488 с.
38. Глызь Г. А. О некоторых характеристиках циркумполярного вихря. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1979, вып. 58, с. 98—104.
39. Голубчикова Г. П. Исследование интенсивности планетарной высотной фронтальной зоны в северном полушарии. Гидрометеорологические исследования в Казахстане. — Алма-Ата, 1968, с. 6—16.
40. Груза Г. В. Интегральные характеристики общей циркуляции атмосферы. — В кн.: Научная конференция по проблеме «Общая циркуляция атмосферы Земли». М., 1964. — 30 с.
41. Груза Г. В., Клещенко Л. К., Ранькова Э. Я. Об изменениях температуры воздуха и осадков на территории СССР за период инструментальных наблюдений. — Метеорология и гидрология, 1977, № 1, с. 13—25.
42. Дзердзеевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристики синоптических сезонов. — Л.: Гидрометеиздат, 1946. — 80 с.
43. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклонические колебания атмосферных осадков на территории СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 158 с.
44. Дроздов О. А. О связи различных сторон колебаний климата. — Труды ГГО, 1958, вып. 84, с. 24—43.
45. Дроздов О. А. О возможности климатических прогнозов на основании учета цикличности, обусловленной космическими и земными факторами. — Труды ГГО, 1971, вып. 274, с. 3—26.
46. Дуйцева М. А., Педь Д. А. Об определении степени деформации ПВФЗ на северном полушарии. — Труды Гидрометцентра СССР, 1970, вып. 62, с. 64—74.
47. Зубян Г. Д. О планетарной высотной фронтальной зоне. — Метеорология и гидрология, 1952, № 7, с. 10—16.
48. Калачикова Б. С. Блокирующие антициклоны над Западной Сибирью в холодные полугодия и возможность их прогноза. — Метеорология и гидрология, 1973, № 2, с. 61—66.
49. Кантер Ц. А. Пространственная структура циркумполярных вихрей атмосферы и циркуляции в экваториальной зоне. — Метеорология и гидрология, 1980, № 7, с. 35—41.
50. Кац С. А. О некоторых особенностях взаимосвязи возмущенности ПВФЗ с температурным режимом океанической подстилающей поверхности. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1978, вып. 62, с. 58—72.
51. Кружкова Т. С. Некоторые особенности циркуляции южного полушария и квазидвухлетняя цикличность. — Труды Гидрометцентра СССР, 1972, вып. 107, с. 38—44.
52. Куликов К. А. Движение полюсов Земли. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 85 с.
53. Максимов И. В., Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Океан и космос. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 216 с.

54. Мультановский Б. П. Влияние центров действия атмосферы на погоду Европейской России в теплое время года. — Геофиз. сб., 1915, т. 11, вып. 3, с. 73—97.
55. Орлов А. Я. Движение мгновенного полюса вращения Земли относительно среднего полюса за 46 лет с 1892 по 1938 г. — Бюлл. Астроном. ин-та им. Штернберга, 1941, № 3, с. 22—29.
56. Педь Д. А. О влиянии термического поля подстилающей поверхности на положение ПВФЗ. — Труды Гидрометцентра СССР, 1971, вып. 80, с. 55—66.
57. Педь Д. А. О колебаниях циркумполярного вихря на северном полушарии. — Труды Гидрометцентра СССР, 1975, вып. 167, с. 71—81.
58. Погосян Х. П. Общая циркуляция атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — 394 с.
59. Погосян Х. П. Сезонные колебания общей циркуляции атмосферы. — Труды ЦИП, 1947, вып. 1(28), с. 70—79.
60. Погосян Х. П. Планетарные высотные фронтальные зоны в северном и южном полушариях. — Л.: Гидрометеиздат, 1955. — 59 с.
61. Рагозин А. И., Чуканин К. И. Средние траектории и скорости перемещения барических систем в Евразийской Арктике и Субарктике. — Труды ААНИИ, 1959, т. 217, с. 36—64.
62. Риль Г., Ла-Сер Н. Прогнозирование в средних широтах. — В кн. Вопросы предсказания погоды. — Л.: Гидрометеиздат, 1958, с. 304—316.
63. Россби К. Г. Связь между колебаниями интенсивности зональной циркуляции атмосферы и смещениями квазипостоянных центров действия. — В кн. Вопросы предсказания погоды. Л., Гидрометеиздат, 1958, с. 304—316.
64. Сазонов Б. М. Высотные барические образования и солнечная активность. — Л.: Гидрометеиздат, 1964. — 130 с.
65. Седых К. А. Изменение температуры воды на Кольском меридиане и его связи с типами циркуляции. — Труды Полярн. научно-исслед. ин-та морск. и рыбн. хоз-ва и океаногр., 1948, т. 18, с. 11—13.
66. Сидоренков Н. С., Свиренко П. И. К вопросу о многолетних колебаниях атмосферной циркуляции. — Метеорология и гидрология, 1983, № 11, с. 20—25.
67. Стебляко К. А. Типовое распределение аномалий средней месячной температуры воздуха и сумм осадков летом в северном полушарии при некоторых местоположениях полюса атмосферной циркуляции. — Труды КазНИГМИ, 1975, вып. 46, с. 145—155.
68. Таубер Г. М. О планетарном развитии блокирующих процессов. — Метеорология и гидрология, 1969, № 3, с. 22—30.
69. Угрюмов А. И. Двухлетняя цикличность в тропосфере умеренных широт северного полушария. — Метеорология и гидрология, 1968, № 12, с. 24—32.
70. Украинская В. С., Байдал М. Х. Роль полюса циркуляции в повторяемости и интенсивности северных вторжений на Северный Казахстан. — Труды КазНИГМИ, 1966, вып. 25, с. 100—105.
71. Усманов Р. Ф. О влиянии вращения Земли на общую циркуляцию атмосферы. — Труды ЦИП, 1961, т. 104, с. 3—40.
72. Ханжина Д. Г. Исследования блокирующих антициклонов. — Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1984, вып. 104, с. 111—118.
73. Чучкалов Б. С. Особенности развития квазидвухлетнего цикла в связи с переносом массы воздуха в экваториальной стратосфере. — Труды Гидрометцентра СССР, 1972, вып. 107, с. 3—17.
74. Angell J. K., Korshover J. Evidence for a quasi-biennial in eccentricity of the North Polar Vortex. — J. Atm. Sci., 1975, vol. 32, N 3, p. 634—635.
75. Angell J. K., Korshover J. The expanded north circumpolar vortex of 1976 and winter of 1976—1977, and attendant vortex displacement. — Monthly Weather Rev., 1978, vol. 106, N 1, p. 137—142.
76. Austin J. P. The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves. — Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 1980, vol. 106, N 448, p. 327—350.
77. Brezowsky H., Flohn H., Röss P. Some remarks on the Climatology of blocking action. — Tellus, 1951, vol. 3, N 3, p. 190—194.

78. Harry Van Loon, Sill Williams. The connection between trends of mean temperature and circulation at the surface: Part II, Summer. — *Monthly Weather Review*, 1976, vol. 104, N 8, p. 1003—1011.
79. Hirst A. C., Linacre E. T. Trends in the blocking of high-pressure systems in the Australian region. — *Secarch*, 1981, vol. 12, N 11, p. 409—411.
80. Klaus D. Perioden — and Hayhtkomponenten Analyse der Grosswetterlagen. — Häufigkeiten Europa und Okeantemperaturfluktuationen des Nordatlantiks. — *Meteorologische Rundschau*, 1978, Bd. 31, S. 47—55.
81. Kalmicky R. A. Climatic change since 1950. — *Annalen of the Association of American Geographers*, 1974, vol. 64, N 1, p. 100—112.
82. Lamb H. H. Les fluctuations climatiques a'long forme. — *Meteorologie*, 1976, vol. 6, N 7, p. 135—141.
83. Mitchell J. M. An okerview of climate variability and its cansol mechanisms. — *Quat. Res.*, 1976, vol. 6, N 4, p. 1—13.
84. Reiter E. R. Air-sea interaction and climatic variations. — *Klima. Anol. and Modelle Gesch. and Lukunet*. Berlin, 1980, p. 275—285.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	3
Введение	5

Глава 1. Многолетние колебания повторяемости типов атмосферной циркуляции

1.1. Предварительные замечания	13
1.2. Вековой ход основных форм циркуляции	17
1.3. Эпохи атмосферной циркуляции	21
1.3.1. Эпохи циркуляции, выделенные по годовой повторяемости	21
1.3.2. Эпохи циркуляции применительно к отдельным сезонам года	24
1.4. Многолетний ход экстремальных значений повторяемости форм циркуляции	25
1.5. Соотношения между повторяемостью форм циркуляции, наблюдаемых в разных секторах северного полушария	26

Глава 2. Формы высотного барического поля по шести секторам северного полушария

2.1. Принципы определения форм высотного барического поля	32
2.2. Многолетние колебания повторяемости ФВБП	34
2.3. Синхронные и асинхронные соотношения повторяемости форм высотного барического поля по шести секторам северного полушария	35

Глава 3. Планетарная высотная фронтальная зона

3.1. Понятие о планетарной высотной фронтальной зоне (ПВФЗ) и способы определения ее параметров	41
3.2. Многолетние колебания параметров ПВФЗ	42
3.3. Соотношения между среднемесячными характеристиками параметров ПВФЗ	43
3.4. Статистические характеристики параметров ПВФЗ в северном полушарии	44

Глава 4. Полюс атмосферной циркуляции

4.1. Предварительные замечания	47
4.2. Многолетняя повторяемость и преемственность различных местоположений полюса циркуляции	48
4.3. Преемственные связи различных местоположений полюса циркуляции	49
4.4. Двухлетняя цикличность летнего местоположения полюса циркуляции	50

Глава 5. Многолетние колебания параметров основных центров действия атмосферы

5.1. Вековые колебания параметров основных центров действия атмосферы	52
5.2. Аномалии местоположения атлантических ЦДА в эпохах форм атмосферной циркуляции	55
5.3. Двухлетняя цикличность местоположения исландской депрессии	57

Глава 6. Блокирующие антициклоны

6.1. Годовой ход и повторяемость блокирующих антициклонов	59
6.2. Многолетний ход повторяемости блокирующих антициклонов	61

Глава 7. Соотношения между макроциркуляционными параметрами и внешними факторами

7.1. Соотношения между параметрами атмосферной циркуляции	65
7.2. Особенности связей параметров атмосферной циркуляции с солнечной активностью	67
7.3. Нутация полюсов и атмосферная циркуляция	73
7.4. Особенности связей между масштабами выноса тепла из Северной Атлантики в Арктический бассейн и атмосферной циркуляцией	76

Глава 8. Связи циркуляционных параметров с гидрометеорологическими элементами

8.1. Связи циркуляционных параметров с метеорологическими элементами	81
8.2. Связи между циркуляционными параметрами и стоком рек	92
Заключение	96
Список литературы	98

Монография

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ФАКТОРОВ КЛИМАТА

Редактор *Н. Г. Калайдопуло*

Техн. редактор *В. Н. Силкина*

Корректоры *Л. Б. Афанасьева, А. М. Меретукова*

Сдано в набор 4.12.1985 г. Подписано к печати 5.11.1986 г. Т-19085 Формат 60×90^{1/16}

Бумага картогр. Лит. гарн. Печать офсетная Усл. печ. л. 6,5 Усл. кр.-отт. 6,63

Уч.-изд. л. 6,89 Тираж 590 экз. Индекс М-М-18 Зак. 1521 Цена 45 к.

Москва 123346, ул. Маршала Рыбалко, д. 8

Московское отделение Гидрометеониздата

Фабрика офсетной печати ВНИИГМИ-МЦД
г. Обнинск