

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

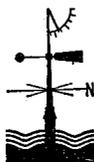
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ *и.м.* А. И. ВОЕЙКОВА

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 299

ОБЩАЯ И СИНОПТИЧЕСКАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Под редакцией
д-ра геогр. наук О. А. ДРОЗДОВА
и канд. геогр. наук Е. В. ВОРОБЬЕВОЙ



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД • 1973

Сборник содержит статьи о характеристике условий циркуляции атмосферы и ее связи с потоками тепла, температурой, осадками и особенностями сезонов и о влиянии на климат солнечной активности. Представляет интерес для климатологов, работников службы погоды и геологофизиков.

364225

**Российский государственный
гидрометеорологический
институт
БИБЛИОТЕКА**
195196, СПб, Малоохтинский пр., 98

Л. П. СПИРИНА

О СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ПОСЛЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ

В одной из последних работ [1] автор рассматривал вопрос влияния вулканической пыли на температурный режим северного полушария на примере четырех крупных извержений, имевших место за период 1881—1960 гг. По каждому случаю извержения (Кракатау — 1883 г., Мон-Пеле — 1902 г., Катмай — 1912 г., сопка Безымянная — 1956 г.) для летнего и зимнего сезонов были построены комплекты карт, отражающие стадию возмущения поля температуры после мощного извержения — вулканическая карта — и стадию релаксации, т. е. возвращения к некоторому среднему исходному состоянию, имевшему место до извержения, — релаксационная карта.

Для построения этих карт по 400 точкам северного полушария были вычислены аномалии температуры воздуха, осредненные за пятилетия: до извержения — (1), с извержением — (2), после извержения — (3).

Вулканическая карта была представлена разностями (2—1), а релаксационная — (3—2). Необычайная аналогичность карт каждой из этих двух групп, систематичность в повторении географически локализованных очагов падения и роста температуры, сравнимость самих величин падения и роста позволили нам построить сезонные карты полушария — вулканические и релаксационные, осредненные по всем случаям извержений.

Следует сразу оговориться, что из-за отсутствия данных до 1881 г. мы не могли построить вулканическую карту для случая Кракатау, а также и релаксационную карту для Безымянной. В период используемого нами релаксационного пятилетия произошла накладка возмущающего воздействия другого извержения — Агунга (1963 г.), и карта, характеризующая восстановление температурного режима, потеряла всякий смысл. Однако это дает основание полагать, что последствия извержения Агунга внесут аналогичные возмущения в температурное поле северного полушария, присущие вулканической группе карт. Перейдем к непосредственному рассмотрению сезонных карт.

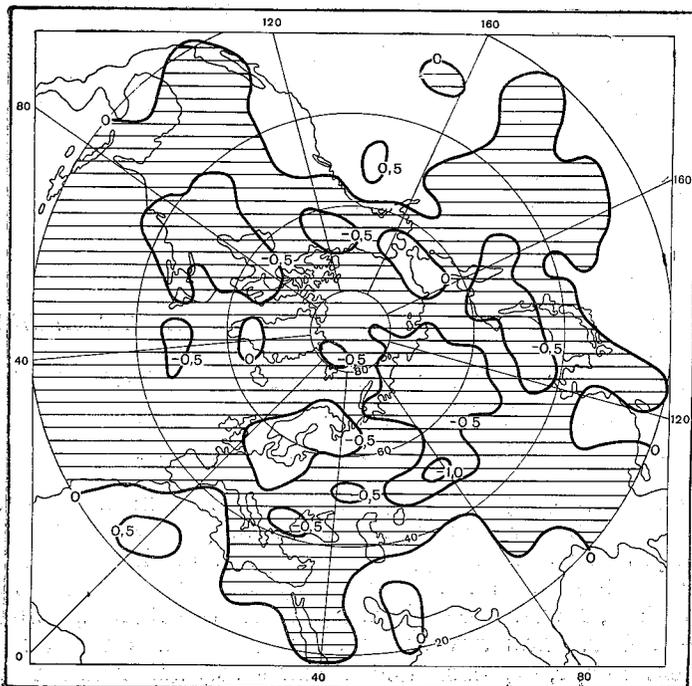


Рис. 1. Средняя вулканическая карта. Лето.



Рис. 2. Средняя релаксационная карта. Лето.

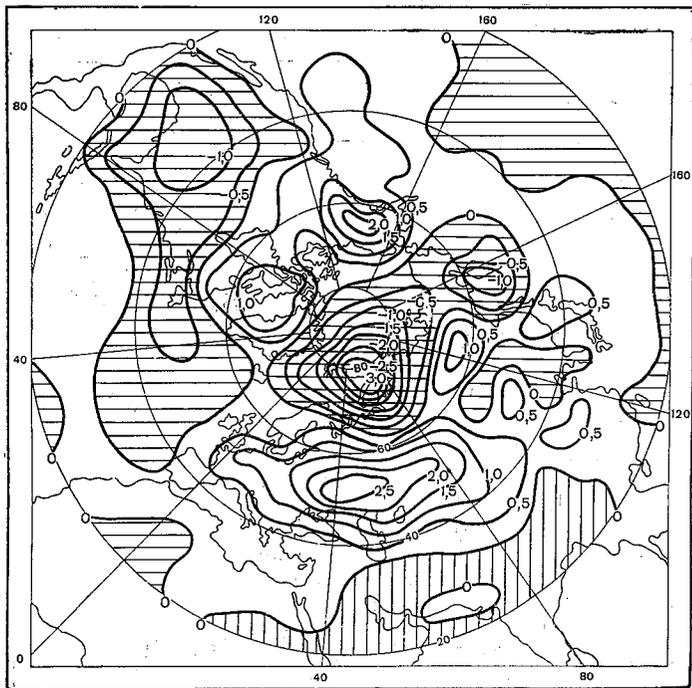


Рис. 3. Средняя вулканическая карта. Зима.

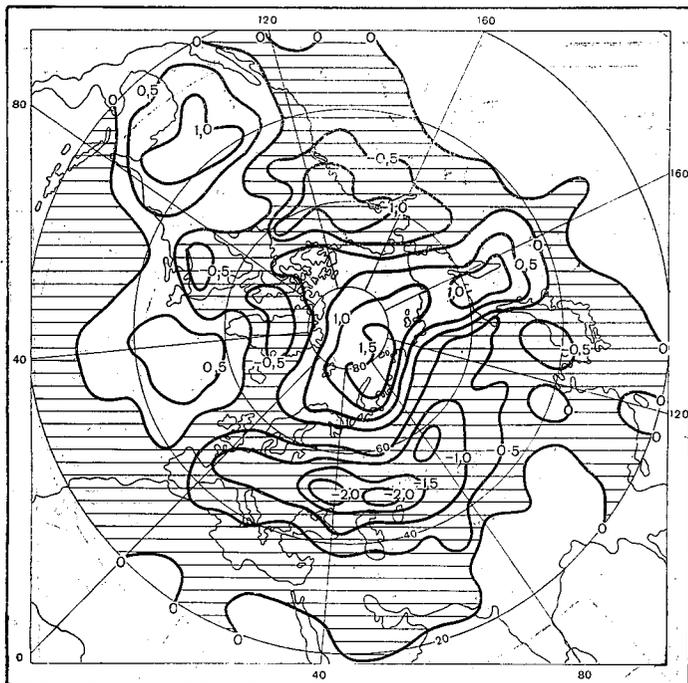


Рис. 4. Средняя релаксационная карта. Зима.



Рис. 5. Средняя вулканическая карта. Осень.

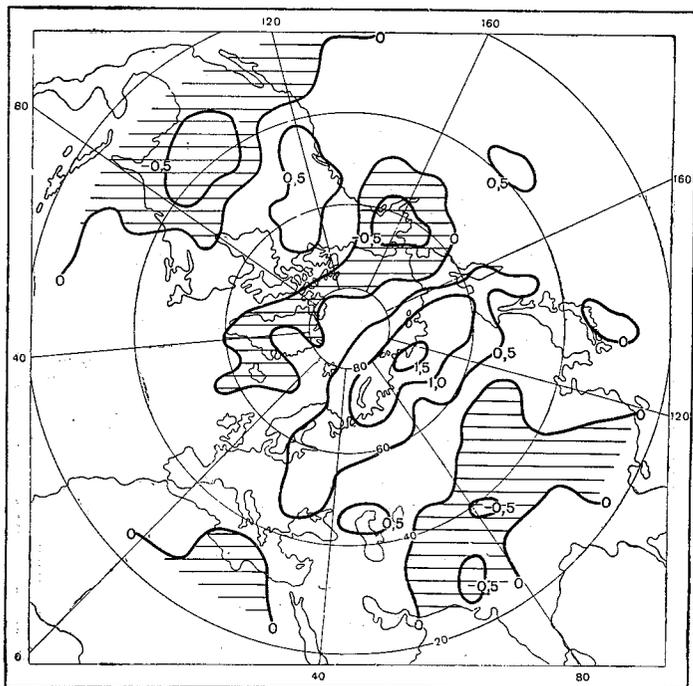


Рис. 6. Средняя релаксационная карта. Осень.

Летняя вулканическая карта (рис. 1) представляет собой случай глобального понижения температуры. Она отражает непосредственное экранирующее воздействие вулканической пелены на поступающую солнечную радиацию. В среднем после извержений температура снижается на $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$. Как следует из релаксационной карты (рис. 2), за последующее пятилетие летняя температура возрастает примерно на те же величины.

Зимняя вулканическая карта (рис. 3) с большими и четкими очагами падения и роста температуры отражает опосредованное — через атмосферную циркуляцию — воздействие на формирование поля температуры в умеренных и высоких широтах. При таком распределении областей падения и роста температуры есть основание предполагать усиление западно-восточного переноса после вулканических извержений. Релаксационная зимняя карта (рис. 4) подтверждает, что эволюция вулканического возмущения в среднем ограничивается пятью годами.

Интересна и осенняя вулканическая карта (рис. 5). По глобальному масштабу падения температуры она сходна с летней картой (см. рис. 1), а по величинам падения и намечающимся признакам перехода к усилению зональной атмосферной циркуляции в распределении температурного поля она соответствует зимней карте (см. рис. 3). Зеркальность релаксационной осенней карты (рис. 6) еще раз доказывает, что возмущающее воздействие извержения ликвидируется в течение пятилетия.

Построенный нами комплект весенних карт из-за чрезмерной пятнистости незначительных по величине и территориальной протяженности очагов падения и роста температуры не дает возможность сказать что-либо определенное ни о периоде возмущения, ни о релаксационном периоде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спирина Л. П. О влиянии вулканической пыли на температурный режим северного полушария.— Метеорология и гидрология, 1971, № 10.

Е. В. ВОРОБЬЕВА, С. Б. ДМИТРИЕВА

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗОНАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В СВЯЗИ С ВТОРЖЕНИЯМИ КОРПУСКУЛЯРНОГО ПОТОКА В МАГНИТОСФЕРУ

Для разработки методов долгосрочных прогнозов погоды на основе учета солнечно-корпускулярных связей и для выявления механизма связи солнечных и атмосферных процессов особое значение приобретают вопросы, связанные с реакцией атмосферы, ее локализацией и временем наступления. Исследований такого направления еще недостаточно, но в последнее время усилилось внимание к этим вопросам и уже имеются интересные результаты. Выявлены некоторые особенности атмосферной циркуляции, пространственного распределения отдельных метеорологических характеристик, определяющиеся солнечной активностью [2—4, 8—10, 17, 18, 23]. Согласно выводам Бодурта [18], полученным на основании данных зимних месяцев (декабрь — февраль) 1899—1939 гг., наибольшая амплитуда средних значений аномалий давления в периоды высокой и низкой солнечной активности характерна для северо-западных районов Северной Америки и прилегающей части Тихого океана. При максимуме солнечной активности давление в этих районах выше, чем при минимуме. Приведенные в работе [3] данные о повторяемости положительных аномалий среднего годового давления на полушарии подтверждают целый ряд уже известных положений, в частности, вывод Уокера [24] о том, что в субтропических антициклонах давление повышается при максимуме солнечной активности, и показывают повышение повторяемости положительных аномалий давления от минимума к максимуму солнечной активности над Североамериканским континентом на 10—20%, в Центральной Европе, Западной Сибири и на востоке Евразийского континента на 20—40%. В северных широтах, наоборот, возрастает повторяемость отрицательных аномалий. По данным А. А. Гирса [4], к максимуму числа солнечных пятен усиливается меридиональная циркуляция, причем перелом в развитии основных форм атмосферной циркуляции в тихоокеано-американском секторе происходит почти одновременно с переломом в ходе солнечной активности,

тогда как смена преобладающих типов процессов в атлантико-европейском секторе наблюдается спустя некоторое время.

Не ставя целью обзор имеющегося в настоящее время уже довольно большого количества работ этого направления, отметим, что выводы, полученные разными авторами, включая и более ран-

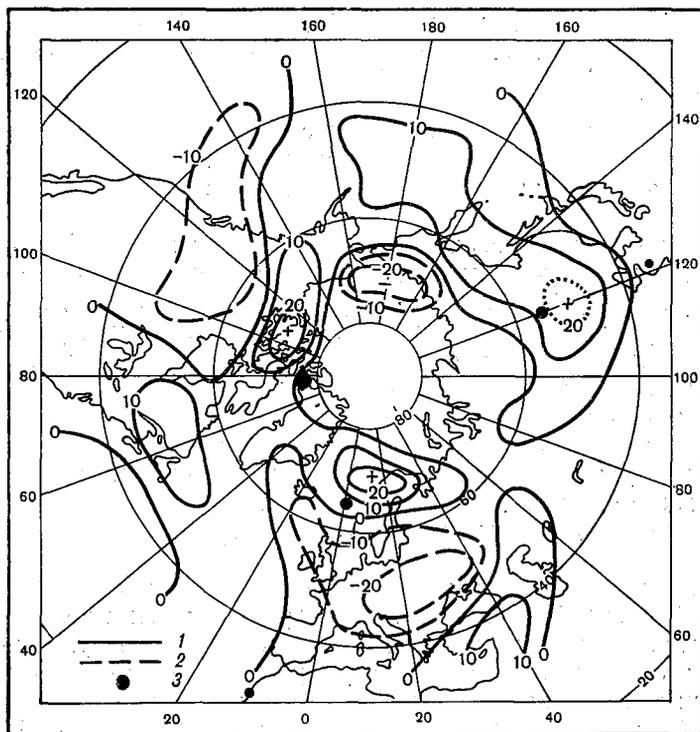


Рис. 1. Изменение интенсивности зонального переноса в средней тропосфере после хромосферных вспышек (в среднем за 20 дней) по отношению к состоянию до вспышки (в среднем за 5 дней).

1 — положительные изменения (усиление интенсивности зональной циркуляции); 2 — отрицательные изменения (ослабление интенсивности зональной циркуляции); 3 — положение мультиполей по И. Г. Золотову.

ние исследования [19, 24], а также исследования, основанные на данных другого временного масштаба [8, 17, 23], в общих чертах совпадают. В то же самое время они дают основания для заключения о том, что солнечно-тропосферные эффекты неоднозначны в пространстве и изменяются во времени. Выделяются районы, где изменения солнечной активности существенно отражаются на состоянии атмосферы, и районы с незначительным эффектом солнечного влияния.

Остается пока неясным, повсюду ли реакция атмосферы на

изменения солнечной активности является непосредственной или существуют районы, в которых изменения атмосферной циркуляции представляют собой лишь следствие солнечнообусловленных изменений в других, более благоприятных для этого районах. Более вероятным представляется второе предположение, если принять во внимание структуру магнитного поля Земли, локализацию наибольших изменений циркуляции, связанных с солнечной активностью, и исходить из корпускулярной концепции солнечно-тропосферных связей.

В. Миронович впервые обратил внимание на то, что структура распределения высотных барических систем обнаруживает сходство со строением магнитного поля Земли [22]. В последующем эта идея нашла отражение в работах Б. И. Сазонова [13, 14] и автора [2].

Известно, что строение магнитного поля Земли довольно сложное. Существует ряд методов его представления в виде системы мультиполей различного порядка [15, 16, 21]. И. Г. Золотовым был предложен метод и определены параметры мультиполей, согласно которым на рис. 1 заштрихованными кружками представлено местоположение в северном полушарии мультиполей первого, второго и третьего порядка [5].

Если учесть, что наиболее благоприятные условия для вхождения корпускулярного потока в магнитосферу Земли создаются вблизи геомагнитных полюсов, то именно в этих районах должна наиболее четко проявляться реакция атмосферы на солнечные процессы.

Рассмотрим, как изменяется интенсивность зонального переноса в средней тропосфере в связи со спорадическими геомагнитными возмущениями из хромосферных вспышек, используя для этой цели более детальную характеристику по сравнению с ранее применявшимися — данные об интенсивности зональной циркуляции в средней тропосфере, вычисленные для широтных зон в 10° и долготных интервалов в 20° по всему северному полушарию. При этом придается значение использованию такой характеристики, как интенсивность зональной циркуляции. Дело в том, что вследствие предполагаемых солнечно-тропосферных эффектов интенсивность циркуляции должна быть наиболее чувствительной характеристикой по сравнению с атмосферным давлением, особенно если учесть выводы об акцентации барического поля. Кроме того, интенсивность циркуляции в определенной степени отражает энергетическую сторону процесса.

В принципе для того, чтобы полнее представить характер изменений атмосферной циркуляции в связи с солнечной активностью, следовало бы подвергнуть одновременному анализу обе составляющие циркуляции, как зональную, так и меридиональную. Согласно исследованиям А. Л. Каца, одна составляющая не является дополнением другой в том смысле, что совсем не обязательно при усилении зональной должна убывать меридиональная составляющая и наоборот. Нередко возможно одновременное ослабле-

ние или усиление обеих составляющих [6, 7]. Однако по техническим причинам мы ограничились рассмотрением зональной составляющей, мерой которой служили меридиональные градиенты геопотенциала на уровне 500 мб поверхности в заданных весьма ограниченных интервалах долготных и широтных зон.

Полученные детальные данные были представлены в виде отклонений от среднеширотной нормы, а также в виде изменений (разностей) этих отклонений от дня ко дню и в каждый последующий день по сравнению с реперным или предшествующим ему днем. В качестве реперного дня принимается день геомагнитного возмущения, который рассматривается как первый день наиболее эффективного взаимодействия корпускулярного потока, только что пришедшего к Земле, с ее магнитосферой [8]. Э. Р. Мустель при отборе реперных дней основной упор делает на такие возмущения, которые максимально свободны от искажающего влияния эффектов наложения предшествующих и последующих возмущений.

С учетом предъявляемых требований Э. Р. Мустелем составлен каталог рекуррентных (списки A_1 и A_2) и спорадических (списки B_1 и B_2) возмущений. При отборе спорадических возмущений (потоки из хромосферных вспышек) отдавалось предпочтение более сильным возмущениям. В списки B_1 и B_2 включены случаи наиболее контрастных, четких и интенсивных возмущений. На основе использования этих данных методом наложенных эпох были обработаны данные об интенсивности зональной циркуляции и построены карты для каждого дня, начиная с пятого до хромосферной вспышки и кончая двадцатым днем после вспышки, а также кривые хода изменений интенсивности циркуляции в течение рассматриваемого интервала времени для каждой широтной зоны в 10° и меридианов, кратных 20° .

Реакция атмосферы на солнечные процессы сложна и неоднозначна, что видно из общей картины изменений интенсивности циркуляции в связи с хромосферными вспышками в среднем за 20 дней после вспышки по отношению к состоянию за 5 дней до вспышки, представленной на рис. 1. Данные в каждой точке достаточно надежны, поскольку являются результатом осреднения более 300 случаев. Выделяются районы значительного ослабления интенсивности зональной циркуляции над Европой, центральной и западной частью Северной Америки, которые свидетельствуют о развитии здесь процессов блокирования. Эти области соответствуют изменениям барического поля у поверхности Земли, полученным Э. Р. Мустелем [8], и отражают указанную рядом авторов особенность, заключающуюся в том, что при усилении солнечной активности атмосферная циркуляция приобретает меридиональный характер. По данным Т. В. Покровской [12], она характерна также для фазы максимума и после максимума в одиннадцатилетнем цикле геомагнитной возмущенности и проявляется даже несколько отчетливее, чем в одиннадцатилетнем цикле чисел Вольфа.

Однако наряду с обширными районами, занятыми процессами

блокирования, на рис. 1 обнаруживаются не менее обширные области, где после хромосферных вспышек усиливается зональная циркуляция. Они расположены преимущественно в более северных широтах и опоясывают почти все северное полушарие кольцом, асимметричным относительно Северного полюса. Причем усиление зональной циркуляции настолько велико, что в III естественном синоптическом районе (ЕСР) становится доминирующим над процессом блокирования, и не только в узкой зоне северных широт, но и в гораздо более широком диапазоне — от 35 до 75° с. ш. (рис. 2).

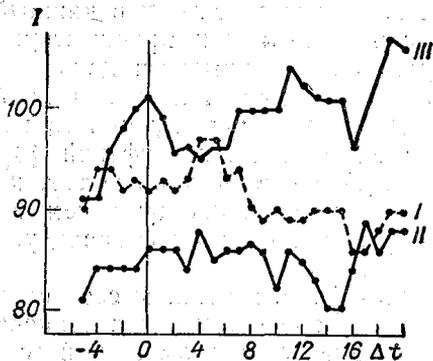


Рис. 2. Изменения интенсивности зональной циркуляции в зоне 35—75° с. ш. для I, II, III ЕСР после хромосферных вспышек, полученные методом наложенных эпох.

Тот факт, что интенсивность зональной циркуляции в американском секторе, определяющаяся в основном глубиной канадского минимума, максимальных значений достигает в реперный день (рис. 2), подтверждает предположение о том, что импульсом для усиления циркуляции здесь являются процессы на Солнце [1]. На рис. 2 достаточно четко прослеживается почти противоположный ход изменения интенсивности атмосферной циркуляции

в I и III ЕСР. Кроме того, он показывает неточность вывода о том, что при высокой солнечной активности усиливаются меридиональные процессы, поскольку не в полной мере отражает действительные эффекты в атмосферной циркуляции и объясняется либо тем, что рассматриваются эффекты на ограниченной территории и преимущественно в I ЕСР, где действительно именно в связи с усилением солнечной активности процессы блокирования получают максимальное на полушарии развитие, либо тем, что использованы недостаточно чувствительные характеристики. Точнее было бы считать, что усиление солнечной активности, в том числе хромосферные вспышки, вызывают усиление как меридиональной, так и зональной циркуляции, только локализация их на полушарии различная.

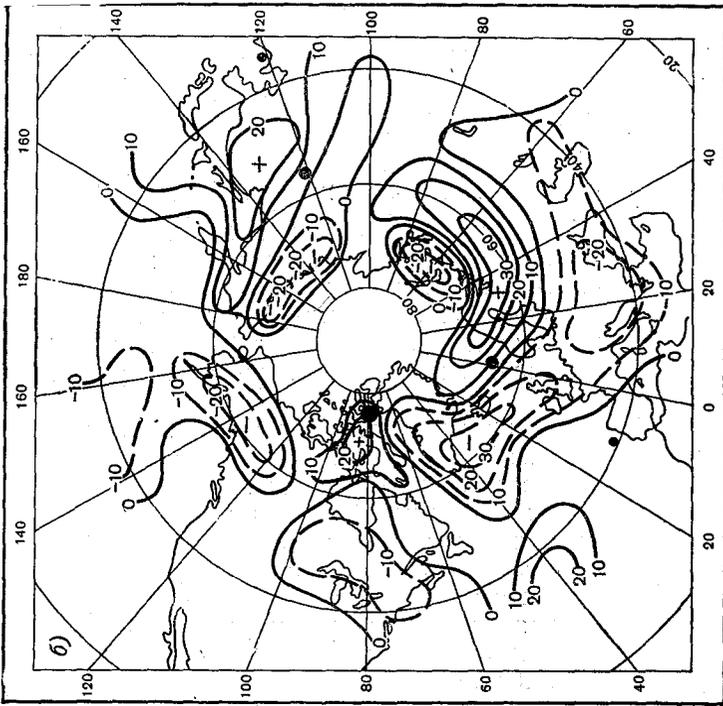
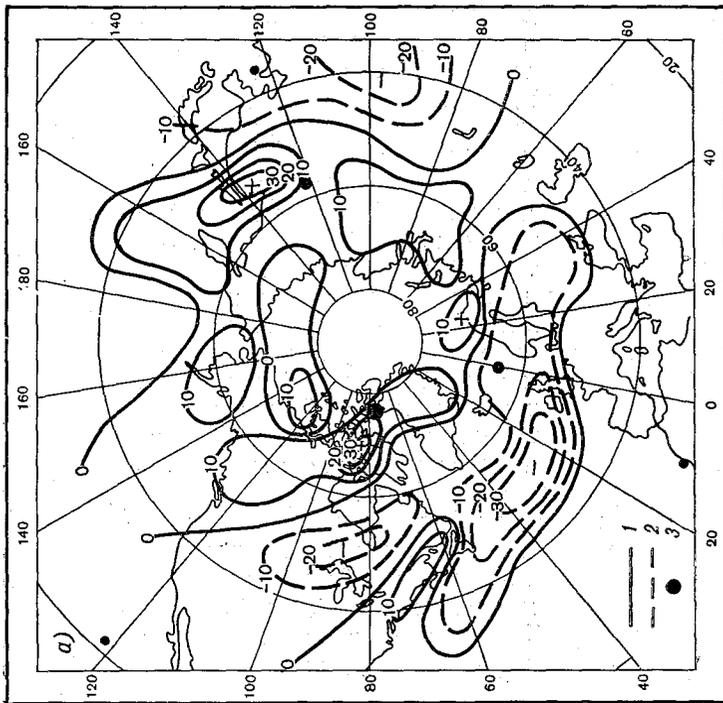
Наибольшее усиление интенсивности зональной циркуляции наблюдается над Канадским Арктическим архипелагом, над северной акваторией Северной Атлантики и на юго-востоке Евразийского континента. Максимальное же ослабление отмечается у восточного побережья Тихого океана, над западной и центральной частью Северной Америки, а также у побережья Чукотского моря и особенно — над Западной Европой. Таким образом, блокирующие ситуации достигают максимального развития вблизи по-

бережий океанов. Этот факт отмечался рядом авторов. В частности, Крейг, в продолжение работ Дюллей, рассмотрел давление в геомагнитновозмущенные и геомагнитноспокойные дни и получил почти зеркальный ход кривых давления с наибольшей разницей у западных побережий континентов [19]. Все это позволило прийти к заключению о важной роли контрастов температуры океана и суши [11]. Но если бы только эти контрасты служили определяющим фактором, то изменения вдоль побережий должны были бы носить однозначный характер. В действительности же имеются большие изменения циркуляции обоого знака, что наводит на мысль о том, что дело не только в температурных контрастах, нарастании океаничности, но и в каких-то других причинах.

На рис. 1, где залитыми кружками отмечено положение геомагнитных полюсов по И. Г. Золотову [5], обращает на себя внимание тот факт, что области наибольших изменений интенсивности циркуляции, связанные с хромосферными вспышками, располагаются вблизи геомагнитных полюсов, если представить магнитное поле Земли в виде различного порядка мультиполей. Если учесть, что в области магнитных полюсов существуют наиболее благоприятные условия для вхождения корпускулярного потока, то находит себе объяснение локализация очагов наибольших циркуляционных изменений. В их образовании повинны, по-видимому, также солнечные процессы, и не только в частных случаях, а и климатологическом плане.

Серия карт, представляющая изменения интенсивности циркуляции на полушарии в каждый последующий за хромосферной вспышкой день по отношению к состоянию в день вспышки, показала, что в первый день наибольшие изменения возникли в районе западнее Гудзонова залива, в районе устья р. Амур, на северо-востоке Северной Атлантики (усиление зонального переноса), т. е. в районах расположения геомагнитных полюсов, наибольшее же ослабление циркуляции произошло в западной части Атлантики и центральной части Северной Америки (рис. 3) и особенно над Западной Европой, т. е. в сопряженных с первыми районах. В последующие дни эти центры усиливаются и распространяются по площади, хотя в целом по полушарию распределение очагов еще пестрое. Наиболее четко центры усиления и ослабления зональности оформляются на третий и девятый день (рис. 3).

После девятого дня атлантический и амурский центры усиления зональной циркуляции мигрируют в восточном направлении. К пятнадцатому-шестнадцатому дню атлантический центр располагается уже над Европейской территорией СССР. Амурский центр сместился в район Камчатки, а на прежнем его месте наблюдается уже область ослабленной циркуляции. К этому времени положение центров почти обратно тому, которое наблюдалось в первые три дня после хромосферной вспышки, т. е. процесс как бы завершился. Это прослеживается и по ходу кривых изменения интенсивности циркуляции ото дня ко дню после хромосферной



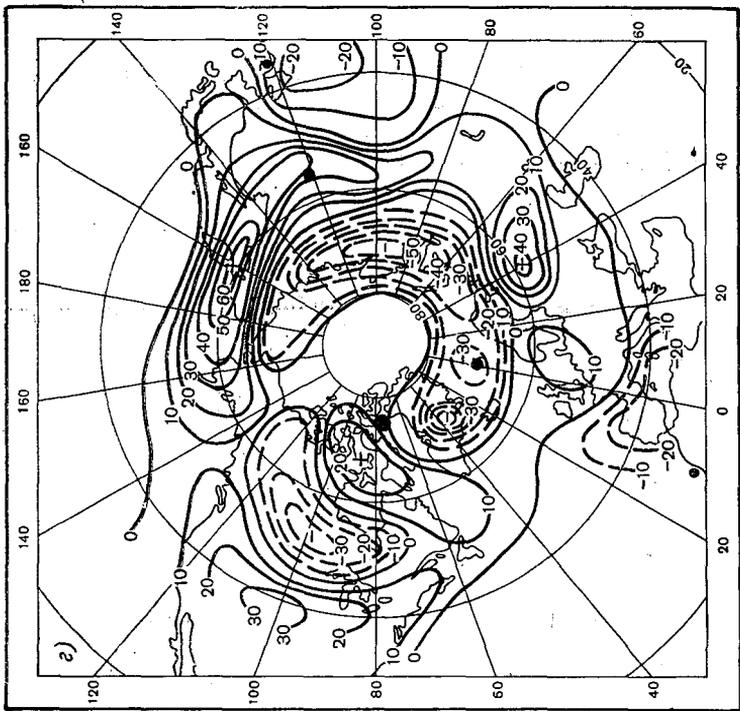
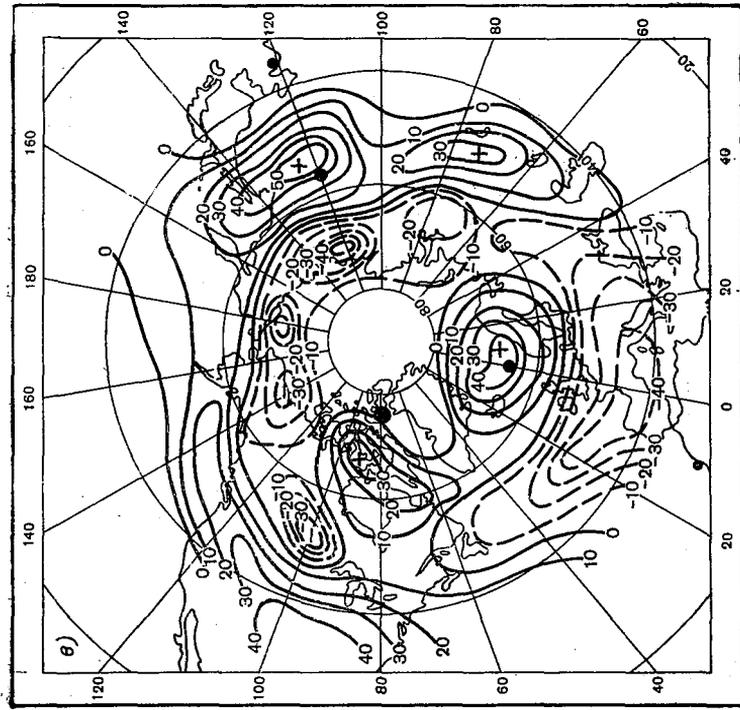
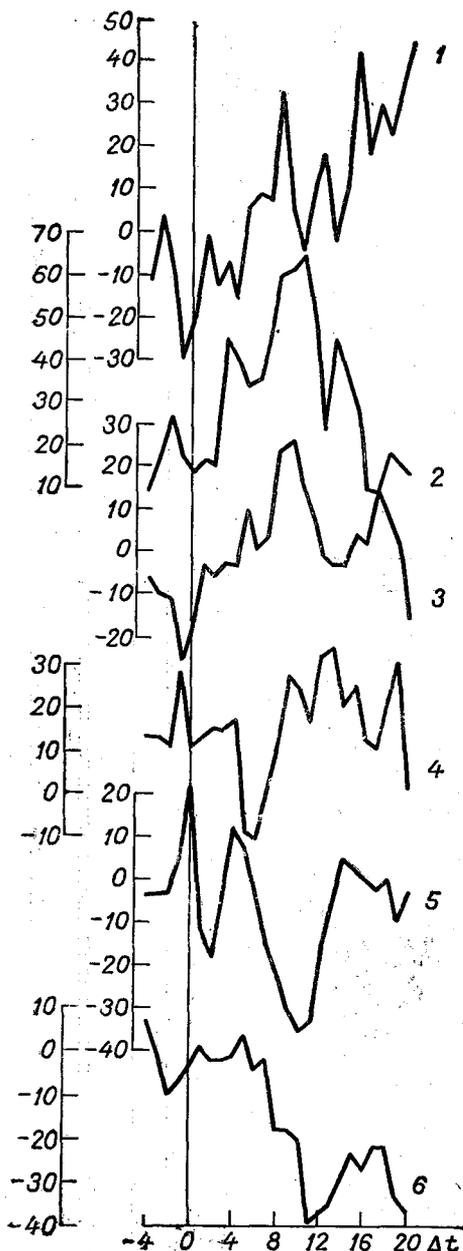


Рис. 3. Карты изменения интенсивности зональной циркуляции по отношению ко дню, предшествующему хромосферной вспышке (1-й день).

а, б, в, г — соответственно на 1, 3, 9 и 16-й дни; усл. обозначения 1—3 см. рис. 1.

вспышки в районах расположения геомагнитных полюсов, или районах наибольших изменений циркуляции (кривые 1, 2, 3 рис. 4). Ход кривых показывает сильное ослабление циркуляции в день хромосферной вспышки или за день до нее; в последующие дни, вплоть до восьмого-девятого дня, происходит усиление зонального переноса с кратковременным его ослаблением на четвертый-пятый день. Наиболее четко центры оформляются к восьмому-девятому дню, после чего происходит обратный процесс — ослабление циркуляции с кратковременным ее усилением в тринадцатый — восемнадцатый день.



Несмотря на то что первые три кривые (1, 2, 3) относятся к районам, расположенным на огромном расстоянии друг от друга, что исключает возможность решающего взаимного влияния процессов, ход их идентичен. Интересно то, что имеет место почти одновременное наступление как экстремумов вблизи реперного дня, так и последующих экстремумов. Заметно только небольшое запаздывание вблизи центра над Норвежским морем (кривая 2) по отношению ко дню со вспышкой и по отно-

шению ко дню со вспышкой и по отно-

Рис. 4. Изменения ото дня ко дню интенсивности зонального переноса в средней тропосфере после хромосферных вспышек в районах расположения американского (1), норвежского (2) и восточно-сибирского (3) геомагнитных полюсов (названия условные) в сопряженных районах над центральной частью Северной Америки (4), в районе Великобритании (5) и над Западной Сибирью (6).

364125

шению к экстремумам кривых 1 и 3, которое до некоторой степени можно объяснить различием порядка мультиполей. В сопряженных с ними районах (кривые 4 и 5) реакция обратная по знаку, но почти одинаковая по времени. В удаленных от геомагнитных полюсов районах (кривая 6) реакция менее четкая и с существенным запаздыванием. Тенденция к более раннему наступлению переломов атмосферных процессов на меридианах, близких к геомагнитным полюсам, и к запаздыванию реакции в удаленных от них районах, была замечена также при изучении эволюции положения планетарных струйных течений в связи с двадцатисемидневным солнечным циклом [2].

Таким образом, реакция атмосферы на солнечные процессы неодинакова как по своему характеру, так и по времени наступления. Вблизи геомагнитных полюсов, где создаются наиболее благоприятные условия для вхождения корпускулярного потока, наблюдаются наибольшие по величине и наиболее ранние по времени изменения интенсивности зональной циркуляции. Создается впечатление, что здесь атмосфера реагирует на солнечные процессы непосредственно, в удаленных же районах атмосферные процессы являются результатом сопряженности с процессами в приполюсных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Е. В. Сопряженность атмосферных процессов в северном полушарии. Л., Гидрометеониздат, 1962.
2. Воробьева Е. В. Эволюция положения тропосферных струйных течений в 27-дневном солнечном цикле.— Труды ГГО, 1968, вып. 227.
3. Воробьева Е. В. Сопряженность атмосферных процессов и солнечная активность.— Труды ГГО, 1966, вып. 198.
4. Гирс А. А. Многолетние преобразования форм атмосферной циркуляции и изменение солнечной активности.— Метеорология и гидрология, 1956, № 10.
5. Золотов И. Г. О представлении геомагнитного поля при помощи мультиполей.— Геомагнетизм и аэрномия, 1966, т. VI, № 3.
6. Кац А. Л. Количественная характеристика горизонтальных составляющих общей циркуляции атмосферы в северном полушарии.— Метеорология и гидрология, 1955, № 2.
7. Кац А. Л. Сезонные изменения общей циркуляции атмосферы и долгосрочные прогнозы. Л., Гидрометеониздат, 1960.
8. Мустель Э. Р. Происхождение солнечного ветра и его астрофизические аспекты. Данные о корпускулярных потоках, которые могут быть использованы для изучения солнечно-атмосферных связей. Солнечные корпускулярные потоки и их воздействие на атмосферу Земли. Сб. «Научные информации». М., 1968, вып. 10, Астр. совет АН СССР.
9. Мустель Э. Р. О воздействии солнечных корпускулярных потоков на нижние слои земной атмосферы. Тезисы докладов XV Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза. Международная ассоциация геомагнетизма и аэрномии. М., 1971.
10. Мулюкова Н. Б. Изменение поля ветра в тропосфере северного полушария Земли после вторжения корпускулярного потока в магнитосферу. Тезисы докладов XV Генеральной ассамблеи Международного геодезического и геофизического союза. Международная ассоциация геомагнетизма и аэрномии. М., 1971.

11. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеиздат, 1969.
12. Покровская Т. В. Опыт фазировки синоптических процессов по степени их зональности в 11-летнем цикле корпускулярной активности Солнца.— Труды ГГО, 1970, вып. 258.
13. Сазонов Б. И. О связи солнечных корпускулярных потоков с видом высотного барического поля тропосферы.— Труды ГГО, 1961, вып. 111.
14. Сазонов Б. И. Высотные барические образования и солнечная активность. Л., Гидрометеиздат, 1964.
15. Умов Н. А. Построение геометрического образца потенциала Гаусса как прием отыскания законов земного магнетизма. Избр. соч. М., Гостехиздат, 1950.
16. Френкель Я. И. Электродинамика (общая теория электричества). Собрание избр. трудов, т. I. М.—Л., Изд. АН СССР, 1956.
17. Asakura T. and Katauma A. On the Relation between Solar Activity and General Circulation in the Atmosphere. Papers on Meteorol. and Geoph., 1958, vol. 9, No. 1.
18. Bodurtha F. T. An investigation on anticyclogenesis in Alaska. J. Meteorol., 1952, vol. 9, No. 2.
19. Clayton H. H. Sunspots and the weather Abstracts of papers by Schostakowitsch and Memery. Bull. Amer. Met. Soc., 1933, vol. 14, No. 3.
20. Craig R. A. Surface pressure variations following geomagnetically disturbed and geomagnetically quiet days. J. Meteorol., 1952, vol. 9, No. 2.
21. Messerschmidt W. Über periodische Schwankungen der kosmischen Strahlung. Tagungsbericht Geomagnetismus und Aeronomie. Ab. 1962, Nr. 29.
22. Mironovich V. Les pôles de la circulation atmosphérique générale et les pôles magnétique terrestres Beitr. Phys. Atmosph., 1956, 29, No. 2.
23. Mustel E. R. Manifestation of solar activity in the troposphere. The Astronomical council of the USSR Academy of Science. The Hydrometeorological Centre of the USSR, Moscow, 1966.
24. Walker G. T. Correlation in seasonal variation of weather, VI. Sunspots and pressure. Mem. Ind. Met. Dept., 1915, vol. 21, part 12.

Б. И. САЗОНОВ, Т. М. ЗУШИНСКАЯ, Т. И. УЛЬЯНОВА

КОСМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ЦИКЛЫ В ДАВЛЕНИИ ВОЗДУХА

В работах [1, 4] было показано, что наличие циклов определенной продолжительности в некотором процессе, происходящем на Земле, может служить указанием на то, что либо обстановка в околоземном космическом пространстве, либо процессы, происходящие на поверхности Солнца, имеют определенное влияние на течение этого геофизического процесса.

В настоящей работе исследовались спектры атмосферного давления в атлантико-европейском районе по 60—80-летним рядам наблюдений с тем, чтобы определить роль космических факторов в изменении атмосферной циркуляции. Всего было использовано 32 ряда наблюдений, для которых были вычислены спектры и оценены вклады отдельных циклов в общую дисперсию. В литературе неоднократно отмечалось, что космические факторы оказывают влияние прежде всего на характер атмосферной циркуляции, на появление циклонов и антициклонов [3, 5], а затем уже на температуру, осадки и другие метеорологические элементы.

Атлантико-европейский район был выбран потому, что, во-первых, здесь имеются достаточно продолжительные и надежные ряды наблюдений и, во-вторых, потому, что с времен Хелланда-Хансена и Нансена [3, 5] этот район приводится как классический образец района с четко выраженными солнечно-тропосферными связями. Последнее обстоятельство делает изучение спектров атмосферного давления в этом районе особенно интересным.

Вычисление спектров производилось по методу Тьюки с помощью преобразования Фурье корреляционной функции, умноженной на весовую функцию вида $\frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi \tau}{m} \right)$ [6]. Исходным материалом служили ряды среднего за месяц давления, длина которых колебалась от 700 до 1000 членов. Длина корреляционной функции бралась равной одной трети от длины исходного ряда, что было обусловлено главным образом необходимостью получения высокой разрешающей способности спектра. Было важно разделить циклы продолжительностью 10,6 и 12 месяцев.

С целью устранить искажение спектра, связанное с влиянием циклов продолжительностью, превышающей рассматриваемый

период, регрессионным методом из исходных рядов наблюдений выбирался параболический тренд.

32 станции были разбиты на три группы. В первую вошли станции Гренландии и Исландии (Упернавик, Ангмагсалик, Ивигтут, Акурейри, Вестманнаэйар, Якобсхавн, Скорсбисунн). Во вторую группу вошли станции Северо-Западной Европы (Абердин, Торсхавн, Валенсия, Сейбл, Бодо, Оксё, Ленинград, Копенгаген,

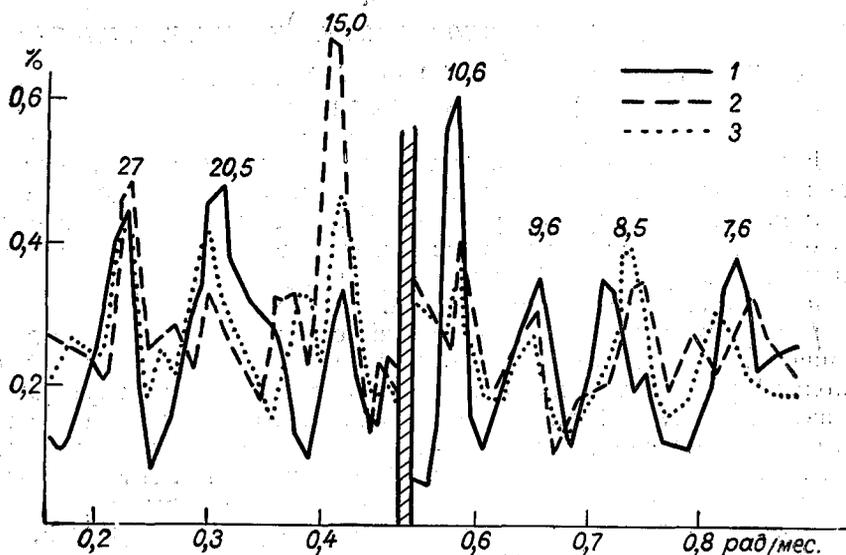


Рис. 1. Два участка нормированных спектров, вычисленных по трем группам станций.

1 — группа станций исландского минимума; 2 — группа станций Северо-Западной Европы; 3 — группа станций Южной Атлантики и Европы.

Вардё, Сент-Джонс, Хапаранда, Леруик, Гринвич). В третью группу вошли станции Южной Атлантики и Европы (Лиссабон, Афины, Фуншал, Загреб, Москва, Понта-Дельгада, Париж, Утрехт, Ла-Лагуна, Александрия, Сент-Джордж, Киев).

Нормированные спектральные плотности были вычислены по каждой станции, после чего вычислялись средние нормированные спектральные плотности для каждой группы станций.

Спектр, вычисленный по данным первой группы станций, отражает ритмику исландского минимума. К тому же эти станции расположены в непосредственной близости от геомагнитного полюса Земли. Спектр, вычисленный по второй группе станций, характеризует ритмику в давлении воздуха тех районов, которые находятся под влиянием ложбин исландского минимума. Эти станции расположены дальше от геомагнитного полюса, чем станции первой

группы. Станции третьей группы расположены еще дальше от геомагнитного полюса и от исландского минимума.

Всякое космическое воздействие, передаваемое заряженными частицами в нижние слои атмосферы, связано со строением магнитного поля Земли [5]. Учитывая это обстоятельство, а также то, что исландский минимум особенно четко реагирует на космические воздействия, и было проведено деление станций на три группы.

На рис. 1 приведены осредненные по всем трем группам станций два участка нормированных спектров, где указаны основные выбросы в спектральной плотности. Мощное 12-месячное колебание опущено, чтобы не загружать рисунок. Спектральная плотность выражена в процентах от дисперсии ряда на частотный интервал, равный 0,01 рад./мес. Шумы, не считая низкочастотной части спектра, держатся на уровне 0,2% на частотный интервал и составляют не менее 40% от общей дисперсии рядов. Около 10% дисперсии приходится на низкочастотные колебания, около 10% — на циклы, обусловленные космическими факторами. И около 40% дисперсии связано с 12- и 6-месячными колебаниями. В спектре, вычисленном по первой группе станций, шумовая компонента несколько меньше, чем в спектрах двух других районов.

Данные о спектрах, вычисленные по среднемесячным величинам давления, позволяют сделать некоторые заключения. Если использовать космические ритмы для целей прогноза погоды, то, видимо, необходимо создать условия, при которых космическая ритмика выбирала бы около половины от общей дисперсии. Какими путями этого можно достичь, пока неясно. Этот вопрос еще требует специального исследования.

На рис. 1 приведены как раз те участки спектров, на которых наилучшим образом проявляют себя высокочастотные циклы космического происхождения. Уровень случайности появления этих циклов в осредненных спектрах колеблется от 0,05 до 5%. Однако, если учесть, что пики имеются во всех трех спектрах, примерно на тех же частотах, уровень случайности должен быть понижен примерно на порядок.

Природа указанных циклов уже обсуждалась в работах [1, 4]. Здесь следует обратить внимание на следующие обстоятельства. Цикл продолжительностью в 26—27 мес. несомненно связан с соединениями планет за орбитой Земли и состоит из соединений Земли и Марса (25,6 мес.), Юпитера и Марса (26,8 мес.) и удвоенного соединения Земли с Юпитером ($13,1 \times 2 = 26,2$ мес.). Взаимное положение этих трех планет и определяет, по-видимому, появление и исчезновение квазидвухлетней цикличности. Цикл продолжительностью в 20—21 мес. определяется соединением Земли и Венеры (19,3 мес.) и Марса и Венеры ($11,3 \times 2 = 22,6$ мес.). Циклы продолжительностью в 10,6 и 15,0 мес., как было показано в [4], связаны с соединениями Венеры, Земли и Юпитера.

Таким образом, можно констатировать, что четыре наиболее существенных пика из семи связаны с изменениями обстановки в околоземном космическом пространстве.

И. В. Максимов с группой сотрудников исследовал 14—15-месячное колебание давления в Северной Атлантике [2]. Исследование проводилось по рядам 10—15-летней продолжительности. Авторы не обнаружили циклов продолжительностью 27, 20—21 и 10,6 мес. 14—15-месячный цикл в атмосферном давлении они объяснили «полусным приливом».

Пространственное распределение очагов наибольших колебаний давления в семи рассмотренных циклах указывает на то, что существует некоторый универсальный механизм их проявления в давлении.

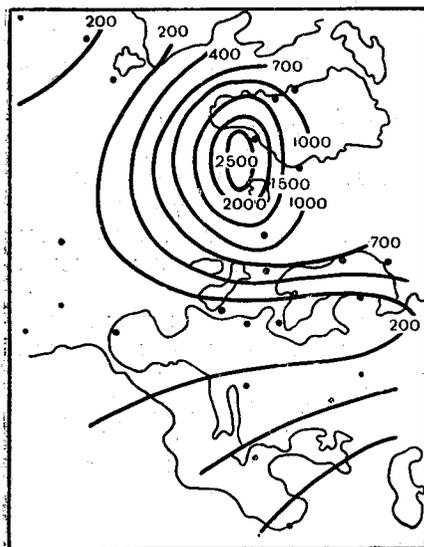


Рис. 2. Изолинии годового изменения давления ($0,01 \text{ мб}^2 \text{ мес/рад.}$) в атлантико-европейском районе.

Для всех циклов, указания на которые можно получить из рис. 1, а также для циклов продолжительностью в 12 и 6 месяцев существуют лишь два центра их наилучшего проявления: Исландия и Ирландия. Причем районы наибольших изменений давления в циклах расположены несколько западнее этих островов, как раз там, где чаще всего наблюдается возникновение или регенерация циклонов.

На рис. 2 приводится карта атлантико-европейского района с изолиниями годовых изменений давления. Точками показано местоположение станций. К сожалению, в наиболее интересном треугольнике между Исландией, Ирландией и югом Гренландии нет станций с длительными рядами наблюдений, достаточными для вычисления спектров. Из рисунка следует, что наибольшие изменения давления в годовом ходе наблюдаются западнее Исландии, где годовая амплитуда изменения месячных величин равна примерно 7 мб.

Район Балтийского моря расположен между океаническим районом больших амплитуд и материковым районом больших амплитуд, центр которого расположен, по-видимому, в Восточной Сибири. Характерно, что район наибольших изменений давления в годовом ходе совпадает с районом наибольших — 6, 7,6, 8,5 и 9,6-месячных изменений давления, которые имеют космическую природу. Это ставит вопрос о том, что, по-видимому, и степень выраженности годовой амплитуды давления в каждом отдельном году каким-то образом связана с активностью Солнца и обстановкой в околоземном Космосе.

На рис. 3 приводятся изолинии изменений давления в циклах продолжительностью в 10,6 и 14,8 мес. в том же географическом районе, что и на рис. 2. Точками показано местоположение станций. Контурные материков не приведены, чтобы не загружать рисунок. Очаг наибольших изменений давления в цикле продолжительностью 10,6 мес. расположен в районе Исландии, а в цикле 14,8 мес. — в районе Ирландии. На рис. 4 приведены изолинии изме-

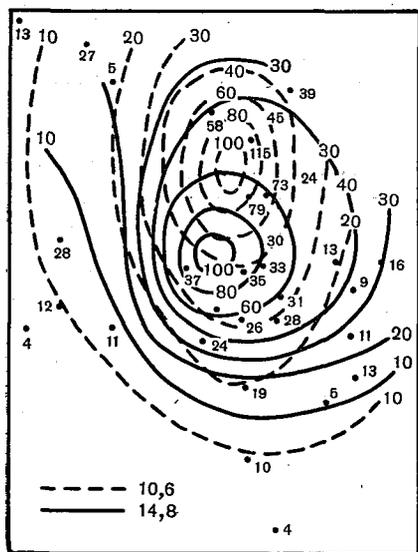


Рис. 3. Изолинии изменений давления ($0,01 \text{ мб}^2 \text{ мес/рад}$) в циклах продолжительностью 10,6 и 14,8 мес.

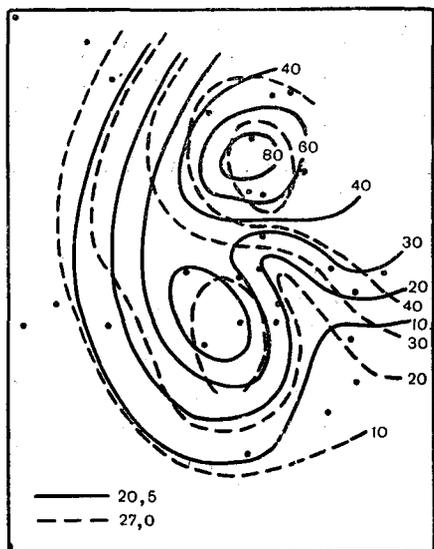


Рис. 4. Изолинии изменений давления ($0,01 \text{ мб}^2 \text{ мес/рад}$) в циклах продолжительностью 20,5 и 27,0 мес.

нений давления в циклах продолжительностью 20,5 и 27 мес. Очаги наибольших изменений давления расположены примерно в тех же районах, что и на рис. 3. В циклах продолжительностью 20,5 и 27,0 мес., однако, оба очага проявлены в равной мере. Причины различных проявлений парных циклов, имеющих несомненно общую природу (циклы 10,6 и 14,8; циклы 20,5 и 27,0) и связанных соответственно с соединениями определенных планет и определенными перестройками межпланетной среды, пока не совсем ясны. Однако характерно, что наилучшее проявление эти циклы находят в одних и тех же географических районах. Это еще раз свидетельствует о том, что агентом, возмущающим тропосферное барическое поле, являются заряженные частицы высоких энергий. Только эти частицы, реагируя на изменения магнитных полей околоземного космического пространства, взаимодействуют с аномалиями земного магнитного поля. Последнее обстоятельство и объясняет географи-

ческое совпадение районов наилучшего проявления космических циклов разной продолжительности. Приведенные факты говорят о достаточно жестком контроле тропосферного давления космическими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зушинская Т. М., Сазонов Б. И. Основные частоты геофизических процессов. Часть II. См. наст. сборник.
2. Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л., Гидрометеоздат, 1970.
3. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. М., «Наука», 1964.
4. Сазонов Б. И. Основные частоты геофизических процессов. Часть I. См. наст. сб.
5. Сазонов Б. И. Высотные барические образования и солнечная активность. Л., Гидрометеоздат, 1964.
6. Granger, C. W. J., in association with Hatanaka, M. Spectral Analysis of Economic Time Series. Princeton Univers. Press, Princeton, New Jersey, 1964.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТОТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧАСТЬ I

Использование цикличности для прогнозирования различных геофизических процессов не получило до настоящего времени широкого распространения главным образом потому, что физическая природа циклов остается неясной. Исчезновение одних циклов и появление других — столь обычное явление в геофизических процессах, что без его объяснения и предсказания само использование цикличности в практических целях представляется малообоснованным. Циклы солнечной активности продолжительностью 11 и 22 года почти не прослеживаются в ходе геофизических процессов, происходящих на Земле. От атмосферы и до литосферы и биосферы включительно циклы продолжительностью 2—3, 4, 6—7, 13—14 лет оказываются более значимыми, чем солнечнообусловленные циклы [1, 4].

В настоящей работе предпринята попытка выяснить природу циклов, которые являются наиболее значимыми в ходе земных процессов и которые для краткости мы назовем геофизическими циклами.

1. Циклы солнечной запятненности

В последние годы идея о возможном влиянии положения планет на уровень солнечной активности, впервые высказанная Вольфом, вновь получила подтверждение на экспериментальном материале [4, 5, 8, 11]. В этих работах было показано, что соединение планет, т. е. момент, когда две или три планеты находятся по одну сторону от Солнца на прямой, выходящей из его центра, является важным временным репером в ходе солнечной активности. Приливная волна, возникающая на поверхности Солнца, оказывается достаточно большой, чтобы влиять на уровень солнечной запятненности, особенно в тех случаях, когда соединяются три или четыре планеты. Теория этого вопроса еще недостаточно ясна, однако это дает ключ к пониманию цикличности, обусловленной активностью Солнца.

Нами были подсчитаны промежутки времени, через которые происходят парные соединения планет, оказывающих приливообра-

зующее воздействие на поверхность Солнца. Таких планет четыре: Меркурий, Венера, Земля, Юпитер. По порядку величин приливообразующее действие этих планет примерно равно [9], хотя роль Юпитера и Меркурия при объяснении физического механизма, вообще говоря, может оказаться исключительной благодаря большой массе первого и близкого расположения к Солнцу второго. Если бы не существовало других планет, кроме Меркурия и Юпитера, то прослеживался бы единственный высокочастотный цикл в активности Солнца, близкий к трем месяцам. В действительности, существует целый набор циклов продолжительностью от нескольких месяцев до нескольких столетий и даже, вероятно, тысячелетий.

Таблица 1

Периоды парных соединений планет (в месяцах)

Планеты	Юпитер	Меркурий	Земля	Марс
Юпитер				26,8
Меркурий	2,97			3,3
Земля	13,1	3,8		25,6
Венера	7,8	4,8	19,3	11,3

В настоящей работе мы ограничимся только рассмотрением циклов продолжительностью примерно от 7 месяцев до 7 лет. Выбор циклов обусловлен тем, что для надежного определения циклов большей длительности по спектральной плотности нет достаточно продолжительных рядов геофизических наблюдений, исключая данные нескольких метеорологических и геомагнитных станций, и требуется применение специальных методов, подобных тем, что применены, например, в [1]. От циклов продолжительностью менее 7 месяцев пришлось отказаться, потому что как в солнечных, так и в геофизических процессах существует большая инерция, которая препятствует четкому проявлению высокочастотных циклов. Солнечные пятна, например, могут существовать на поверхности Солнца до 4—5 месяцев, а факельные поля — до 10 месяцев и более. Примерно такова и продолжительность существования аномалий температуры поверхности океана. Кроме того, в индексах, характеризующих изменения геомагнитного поля, существуют сильные полугодовые колебания, которые вместе с 11-летним циклом обуславливают появление частот-сателлитов: $\omega_1 \pm \omega_2$; $\omega_1 \pm 2\omega_2$ и т. д. ω_1 — частота шестимесячного колебания, ω_2 — частота, соответствующая 11-летнему циклу солнечной активности. На спектрограммах интервал от 5 до 7 месяцев поэтому оказывается сильно искаженным и непригодным для анализа, если вопрос касается геомагнитных индексов. Все это и заставляет проводить анализ циклов продолжительностью от 7 месяцев до 7 лет.

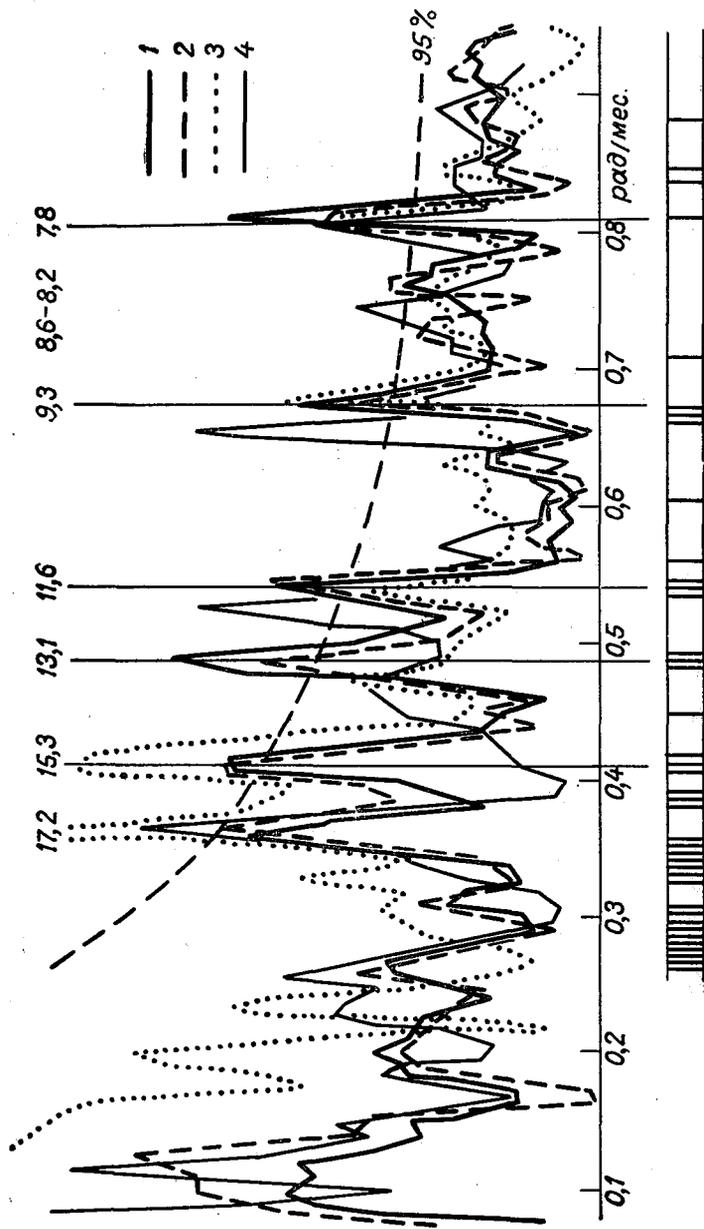


Рис. 1. Спектры теней (1) и полутеней (2) солнечных пятен и солнечных факелов (3) и спектр числа дней в месяце с очень высокой германитной возмущенностью (4).

В табл. 1 приведены промежутки времени между парными соединениями планет, вычисленные нами с точностью до десятых долей месяца.

В треугольной рамке представлены те периоды, которые получаются от парного соединения приливообразующих планет. В анализируемый нами интервал частот входят три периода, обусловленных парными соединениями планет: 7,8; 13,1 и 19,3 месяца. Периодически могут наблюдаться соединения трех и даже четырех планет. Их нельзя назвать соединениями в астрономическом смысле, однако на некоторый промежуток времени три или четыре планеты могут группироваться в узком интервале гелиодолгот и вызывать на Солнце столь же мощную приливную волну, как если бы это было истинное соединение. Таким образом, в ходе солнечной активности могут появляться частоты, которые будут отражением эффекта соединения или, точнее говоря, сближения трех или даже четырех планет. Так, например, появится период в 15,3—15,5 мес., который возникает при каждом четвертом соединении Меркурия и Земли ($3,8 \times 4 = 15,2$) и каждом втором соединении Юпитера и Венеры ($7,8 \times 2 = 15,6$). Поскольку исходные периоды различны, период в 15,3 мес. можно рассматривать как фиктивный период, обусловленный слиянием близких частот, разрешить которые невозможно в таком инерционном физическом процессе, как пятнообразование на Солнце. Особенность такого фиктивного периода состоит в том, что он не может наблюдаться постоянно, как, например, периоды длительностью 7,8, 13,1 и 19,3 мес., связанные с парными соединениями планет. Возникнув и просуществовав 6—8 лет, этот период неизбежно придет к концу, с тем чтобы не ранее чем через десятилетие возникнуть вновь, когда парные соединения указанных планет будут происходить в узком интервале гелиодолгот.

Нами были вычислены спектры по восьмидесятилетним рядам наблюдений в Гринвиче за площадями теней и полутеней пятен, за площадями факелов. Использовались среднемесячные значения этих величин. На рис. 1 приведены спектры этих величин в диапазоне от 7 мес. до 7 лет. По горизонтали отложены частоты, вычисленные при условии, что за единицу времени взята не секунда, а месяц, что, не меняя существа дела, существенно упрощает обозначения. Пунктирная кривая показывает уровень значимости пиков на спектре теней и полутеней пятен.

Сразу же обращает на себя внимание наличие четких и, главное, согласованных пиков на частотах, отражающих парное соединение Венеры и Юпитера (период в 7,8 мес.) и Земли и Юпитера (период в 13,1 мес.); это является лишним доказательством того, что приливообразующая сила планет находит свое отражение в активности Солнца. Внизу, в основании рис. 1, вертикальными метками обозначены частоты, кратные полупериодам парных соединений четырех приливообразующих планет. Группировка нескольких меток в узком интервале частот и дает фиктивный цикл, особенностью которого является его временное проявление. Такими цик-

лами в показателях солнечной активности являются 15,3, 11,6, 9,3 мес., а также цикл 17,2 мес.

Происхождение последнего цикла весьма сложно. По-видимому, этот цикл является остатком цикла в 19,9 мес., который должен был бы возникнуть от соединения Меркурия, Венеры и Земли ($19,3 \times 1 = 19,3$; $3,8 \times 5 = 19,0$; $4,8 \times 4 = 19,2$ мес.) и иметь весьма большую мощность. Причины, по которым указанный цикл не нашел своего проявления в показателях солнечной активности, по-видимому следует искать в физических процессах, происходящих на Солнце. Из характера приводимых спектров следует, что периоды от 18 месяцев до 9 лет по каким-то причинам не находят своего проявления в солнечных показателях и даже имеется тенденция к подавлению некоторых частот в этом диапазоне.

Возможно, этот цикл происходит от соединения Венеры с Землей и Юпитером ($19,3 \times 1 = 19,3$; $7,8 \times 2 = 15,6$), что и дает в среднем 17-месячный цикл. Но тогда следует искать объяснение исчезновению столь же вероятного цикла продолжительностью в 21 мес. ($19,3 \times 1 = 19,3$; $7,8 \times 3 = 23,4$). А это опять-таки указывает на особенности процессов, происходящих на Солнце.

Резюмируя, можно сказать, что в показателях солнечной активности существуют две четко выраженные компоненты: высокочастотная (циклы короче 18 мес.) и низкочастотная (циклы продолжительностью от 9 лет и более). На промежуточных или средних частотах не существует сколько-нибудь значимых циклов.

2. Циклы межпланетной среды

Однако ритмика, связанная с соединениями планет, может рассматриваться не только в показателях солнечной активности, но и в строении магнитных полей околоземного космического пространства. В самом деле, гравитационные поля Венеры, Земли и Марса оказывают свое влияние на движение любого тела или частицы, проходящей на расстоянии порядка 0,1—0,2 астрономической единицы от планеты, а гравитационное поле Юпитера влияет на движение частицы, отстоящей от него даже на расстояние 2—3 астрономических единиц. Отсюда следует, что движение плазмы от Солнца в тех гелиодолготах, где отсутствуют планеты от Меркурия до Юпитера, и в тех гелиодолготах, где происходит соединение этих планет, должно быть различным.

Плазма движется от Солнца под действием теплового расширения короны Солнца [2]. Существенным препятствием этому служит гравитационное поле Солнца. По мере удаления от поверхности Солнца роль гравитационных полей планет возрастает, а роль гравитационного поля Солнца уменьшается. Именно поэтому роль Марса в перестройке околоземного космического пространства оказывается не меньшей, чем Венеры, в то время как роль Меркурия в этом случае можно пренебречь. Решающее значение будут иметь соединения Венеры, Земли, Марса с Юпитером (роль которого будет доминирующей). Магнитное поле Солнца выносятся, по

современным представлениям, до орбиты Сатурна, где оно ослабевает настолько, что сливается с магнитными полями галактического пространства [2, 6]. Таким образом, нет необходимости, по-видимому, говорить здесь об удаленных планетах, как, например, Сатурн или Уран, но необходимо включить в рассмотрение Марс и периоды его соединений с Венерой, Землей и Юпитером. В последнем столбце табл. 1 приведены соответствующие данные.

В настоящее время не существует теории воздействия планет на состояние околоземного космического пространства, хотя такое воздействие, несомненно, должно быть, так как протоны солнечной

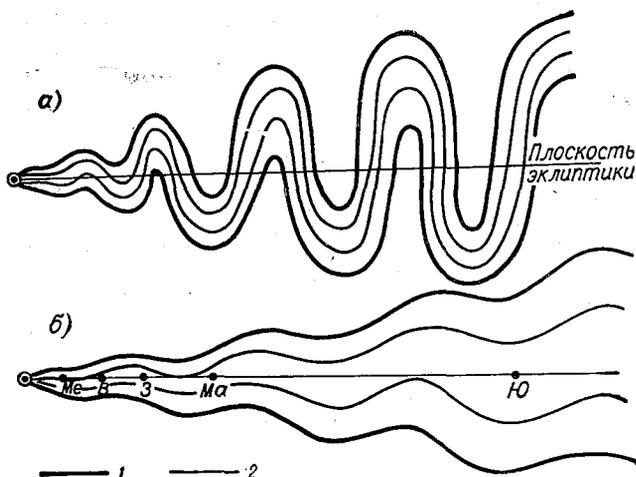


Рис. 2. Изменение структуры магнитных полей в Космосе.

а — в отсутствие планет; б — в момент соединения Меркурия, Венеры, Земли и Марса с Юпитером; 1 — сильные магнитные поля в околосолнечном космическом пространстве, 2 — слабые магнитные поля.

плазмы имеют конечную массу и должны реагировать на гравитационные поля планет. Равно сейчас не существует и продолжительных наблюдений за состоянием околоземного космического пространства. Определенную информацию, но далеко не исчерпывающую, можно получить, лишь анализируя индексы геомагнитной возмущенности.

Имеющиеся данные по этому вопросу [7, 10] указывают на то, что в моменты соединения Земли с Меркурием, Венерой, Марсом и Юпитером наблюдается определенное снижение геомагнитной активности, а это равносильно тому, что в такие моменты Земля проходит через области солнечной плазмы, которые обладают меньшими скоростями движения и меньшими магнитными полями. Можно согласиться с авторами указанных выше работ о том, что снижение геомагнитной активности связано с ударной волной, которая возникает в плазме от взаимодействия ее с планетой. В то же время сближение планет, ускоряя движение плазмы от Солнца, спрямляет силовые линии магнитных полей в космическом пространстве, вызывая тем самым описанные выше эффекты.

Схематично эта ситуация показана на рис. 2. Из рис. 2 а видно положение силовых магнитных линий в плоскости, перпендикуляр-

ной плоскости эклиптики в отсутствие планет. Скорость движения плазмы от Солнца к орбите Юпитера здесь замедлена. Многие виды неустойчивости, обнаруженные в межпланетной плазме, способствуют искривлению потоков, в результате чего плоскости эклиптики достигают корпускулярные потоки, вышедшие из достаточно высоких гелиоширот, и на Земле наблюдается повышенный фон геомагнитной активности. Наоборот, когда наблюдается соединение планет и ускоряется протяжка плазмы от Солнца к орбите Юпитера (рис. 2 б), наиболее сильные магнитные поля в Космосе оказываются выше и ниже эклиптики, в то время как орбита Земли проходит через области, где геомагнитная активность должна быть понижена. Такая схема более логично объясняет роль соединения планет в снижении геомагнитной активности и согласуется с новыми данными о неоднородностях космического пространства.

Из-за недостатка места мы не в состоянии обсуждать приведенную схему в деталях, но следует обратить внимание на то, что если в первом случае приток космических лучей к орбите Земли затруднен, то во втором он существенно облегчен в плоскости эклиптики. Если космические лучи воздействуют на течение ряда геофизических и биологических процессов [3], то в таком случае ритмика, связанная с соединениями планет, будет прослеживаться в ходе этих процессов через изменяющееся состояние околоземного космического пространства.

В работах [7, 10] указывается, что воздействие планет лучше прослеживается в снижении геомагнитной активности в том случае, когда уровень солнечной активности невысок, когда хромосферных вспышек мало. Это легко объясняется приводимой схемой, ибо, когда на Солнце происходят частые хромосферные вспышки, которые создают ударные фронты в межпланетной плазме и способствуют созданию ситуации, напоминающей схему на рис. 2 а, состояние невозмущенности космических полей (рис. 2 б) исчезает даже при наличии планет. При низком уровне активности Солнца, наоборот, смена ситуаций происходит только из-за наличия или отсутствия планет.

Существует три относительно независимых друг от друга и достаточно продолжительных ряда наблюдений над состоянием геомагнитного поля Земли: средний месячный уровень геомагнитной возмущенности, число геомагнитноспокойных дней в месяце (индекс С равен 0 или 1), число геомагнитновозмущенных дней в месяце (индекс С равен 8 или 9). Два первых ряда несут определенную информацию о структуре околоземного космического пространства, третий же ряд отражает только уровень активности Солнца. По этой причине два первых ряда приведены на рис. 3, а третий — на рис. 1, вместе с показателями активности Солнца.

При анализе геомагнитной возмущенности следует учитывать тот факт, что сильный 6-месячный цикл, наблюдающийся в этих данных, акцентирует все циклы, кратные 6 мес. Поэтому на рис. 1 в кривой числа дней с высокой геомагнитной возмущенностью нет циклов в 15,3 и 13,1 мес., но хорошо прослеживаются остальные

циклы. Характерно, что фиктивный цикл 9,3 мес. заменяется здесь циклом 9,6 мес., который связан с соединениями Меркурия и Венеры.

Легко понять, почему этот цикл оказался столь мощным в геомагнитной активности: Меркурий и Венера — как раз те планеты, которые оказывают максимальное влияние на притекающую к Земле плазму и, стало быть, на магнитную активность, наблю-

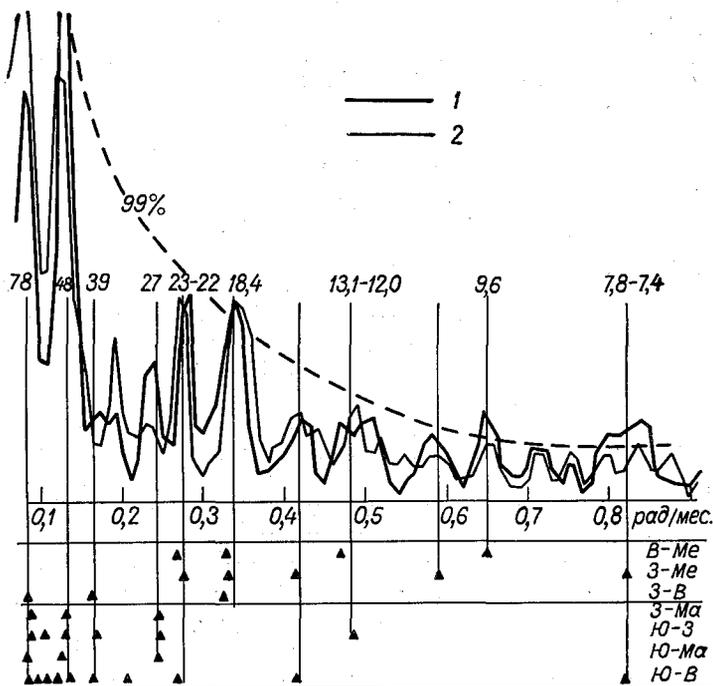


Рис. 3. Спектр числа дней в месяце с низким уровнем геомагнитной возмущенности (1) и спектр среднего уровня геомагнитной возмущенности за месяц (2). (Треугольники — на частотах парных соединений планет.)

даемую на орбите Земли, но из этого не следует, что они основной источник преобразований околоземного космического пространства. Самая характерная черта спектра числа дней с чрезвычайно высоким уровнем возмущенности состоит в том, что средние частоты, от 18 мес. до 9 лет, здесь так же подавлены, как и в показателях солнечной активности (см. рис. 1).

В солнечных показателях имеются циклы продолжительностью 8,2—8,6 мес., четко проявляющие себя и в спектре числа дней в месяце с высокой геомагнитной возмущенностью (см. рис. 1).

Данные, приведенные на рис. 3, оформлены аналогично рис. 1. Разница заключается лишь в том, что здесь опущены соединения Меркурия с Марсом и Юпитером, как не имеющие значения для преобразований околоземного космического пространства. Кроме того, здесь выделены соединения планет, происходящие внутри орбиты Земли, от соединений, происходящих вне орбиты Земли.

В спектрах, приведенных на рис. 3, сразу же обращают на себя внимание два факта: наличие мощных пиков на средних частотах и лучшее проявление пиков на частотах, связанных с соединениями, происходящими внутри орбиты Земли (9,6, 18,4 и 22—23 мес.),

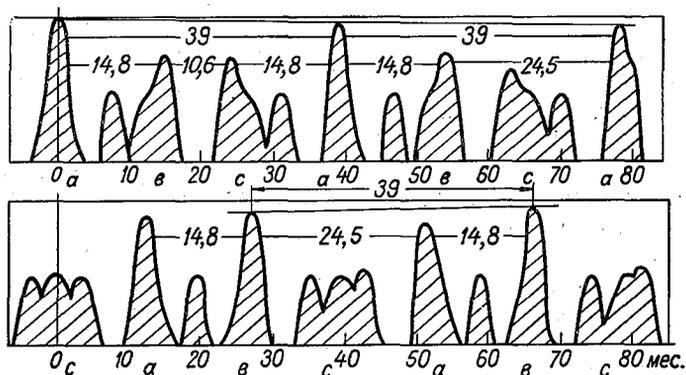


Рис. 4. Происхождение 39, 24,5, 14,8 и 10,6-месячных циклов от сложения двух синусоид с периодами 13,1 и 7,8 месяца.

чем с теми, что вне ее (27, 39 мес.). Цикл 39 мес. должен проявляться в изменениях околоземного космического пространства как один из наиболее сильных, поскольку он связан с тройным соединением Венеры, Земли и Юпитера, однако в геомагнитной активности он проявляется слабо по понятным причинам: когда происходит парное соединение Земли и Венеры, появляется цикл в 18—19 мес., когда же к таким соединениям присоединяется Юпитер, в изменениях околоземного космического пространства появляется 39-месячный цикл, который для наблюдателя на орбите Земли остается тем же 18—19-месячным циклом.

Относительно слабо проявляют себя в геомагнитной активности и такие фиктивные циклы, как 48 и 78 мес. Цикл 78 мес. можно считать уникальным, поскольку он связан с соединением сразу четырех планет — Венеры, Земли, Марса и Юпитера — и должен быть необычно четко выражен в тех геофизических процессах, которые имеют связь с обстановкой в околоземном Космосе, с потоками галактических космических лучей. Цикл 48 мес. тоже связан с соединением этих планет, но соединения Земли и Венеры здесь

не требуется. Этот цикл следовало бы назвать малым циклом, поскольку для его появления необходима примерно та же ситуация, что и для появления основного цикла 78 мес. Цикл 39 мес. можно по той же причине назвать циклом Юпитера, цикл 27 мес. — циклом Марса, цикл 22—23 мес. и цикл 18—19 мес. — внутренними циклами, поскольку все планеты, находящиеся внутри орбиты Земли, принимаются в их образовании определенное участие. К внутренним относятся и циклы продолжительностью 4,8 и 9,6 мес. Легко понять, что циклы, связанные с внешними соединениями, со временем могут переходить один в другой как и все циклы, связанные с внутренними соединениями планет.

Соединения Венеры и Земли с Юпитером дают соответственно циклы 7,8 и 13,1 и хотя имеют слабую амплитуду, но зато существуют постоянно, в отличие от фиктивных циклов. Характерно, что оба эти цикла имеют плоскую вершину и вытянуты в высокочастотную сторону. Это может служить указанием на то, что соединения Венеры и Земли с Сатурном, вероятно, тоже играют определенную роль.

Несколько слов следует сказать о циклах 10,6—11,0 и 14,6—16,0 мес. Их появление может быть связано с соединениями Венеры, Земли и Юпитера. 39-месячный цикл может распадаться на два цикла продолжительностью 15 и 24 мес. в том случае, если геофизический процесс чувствителен даже к небольшим возмущениям околоземного космического пространства. (Более подробно на этом вопросе мы остановимся в части II этой работы). Как происходит переход от 39-месячного цикла к более коротким, показано на рис. 4, где приведены суммы положительных значений двух синусоид с периодами в 13,1 и 7,8 мес. По горизонтали отложены месяцы. Когда в момент «0» наблюдается соединение трех планет в астрономическом смысле (шкала сверху), наблюдаются четко выраженный 39-месячный цикл и намеки на 10- и 15-месячные циклы. Наоборот, когда соединения Земли с Юпитером и Венеры с Юпитером разнесены во времени примерно на 3—4 мес., 39-месячный цикл распадается на более короткие циклы — 10,6—11,0, 14,6—16,0 и 24,5 мес. (шкала внизу).

В тех геофизических процессах, где важна большая перестройка околоземного космического пространства, просматривается только 39-месячный цикл, там же, где важна любая перестройка, — 10,6, 15 и 24,5-месячные циклы.

Следует обратить внимание на то, что в этих двух случаях сближение указанных трех планет может приводить к появлению различных низкочастотных циклов. Если процесс чувствителен только к большим перестройкам околоземного космического пространства, низкочастотные циклы образуются по правилу $(39 \times n) + 15$, где n может принимать значение 3, 4, 5, 6 и иногда 7. Это происходит потому, что экстремальное значение сумма двух синусоид приобретает не ранее как через три 39-месячных цикла, но со сдвигом на 15 мес. Из рис. 4 видно, что пик, обозначенный буквой a , ослабевает с течением времени и через несколько повторений 39-месяч-

ного цикла более мощным становится цикл ν , который следует за пиком a с интервалом 15 мес. Таким образом, кроме циклов 39 и 78 мес. (3,3 и 6,5 года) появятся низкочастотные циклы в 11 лет, 14,2, 17,5, 20,7 и 24—25 лет.

Однако в случае, если геофизический процесс чувствителен к любым возмущениям космического пространства, появятся парные частоты, которые образуются по правилу $(39 \times n) + 15$ и $(39 \times n) + 24$. Как образуются эти пары, поясняет нижняя шкала на рис. 4. Здесь n может принимать значения от 1 до 4. Парные циклы будут иметь продолжительность 4,5 и 5,3 года, 7,7 и 8,5, 11,0 и 11,8 и, наконец 14,2 и 15,0 года. Наличие 11-летнего цикла в геофизическом процессе, таким образом, ничего не доказывает, равно как и наличие 14-летнего цикла, хотя космическая природа этих циклов несомненна. Значительно большую информацию дают циклы в 3,3 и 6,5 года, а также циклы продолжительностью 4,5, 5,3, 7,7 и 8,5 года.

Даже если геофизический процесс совершенно не связан с процессами, происходящими на Солнце, он все же может иметь цикл продолжительностью 11 лет. Поэтому, если необходимо установить роль солнечной активности в течении некоторого процесса, происходящего на Земле, наиболее информативным из низкочастотных циклов будет 22-летний цикл.

Из материалов, приведенных в настоящей работе, следует, что тщательный анализ спектров геофизических процессов может дать богатую информацию о природе этих процессов и о причинах их усиления и ослабления. Почти так же, как астрономы устанавливают по сочетанию линий в спектре природу небесных тел, геофизики могут, используя тот же метод, проникать в природу конкретных геофизических процессов.

В том случае, если геофизический процесс непосредственно связан с процессами, происходящими на поверхности Солнца, например с изменениями в ультрафиолетовом или рентгеновском излучении Солнца, в спектре геофизического процесса будут подавлены средние частоты, но появятся четкие пики на частотах, соответствующих циклам продолжительностью 8,2—8,6, 9,3, 11,6 и 15,3 мес. и, вероятно, циклу продолжительностью в 33 месяца. Определенные указания на этот цикл можно видеть и в солнечных показателях, и в среднем уровне геомагнитной возмущенности.

Во всех случаях при этом следует учитывать физические особенности самого геофизического процесса, его ритмику, инерционность и т. п. Для тех геофизических процессов, для которых важна обстановка внутри орбиты Земли, наиважнейшее значение имеют циклы продолжительностью 18,4 и 20—23 и отчасти 4,8 и 9,6 мес. Для тех же процессов, для которых важна обстановка вне орбиты Земли, наиболее четко выражены циклы Юпитера продолжительностью 10,6 14,5, 24,5 и 39 мес. и соответствующие низкочастотные циклы, цикл Марса продолжительностью 27 мес., а также целый набор низкочастотных циклов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1971.
2. Паркер Е. Динамические процессы в межпланетной среде. М., «Мир», 1965.
3. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л., Гидрометеоздат, 1969.
4. Шостакович В. Б. Солнечные пятна и положения планет.— Труды Иркутской магнитной обсерватории, № 2—3, 1928.
5. Bigg E. K. Influence of the Planet mercury on Sunspots. *Astron. J.*, vol. 72, No. 4, 1967.
6. Coleman P. I. The Radial Dependence of the Interplanetary Magnetic field 10—1,5 A. *U. J. Geoph. Res.*, 1969, vol. 74., No. 11.
7. Houtgast I. and A. van Sluiter s. The geomagnetic activity around conjunction and opposition of planets. „Magnetism and Cosmos.” London, 1965.
8. Nemeth T. An attempt to the Explanation and to the Prediction of the Etenken — Year Cycle of Solar Activity. *Pure and Appl. Geoph.*, 1966, vol. 63, No. 1.
9. Trellis M. Marees solaires d'origine planetare. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 262, Serie-B, 1966.
10. Jacobs I. A. and Atkinson G. Planetary modulation of Geomagnetic activity. „Magnetism and Cosmos.” London, 1965.
11. Jose P. D. Sun's Motion and Sunspots. *Astron. J.*, 1965, vol. 70, No. 3.

Т. М. ЗУШИНСКАЯ, Б. И. САЗОНОВ

ОСНОВНЫЕ ЧАСТОТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЧАСТЬ II

Настоящая работа является продолжением работы того же названия, опубликованной в настоящем сборнике [7]. Здесь главное внимание уделяется, однако, не происхождению различных циклов в геофизических процессах, а условиям проявления этих циклов в некоторых процессах, наблюдаемых на Земле. Тот небольшой опыт анализа конкретных геофизических процессов, которым мы располагаем, заставляет нас прийти к заключению, что каждый процесс имеет свои специфические особенности, которые затушевывают или совершенно искажают ритмику, связанную с процессами, происходящими в околоземном Космосе. В одних процессах космические ритмы проявляются очень четко, в других, хотя они и определяют большую часть дисперсии, оказываются искаженными другими факторами, свойствами объекта или недостатками той системы информации, которая характеризует объект. Наконец, возможны и такие случаи, когда циклы, обусловленные космическими процессами, оказываются на уровне шумов. Зная определенный набор циклов, характеризующих процессы, происходящие в Космосе, мы впервые имеем возможность оценить, хотя бы приближенно, роль космических факторов в разного рода процессах, происходящих на Земле, и выделить те процессы, которые в первую очередь должны рассматриваться при изучении солнечно-земных связей.

1. Геомагнитные возмущения в полярных широтах

Достаточно давно установлено, что геомагнитная возмущенность в зоне полярных сияний и внутри нее, существенно отличаясь от возмущенности магнитного поля в умеренных широтах (характеризуемой индексами возмущенности C , K , A), отражает в значительной степени характер процессов, происходящих на Солнце. После хромосферных вспышек на Солнце в зону полярных сияний вторгаются заряженные частицы, в зоне полярных сияний наблюдаются характерные геомагнитные возмущения [10]. Повторяемость полярных сияний и их характер зависят, как и геомагнитная активность в высоких широтах, от уровня запятненности Солнца.

Если в умеренных широтах средняя геомагнитная возмущенность отражает условия, складывающиеся в межпланетном пространстве у Земли (поскольку силовые линии магнитного поля, выходя из средних широт, формируют внешнюю границу магнитосферы, которая взаимодействует с межпланетной средой), то средняя геомагнитная возмущенность в полярных широтах должна

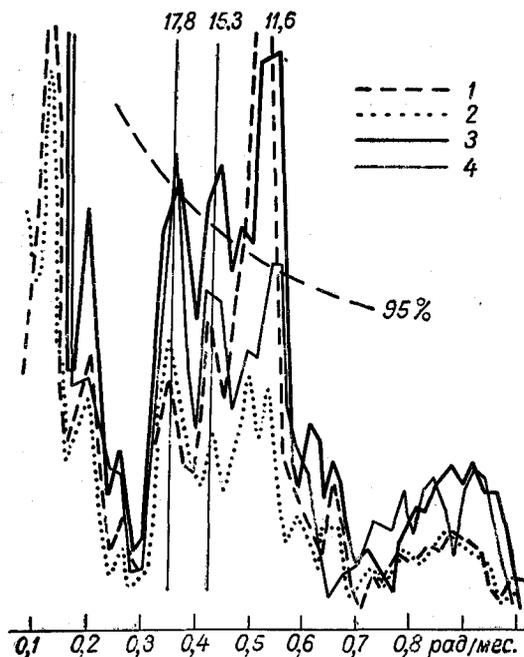


Рис. 1. Спектры горизонтальной составляющей магнитного поля Земли на станциях.

1 — Хейс, 2 — Челюскин, 3 — Диксон, 4 — Уэлен.

отражать моменты больших возмущений на поверхности Солнца. Представляло определенным интерес исследовать спектры средней геомагнитной возмущенности на полярных станциях. Для этой цели мы использовали средние месячные значения амплитуд горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по четырем станциям. Две из них (Диксон и Челюскин) находятся в зоне полярных сияний, а Хейс и Уэлен расположены несколько севернее и южнее зоны, соответственно.

На рис. 1 приведены спектры горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Поскольку имеются лишь 35-летние ряды наблюдений в полярных широтах, статистическая надежность большинства пиков невысока. Однако согласованность максимумов на спектре указывает на неслучайность появления трех циклов продолжительностью в 17,8, 15,3 и 11,6 мес., четко совпадающих по частоте с соответствующими солнечными высокочастотными циклами [7]. Здесь хорошо виден провал спектра на средних частотах, характерный для солнечных процессов. То, что на всех четырех спектрах нет указаний на циклы продолжительностью 7,8, 9,2 и 13,1 мес., связанные с парными соединениями Юпитера с Венерой, Меркурием и Землей, легко понять, если учесть, что такие соединения обуславливают совершенно ничтожные изменения в уровне солнечной активности. Но поскольку они существуют постоянно, они находят определенное отражение в спектрах уровня солнечной запятанности. Полярные сияния связаны чаще с хромосферными вспышками, с большими измене-

отражать моменты больших возмущений на поверхности Солнца. Представляло определенным интерес исследовать спектры средней геомагнитной возмущенности на полярных станциях. Для этой цели мы использовали средние месячные значения амплитуд горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по четырем станциям. Две из них (Диксон и Челюскин) находятся в зоне полярных сияний, а Хейс и Уэлен расположены несколько севернее и южнее зоны, соответственно.

На рис. 1 приведены спектры горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Поскольку имеются лишь 35-летние ряды наблюдений в полярных широтах, статистическая надежность большинства пиков невысока. Однако согласо-

ниями уровня солнечной активности. Такие изменения могут быть обусловлены лишь тройными соединениями планет. Именно поэтому в спектрах на рис. 1 имеются только линии хотя и временно существующих, но зато мощных циклов.

В периоды мощных авроральных возмущений зона полярных сияний обычно смещается к югу и оказывается над станцией Уэлен. Неслучайно, что и солнечные циклы в спектре выражены здесь лучше, чем на других станциях. На станции Хейс почти статистически значимым становится цикл продолжительностью 48 мес., указания на который есть и на других станциях, расположенных в зоне полярных сияний. Объясняется это, по-видимому, тем, что силовые линии магнитного поля из района полярной шапки уходят в так называемый «хвост» магнитосферы, который, вытягиваясь на сотни тысяч километров в Космос в сторону от Солнца, также способен «зондировать» межпланетное пространство, как и магнитосфера в целом.

Этот пример мы приводим как образец очень простого геофизического процесса, ход которого полностью или в значительной степени определяется большими возмущениями, происходящими на Солнце.

По-видимому, и в спектре других процессов (таких, как состав и свертываемость крови, ход биохимических реакций, обострение сердечно-сосудистых заболеваний, развитие торнадо и тайфунов и других), ход которых определяется хромосферной активностью Солнца или как-то связан с ней, должны наблюдаться те же наборы циклов, что и в геомагнитной активности в полярных широтах.

2. Индексы атмосферной циркуляции

Наибольший интерес для метеорологии представляет выявление и анализ ведущих циклов в тропосферной циркуляции и оценка возможного вклада космических факторов. Были рассчитаны спектры по средним месячным значениям индексов циркуляции для трех форм Вангенгейма — Гирса по атлантико-европейскому сектору и для восьми районов Вительса. Атмосферная циркуляция, как оказалось, носит характер белого шума с наложенными на нее выбросами, в 2—3 раза превышающими по мощности уровень шумов. Подавляющее большинство выбросов расположено на частотах, характерных для космических воздействий, что свидетельствует о важной роли космических факторов в изменениях циркуляции в районе Европы и Северной Атлантики. Статистически значимыми оказываются лишь циклы продолжительностью 14—15, 8,5 и 7,8 мес. и 6-месячный цикл (рис. 2). Последний цикл особенно хорошо прослеживается в меридиональных формах циркуляции Е и С. Это обстоятельство особенно любопытно потому, что 6-месячный цикл — характерная особенность всех геомагнитных показателей. Его появление объясняется несовпадением солнечного экватора с плоскостью эклиптики. Дважды в году, весной и осенью,

Земля оказывается в сильных магнитных полях, дважды в году изменяется режим облучения Земли заряженными частицами.

На Солнце нет цикла продолжительностью 6 мес. То, что он четко прослеживается в атлантико-европейском секторе, свидетельствует о важной роли условий околоземного космического пространства в стимулировании меридиональной циркуляции в этом районе. Впрочем, этому вопросу посвящена обширная литература [5, 6] и не имеет смысла здесь подробно на нем останавливаться. Интересно отметить другое. Хотя имеются указания на 11-летний цикл,

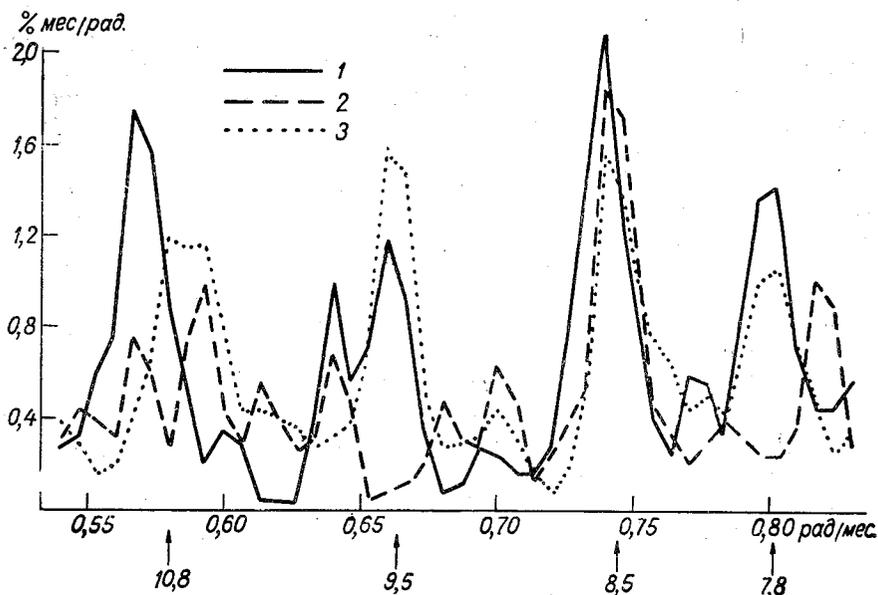


Рис. 2. Спектры трехмесячных значений числа дней с формами атмосферной циркуляции по Г. Я. Вангенгейму—А. А. Гирсу.

1 — форма W; 2 — форма С; 3 — форма Е.

в спектрах отсутствуют «типично солнечные циклы» продолжительностью 11,6, 15,3 и 17,2 мес. Это заставляет прийти к заключению, что хромосферные вспышки и протоны солнечного происхождения влияют на изменение атмосферной циркуляции в этом районе не больше, чем обстановка, которая складывается в околоземном космосе при воздействии планет на межпланетную плазму.

Спектры по районам Атлантики и Западной Европы, вычисленные по индексам Вительса, в основном повторяют особенности спектров, полученных по формам циркуляции Г. Я. Вангенгейма—А. А. Гирса. Но в Западной Сибири, Казахстане и на юго-востоке Европы появляются существенно отличные от них циклы. На рис. 3 приводятся два участка спектров, вычисленных по рядам барико-

циркуляционных характеристик Л. А. Вительса по районам 1, 4, 6, 7 и 8 [2]. В трех первых из названных районов имеются те же циклы, что и в индексах Вангенгейма — Гирса, продолжительностью 8,6—8,4, 9,8—9,4, 11,0—10,5 и 14—15 мес.

Кривые для районов 7 и 8, специально выделенные на рисунке, обнаруживают другие закономерности. На первый взгляд кажется, что в этих районах действуют какие-то новые факторы, которые и обуславливают новый набор частот для циркуляции атмосферы. Однако мы обратим внимание на одно обстоятельство: в спектрах районов 7 и 8 провалы часто наблюдаются именно на тех частотах, на которых имеются пики в других, более западных районах. На рис. 3

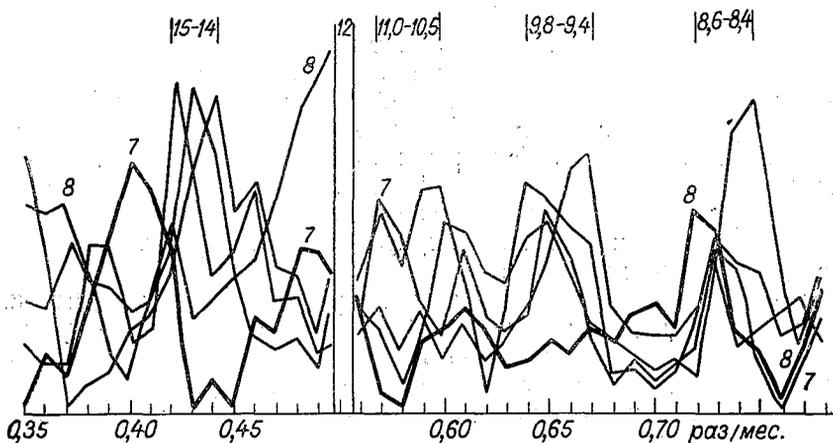


Рис. 3. Спектры индексов барико-циркуляционного режима по Л. А. Вительсу.

видно, например, что вместо пика, характеризующего мощность 14—15-месячного цикла, в спектре района 7 наблюдается провал, но появляются указания на циклы продолжительностью 13 и 16 мес.

Расщепление космически обусловленного цикла на два близких по частоте цикла, а также размазывание двух близких по частоте циклов и образование нового цикла с промежуточной частотой — явления чрезвычайно распространенные в геофизических процессах. До сих пор на них не обращалось внимания, поскольку не были известны основные частоты геофизических процессов — своеобразная основа, от которой можно вести учет отклонений в продолжительности тех или других циклов. В работах по исследованию цикличности любые циклы рассматривались как равнозначные и равновероятные. Однако, по-видимому, следует различать космические, достаточно постоянные по своей продолжительности циклы и циклы побочные, связанные с особенностями исследуемого объекта, с особенностями получаемой информации и т. п.

Расщепление цикла может отражать, например, роль местных условий в воспроизведении космической ритмики.

Легко можно представить себе такую ситуацию, когда летом местные условия способствуют падению давления, обусловленному космическими факторами, а зимой препятствуют этому. В первом случае местные условия будут способствовать сокращению продолжительности цикла, во втором — его удлинению. Так, вместо цикла продолжительностью 14—15 мес, будет появляться то цикл в 13, то в 16 мес. Таким образом, появится расщепление основного цикла на два побочных. Спектр может искажаться за счет того, что выбраны неудачные индексы, характеризующие свойства объекта, но и хороший индекс, использованный в неподходящем географическом районе, также даст искаженный спектр космических циклов.

Атмосферная циркуляция, насколько мы можем судить, в рассматриваемом нами интервале частот не имеет набора собственных частот или такого участка, в котором космические циклы всегда достаточно хорошо проявлены. Любые циклы в рассматриваемом нами диапазоне частот имеют примерно равные шансы быть представленными в спектре. Искажения в спектрах возникают, по-видимому, в результате воздействия факторов, связанных с подстилающей поверхностью, а также с несовершенством характеристик, описывающих состояние общей циркуляции атмосферы. Возможно, исследование циклов в атмосферной циркуляции целесообразнее производить непосредственно по данным об атмосферном давлении в отдельно взятых точках [8]. Зная основные частоты геофизических процессов, можно разработать такие индексы циркуляции, которые особенно четко будут воспроизводить ритмы космического происхождения, что очень важно для прогнозов климата, но которые для синоптической практики могут не быть более удобными, чем уже используемые индексы.

3. Характеристики ледовитости Балтики

Искажения спектров становятся в геофизических процессах особенно большими в том случае, если процесс не прямо, не непосредственно, а через многоступенчатую систему связи замыкается на процессы, происходящие в околоземном Космосе. Здесь следует особо сказать о гидрологических процессах, исследование цикличности которых проводилось достаточно широким фронтом [3, 4, 9]. В гидрологических процессах только в низкочастотной области спектра имеются циклы, четко воспроизводящие космические ритмы, а именно циклы продолжительностью 6, 5, 10, 14,2 и 19,8 года. Хотя в приведенных работах циклы этой продолжительности и объясняются иными причинами, любопытно, что именно эти циклы считаются наиболее существенными, например, для стока Волги и ряда других рек [4, 9]. Однако при переходе к более коротким циклам ритмика околоземного Космоса существенно размывается, хотя в метеорологических показателях в тех же самых районах она четко просматривается. Геологические, орографические, почвенные и многие другие особенности бассейнов рек и озер оказывают на коле-

бания стока рек, близкие к сезонным, большее воздействие, чем на низкочастотные, нивелируют их, затушевывают и размывают.

Нечто подобное происходит и в геофизических процессах, характеризующих состояние озер и морей. Имеются примерно 200-летние ряды наблюдений за зимними температурами воздуха в районе Балтийского моря, за площадью максимального распространения льда в море и ряды наблюдений за ледовой обстановкой в портах Балтийского моря [1].

В температуре воздуха зимой в районе Балтики четко просматриваются космические циклы как в высокочастотной, так и в низкочастотной областях спектра.

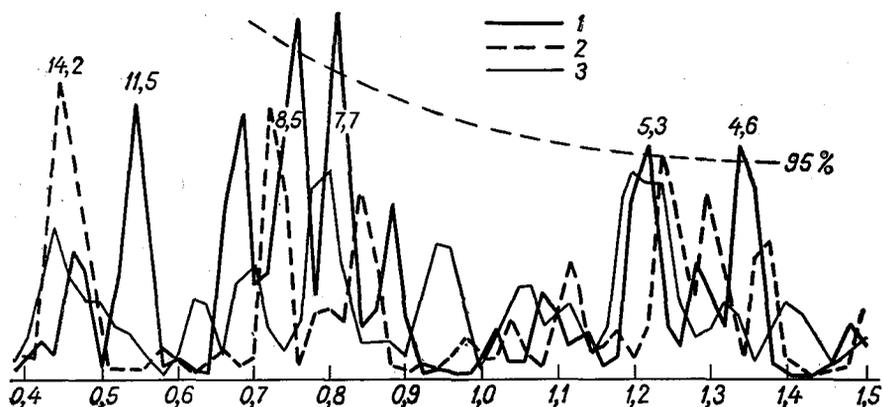


Рис. 4. Спектры средней температуры воздуха зимой в районе Балтийского моря (1), ледовой обстановки на датских фарватерах (2) и площади максимального распространения льда (3).

На рис. 4 приведена низкочастотная часть спектра зимней температуры воздуха (период с декабря по март). Легко видеть, что имеются четыре четких пика на частотах, которые соответствуют циклам продолжительностью 4,5, 5,3, 7,7 и 8,5 года. Происхождение этих низкочастотных циклов уже обсуждалось нами в Части I этой работы. Они образуются по правилу $(39 \times n) \pm 15$ и дают как раз такие продолжительности циклов в месяцах, какие соответствуют указанным выше периодам в годах. Мы уже говорили в Части I, что в определенных районах могут наблюдаться циклы, кратные величине $(39 \times n)$ мес., а в других — кратные величине $(39 \times n) \pm 15$ мес. Район Балтийского моря относится ко второму типу районов, о чем вполне отчетливо можно судить по приводимому спектру температуры воздуха.

Более сложными характеристиками являются ледовитость Балтийского моря и площадь максимального распространения льда. Последняя тесно связана с температурным режимом зимы. Однако на нее влияют и такие показатели, как температурный режим предшествующего лета и облачность, осадки, скорость и направление

ветров. В результате сложения всех этих эффектов спектр площади максимального распространения льда имеет уже другие особенности, отличные от температурного спектра. Мощный цикл продолжительностью 5,5 года в спектре площади максимального распространения льда, возможно, связан с тем, что метеорологические параметры лета в Северной Европе также обнаруживают четко выраженный цикл продолжительностью 5,5 года. Летние условия почти не влияют на значения температуры воздуха зимой, но через такой аккумулятор энергии, каким является Балтийское море, они могут повлиять на характеристики моря зимой, например на режим ледовитости.

Если теперь мы рассмотрим ледовую обстановку на датских фарватерах — в одном из мелководных районов Балтийского моря, то, естественно, здесь в спектре этой характеристики проявятся свои местные особенности. Водная толща в этой мелководной части Балтийского моря не может играть роль аккумулятора энергии, разрастание льда в большей мере должно зависеть от температуры воздуха и других погодных условий зимы. Спектр этой характеристики, приведенный на рис. 3, обнаруживает определенное сходство со спектром температуры в том смысле, что основные пики на спектре расположены в тех же частотных интервалах. Однако, как это легко видеть, основные выбросы на спектре обнаруживают тенденцию располагаться между пиками, свойственными спектру зимней температуры воздуха. Здесь мы вновь сталкиваемся с тем же явлением — искажением спектра по частоте в процессе, который не прямо, а через посредство другого процесса связан с космическими воздействиями и к тому же испытывает воздействие других факторов, не связанных с Космосом вообще. Таким образом, понятно, почему статистически значимые пики имеются только в температуре воздуха, хотя длины рядов анализируемых характеристик одинаковы и одинакова вероятность появления статистически значимых пиков во всех трех рядах.

4. Прирост древесины

Продолжительность циклов в гидрологических, дендрологических, биологических и других процессах — величина крайне изменчивая от периода к периоду, от одного района к другому. Анализ спектров этих величин, как правило, не выявляет каких-либо устойчивых и универсальных циклов с хорошей статистической обеспеченностью. Нами были проанализированы приросты древесины по спилам семи деревьев, произраставших в Северной Америке и Европе. Длина рядов изменялась от 200 до 2000 лет. Несмотря на столь большой объем исходного материала, только цикл продолжительностью 10—12 лет оказался статистически значимым в трех из семи исследованных рядов. Остальные циклы оказались плохо выраженными и имели тенденцию изменять свою продолжительность от одного периода к другому. Все спектры обладали большой шумовой компонентой, что видно и по отношению сигнал — шум, и по

размытому характеру пиков на спектре. По спектрам было трудно определить, имеются ли указания на циклы продолжительностью $(39 \times n)$ или $(39 \times n) \pm 15$ мес.

Представляется, что появление в приросте древесины цикла продолжительностью около 11 лет связано не с изменениями метеорологических элементов, в которых этот цикл проявляется явно, а с изменениями в спектральном составе солнечного излучения, приходящего к поверхности Земли. Хотя этот вывод еще требует специальных исследований, в пользу его говорит тот факт, что мощные циклы в метеорологических параметрах слабо прослеживаются в приросте древесины, а слабый в метеорологических показателях 11-летний цикл оказывается почему-то слишком мощным в приросте древесины.

Подводя итог настоящей работе и предварительным исследованиям цикличности разнообразных процессов, происходящих на Земле, можно отметить несколько важных моментов, которые имеют, по нашему мнению, принципиальное значение для отыскания и распознавания циклов в геофизических процессах.

1) Атмосфера не имеет, по-видимому, собственных частот колебаний в рассматриваемом нами диапазоне частот. Те пики, которые можно видеть на спектрах индексов циркуляции, давления [8] и температуры, отражают ритмы, возникающие в околоземном Космосе при воздействии планет на межпланетную плазму. Из этого следует, что именно барическое и температурное поля Земли лучше, чем какие-либо другие процессы, происходящие в нижних слоях атмосферы, воспроизводят космическую ритмику. Это хорошо подтверждает давно известный вывод о том, что космические факторы воздействуют прежде всего на циркуляцию атмосферы, а через нее — на все остальные процессы, наблюдаемые на Земле [5, 6]. Вероятно, только геомагнитные индексы лучше характеризуют обстановку, которая складывается в околоземном Космосе, чем циркуляция атмосферы.

Эти выводы носят, разумеется, предварительный характер и опираются на тот объем материалов, которым мы располагали.

2) Особенности подстилающей поверхности искажают ритмику Космоса. Есть более благоприятные и менее благоприятные для воздействий космических факторов на атмосферную циркуляцию районы, что, по-видимому, контролируется магнитными полями Земли [6]. Но, с другой стороны, есть районы, более благоприятные и менее благоприятные для проявления космической ритмики в циркуляции атмосферы и температуре воздуха, наблюдаемой у Земли, что контролируется главным образом особенностями подстилающей поверхности.

3) Знание основных частот геофизических процессов позволяет выявить наиболее благоприятные районы для космических воздействий и наиболее благоприятные районы для их проявления. Знание основных частот позволяет сравнивать различные метеорологические элементы по степени их зависимости от космических факторов, выделять более информативные индексы и показатели.

Наконец, знание основных частот геофизических процессов помогает использовать цикличность для долгосрочных прогнозов погоды и климата. Так, циклы продолжительностью 10,5, 14—15 и 24,5 мес. могут быть использованы в долгосрочных прогнозах погоды, а циклы продолжительностью $(39 \times n)$ и $(39 \times n) \pm 15$ мес.— для прогнозов климата.

4) Гидрологические и гляциологические процессы в меньшей степени, а дендрологические — совсем слабо воспроизводят ритмику Космоса. Эти процессы, хотя они и зависят в значительной степени от метеорологических факторов, испытывают на себе влияние многих других процессов, которые либо очень слабо, либо совсем не зависят от условий, складывающихся в Космосе. Без учета этого обстоятельства исследование случайных процессов, происходящих в разное время в разных районах Земли, может привести к ошибочному выводу о том, что существует непрерывный спектр циклов любой продолжительности и незначительных амплитуд. Учет и детальные исследования цикличности, по-видимому, имеют смысл для тех метеорологических показателей и тех районов, где циклы устойчивы и имеют значительную амплитуду.

5) Существуют вполне определенные наборы циклов разной продолжительности как в высокочастотной, так и в низкочастотной областях спектра, которые характеризуют процессы, происходящие либо на Солнце, либо в межпланетном пространстве. Степень выраженности наборов тех или других циклов в спектре реального геофизического процесса может дать важную информацию как о природе этого процесса, о степени его взаимосвязи с процессами, происходящими в Космосе, так и о механизме, посредством которого процессы в Космосе находят свое отражение в процессах, происходящих на Земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетин В. В., Преображенский Ю. В. Суровость зим в Европе и ледовитость Балтики. Л., Гидрометеоздат, 1962.
2. Вительс Л. А. Характеристики барико-циркуляционного режима. Л., Гидрометеоздат, 1965.
3. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1971.
4. Кузин П. С. Многолетние колебания водоносности рек СССР.— Труды ГГИ, 1953, вып. 38.
5. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. М., «Наука», 1964.
6. Сазонов Б. И., Логинов В. Ф. Солнечно-тропосферные связи. Л., Гидрометеоздат, 1969.
7. Сазонов Б. И. Основные частоты геофизических процессов. Часть I (см. наст. сборник).
8. Сазонов Б. И., Зушинская Т. М., Ульянова Т. Н. Космические факторы и циклы в давлении воздуха.— См. наст. сборник.
9. Саруханян Э. И., Смирнов Н. П. Многолетние колебания стока Волги. Л., Гидрометеоздат, 1971.
10. Störmer, C. The Polar Aurora. Oxford, London, 1965.

АНОМАЛИИ СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НАД СЕВЕРНЫМ ПОЛУШАРИЕМ В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ 11-ЛЕТНЕГО И ВЕКОВОГО ЦИКЛОВ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Связь между активностью Солнца и атмосферными процессами, установленная в многочисленных исследованиях, естественно, вызывает стремление использовать ее в прогностических целях.

Особенно большое внимание уделяется исследованию аномалий термического режима в различные фазы 11-летнего и векового циклов солнечной активности [1, 2, 3]. Это и понятно, если учесть, что температура воздуха — наиболее надежно определяемый элемент и имеет длительные ряды наблюдений; кроме того, величина и знак аномалий температуры непосредственно связаны с интенсивностью и типом атмосферной циркуляции, на которую воздействуют внешние факторы, в том числе и солнечная активность.

В одной из последних работ указанного направления [3] исследовалось влияние 11-летнего и векового циклов солнечной активности на аномалии годовой температуры воздуха над северным полушарием. Авторы исследовали изменение аномалий температуры по четырем фазам 11-летнего цикла для периодов с низким и высоким вековыми уровнями солнечной активности. Получен большой материал об изменении разностей аномалий температуры в различных районах северного полушария при переходе от одной фазы к другой, на фоне пониженного и повышенного уровня солнечной активности в вековом ее ходе.

Оперируя с годовыми величинами, авторы, естественно, получили незначительные разности, лишь в отдельных, сравнительно небольших районах (север Канады) достигающие 1—2°. На территории СССР при смене фаз 11-летнего цикла внутри каждой из фаз векового цикла разность аномалий колеблется около нуля, и лишь при переходе от фазы падения к минимальной (к северу от 60° с. ш.) разность аномалий достигает 1° при высоком вековом уровне. В этом же районе разность аномалий при низком и высоком вековых уровнях составляет 1° (на Таймыре — 2°) в фазе минимума. Такие результаты не слишком обнадеживают, но нельзя забывать, что годовые величины нивелируют сезонные различия,

и, возможно, средние месячные величины аномалий температуры окажутся более существенными и позволят выявить сезоны, когда связь аномалий температуры с солнечной активностью проявляется наиболее отчетливо.

С целью выяснить этот вопрос были вычислены для каждого месяца отклонения средней фазовой температуры от нормы по четырем фазам 11-летнего цикла при низком и высоком вековых уровнях солнечной активности. Использовались данные 50 опорных станций северного полушария, расположенных во внетропических широтах. В основном использовались данные начиная с 1881 г. Этот ряд включает примерно один вековой цикл солнечной актив-

Таблица 1

Отклонения от нормы средней фазовой температуры (°С)
(Уперनावик)

Фаза 11-летнего цикла	Высокий вековой уровень				Низкий вековой уровень			
	XII	I	II	III	XII	I	II	III
Минимум	1,2	2,6	1,4	0,6	-2,1	-2,7	-0,4	-1,9
Восходящая	3,0	1,1	0,8	2,2	-0,3	-0,6	-1,9	-1,1
Максимум	1,9	2,8	2,2	1,4	-3,0	-2,1	-1,9	-1,0
Нисходящая	4,0	5,0	2,1	1,9	-2,7	-3,0	-2,2	-1,2

ности. Включение предыдущего векового цикла для станций, имеющих соответствующие ряды наблюдений, ухудшает результаты (уменьшается величина отклонений), по-видимому вследствие слабой выраженности этого цикла.

Картирование и анализ полученных данных позволили сделать следующие выводы.

— Наиболее значительные отклонения ($\pm 2-3^\circ$) средних фазовых температур от многолетних средних наблюдаются зимой в высоких широтах (Гренландия, север Западной Сибири, север Канады). В другие сезоны эти различия невелики ($\pm 0,5-1^\circ$); то же относится и к районам северного полушария, расположенным южнее указанных; поэтому дальнейшие выводы будут сделаны применительно к зимним месяцам (XII—III) на территории севернее 60° с. ш.

— Имеются явные различия в знаке отклонений в зависимости от векового уровня солнечной активности: при высоком уровне отклонения от нормы — преимущественно положительные, при низком — отрицательные. Наиболее четко это проявляется в Гренландии (табл. 1).

Из этой же таблицы видно отсутствие закономерных различий между отклонениями температуры в различных фазах 11-летнего цикла.

Противоположность знака отклонений при высоком и низком вековых уровнях преобладает и в полярных районах Западной Сибири, особенно в январе (табл. 2).

Таблица 2

**Отклонения от нормы средней фазовой температуры (°С)
(Туруханск)**

Фазы 11-летнего цикла	Высокий вековой уровень				Низкий вековой уровень			
	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III
Минимум	2,9	2,6	2,2	1,3	-2,1	-1,0	1,1	-0,4
Восходящая	-0,1	3,5	-1,6	-0,2	-1,7	-1,1	-2,3	0,4
Максимум	-0,1	1,9	0,1	0,9	1,2	-1,1	-0,4	1,4
Нисходящая	1,6	0,3	-1,1	-0,7	-1,3	-2,1	-0,1	-0,4

Более отчетливо эта закономерность видна на картах. Области положительных ($>1^\circ$) отклонений при высоком и отрицательных ($<-1^\circ$) при низком вековых уровнях как бы мигрируют между Гренландией, северной частью Сибири и севером Канады от месяца к месяцу и от фазы к фазе. Однако здесь всегда существует четкое разделение: положительные отклонения температуры от многолетней нормы наблюдаются при высоком вековом уровне солнечной активности, отрицательные — при низком.

Все эти факты говорят о том, что в полярных районах северного полушария на температуру воздуха преобладающее влияние оказывает вековой ход солнечной активности, перекрывая различия температуры в разные фазы 11-летнего цикла. Если вычислить средние температуры для периода, совпадающего с высоким вековым уровнем солнечной активности (1924—1970 гг.) и низким (1881—1923 гг.), то в январе, например, разница между ними в Туруханске доходит до $3,0^\circ$, а в Упернавике — даже до $5,4^\circ$; при этом в Гренландии во все месяцы года преобладает знак отклонения от многолетней нормы: в первом случае — положительный, во втором (т. е. при низком вековом уровне) — отрицательный. Это обстоятельство уже само по себе свидетельствует о неслучайности явления.

Кроме полярных районов, четкое различие в знаке отклонений температуры от нормы при высоком и низком вековых уровнях солнечной активности наблюдается на Североамериканском континенте. Здесь во все месяцы, особенно летние, преобладает положительный знак отклонений при высоком уровне и отрицательный — при низком уровне солнечной активности, хотя по абсолютной величине эти отклонения невелики ($0,5-1,0^\circ$). В значительной мере это справедливо и для Европы, особенно северных ее районов.

Все это хорошо согласуется с выявленными ранее [4, 5] особенностями географического распределения районов проявления вековой цикличности в ходе температуры.

Что касается 11-летней цикличности, то можно выделить лишь отдельные месяцы и районы на значительной территории Евразии к югу от полярного круга, где она проявляется отчетливо (табл. 3).

Таблица 3

Районы проявления 11-летнего цикла колебаний средней месячной температуры воздуха

Географический район	Ме- сяц	Вековой уровень сол- нечной ак- тивности	Фаза 11-летнего цикла	Наибольшее от- клонение средней фазовой темпера- туры (°С) от нормы	
				$\bar{t}_n - \bar{t}_N$	$\pm \delta \bar{t}_n - \bar{t}_N$
ЕТС, Западная Сибирь	II	Низкий	Восходящая	3,8	1,4
Евразия (до 40° с. ш.)	X	"	"	-1,8	0,7
ЕТС, Западная Сибирь	XI	"	Нисходящая	-1,9	0,7
Сибирь	I	"	Максимум	-2,5	1,3
Западная Сибирь	XII	Высокий	Минимум	3,5	1,7
Север ЕТС, Западная и Восточная Сибирь	I	"	"	2,9	1,7
ЕТС, Западная и Вос- точная Сибирь	I	"	Восходящая	4,4	1,6
Юг ЕТС, Казахстан	II	"	"	2,6	1,0
Север ЕТС, Западной и Восточной Сибири	II	"	"	-2,2	1,3
Южная половина Запад- ной и Восточной Сибири	XII	"	"	-3,2	1,9
	XII	"	Максимум	-3,3	1,4

Примечание. \bar{t}_n — средняя фазовая температура (n — от 7 до 15 лет; в зависимости от фазы); \bar{t}_N — многолетняя средняя температура ($N = 80$ лет),

$$\sigma_{\bar{t}_n - \bar{t}_N} = \sqrt{\sigma_N^2 \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N} \right)}$$

Как видно из этой таблицы, проявления 11-летнего цикла в колебаниях температуры в виде значимых ($> 2\sigma$) отклонений средней фазовой температуры от нормы весьма редки — в одном-двух месяцах из 12 возможных и не во всех фазах. Поэтому возможность использования этих связей в прогностических целях слишком ограничена, но пренебрегать ею, безусловно, нельзя.

Большой интерес, как уже отмечалось выше, представляет связь температурных аномалий с вековым циклом солнечной активно-

сти, отчетливо проявляющаяся в полярных районах и особенно в Гренландии, Сибири и Северной Америке. Аналогичные результаты были получены нами и другим путем [4, 5]. Все это лишнее подтверждает предположение [6] о том, что изменение термического режима, наиболее выраженное в районах геомагнитных полюсов, связано с вековым ходом космических воздействий и, в частности, — солнечной активности, поскольку именно в этих районах создаются наиболее благоприятные условия для вторжения в атмосферу потоков заряженных частиц [6].

Таким образом, проведенное исследование позволяет несколько конкретизировать прогнозы изменения температурного режима на предстоящие 30 лет. Ожидаемое похолодание климата [7, 8] на спаде векового цикла солнечной активности будет наиболее выраженным в полярных областях, особенно в Гренландии и Сибири, в зимние месяцы (декабрь — март). В остальные месяцы можно ожидать преобладания отрицательных отклонений температуры в этих районах, а также в северной Америке, особенно в летние месяцы. На территории СССР южнее полярного круга связь отклонений температуры с циклами солнечной деятельности неоднозначна и не всегда проявляется, как уже отмечалось выше. Обращаясь к табл. 3, можно предположить, что в годы восходящей фазы 11-летнего цикла в октябре и феврале будут преобладать положительные аномалии на всей территории до 40° с. ш. (кроме Дальнего Востока), а в годы максимума (в январе) и годы нисходящей фазы (в ноябре) — отрицательные аномалии на ЕТС и Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровская Т. В. О воздействии солнечной активности на режим температуры.— Труды ГГО, 1956, вып. 65.
2. Клименко Л. В. Климатический эффект фаз солнечных циклов в зимних сезонах на Европейской территории СССР.— Вестник МГУ, 1965, сер. 5, № 4.
3. Рыжак Л. Ю., Томская А. С. О проявлении 11-летних солнечных циклов в распределении годовых аномалий температуры воздуха над северным полушарием.— Труды ААНИИ, 1969, т. 289.
4. Полозова Л. Г. О вековом ходе температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.
5. Полозова Л. Г. Анализ цикличности колебаний средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.
6. Полозова Л. Г., Сазонов Б. И. О возможной причине современного потепления климата.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1968, вып. 4.
7. Вителъс Л. А. Аномалии циклического хода солнечной активности и тенденция современных колебаний климата.— Труды ГГО, 1962, вып. 133.
8. Гирс А. А. Внутриэпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и их причины.— Труды ААНИИ, 1963, т. 255.

ТОЧНОСТЬ НОРМ СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИИ

В работе О. А. Дроздова и Е. С. Рубинштейн [1] климатическая норма определяется как среднее значение метеорологической величины, вычисленное из периодов оптимальной длины (50—70 лет), обеспечивающих наибольшую устойчивость норм и близость к современным климатическим условиям.

Такая значительная длина периода обусловлена наличием многолетних циклических колебаний в рядах метеорологических величин, вследствие чего возникает связность между членами ряда. Но, как показали выполненные в ГГО исследования [2, 3], циклические колебания в рядах средней месячной температуры воздуха и осадков наблюдаются не повсеместно, а географическая локализация ареалов той или иной цикличности изменяется от сезона к сезону и даже от месяца к месяцу. Фактическая устойчивость климатических норм температуры зависит от структуры временного хода этого элемента и, в случае наличия многолетней цикличности, может оказаться меньше, чем в бессвязном ряду, или больше — при отсутствии многолетних циклических колебаний.

Применение обычных формул бессвязного ряда (как, например, предлагается в работе [4]) в случае наличия многолетних циклических колебаний и, в частности, векового хода в исследуемых рядах привело бы к преуменьшению изменчивости норм. Этот вопрос подробно обсуждался в недавно опубликованной статье Е. С. Рубинштейн [5].

В настоящей работе сделана попытка проанализировать многолетние колебания в рядах средней месячной температуры воздуха с точки зрения их существенности и влияния на устойчивость норм; на основании полученных результатов разграничить на территории СССР области повышенной, нормальной и пониженной неустойчивости норм, которые определяют и длительность необходимого периода осреднения.

Наличие длительных циклических колебаний (сверхвековых, вековых и полувексовых) выявлялось при помощи интегрально-разностных кривых; в качестве критерия существенности этих колеба-

ний, по предложению О. А. Дроздова [2], использовалось отношение ординат интегрально-разностных кривых к удвоенному среднему квадратическому отклонению интегрально-разностного ряда (σ_{Σ}), вычисляемого по формуле

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma \sqrt{n - \frac{n^2}{N}},$$

где σ — среднее квадратическое отклонение исходного ряда; N — число членов ряда; n — шаг по времени, для которого определяется σ_{Σ} .

Подготовка данных для построения интегрально-разностных кривых (вычисление многолетних средних, отклонений, их сумм, средних квадратических отклонений) была выполнена в отделах климата местных управлений Гидрометслужбы. Большинство из них также были построены интегрально-разностные кривые. Вычисление средних квадратических отклонений интегрально-разностных рядов (σ_{Σ}) произведено в ГГО Красавцевой Л. Е. Анализ материала, его картирование и обобщение выполнены автором настоящей статьи¹.

Схематические карты распределения по территории СССР районов различной устойчивости норм построены для всех месяцев года на основании данных 120 станций. Основными считались данные станций, имеющих длительные (80 лет) и, по возможности, однородные ряды наблюдений. В тех районах, где таких станций мало, использовались и более короткие ряды, но в качестве дополнительных; если данные такой станции резко отличались от основных и окружающих, они не принимались во внимание.

На карты наносились величины отношения максимальных ординат интегрально-разностных кривых, выраженных в единицах σ_{Σ} , к удвоенной величине среднего квадратического отклонения (критерию бесвязного ряда). Это отношение можно условно называть коэффициентом неустойчивости ряда (K). Величина K , превышающая 1, свидетельствует о наличии значительной связности в исследуемом ряду; степень связности увеличивается с возрастанием K , поэтому для получения устойчивых норм в районах повышенных значений K необходимо увеличить длительность ряда, умножив исходную его длину на соответствующий коэффициент K .

В районах, где величина K меньше 1, устойчивую величину норм можно получить из более коротких рядов, чем требуется для рядов бесвязных.

На рис. 1 приведены примеры интегрально-разностных кривых для станций с различной степенью устойчивости рядов температуры. В Салехарде (рис. 1 *a*) в январе наблюдается значительный вековой ход (ряд около 80 лет): максимальная ордината интеграль-

¹ В статье обобщены результаты проработки одного из разделов темы «Исследование закономерностей распределения и изменчивости в пространстве и времени основных метеорологических элементов и их комплексов на территории СССР», выполнявшейся под руководством профессора О. А. Дроздова сотруниками ГГО и местных УГМС.

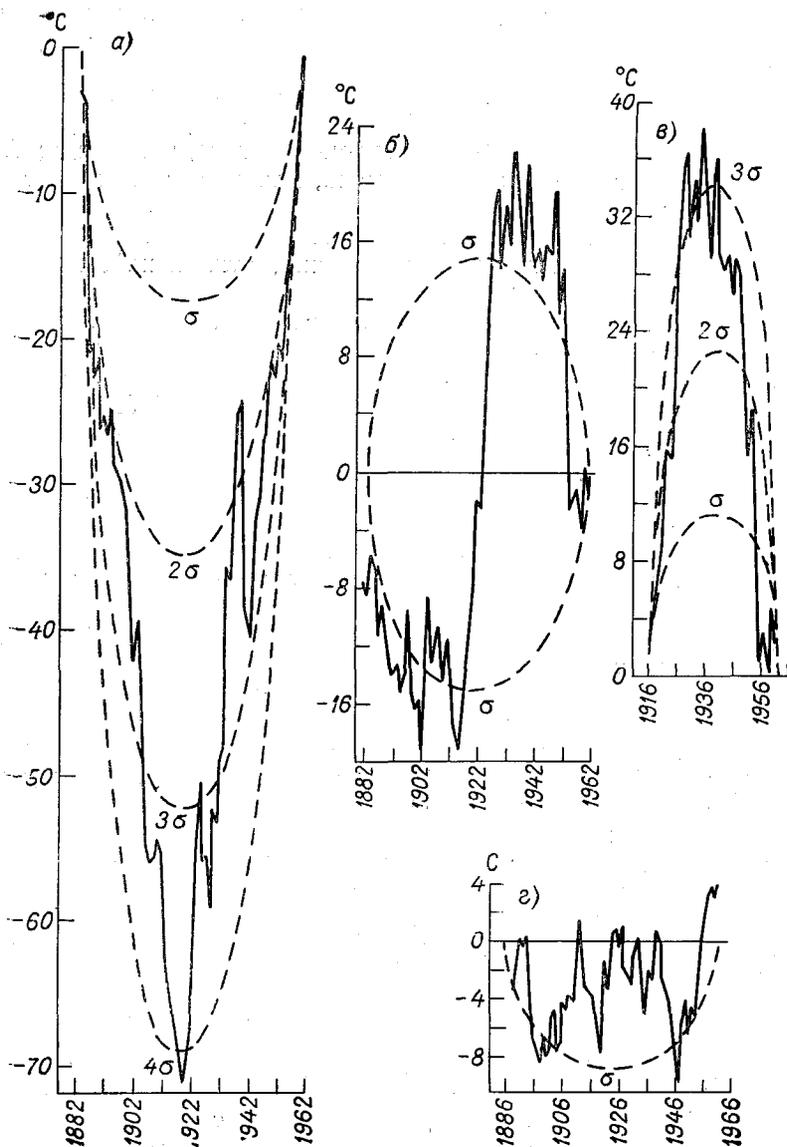


Рис. 1. Интегрально-разностные кривые средней месячной температуры воздуха.

а — Салехард, январь; б — Якутск, ноябрь (1882—1960 гг.); в — Якутск, ноябрь (1916—1960 гг.); г — Оренбург, июнь.

но-разностной кривой превышает $4\sigma (K > 2)$, поэтому сколько-нибудь устойчивая норма может быть получена только из максимально возможного числа лет наблюдений. Это можно видеть из табл. 1, где приведены нормы, полученные для рассматриваемых примеров из 60-летнего ряда наблюдений и отдельных 20-летий этого периода.

В Якутске (рис. 1 б) в ноябре величина максимальной ординаты около $\pm 1,2\sigma_2$ ($K = \pm 0,6$) соответствует устойчивости ниже нормальной (для бессвязного ряда). Но синусоидальная форма кривой, обусловленная наличием в ряду примерно полувековой цикличности, указывает на необходимость учета при определении устойчивости норм не только величины, но и разнозначности ординат интегрально-разностных кривых. Действительно, если для вычисления нормы использовать ряд с 1916 г., то максимальная ордината выйдет за $3\sigma_2$, а коэффициент неустойчивости будет более 1,5. (рис. 1 в).

Пример повышенной устойчивости ряда представлен на рис. 1 г. Здесь величина максимальной ординаты около σ ($K = 0,5$ (за пределы σ_2 выходит лишь 3 года), и достаточно устойчивую норму (с точностью до $\pm 0,2^\circ$) можно получить даже из 20-летнего ряда наблюдений, как можно видеть из табл. 1, а более точная величина ее при $K = 0,5$ и $n = 60$ может быть получена из 30-летнего периода.

Таблица 1
Средняя месячная температура ($^\circ\text{C}$) за различные периоды

Станция	Месяц	Периоды (годы)			
		1901—1960	1901—1920	1921—1940	1941—1960
Салехард	I	—23,3	—25,6	—21,8	—22,4
Якутск	XI	—27,8	—27,6	—26,8	—28,8
Оренбург	VI	20,0	19,8	20,2	20,0

Анализ интегрально-разностных кривых произведен для всех месяцев года, что дало возможность определить географические районы проявления различной устойчивости норм температуры не только в разные месяцы года, но и установить особенности их изменения от сезона к сезону.

Схематические карты распределения коэффициента неустойчивости K по территории СССР за все 12 месяцев помещены в приложение. Изолинии проводились через 0,25 единицы K .

Прежде чем остановиться на результатах анализа полученных карт распределения коэффициента неустойчивости K по территории в различные месяцы года, нужно подчеркнуть, что этот коэффициент определяет степень соответствия данного ряда бессвязному, которая, в свою очередь, зависит от наличия в ряду векового хода и от величины изменчивости элемента от года к году. Если иметь это в виду при анализе карт, то не покажется парадоксальным, что

самые низкие величины K (высокая устойчивость норм) на территории СССР отмечаются в марте и что в летние месяцы на значительных территориях наблюдается большая неустойчивость норм (в июне и августе K достигает величины 1,50). Эти факты отмечались нами и ранее [6, 7], но в

Таблица 2

Необходимая длина периода осреднения (годы) для получения норм с точностью $\pm 0,5^\circ$ (январь)

Станция	Для бес- связного ряда	Для реаль- ного ряда (с поправ- кой на неус- тойчивость)
Кола	45	35
Салехард	60	120
Туруханск	90	65
Верхоянск	45	45
Москва	55	40
Свердловск	50	65
Якутск	50	50
Луганск	45	35
Казалинск	60	80

данной работе они получили количественное выражение.

Возвращаясь к анализу полученных карт распределения K , отметим, что области повышенной неустойчивости норм ($K > 1,25$) температуры занимают наиболее обширные (порядка ЕТС) территории в январе, апреле, августе и ноябре. С апреля по июнь эти области располагаются преимущественно в Западной и Восточной Сибири. В июне центр наиболее высокой неустойчивости ($K=1,50$) формируется над Западной Сибирью. В июле происходит смещение этой области с азиатской на европейскую часть СССР. Особенно четко это проявляется в августе, сентябре, ноябре и декабре. В январе область большой неустойчивости вновь смещается на Западную

Сибирь и Казахстан. В феврале и особенно в марте, как уже отмечалось, величина коэффициента K на большей части территории не превышает 1.

Таким образом, получена количественная оценка влияния векового хода в рядах температуры на устойчивость ее норм в зависимости от изменчивости средней месячной температуры от года к году. Степень неустойчивости не зависит от сезона и летом в некоторых районах достигает максимальных величин. Это — факт малоизвестный, опровергающий укоренившееся мнение о незначительности колебаний климата в летний сезон.

Используя приведенные в работе карты распределения коэффициента неустойчивости K , можно без труда определить для каждого конкретного района СССР необходимую длительность ряда наблюдений для получения норм температуры воздуха заданной точности в любой из месяцев года.

Приведем примеры. Воспользуемся данными работы [4], в которой помещена карта необходимых периодов осреднения для получения точности норм $0,5^\circ$ в январе, рассчитанных по формуле для бессвязного ряда:

$$N = \frac{\sigma^2}{\sigma^2}$$

где N — необходимая длина ряда в годах; σ^2 — дисперсия температуры; $\bar{\sigma}^2$ — средняя дисперсия нормы.

Данные о необходимой длине периода осреднения для бессвязного ряда (снятые с упомянутой карты) и полученные с учетом коэффициента неустойчивости для некоторых станций приведены в табл. 2.

Другой пример: в климатическом справочнике основной период осреднения N составляет 80 лет. Посмотрим хотя бы на примере станций Кола и Тбилиси, как варьирует (при данной точности) величина N в разные месяцы года при учете коэффициента неустойчивости (табл. 3).

Таблица 3.

Необходимый период осреднения (годы) для получения норм температуры с точностью, соответствующей $N=80$ лет, и с учетом коэффициента неустойчивости ($N \cdot K$)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кола												
K	0,75	0,75	0,60	0,55	0,75	1,35	1,50	1,75	1,75	1,15	1,83	1,25
$N \cdot K$	60	60	48	44	60	108	120	140	140	92	147	100
Точность ($\pm^\circ\text{C}$)	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Тбилиси												
K	1,80	0,55	0,55	1,15	1,55	0,55	0,60	0,80	0,60	0,55	1,10	0,50
$N \cdot K$	128	44	44	92	124	44	48	64	48	44	88	40
Точность ($\pm^\circ\text{C}$)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2

Из табл. 3 видно, что в Коле с января по май для получения норм указанной точности достаточно использовать ряды длительностью 45—60 лет. Но с июня по декабрь в ходе температуры наблюдается значительный вековой ход и даже 80-летние ряды оказываются недостаточными для получения соответствующей точности.

В эти месяцы длительность рядов должна быть увеличена до 100—150 лет.

В Тбилиси длительные ряды (90—130 лет) необходимы только в январе, апреле, мае и ноябре; в остальные месяцы достаточны ряды в 40—45 лет.

Проделанная работа, на наш взгляд, дает реальную возможность разрешить давний спор между сторонниками использования длинных и коротких рядов наблюдений для получения климатиче-

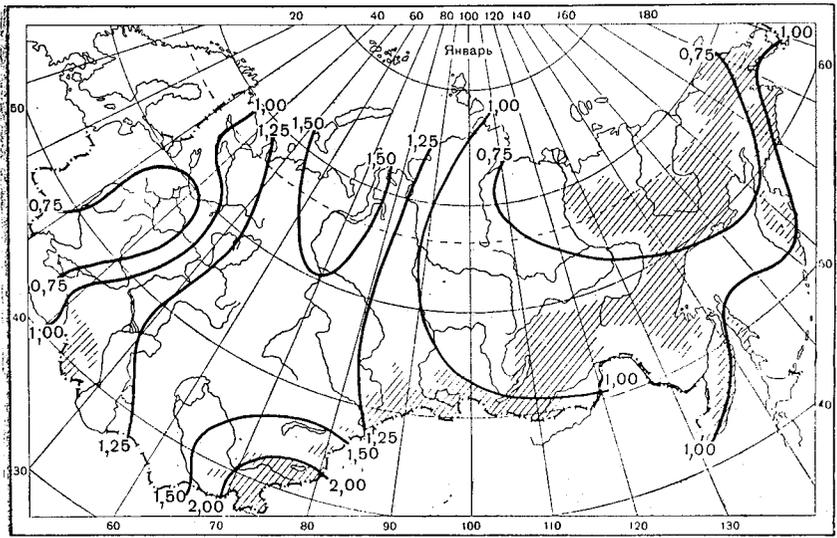
ских норм. Можно удовлетворить и тех, и других, разграничив их «сферы влияния» во времени и пространстве, что и сделано в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

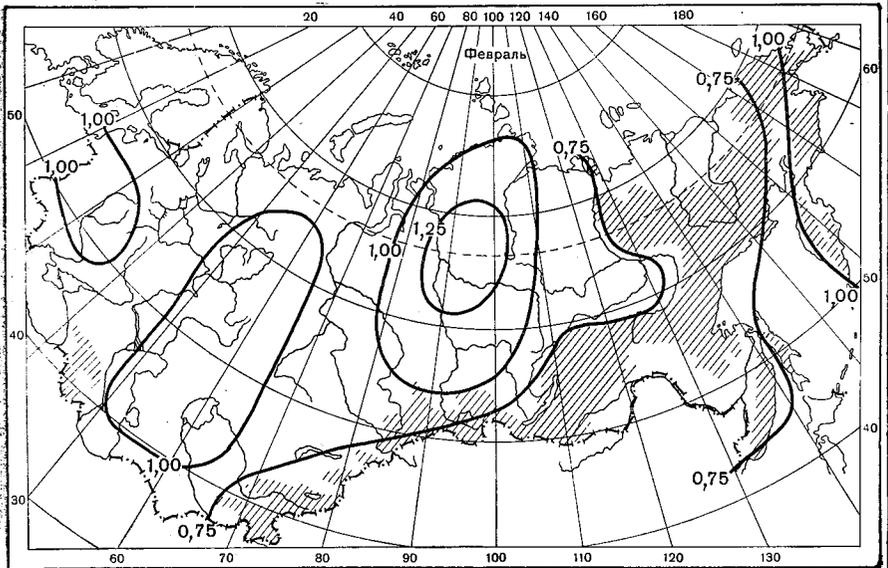
1. Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С. Что следует называть климатическими нормами?— Изв. АН СССР, сер. геогр., № 1, 1966.
2. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971.
3. Полозова Л. Г. Анализ цикличности колебаний средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.
4. Клебанер Л. Б. О периодах вычисления норм средней месячной температуры воздуха.— Труды ГГО, 1970, вып. 258.
5. Рубинштейн Е. С. О значении связности между членами метеорологического ряда при определении точности метеорологических средних.— Труды ГГО, 1971, вып. 274.
6. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Л., Гидрометеиздат, 1966.
7. Полозова Л. Г. О вековом ходе температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.

ПРИЛОЖЕНИЕ

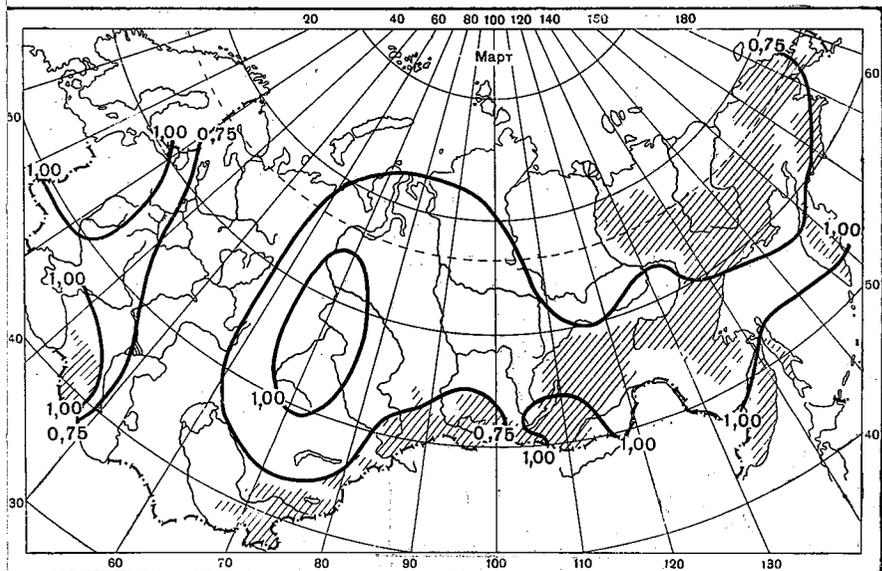
**СРЕДНИЕ МЕСЯЧНЫЕ КАРТЫ
ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ
СССР КОЭФФИЦИЕНТА НЕУСТОЙЧИВОСТИ K**



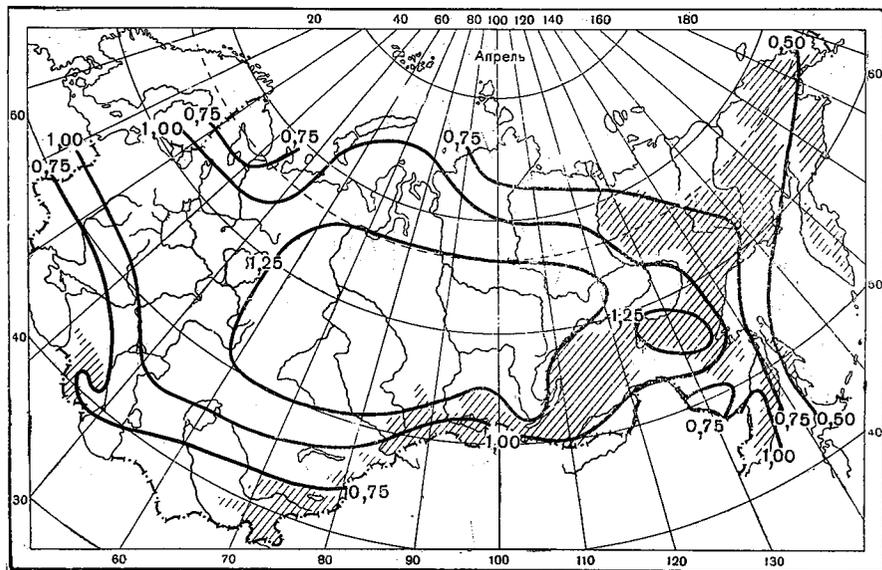
Январь.



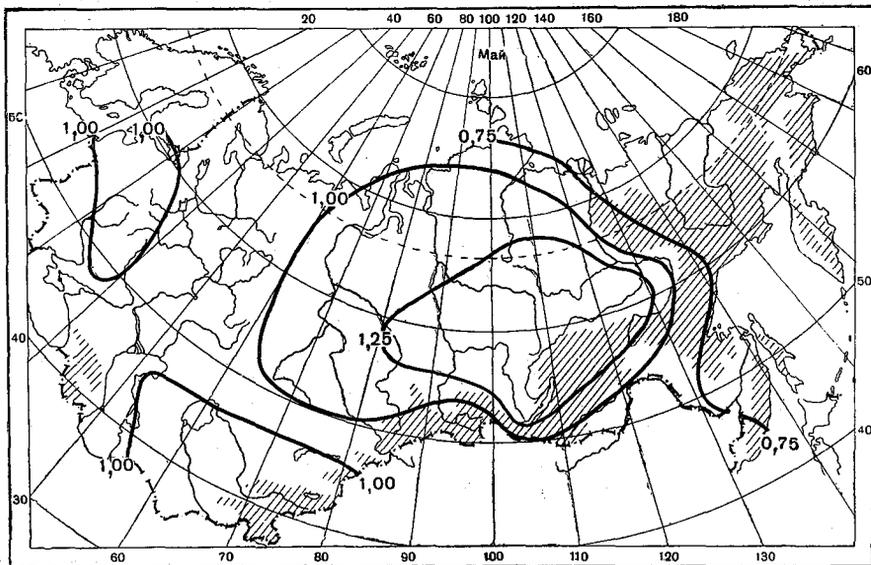
Февраль.



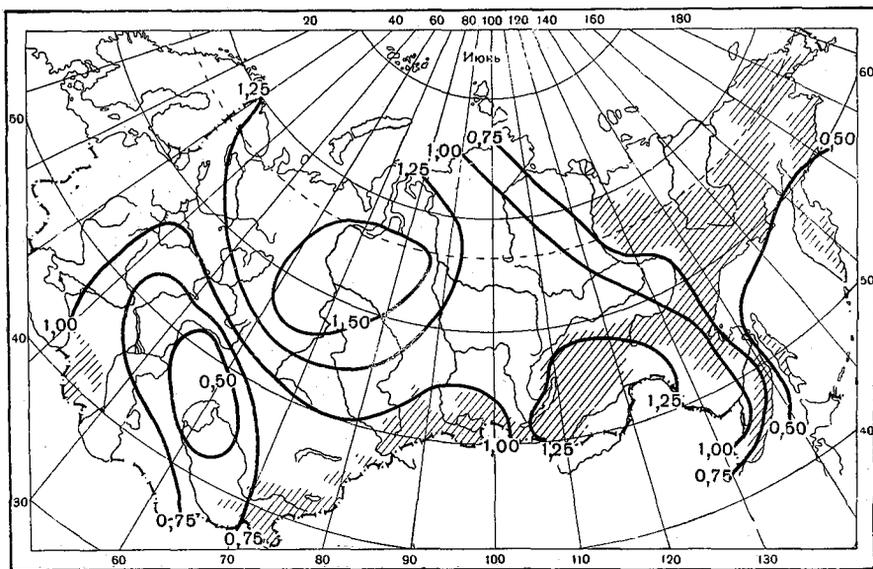
Март.



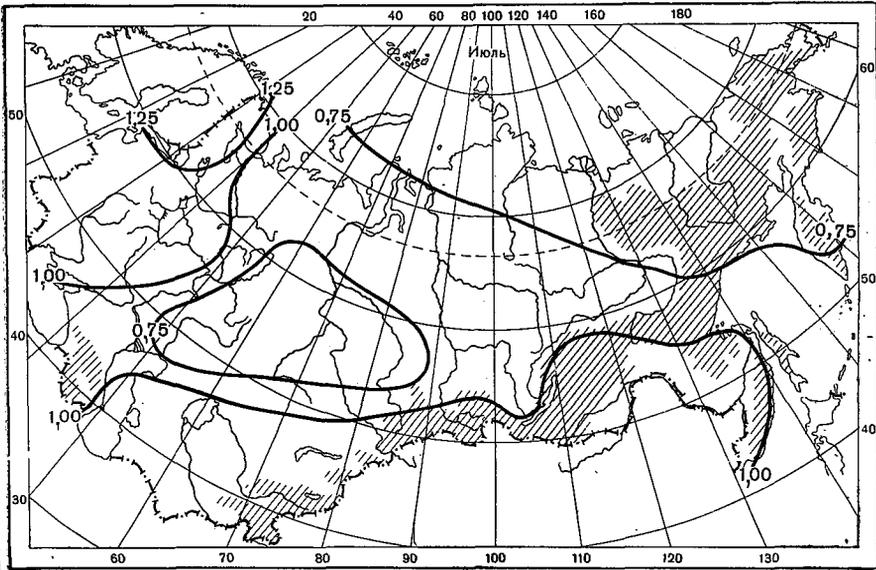
Апрель.



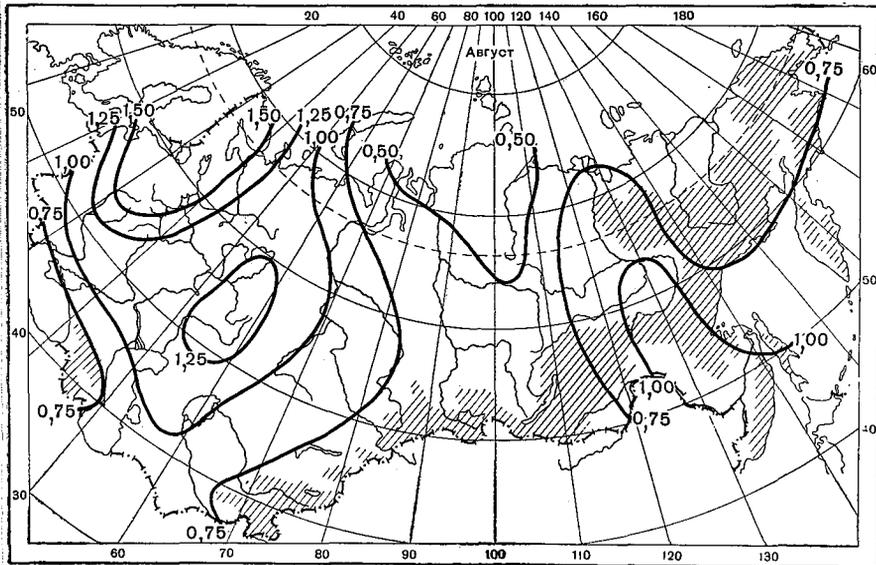
Май.



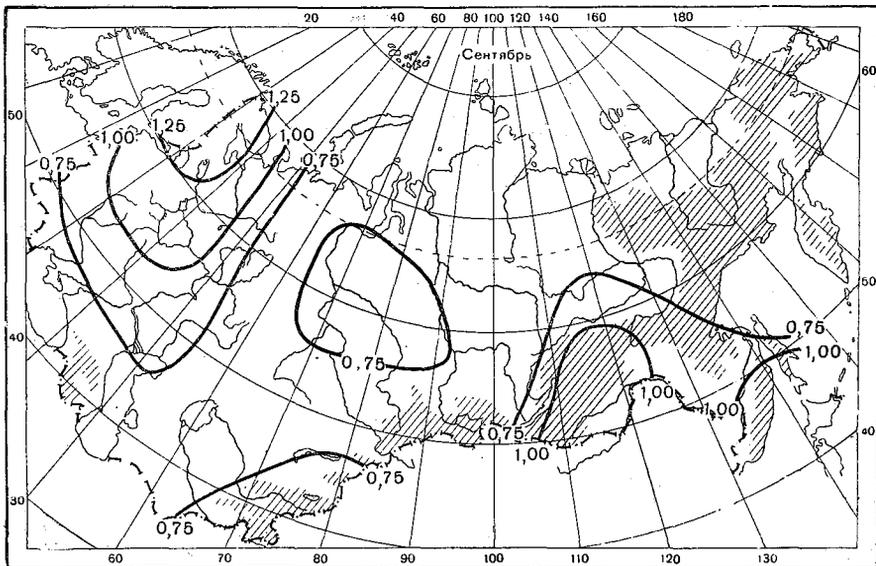
Июль.



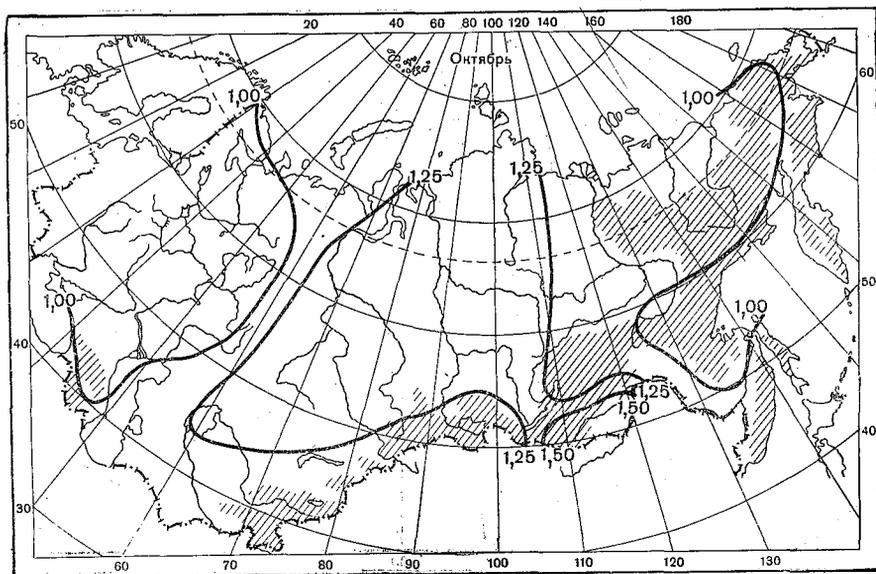
Июль.



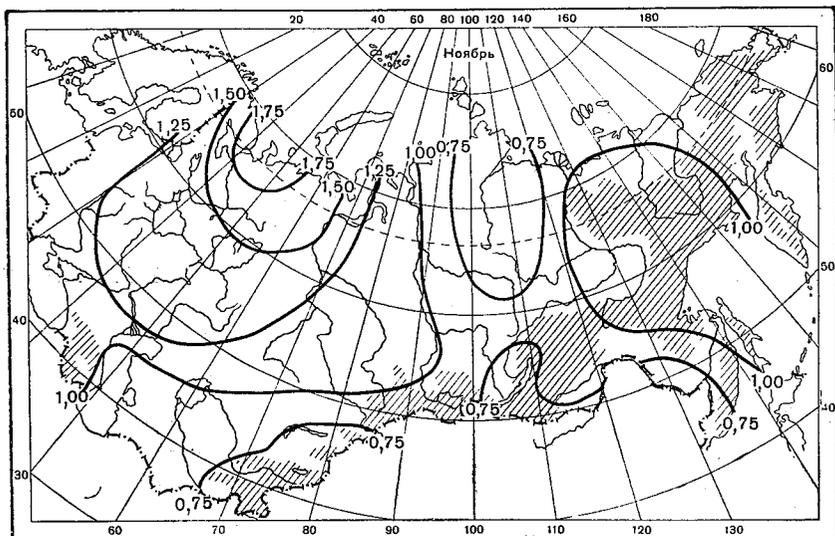
Август.



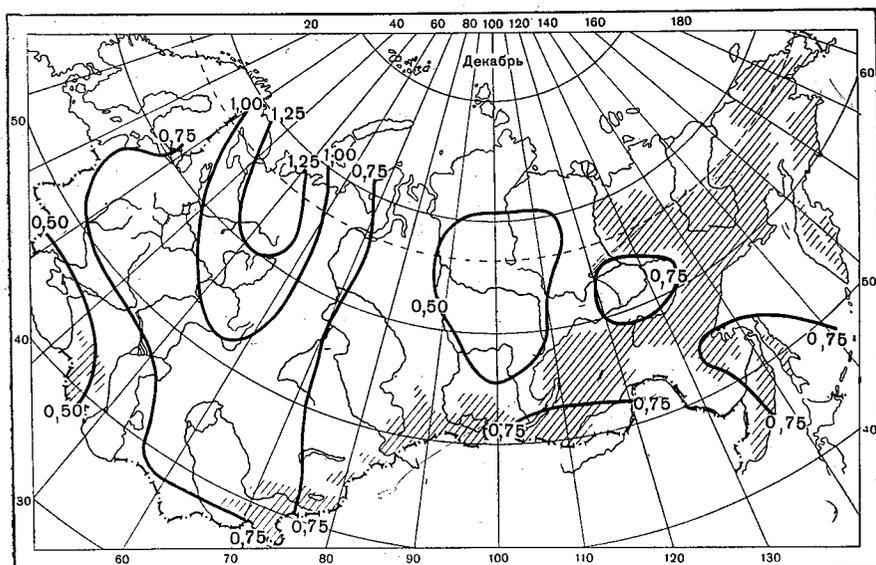
Сентябрь.



Октябрь.



Ноябрь.



Декабрь.

О МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ХОЛОДНЫХ ЗИМ

Изучение закономерностей пространственного распределения больших отрицательных аномалий температуры, в частности характеристика суровых зим, представляет интерес как для климатологических исследований, так и с чисто практической стороны (например, для прогноза погоды).

При исследовании структуры полей температуры основная трудность заключается в самом определении больших аномалий, а именно, какие аномалии (по абсолютной величине) следует считать большими и на каком пространстве их учитывать. Если пределы аномалии не заданы заранее практическими требованиями, то выбор критерия аномальности будет несколько условным.

Например, в работах [4, 9, 14] принято условие наличия отрицательной аномалии любой величины на определенной площади рассматриваемой территории с допущением аномалии $\Delta t/\sigma > 1$ на некоторой части этой территории. Авторы работы [9] «крупными аномалиями» на территории СССР считают либо такие аномалии, которые распространяются не менее чем на 75% площади, в том числе на 25% площади — со значениями аномалии более 20% многолетней амплитуды, либо аномалии с интенсивностью $\geq 50\%$. Хотя амплитуда является наиболее простой характеристикой рассеяния, использовать в качестве критерия аномальности нецелесообразно потому, что амплитуда как мера изменчивости может существенно изменяться (расти вместе с ростом числа лет наблюдений). Сравнительно мало изменяется амплитуда лишь при больших рядах наблюдений — сто лет и более [1]. Кроме того, сам критерий не включает в себя учета вероятности аномалий.

Н. А. Багров [2] предложил учитывать аномальность данного месяца с помощью критерия

$$K = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{A_n^2}{\sigma_n^2},$$

где A_n — аномалия, σ_n^2 — дисперсия аномалий в некоторых точках, равномерно расположенных на данной территории. Преимущество критерия K перед «крупной аномалией» состоит в том, что данный

критерий включает дисперсию σ^2 самих аномалий, а среднее квадратическое отклонение σ как мера рассеяния является одной из основных величин математической статистики. Поскольку распределение значений средней месячной температуры достаточно близко описывается законом Гаусса [1], то применение величины σ при изучении этого распределения вполне целесообразно.

Изучению холодных зим посвящено немало работ, например [3, 5, 8, 10], но в них рассматриваются либо ограниченные территории

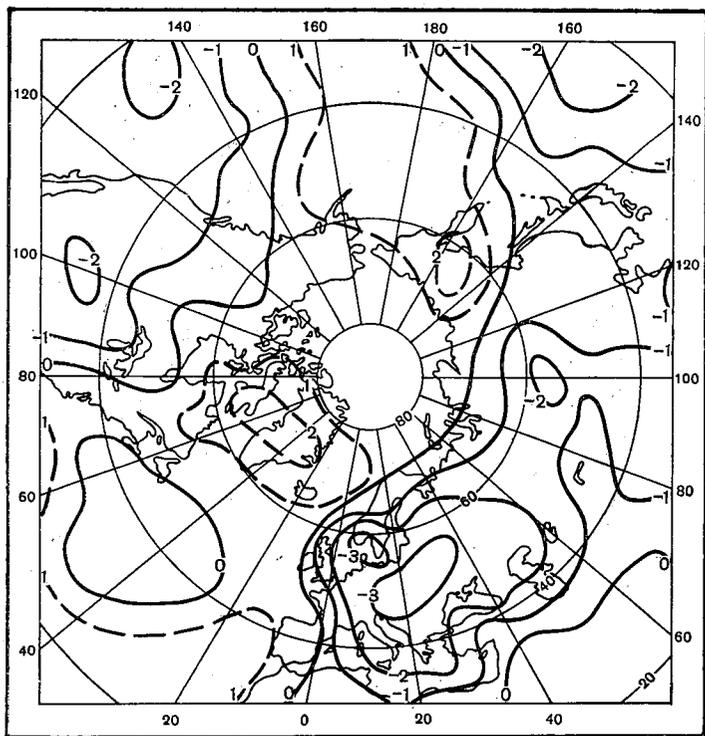


Рис. 1. Карта относительной аномалии средней месячной температуры воздуха за февраль 1929 г.

на рядах различной продолжительности, либо описываются отдельные холодные зимы. В литературе отсутствуют исследования по термическому режиму, в которых все северное полушарие рассматривалось бы единым методом за одинаковый период наблюдений. В данной работе ставилась задача изучения холодных зим в крупных географических районах северного полушария единым методом с использованием карт отклонений средней месячной температуры воздуха от многолетней средней северного полушария 1881—1960 гг. [15] с привлечением карт, составленных в Гидрометцентре

СССР за последнее десятилетие. Применение карт позволяет отвлечься от индивидуальных особенностей станций и иметь однородный материал одинаковой продолжительности во всех районах.

В основу методики изучения термического режима в северном полушарии положено нормирование аномалий Δt , т. е. использование нормированных или относительных аномалий $\Delta t/\sigma$. Эти вели-

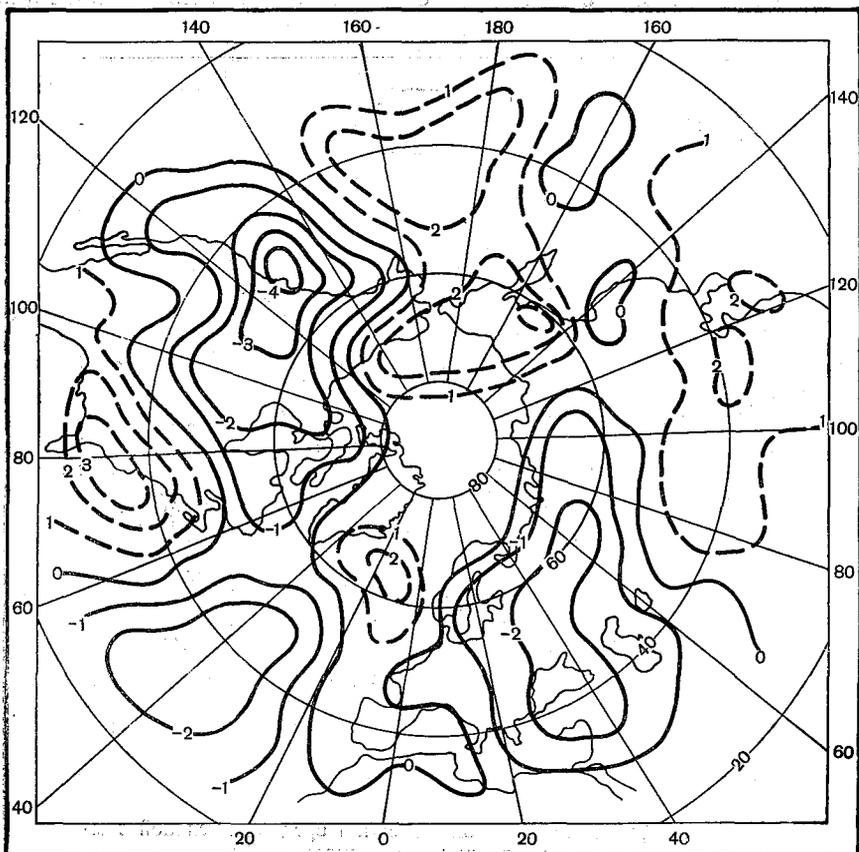


Рис. 2. Карта относительной аномалии средней месячной температуры воздуха за январь 1950 г.

чины более сравнимы, чем обычные аномалии, в отношении частоты их наступления, поскольку они являются вероятностными характеристиками самих аномалий. Приводим значения вероятностей относительных аномалий p и период P (число лет), за который отрицательные аномалии той или иной величины могут наблюдаться один раз в соответствии с законом нормального распределения. Влияние возможного отклонения от этого распределения, а также возможной

связности ряда, отмеченное в статье Е. С. Рубинштейн [13], мы здесь не рассматриваем.

$\Delta t/\sigma$	0,5	1,0	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
$P\%$	30,8	15,9	9,7	6,7	4,5	2,3	1,4	0,63	0,35	0,14
P	3,2	6,3	10,3	15,0	22,2	43,5	71,4	158	286	710

Роль относительных аномалий лучше всего проявляется при изучении термического режима океанов, где изменчивость температуры воздуха существенно меньше, чем над материками. Поскольку в применении к океану обычные аномалии становятся несравнимыми с аномалиями на континентах, то следует прибегнуть к величинам $\Delta t/\sigma$. Пример их применения дан на рис. 1 и 2. В обоих случаях нормированные аномалии на океанах превышают 2σ , в то время как величины Δt не превосходят $2-3^\circ$ при крайних их величинах $10-12^\circ$ на континентах. Значения величин σ снимались с карт, составленных авторами работы [7].

Нормирование температурных аномалий применил Виллет [16] при исследовании солнечно-климатических связей. В работе [10] для характеристики зимы 1968/69 г. в Средней Азии были использованы относительные аномалии, которые позволили выявить район наибольшего относительного похолодания в феврале 1969 г. в северном полушарии, чем и явилась Средняя Азия. Нормированные аномалии были применены при изучении векового хода температуры автором работы [12] Л. Г. Полозовой.

В качестве критерия, характеризующего аномальное распределение средней месячной температуры воздуха в некотором районе, нами принята средняя отрицательная нормированная аномалия из N значений $\Delta t/\sigma \geq 0,5$, обозначенная через α :

$$\alpha = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{\Delta t_n}{\sigma_n}, \quad (1)$$

где N — число точек с $\Delta t/\sigma \geq 0,5$ в углах градусной сетки рассматриваемого района. Знак минус при Δt здесь и в дальнейшем мы опускаем, т. е. рассматриваем абсолютную величину α . Сетка представляет набор точек, расположенных в шахматном порядке на широтных кругах, кратных 5° , через 20° долготы от 70 до 60° с. ш. и через 10° долготы — от 55 до 30° с. ш.

На территории Советского Союза нами рассматриваются крупные географические районы, принятые в климатографических работах и в практике долгосрочных прогнозов погоды. Зарубежная часть Евразии рассмотрена примерно до 30° с. ш.; здесь выделены три географических района. В Северной Америке выделены три района с учетом «американского колебания» [6], т. е. отрицательной корреляции средней месячной температуры западных и восточных районов. На рис. 3 дана схематическая карта, где обозначены

11 выбранных районов. Для каждого из них взято от 8 до 22 точек в зависимости от площади.

В каждом районе кроме величины критерия аномальности определена пространственная характеристика, т. е. площадь P_1 (в процентах от площади рассматриваемого района), в среднем для ко-

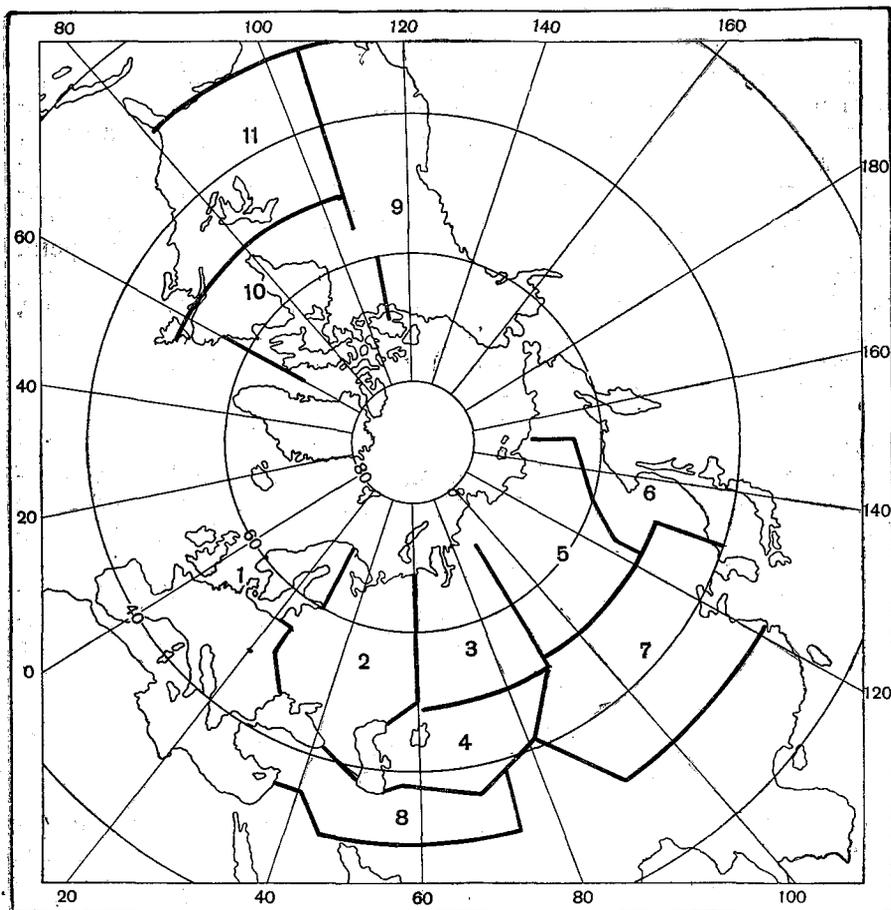


Рис. 3. Схематическая карта районов.

торой вычислялись значения α , а также определена площадь P_2 (в процентах от площади P_1 , на которой наблюдаются $\Delta t/\sigma > 1$). Параметры аномальности определялись только в том случае, если отрицательные нормированные аномалии $\Delta t/\sigma \geq 0,5$ охватывали не менее 75% площади рассматриваемого района, либо не менее 50% площади, причем на другой части территории положительные аномалии наблюдались не более чем в трех точках. Результаты вычи-

слений параметров аномальности — интенсивность α (по формуле (1)) и пространственное распространение P_1 и P_2 сведены в каталог, на основании которого сформулированы выводы настоящей статьи.

Надо сказать, что в разных районах одним и тем же значениям α соответствуют различные значения площадей P_1 и P_2 . Например, в Западной Европе максимальные значения α (1,8) наблюдались в декабре 1890 г. при охвате 85% территории, а в декабре 1940 г. — при 57%. На Дальнем Востоке $\alpha_{\max} = 1,5$ отмечено в январе 1931 г. для 85% площади и трижды (1893, 1932, 1964 гг.) — при охвате не более 60% площади. Подобный разброс соотношений α и P_1 наблюдается в ряде случаев и для других районов. В некоторых же районах экстремальные значения относительных аномалий $\alpha \geq 1,5$ определенно чаще наблюдаются при больших P_1 (близких к 100%), чем при малых (P_1 не более 60%). Так, на ЕТС в январе в 50% случаев $\alpha \geq 1,5$ имела большое пространственное распространение, а в феврале в этом же районе все экстремальные аномалии характеризовались значениями $P_1 = 100\%$. Сопоставление α и P_1 позволяет заключить, что зависимость величины аномалии и площади, которую занимает данный тип аномалии, различна в разных физико-географических условиях, хотя в более простых по очертаниям районах есть указания на прямую зависимость α и P_1 . В работе [11] найдена высокая корреляционная связь (более 0,9) для зимних месяцев между интенсивностью аномалии в очаге и площадью, которую занимает аномалия на Европейской территории СССР.

Значительный интерес представляет частота сочетаний больших значений P_1 и α , о чем свидетельствует табл. 1.

Таблица 1

Повторяемость (%) интенсивных отрицательных месячных аномалий температуры ($\alpha = 0,5 \div 2,6$) большого пространственного распределения ($P_1 = 90 \div 100\%$)											
Район	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Повторяемость (%)	24	28	46	82	24	18	27	31	15	38	12
Величина районов по отношению к Средней Азии	1,5	1,7	1,2	1,0	2,1	1,1	1,1	2,3	2,3	1,7	1,9

Примечание. 1 — Западная Европа; 2 — Европейская территория СССР; 3 — Западная Сибирь; 4 — Средняя Азия; 5 — Восточная Сибирь; 6 — Дальний Восток; 7 — Юго-Восточная Азия; 8 — Юго-Западная Азия; 9 — западный район Северной Америки; 10 — северо-восточный район Северной Америки; 11 — юго-восточный район Северной Америки.

В четырех почти равновеликих районах (Средняя Азия, Западная Сибирь, Дальний Восток и Юго-Восточная Азия) вероятность наступления месячных аномалий, охватывающих большую площадь, различна. При этом наибольшая повторяемость отмечена в Средней Азии (82% случаев), а наименьшая — на Дальнем Вос-

токе (18%). Очевидно, это различие объясняется различием географического положения и очертаний районов: Дальний Восток при очень изрезанных очертаниях имеет большую протяженность с севера на юг, в то время как территория Средней Азии компактна. В двух других районах (тоже почти одинаковых по площади) — западная часть Северной Америки и Юго-Восточная Азия — повторяемость различна: в первом районе 15%, а во втором 31% случаев.

В северо-восточном районе Америки и на Европейской территории СССР повторяемость составляет 38 и 28% соответственно при одинаковых площадях этих районов. В Западной Европе и в Восточной Сибири повторяемость одинаковая, составляет 24%, хотя Восточная Сибирь больше по площади, чем Западная Европа.

Если сравнить повторяемость в районах, из которых один почти вдвое больше другого, то и в этом случае значения вероятностей окажутся различны. Так, в северо-восточном районе Америки аномалии большого пространственного распространения отмечены в 38% случаев, а на Дальнем Востоке — только в 18%. Наименьшая из всех 11 районов повторяемость отмечена в юго-восточном районе Северной Америки (12%). Казалось бы, вероятность наступления большого распространения аномалии должна находиться в обратной зависимости от площади, но табл. 1 показывает, что эта связь много сложнее. По-видимому, анализируя различия в повторяемостях, следует учитывать и географическое положение района, и его очертания, и площадь, а также обуславливаемые всеми этими факторами особенности атмосферной циркуляции.

Для того чтобы выяснить, как часто наблюдаются холода различной интенсивности в том или ином из 11 районов, отобранные случаи разделены на типы (по величине отклонений средней месячной температуры воздуха от нормы): тип 1 — при $\alpha \geq 1,5$ (экстремальные отклонения); тип 2 — при $1,0 < \alpha < 1,5$ (средние отклонения); тип 3 — при $0,5 \leq \alpha \leq 1,0$ (слабые отклонения).

Рассмотрим некоторые особенности в распределении повторяемости этих типов (см. табл. 2). В ряде районов она отличается незначительно, всего на 1—2%, что допускает объединение в группы по однородности распределения. Например, в декабре по повторяемости первого типа можно выделить на территории Евразии две группы районов со средней повторяемостью 7 и 4%. В первую группу вошли Западная Европа, ЕТС, Западная Сибирь, Юго-Восточная и Юго-Западная Азия, во вторую группу — Восточная Сибирь, Средняя Азия и Дальний Восток. Оказалось, в частности, что в Восточной Сибири в декабре частота появления экстремальных отклонений (3%) меньше, чем в других районах, а частота появления второго и третьего типов (11 и 7%) — наоборот, больше. В январе почти во всей умеренной зоне Евразии, а в феврале — почти во всей Евразии (за исключением Дальнего Востока) наблюдается однородное распределение (в среднем в 7% случаев). Повторяемость второго типа во всех месяцах также почти однородна, кроме Восточной Сибири (12%) и Юго-Западной Азии (4%).

Рассмотрим общую повторяемость за три месяца всех типов вместе и каждого отдельно (табл. 2). Чаще всего холодные месяцы всех типов интенсивности наблюдались в континентальных районах Евразии: на ЕТС и в Восточной Сибири — в 22 и 23% случаев соответственно, а наименее часто — в Юго-Западной Азии (12% слу-

Таблица 2

Повторяемость (%) типов интенсивных отрицательных аномалий

Месяц	Район										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тип 1											
ХII	7	8	8	4	3	4	7	7	5	4	3
I	8	8	6	8	7	4	3	4	11	7	6
II	9	9	9	6	7	4	8	6	4	3	6
Средняя	8	8	8	6	6	4	6	6	8	5	5
Тип 2											
ХII	7	8	9	9	11	8	4	2	7	6	9
I	8	10	7	6	12	9	8	6	4	7	11
II	9	8	7	6	14	8	8	4	10	4	7
Средняя	8	9	8	7	12	8	7	4	7	6	9
Тип 3											
ХII	5	5	3	4	7	5	3	1	1	3	5
I	1	7	5	4	4	1	3	4	3	3	2
II	1	2	6	5	3	4	1	2	5	6	5
Средняя	2	5	4	4	5	3	2	2	3	4	4
Суммарная	18	22	20	17	23	15	16	12	18	14	18

чаев). Повторяемость одинакова в Юго-Восточной Азии и на Дальнем Востоке (15%). В западном и юго-восточном районах Северной Америки повторяемость одинакова (18%), а в северо-восточном ее районе она составляет 14%. Однако различие в повторяемости невелико, и можно полагать, что сравнительно малая повторяемость в последнем районе является результатом недостаточной освещенности этой территории в первые годы периода.

Распределение первого типа почти однородно по всей Евразии (7%), кроме Дальнего Востока (4%), а распределение второго типа — кроме Восточной Сибири и Юго-Западной Азии.

Повторяемость третьего типа больше в континентальных районах северной полосы Евразии, где она составляет 4—5% (районы 2—5). На Дальнем Востоке, в Западной Европе, в Юго-Западной

и Юго-Восточной Азии повторяемость составляет лишь 2%. Сравнение повторяемостей выделенных типов, как каждого по отдельности, так и в целом, позволяет заключить, что в Евразии имеются две группы районов: к первой относится большая часть территории Евразии, а ко второй — районы ее восточного побережья и Юго-Западная Азия.

Более детальная характеристика холодных зим и анализ условий формирования anomalно холодных зим являются дальнейшей задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н. А., Шабунина Т. А. Изменчивость средних месячных температур на территории северной Евразии.— Труды ЦИП, 1956, вып. 46(73).
2. Багров Н. А., Мьякишева Н. Н. Некоторые характеристики anomalии средних месячных температур воздуха.— Труды ММЦ, 1966, вып. 9.
3. Бетин В. В., Преображенский Ю. В. Суровость зим в Европе и ледовитость Балтики. Л., Гидрометеонздат, 1962.
4. Борисова Е. И. К вопросу прогноза anomalии средней месячной температуры воздуха в январе и феврале на Европейской территории СССР и Западной Сибири.— Труды ЦИП, 1960, вып. 89.
5. Воейков А. И. Чередование теплых и холодных зим.— Метеорологический вестник, 1881, № 9.
6. Гирская Э. И. Взаимосвязь anomalий температуры воздуха в северном полушарии в зимний период.— Труды ГГО, 1968, вып. 227.
7. Гирская Э. И., Клебанер Л. Б. Anomalии и изменчивость средней месячной температуры воздуха.— Труды ГГО, 1969, вып. 247.
8. Калмыкова Н. М. Термическая anomalность зим в районе формирования сибирского антициклона в связи с интенсивностью его развития.— Труды ЦИП, 1963, вып. 123.
9. Кац А. Л., Морской Г. И. Формирование крупных anomalий температуры воздуха на территории СССР в зимние месяцы.— Труды ЦИП, 1957, вып. 49.
10. Лялина А. В. Зима 1968/69 г. в Средней Азии.— Труды ГГО, 1970, вып. 258.
11. Педь Д. А., Чистякова Е. А. Использование климатических данных при составлении прогнозов на месяц.— Труды ЦИП, 1960, вып. 89.
12. Полозова Л. Г. О вековом ходе температуры воздуха в северном полушарии.— Труды ГГО, 1970, вып. 269.
13. Рубинштейн Е. С. О значении связности между членами метеорологического ряда при определении точности метеорологических средних.— Труды ГГО, 1971, вып. 274.
14. Шушевская Г. М. Особенности процессов, формирующих anomalии температуры воздуха на ЕТС и Западной Сибири.— Труды ЦИП, 1960, вып. 89.
15. Карты отклонений средней месячной температуры воздуха от многолетней средней северного полушария. Изд. ГГО, вып. 1—4, Л., 1961—1966.
16. Willett H. C. Solar-climatic relationships in the light of standartized climatic data. Journ. Atmosph. Sci., 1965, vol. 22, No. 2.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗУЧЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА НАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИЕЙ СССР

В настоящее время наблюдается значительный интерес к изучению процессов переноса вещества и энергии в атмосфере. В исследованиях такого рода значительное место отводится изучению горизонтальных переносов тепла в различных его видах, составляющих важнейшую часть общего переноса энергии в атмосфере.

За последние 30—40 лет в метеорологии наибольшее внимание уделялось изучению лишь меридиональных макротурбулентных потоков тепла и, в первую очередь, зональных характеристик межширотного вихревого теплообмена вдоль некоторого «среднего» меридиана [14 и др.]. Расчеты последних выполнены как косвенным путем, на основе анализа широтного распределения радиационного баланса и других компонент баланса тепла системы Земля — атмосфера [20, 12, 13, 11 и др.], так и прямым путем [21, 10, 7, 15, 16].

Исследования локальных характеристик горизонтальных потоков тепла пока еще немногочисленны; к тому же в них по-прежнему изучаются преимущественно лишь характеристики меридионального макровихревого теплообмена [18, 19, 21 и др.]. Что касается совместного анализа широтной и меридиональной слагающих потоков тепла, то здесь мы имеем лишь единичные примеры прямого расчета. Для Европейской территории Союза (ЕТС) исследования локальных характеристик горизонтального переноса тепла на основе прямых расчетов пока еще не предпринимались.

Существующий пробел в изучении локальных характеристик горизонтальных потоков тепла применительно к территории СССР в настоящее время интенсивно восполняется благодаря усилиям, предпринятым сотрудниками бывшего Научно-исследовательского института аэроклиматологии (ныне МОПИГР ОГМЦ СССР) под руководством И. Г. Гутермана [8].

По данным ежедневного радиозондирования (03 часа) на сети станций ЕТС нами производились расчеты интегральных в слое 1000—500 мб горизонтальных потоков тепла (энthalпии) [2]. Соответствующие величины были получены для центральных месяцев

сезонов (I, IV, VII, X) периода 1958—1961 гг. Прослеживая непрерывный годовой ход и вертикальные изменения горизонтальных потоков тепла [1] и потоков скрытого тепла [3], автор производил соответствующие расчеты для различных уровней и для всего года.

При этом мы исходили из следующих соображений. Полный горизонтальный перенос тепла в атмосфере осуществляется в виде суммы (1) потоков энтальпии сухого воздуха (потоки тепла) $\overline{q}(\overline{q}_x, \overline{q}_y)$ и (2) потоков скрытого тепла $\overline{\Pi}(\overline{\Pi}_x, \overline{\Pi}_y)$ в связи с переносом водяного пара [9]. При этом

$$\begin{aligned}\overline{q} &= \varepsilon V, \\ \overline{\Pi} &= LbV,\end{aligned}\quad (1)$$

где ε и b — соответственно тепло- и влагосодержание воздуха; $V(u, v)$ — горизонтальная слагающая вектора ветра; L — скрытая теплота испарения.

При изучении процессов большого пространственного и временного масштабов интерес представляет оценка вклада в общий (о) поток тепла \overline{q}_o , $\overline{\Pi}_o$ его слагающих: адвективной (а) \overline{q}_a , $\overline{\Pi}_a$ и макротурбулентной (мт) $\overline{q}_{\text{мт}}$, $\overline{\Pi}_{\text{мт}}$. С этой целью величины ε и b в формуле (1) представим в виде

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \overline{\varepsilon} + \varepsilon', \\ b &= \overline{b} + b', \\ V &= \overline{V} + V',\end{aligned}\quad (2)$$

после чего прибегнем к операции временного осреднения формулы (1). Запишем результаты осреднения в сокращенном виде:

$$\begin{aligned}\overline{q}_o &= \overline{\varepsilon V} = (\overline{\varepsilon V} + \overline{\varepsilon' V'}), \\ \overline{\Pi}_o &= \overline{LbV} = L(\overline{bV} + \overline{b' V'}).\end{aligned}\quad (3)$$

В формулах (2), (3) черта сверху служит знаком осреднения по времени; при этом период осреднения составляет один месяц [14, 10, 7, 9]. Первые члены в круглых скобках формулы (3) описывают значения адвективных \overline{q}_a , $\overline{\Pi}_a$, вторые члены — макротурбулентных $\overline{q}_{\text{мт}}$, $\overline{\Pi}_{\text{мт}}$ потоков тепла.

Потоки тепла $\overline{q}_{\text{мт}}$, $\overline{\Pi}_{\text{мт}}$ определялись практически как разности $\overline{q}_o - \overline{q}_a$ и $\overline{\Pi}_o - \overline{\Pi}_a$ [2, 3]. В то же время для слагающих потоков тепла $\overline{q}_{\text{мт}}$, $\overline{\Pi}_{\text{мт}}$ вдоль широты (x) и меридиана (y) справедливы соотношения

$$\begin{aligned}\overline{q}_{x \text{ мт}} &= \overline{\varepsilon' u'} = r_{\varepsilon u} \sigma_{\varepsilon} \sigma_u, \\ \overline{q}_{y \text{ мт}} &= \overline{\varepsilon' v'} = r_{\varepsilon v} \sigma_{\varepsilon} \sigma_v.\end{aligned}\quad (4)$$

Здесь $r_{\varepsilon u}$, $r_{\varepsilon v}$ — коэффициенты линейной корреляции между (ε) и составляющими ветра (u) и (v) соответственно; σ_{ε} , σ_u , σ_v — средние квадратические отклонения величин ε , u , v .

Выбор значений (a) и (b) в формулах (1), (2), (3) определялся характером исходного аэрологического материала. В декартовой системе координат, когда данные о ветре, температуре T и влаго-содержании (b) снимались с геометрических уровней (z), в качестве (a) и (b) использовались

$$a = c_p \rho T, \quad (5)$$

$$b = a, \quad (6)$$

где ρ — плотность, a — абсолютная влажность воздуха, c_p — удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении.

В изобарической системе координат, когда данные о $V(u, v)$, T и b снимались с барометрических уровней (p), в качестве (a) и (b) использовались [5]

$$a = c_p \frac{\Delta p}{g} T, \quad (7)$$

$$b = \frac{\Delta p}{g} s \simeq \frac{\Delta p}{g} q_*, \quad (8)$$

где Δp — разность давлений на нижнем и верхнем основаниях вертикальной колонны воздуха с площадью поперечного сечения 1 см^2 (в частности, удобно принять $\Delta p = 1 \text{ мб}$ [5]); g — ускорение силы тяжести; s — отношение смеси влажного воздуха; q_* — удельная влажность воздуха.

Из (1), (3) следует, что модули потоков тепла $|\bar{q}_o|$, $|\bar{q}_a|$ оцениваются значениями порядка $10^3 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$, что на один-два порядка больше $|\bar{\Pi}_o|$, $|\bar{\Pi}_a|$.

Величины $|\bar{q}_{\text{MT}}|$ и $|\bar{\Pi}_{\text{MT}}|$ — одного порядка ($10 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$). Однако, согласно второму закону термодинамики, тепло, переносимое в виде \bar{q}_a , может проявить себя (переход в иные виды энергии) лишь в той мере, которая определяется разностью температур между «холодильником» и «нагревателем». В то же время тепло, переносимое в виде \bar{q}_{MT} , в принципе может реализоваться почти целиком. Последнее определяет целесообразность изучения потоков тепла \bar{q}_{MT} и $\bar{\Pi}_{\text{MT}}$.

Заметим при этом, что потоки тепла \bar{q}_{MT} , $\bar{\Pi}_{\text{MT}}$, определяемые как малая разность $\bar{q}_o - \bar{q}_a$ и $\bar{\Pi}_o - \bar{\Pi}_a$, рассчитывались вполне надежно, поскольку при осреднении случайные ошибки исключались.

Направления потоков тепла \bar{q}_o и \bar{q}_a отличаются лишь на несколько угловых минут. Величины $|\bar{\Pi}_{\text{MT}}|$, особенно в холодном полудонии и с ростом высоты (слои 3—5 км), в максимуме могут достигать 60—70% от $|\bar{\Pi}_a|$ [3].

Сезонные изменения интенсивности потоков тепла $|\bar{q}_a|$, $|\bar{q}_{\text{MT}}|$ и потоков скрытого тепла $|\bar{\Pi}_a|$, $|\bar{\Pi}_{\text{MT}}|$ в основных чертах почти противоположны [1, 3]. Изменения $|\bar{q}_a|$ определяются в основном изменениями скоростей среднего ветра $|\bar{V}|$, отсюда $|\bar{q}_a|$ макси-

мальны в холодном и минимальны в теплом периодах года. Таковы же закономерности годового хода $|\overline{q_{MT}}|$ [1], в основе которых лежат сезонные изменения σ_a , σ_u и σ_v . При этом σ_a , σ_u и σ_v одновременно достигают максимума в холодном полугодии.

Величины $|\overline{P_a}|$ максимальны в конце лета и начале осени, когда влагосодержание атмосферы еще велико, а $|\overline{V}|$ быстро возрастают. Сезонные изменения $|\overline{P_{MT}}|$ по сравнению с $|\overline{q_{MT}}|$ отличаются малыми амплитудами, поскольку сезонные изменения σ_u , σ_v и σ_a в основном противоположны по фазе. $|\overline{P_{MT}}|$ максимальны летом и минимальны зимой [3].

Направления потоков тепла $\overline{q_a}$, $\overline{P_a}$ определяются направлениями средних результирующих векторов ветра $\overline{V}(\overline{u}, \overline{v})$; последние испытывают наибольшие изменения в пограничном слое атмосферы. В свободной атмосфере направления $\overline{q_a}$, $\overline{P_a}$ изменяются медленно, отражая преобладающий западный перенос.

Направления макротурбулентных потоков тепла $\overline{q_{MT}}$ и $\overline{P_{MT}}$ обнаруживают тесную связь с направлениями горизонтальных градиентов средней температуры $\text{grad } \overline{T}$ и влагосодержания $\text{grad } \overline{b}$. Однако полного совпадения направлений $\overline{q_{MT}}$ и $\text{grad } \overline{T}$, $\overline{P_{MT}}$ и $\text{grad } \overline{b}$ не наблюдается [17, 18, 24, 3, 6]. Зимой и осенью преобладают направления $\overline{q_{MT}}$, $\overline{P_{MT}}$ от юго-западных до северо-западных, летом — от юго-восточных до восточных. Ослабление с высотой зональной неоднородности полей \overline{T} и \overline{b} , особенно в самых нижних слоях, сопровождается левым поворотом $\overline{q_{MT}}$, $\overline{P_{MT}}$ — в холодном и правым поворотом — в теплом периодах года. Направления потоков тепла $\overline{q_{MT}}$, и $\overline{P_{MT}}$ статистически определяются знаками коэффициентов корреляции $r_{\sigma u}$, $r_{\sigma v}$ и т. д. (формула (4)).

В пограничном слое ($\sim 0-1,5$ км) быстрый рост с высотой скоростей $|\overline{V}|$ и изменчивости ветра σ_u , σ_v значительно опережает скорость уменьшения в том же направлении \overline{a} , \overline{b} и σ_a , σ_b ; в результате интенсивность потоков тепла с высотой быстро возрастает. При этом величины $|\overline{q_a}|$, рассчитанные относительно

$$\overline{a} = c_p \frac{\Delta P}{g} \overline{T} \quad (9)$$

возрастают по всей толще тропосферы, а при

$$\overline{a} = c_p \overline{\rho} \overline{T} \quad (10)$$

достигают минимума вблизи 1,5—2 км и, оставаясь без изменений вплоть до 5—7 км, выше 5—7 км уменьшаются.

Максимальная интенсивность адвективных потоков скрытого тепла $|\overline{P_a}|$ отмечается вблизи 1,5 км, выше значения $|\overline{P_a}|$ непрерывно уменьшаются [1, 3].

Величины

$$|\overline{\Pi}_{\text{MT}}| = L |\overline{a'V'}| \quad (11)$$

в теплом полугодии достигают максимальных значений вблизи 3 км, а в холодном — на уровне 1,5 км.

В распределении по высоте интенсивности потоков тепла $|\overline{q}_{\text{MT}}|$, независимо от выбора ε (формулы (5) и (7)), наблюдается наличие двух уровней наибольших $|\overline{q}_{\text{MT}}|$ в тропосфере: одного в нижней ее половине; другого — в верхних ее слоях (с переходом в стратосферу). Минимум $|\overline{q}_{\text{MT}}|$ в средних слоях тропосферы является следствием баротропности этих слоев, что находит свое проявление в существенном ослаблении связей $|r_{su}|$, $|r_{sv}|$ в этих слоях. Максимальные

$$|\overline{q}_{\text{MT}}| = c_p \overline{\rho} |\overline{T'V'}| \quad (12)$$

в нижней тропосфере прослеживаются вблизи 1,5 км: в то же время максимальные

$$|\overline{q}_{\text{MT}}| = c_p \frac{\Delta p}{g} |\overline{T'V'}| \quad (13)$$

занимают несколько более высокое положение (от 850 до 700 мб, а иногда и вблизи 500 мб).

Интегральные в слое 1000—500 мб потоки тепла (кал/см²сек.) — общий \overline{Q}_o , адвективный \overline{Q}_a и макротурбулентный \overline{Q}_{MT} — рассчитывались по рабочим формулам [2]

$$\left. \begin{aligned} \overline{Q}_o &= 5,93 \cdot 10^3 \overline{H[V]}, \\ \overline{Q}_a &= 5,93 \cdot 10^3 \overline{H[V]}, \\ \overline{Q}_{\text{MT}} &= \overline{Q}_o - \overline{Q}_a, \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где H — геопотенциал ОТ₁₀₀₀⁵⁰⁰ (гп. дкм), $[\overline{V}]$ — средний в слое 1000—500 мб результирующий вектор ветра, имеющий смысл эффективной скорости переноса теплосодержания в этом слое (м/сек.). Значения $[V]$ определялись по $V(u, v)$ у земли и на уровнях 850, 700 и 500 мб с последующим введением к ним весовых множителей [2]. Квадратные скобки в формуле (14) служат знаком осреднения по высоте (давлению).

Интенсивность потоков тепла $|\overline{Q}_a|$ оценивается величинами порядка 10^7 кал/см²·сек., что на два порядка больше $|\overline{Q}_{\text{MT}}|$ [2]. Сезонные поля \overline{Q}_a отражают типичные черты средней циркуляции над ЕТС.

Потоки тепла \overline{Q}_{MT} обнаруживают тесную связь с характером средних полей \overline{H} (рис. 1 а, б; рис. 2 а, б). Зимой \overline{Q}_{MT} ориентированы в основном с юго-запада на северо-восток; летом — с юго-востока на северо-запад.

Наибольших значений $|\overline{Q_{MT}}|$ достигают на перифериях областей высокой повторяемости циклонов и антициклонов (рис. 1 а, б; рис. 2 а, з). Зимой $|\overline{Q_{MT}}|$ велики на северо-западе, западе и юге ЕТС; летом наибольшие $|\overline{Q_{MT}}|$ прослеживаются на западе, северо-

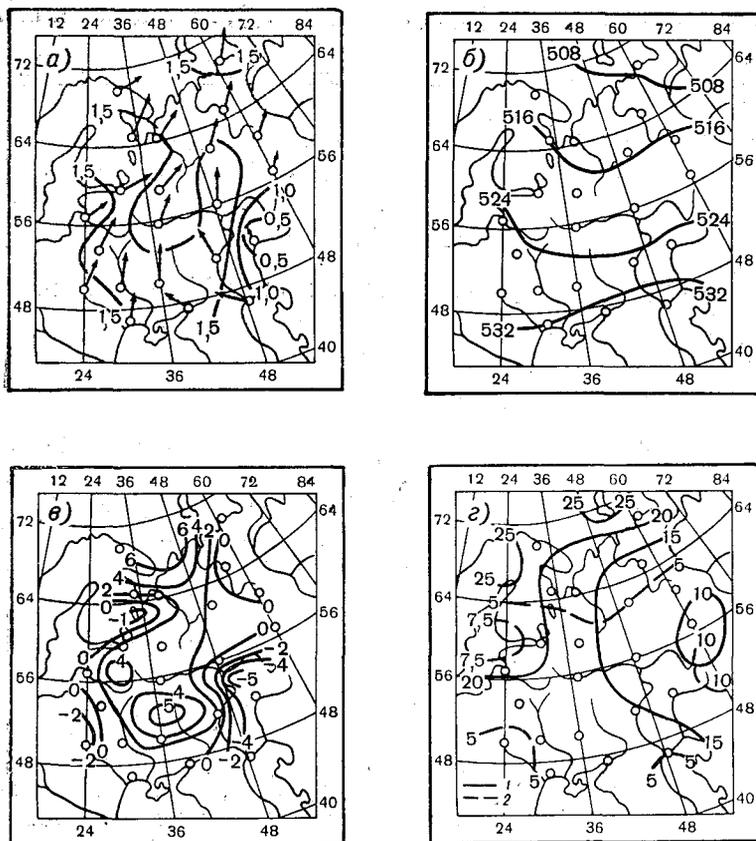


Рис. 1. Осредненные за период 1958—1961 гг. значения.

а — интегральные в слое 1000—500 мб макротурбулентные потоки тепла $\overline{Q_{MT}}$ (10^5 ккал/см²·сек.); б — геопотенциал H (гп.дкм); в — месячные суммы притока тепла $V_{MT} = \text{div} \overline{Q_{MT}}$ в колонну воздуха в слое 1000—500 мб (ккал/см² мес.); з — повторяемость центров циклонов (1) и антициклонов (2) на АТ₅₀₀ (%). Июль.

западе и севере ЕТС. Области высокой повторяемости осевых линий высотных фронтальных зон (ВФЗ) локализируются чаще всего там, где $|\overline{Q_{MT}}|$ ослабевают, обнаруживая при этом тенденцию к «обтеканью» очагов наибольших $|\overline{Q_{MT}}|$ [2].

Месячные суммы притоков тепла

$$B_{MT} = -\operatorname{div} \bar{Q}_{MT} \quad (15)$$

в колонну воздуха в слое 1000—500 мб достигают нескольких единиц ккал/см² мес. (рис. 1 *в*, рис. 2 *в*). Северные, центральные и юж-

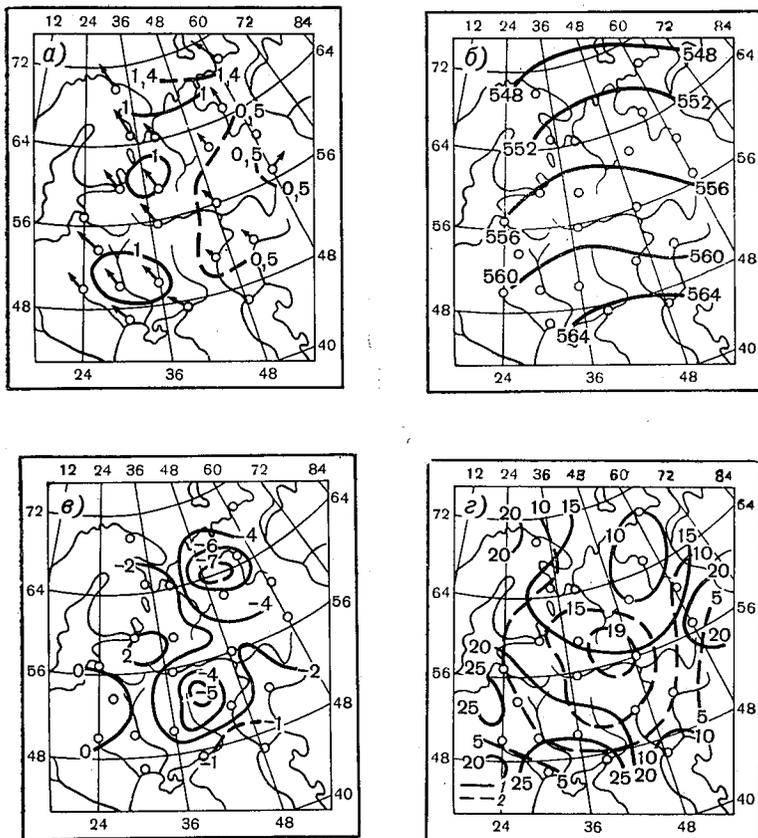


Рис. 2. Осредненные за период 1958—1961 гг. значения.

а — интегральные в слое 1000—500 мб макротурбулентные потоки тепла \bar{Q}_{MT} (10^5 ккал/см² · сек.); *б* — геопотенциал \bar{H} (гп. дкм); *в* — месячные суммы притока тепла $B_{MT} = -\operatorname{div} \bar{Q}_{MT}$ в колонну воздуха в слое 1000—500 мб (ккал/см² · мес.); *г* — повторяемость центров циклов (1) и антициклонов (2) на Ат₅₀₀ (%). Июль.

ные районы ЕТС зимой являются областями макровихревого стока тепла ($B_{MT} > 0$); области $B_{MT} < 0$ локализуются на северо-западе, юго-востоке и отчасти на востоке ЕТС. В июне с большей части ЕТС осуществляется макровихревой вынос тепла ($B_{MT} < 0$), при этом наибольшие потери тепла ($B_{MT} < 0$) локализованы на севере и в центре ЕТС.

$$B_a = - \operatorname{div} \bar{Q}_a \quad (16)$$

в том же слое достигают нескольких сотен ккал/см² мес. Однако реально поступление столь больших сумм тепла внутрь колонны ($B_a > 0$) приблизительно на 99% компенсируется вертикальным выносом его через верхнее основание колонны (AT_{500}) [4]. Интенсивность средних вертикальных переносов тепла на уровне AT_{500} достигает нескольких единиц кал/см² мин.; последние реализуются средними вертикальными скоростями порядка 0,6—2,5 см/сек. Плотность вертикальных макровихревых потоков тепла на том же уровне оценивается величинами порядка 10^{-2} кал/см² мин. [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Верещагин М. А. О пространственном и временном распределении горизонтальных макротурбулентных потоков тепла.— Геогр. сб., Изд. Каз. гос. ун-та, 1967, вып. 3.
2. Верещагин М. А. Сезонные особенности горизонтального макротурбулентного теплообмена и некоторые циркуляционные факторы над Европейской частью СССР.— Сб. «Вопросы синоптической и региональной климатологии». Изд. Каз. гос. ун-та, 1968.
3. Верещагин М. А. О горизонтальных переносах скрытого тепла.— Труды ГГО, 1969, вып. 245.
4. Верещагин М. А. О дивергенции горизонтальных потоков тепла в атмосфере и оценка вертикальных переносов тепла на уровне 500 мб поверхности.— Труды ГГО, 1969, вып. 245.
5. Верещагин М. А. О соотношении вкладов макротурбулентного и адвективного движений в полном переносе тепла в зависимости от характера осреднения.— Геогр. сб. (Изд. Каз. гос. ун-та), 1969, вып. 4.
6. Верещагин М. А. О связи между направлениями макротурбулентного потока тепла и горизонтального градиента средней температуры.— См. наст. сборник.
7. Груза Г. В. О зональных характеристиках макротурбулентности.— Изв. АН УзбССР, сер. физ.-мат. наук, № 2, 1958.
8. Гутерман И. Г. Макротурбулентность горизонтального движения над СССР.— Труды НИИАК, 1970, вып. 69.
9. Дроздов О. А. и Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. Л., Гидрометеониздат, 1963.
10. Монин А. С. О макротурбулентном обмене в земной атмосфере.— Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1956, № 4.
11. Ракипова Л. Р. Тепловой режим атмосферы. Л., Гидрометеониздат, 1957.
12. Albrecht F. Die Wärmeumsatz durch die Wärmestrahlung des Wasserdampfes in der Atmosphäre. Zeit. für Geoph., J. 6, 1930.
13. Baur F. und Phillips H. Der Wärmehaushalt der Lufthülle Nordhalbkugel. Gerl. Beitr., Bd. 47, H. 1/2, 1936.
14. Defant A. Die Zirkulation der Atmosphäre in gemässigten Breiten der Erde. Geogr. Ann., A. III, H. 3, 1921.
15. Donald H. A., Winston I. S. Monthly mean values and spatial distribution of meridional transport of sensible heat. Monthly Weath. Rev., 91, No. 7. 319—328, 1963.
16. Hastenrath S. L. On the role of eddy mechanisms in the meridional energy transport. Arch. Meteorol., Geophys. und Bioklim., s. A, 17, No. 2—3, 114—124, 1968.

17. Möller F. Ober horizontale Austausch-Wärmeströme über Mitteleuropa und ihre Veränderung mit der Höhe. Beitr. fr. Atmosph., Bd. 22/1, 46—63, 1935.
18. Priestley C. H. B. Heat transport and zonal stress between latitudes. Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 75, No. 323, 28—40, 1949.
19. Rao M. Sancar. On the meridional local eddy flux of heat over India. J. Atmosph. Sci., 19, No. 6, 468—473, 1962.
20. Simpson G. S. The distribution of terrestrial radiation. Memoirs of the Roy. Met. Soc., v. 3, No. 323, 1929.
21. Stewart D. A. Eddy flux of sensible heat at different levels in the stratosphere. Arch. Meteorol., Geophys. und Bioklim., s. A., 17, No. 2—3, 101—113, 1968.
22. White R. M. The meridional eddy flux of energy. Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 77, 188—199, 1951.

О СВЯЗИ МЕЖДУ НАПРАВЛЕНИЯМИ МАКРОТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА ТЕПЛА И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В практике анализа макротурбулентных потоков тепла в атмосфере приходится сталкиваться с явлением несовпадения последних с направлениями горизонтальных градиентов средней температуры $\text{grad } \bar{T} = -\frac{\partial \bar{T}}{\partial n} n$ [6, 7, 1, 2, 3].

Это обстоятельство существенно затрудняет непосредственное использование для расчетов макротурбулентных потоков тепла $q_{\text{мт}}$ уравнения турбулентной теплопроводности

$$q_{\text{мт}} = -K \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} n, \quad (1)$$

где K — коэффициент макротурбулентности, ε — энтальпия некоторого объема воздуха с массой m

$$\varepsilon = c_p m T, \quad (2)$$

остальные обозначения общеприняты.

Подходы к объяснению несовпадения $q_{\text{мт}}$ с $\text{grad } \bar{T}$ мы находим в [7, 8] и др. Наиболее последовательная интерпретация этого явления принадлежит О. А. Дроздову [4, 5]. Идеи его работ были использованы нами для получения зависимостей, описывающих количественную сторону этого явления. При этом мы исходили из анализа временной статистической структуры уравнения (1).

Особенностью макротурбулентного обмена в атмосфере является его неустановившийся характер. Это означает, что величины, входящие в формулу (1), испытывают временные колебания, т. е.

$$\left. \begin{aligned} K &= \bar{K} + K', \\ \varepsilon &= \bar{\varepsilon} + \varepsilon', \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где черта сверху служит знаком осреднения по времени, K' и ε' — временные отклонения соответствующих величин от средних. При

этом в соответствии с масштабом турбулентности период осреднения составляет один месяц [6, 5, 1, 2, 3].

Потоки тепла q_{MT} в формуле (1) определить мгновенно не удастся [4], поэтому приходится использовать осредненные по времени потоки тепла \bar{q}_{MT} . В этих целях, заменяя в формуле (1) K и ε их значениями по формуле (3), а затем осредняя по времени результат подстановки, получим

$$\left. \begin{aligned} \bar{q}_{x, MT} &= -\overline{K_x \varepsilon_x} - \overline{K'_x \varepsilon'_x}, \\ \bar{q}_{y, MT} &= -\overline{K_y \varepsilon_y} - \overline{K'_y \varepsilon'_y}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь $\bar{q}_{x, MT}$ и $\bar{q}_{y, MT}$ — широтная (x) и меридиональная (y) слагающие результирующего потока тепла \bar{q}_{MT} ; K_x и K_y — значения коэффициента турбулентности для переносов вдоль широты и меридиана; $\varepsilon_x = \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}$; $\varepsilon_y = \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}$, остальные обозначения прежние.

Таким образом, осредненный по времени результирующий поток тепла \bar{q}_{MT} при неустановившемся характере обмена представляет собою векторную сумму двух потоков тепла (рис. 1)

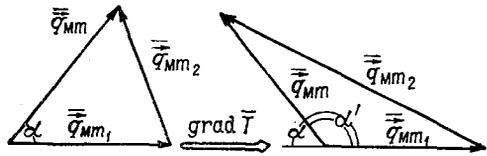


Рис. 1. Несовпадение направлений \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$.

где поток тепла \bar{q}_{MT_1} определяется установившимся характером обмена

$$\bar{q}_{MT} = \bar{q}_{MT_1} + \bar{q}_{MT_2}, \quad (5)$$

$$\bar{q}_{MT_1} = -(\overline{K_x \varepsilon_x} \mathbf{i} + \overline{K_y \varepsilon_y} \mathbf{j}), \quad (6)$$

а поток q_{MT_2} связан с неустановившимся характером обмена

$$\bar{q}_{MT_2} = -(\overline{K'_x \varepsilon'_x} \mathbf{i} + \overline{K'_y \varepsilon'_y} \mathbf{j}). \quad (7)$$

Поскольку

$$\text{grad } \bar{\varepsilon} = c_p m \text{grad } \bar{T}, \quad (8)$$

то поток тепла \bar{q}_{MT_1} представляет ту слагающую потока тепла \bar{q}_{MT} , которая ориентирована вдоль градиента средней температуры.

Величины $\overline{K'_x \varepsilon'_x}$ и $\overline{K'_y \varepsilon'_y}$ в формулах (4), (7) имеют смысл выборочных корреляционных моментов для соответствующих величин, так что

$$\left. \begin{aligned} \overline{K'_x \varepsilon'_x} &= r_{K_x \varepsilon_x} \sigma_{K_x} \sigma_{\varepsilon_x}, \\ \overline{K'_y \varepsilon'_y} &= r_{K_y \varepsilon_y} \sigma_{K_y} \sigma_{\varepsilon_y}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $r_{K_x \varepsilon_x}$, $r_{K_y \varepsilon_y}$, и σ_{K_x} , σ_{K_y} , σ_{ε_x} , σ_{ε_y} — выборочные значения

коэффициентов линейной корреляции (r) и средних квадратических отклонений (σ) для рассматриваемых величин.

Формулы (5), (6), (7) показывают, что при неустановившемся характере обмена при определенных условиях поток тепла \bar{q}_{MT} может не совпадать с направлением $\text{grad } \bar{T}$.

Из простых геометрических соображений для косинуса угла α (рис. 1) между потоком тепла \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ имеем

$$\cos \alpha = \pm \sqrt{1 - \frac{(\overline{K_x \partial_x K'_y \partial'_y} - \overline{K_y \partial_y K'_x \partial'_x})^2}{(\overline{K_x \partial_x}^2 + \overline{K_y \partial_y}^2)(\overline{K'_x \partial'_x}^2 + \overline{K'_y \partial'_y}^2)}}, \quad (10)$$

где знак «+» относится к косинусу острого угла α , а знак «-» — к косинусу тупого угла α' (рис. 1), значение которого связано с величиной угла α соотношением

$$\alpha' = 180^\circ - \alpha. \quad (11)$$

Из формулы (10) следует, что значения $\cos \alpha$ определены в интервале

$$-1,0 \leq \cos \alpha \leq 1,0, \quad (12)$$

а величины углов α между \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ могут принимать любые значения в интервале

$$180^\circ \geq \alpha \geq 0^\circ. \quad (13)$$

Из формулы (10), если считать $\overline{K_x} > 0$, $\overline{K_y} > 0$ и $\overline{\partial_x \partial'_y} \neq 0$, следует, что поток тепла \bar{q}_{MT} совпадет с направлением $\text{grad } \bar{T}$ ($\alpha = 0^\circ$), если

$$\left. \begin{aligned} \frac{\overline{K'_x \partial'_x}}{\overline{K_x \partial_x}} = \frac{\overline{K'_y \partial'_y}}{\overline{K_y \partial_y}} = \lambda, \\ \lambda > -1,0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В частности, если в формуле (14) $\lambda = 0$, то при тех же условиях получим

$$\overline{K'_x \partial'_x} = \overline{K'_y \partial'_y} = 0, \quad (15)$$

что является условием установившегося обмена.

Во всех остальных случаях, когда $\lambda \neq 0$, условие (14) характеризует особенности переноса тепла при неустановившемся характере обмена. При этом векторы \bar{q}_{MT_1} и \bar{q}_{MT_2} являются коллинеарными и а) либо равнонаправленными ($\lambda > 0$), б) либо противоположными ($-1,0 < \lambda < 0$), когда $|\bar{q}_{MT_1}| > |\bar{q}_{MT_2}|$.

С учетом формулы (9) условию (14) можно придать также несколько иной вид:

$$\left. \begin{aligned} r_{K_x \partial_x} \frac{\sigma_{K_x}}{K_x} \frac{\sigma_{\partial_x}}{\partial_x} = r_{K_y \partial_y} \frac{\sigma_{K_y}}{K_y} \frac{\sigma_{\partial_y}}{\partial_y} = \lambda, \\ \lambda > -1,0, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

или

$$\left. \begin{aligned} r_{K_x \partial_x} v_{K_x} v_{\partial_x} = r_{K_y \partial_y} v_{K_y} v_{\partial_y} = \lambda, \\ \lambda > -1,0, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где v_x — коэффициенты вариации для соответствующих величин x

$$v_x = \frac{\sigma_x}{x}. \quad (18)$$

В остальных случаях, выходящих за рамки условия (14), результирующий поток тепла \bar{q}_{MT} не совпадает по направлению с $\text{grad } \bar{T}$. Так, для того чтобы направление \bar{q}_{MT} оказалось противоположным $\text{grad } \bar{T}$, достаточно положить в формулах (14), (16), (17) $\lambda < -1,0$. Это равносильно требованию одновременного выполнения условий

$$\left. \begin{aligned} |r_{K_x \partial_x} \sigma_{K_x} \sigma_{\partial_x}| > |K_x \partial_x|, \\ r_{K_x \partial_x} \leq 0, \quad \bar{\partial}_x \leq 0; \\ |r_{K_y \partial_y} \sigma_{K_y} \sigma_{\partial_y}| > |K_y \partial_y|, \\ r_{K_y \partial_y} \leq 0, \quad \bar{\partial}_y \leq 0. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Условия (19) применительно к переносу любой субстанции были впервые сформулированы О. А. Дроздовым [4].

Таким образом, противоположность направлений \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ обеспечивается такими условиями теплообмена, когда потоки тепла \bar{q}_{MT_1} и \bar{q}_{MT_2} направлены противоположно, причем $|\bar{q}_{\text{MT}_2}| > |\bar{q}_{\text{MT}_1}|$.

Нетрудно также получить условие, при котором \bar{q}_{MT} отклоняется от $\text{grad } \bar{T}$ под углом 90° . Для этого достаточно приравнять к единице значение дроби в подкоренном выражении формулы (10).

Условием обращения потока тепла \bar{q}_{MT} в нуль при $|\text{grad } \bar{T}| \neq 0$ будет служить та же формула (14), если положить в ней $\lambda = -1,0$. Обратное соотношение, при котором $|\bar{q}_{\text{MT}}| \neq 0$, а $|\text{grad } \bar{T}| = 0$, будет иметь место, если в формуле (14) $\lambda \neq 0$, т. е. при неустановившемся характере обмена. При установившемся характере обмена условием обращения в нуль потока тепла \bar{q}_{MT} будет служить равенство $|\text{grad } \bar{T}| = 0$.

Неменьший интерес представляет также определение направления отклонения \bar{q}_{MT} от $\text{grad } \bar{T}$. Исходя из тех же геометрических соображений, легко показать, что при

$$r_{K_y \vartheta_y} v_{K_y} v_{\vartheta_y} > r_{K_x \vartheta_x} v_{K_x} v_{\vartheta_x} \quad (20)$$

поток тепла \bar{q}_{MT} отклоняется от $\text{grad } \bar{T}$ влево, а при

$$r_{K_y \vartheta_y} v_{K_y} v_{\vartheta_y} < r_{K_x \vartheta_x} v_{K_x} v_{\vartheta_x} \quad (21)$$

— вправо.

Рассмотренные соотношения между направлениями \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ относятся к случаю анизотропной турбулентности. Аналогичные соотношения легко получить применительно к изотропной турбулентности, если в соответствующих формулах положить $K_x = K_y = K$, $\sigma_{K_x} = \sigma_{K_y} = \sigma_K$.

Поскольку мгновенные значения K_x , K_y определить не удастся [4], то непосредственная оценка величин углов α и направлений отклонения \bar{q}_{MT} от $\text{grad } \bar{T}$ по приведенным здесь формулам практически невозможна.

Практическое значение приведенных здесь формул заключается в том, что они позволяют составить представление о внутренней структуре макротурбулентного теплообмена, если при этом величины углов α и направления отклонения \bar{q}_{MT} от $\text{grad } \bar{T}$ предварительно известны.

Наглядное представление о значениях углов α и направлениях отклонений \bar{q}_{MT} от $\text{grad } \bar{T}$ дают расчеты \bar{q}_{MT} по структурным формулам [6, 7, 4, 1, 2, 3] с последующим сравнением их с направлениями $\text{grad } \bar{T}$. Подобные расчеты за период 1958—1961 гг. производились автором [1, 2, 3] для различных слоев атмосферы над Европейской территорией Союза ССР (ЕТС). Опираясь на эти данные, коротко остановимся на анализе количественных соотношений, относящихся лишь к абсолютным значениям углов α , оставляя вне рассмотрения анализ направлений отклонений \bar{q}_{MT} от $\text{grad } \bar{T}$.

При этом обнаруживается следующая важная особенность. Различия в направлениях \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$, достаточно существенные при рассмотрении их на отдельных уровнях и для определенных месяцев [6, 7, 1], значительно нивелируются при интегрировании \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ по высоте (z) и времени (τ)

$$- \left[\iint \bar{K}_{x \vartheta_x} dz d\tau + \iint r_{K_x \vartheta_x} \sigma_{K_x} \sigma_{\vartheta_x} dz d\tau \right], \quad (22)$$

$$\iint \text{grad } \bar{T} dz d\tau; \quad (23)$$

при этом интервал интегрирования по времени выходит за рамки одного месяца.

Таким образом, интегральные макротурбулентные потоки тепла (формула (22)) лучше «приспосабливаются» к направлениям интегральных градиентов средней температуры (формула (23)). Это обстоятельство объясняется тем, что подынтегральное выражение второго интеграла в формуле (22) составляют такие величины, которые при интегрировании из-за противоположности знаков $r_{Kx\theta x}$ в разных точках области интегрирования будут в определенной мере взаимно погашать друг друга.

Т а б л и ц а 1

Месяц	$\tilde{\alpha}$ град.	σ_{α} град.
I	26,4	$\pm 5,2$
IV	22,4	$\pm 5,1$
VII	35,6	$\pm 7,0$
X	30,8	$\pm 21,9$

В табл. 1 приведены средние (по площади ЕТС) значения углов $\tilde{\alpha}$ между направлениями интегральных в слое 1000—500 мб макротурбулентных потоков тепла \bar{Q}_{MT} и градиентов среднего геопотенциала \bar{H}_{1000}^{500} , а также средние квадратические отклонения σ_{α} (относительно $\tilde{\alpha}$). Величины $\tilde{\alpha}$ и σ_{α} определены по средним за период 1958—1961 гг. значениям \bar{Q}_{MT} и \bar{H}_{1000}^{500} .

Расхождения между направлениями \bar{q}_{MT} и $\text{grad } \bar{T}$ на отдельных уровнях и в отдельные месяцы [6, 7, 1] в общем превышают величины, содержащиеся в табл. 1, однако порядок величин α остается тем же. В подавляющем большинстве абсолютные значения α не превышают 90° , хотя и возможны случаи, когда последние достигают значений 90° и больше.

В указанный период (1958—1961 гг.) абсолютные значения α не достигали 180° —как при расчетах \bar{q}_{MT} на отдельных уровнях, так и при интегрировании их в слое 1000—500 мб. Последнее свидетельствует о том, что вероятность одновременного осуществления направлений в виде (19), по-видимому, невелика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Верещагин М. А. О пространственном и временном распределении горизонтальных макротурбулентных потоков тепла.— Географ. сб. (Изд. Каз. гос. ун-та), 1967, вып. 3.
2. Верещагин М. А. Сезонные особенности горизонтального макротурбулентного теплообмена и некоторые циркуляционные факторы над Европейской частью СССР.— Сб. «Вопросы синоптической и региональной климатологии». Изд. Каз. гос. ун-та, 1968.

3. Верещагин М. А. О горизонтальных переносах скрытого тепла в атмосфере.—Труды ГГО, 1969, вып. 245.

4. Дроздов О. А. О некоторых вопросах турбулентной диффузии.—Труды ГГО, 1962, вып. 133.

5. Дроздов О. А. и Григорьева А. С. Влагооборот в атмосфере. Л., Гидрометеиздат, 1963.

6. Möller F. Über horizontale Austausch Wärmeströme über Mitteleuropa und ihre Veränderung mit der Höhe. Beitr. fr. Atmosph., Bd. 22/1, 46—63, 1935.

7. Priestley C. H. B. Heat transport and zonal stress between latitudes. Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 75, No. 323, p. 28—40, 1949.

О ФАЗАХ ВЕКОВОГО ЦИКЛА КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРАЗИИ

Вековой ход осадков скоррелирован с ледовитостью полярных морей и вызываемыми ею муссонными явлениями [3]. Поэтому он почти везде выражен в северных районах (и зимой, и летом). Осадки здесь увеличиваются в эпохи потепления. Такая связь особенно четко проявляется при осреднении исходных данных по пятилетиям, а еще больше по десятилетиям [4].

Далее к югу в противоположной фазе вековой ход развивается внутри материка, зимой — в довольно обширных районах, летом — лишь в некоторых участках степной зоны (от Киева до Восточного Казахстана). Вновь вековой ход осадков появляется в субтропической зоне, преимущественно в той же фазе, что и на севере. Еще далее на юг также заметны районы проявления векового хода, причем фазировка их в общем чередуется по зонам. Однако это лишь первое приближение. В действительности фазировка векового хода более сложна — во-первых, из-за неодинаковости времени наступления максимума и минимума осадков в различных районах, отчасти связанной с неодновременным развитием аномалий температуры в различных частях Полярного бассейна, во-вторых, из-за распададения в некоторых районах, особенно промежуточных между основными зонами или очень южных, векового хода на обертоны, и в-третьих, вследствие комбинирования векового хода с более короткими колебаниями. При используемой длине ряда вековой ход не так-то просто отделить от влияния более коротких колебаний, а из-за трансформации циклов это становится затруднительным и для более длинных рядов. В настоящей статье анализируется время наступления максимума и минимума в вековом ходе по скользящим пятилетиям отдельно для теплого (апрель — октябрь) и холодного (ноябрь — март) периодов года. Такой подход позволяет найти общность в явлениях векового хода даже там, где он распадается на обертоны.

Но иногда короткие циклы настолько забивают длинные, что определить время наступления главных максимумов и минимумов становится невозможным, так как в обширных районах распределение времени наступления указанных фаз получается очень пест-

рым. При этом корреляция между суммами осадков (средними по пятилетиям или десятилетиям) на различных станциях района довольно большая (подобно тому, как может сохраняться связь и с ходом температуры в арктических районах). Тем не менее положение главных максимумов и минимумов в многолетнем ходе определяется уже процессами меньших пространственных и временных масштабов и производит впечатление случайного. Вместе с тем обнаруживаются некоторые характерные даты, с которыми сопряжен многолетний ход в ряде самых различных районов: это годы повышенной ледовитости приатлантической части Арктики (второе десятилетие XX в.), годы пониженной ее ледовитости (30-е годы, в некоторых районах 40-е, а также 90-е годы прошлого века). Менее изучен вековой ход ледовитости в восточной Арктике. Колебания осадков как крупный циклический процесс могут коррелироваться с вековым максимумом солнечной активности (максимум в 50-е годы, минимум — в 10-е). Означает ли эта корреляция причинно-следственную связь или простое совпадение — определить трудно [8]. Сомнения увеличиваются и в связи с тем, что можно использовать различные индексы солнечной активности, а некоторые из них (производная ее векового хода, различия в относительном увеличении числа факелов и пятен) имеют максимум в 30-е годы (см., например, [7]); работа же К. Я. Кондратьева и Г. А. Никольского [6] позволяет предполагать, что со средним уровнем чисел Вольфа связано наибольшее значение солнечной постоянной. Из-за различного уровня солнечной активности в соседних вековых циклах помимо полувековой волны возникают и более длинные [9]. Параллельно ходу температур изменялась и прозрачность атмосферы [1], что также усложняет анализ причин колебаний климата, так как одни и те же явления могут связываться и с колебаниями ледовитости, и с интенсивностью потока радиации, и с ходом характеристик корпускулярной активности Солнца, причем не исключено, что все эти факторы воздействуют на климат совместно, и поэтому выделение конкретных действующих факторов особенно трудно.

По нашему мнению, ход изменений осадков непосредственно больше всего определяется условиями в Арктике, радиационные же влияния любого происхождения проявляют свое действие через инерционную систему Мирового океана и те же полярные льды.

Несмотря на указанные трудности, исследовать фактическую фазировку векового цикла колебаний осадков все же возможно.

Начнем описание векового хода осадков с условий холодного периода от северных районов к южным. Максимум осадков в 30-е годы наиболее четко проявляется в районе Атлантики (Исландия, большая часть Норвегии, северная часть Ботнического залива). Однако на Ян-Майене, так же как и в Мурманске, и на всем севере Азии (кое-где с ним все же соперничает и максимум 30-х годов, в частности на меридиане Колымы), наибольшие осадки приходятся на конец 50-х годов. Лишь Гьесвер на крайнем севере Норвегии дает максимум в 1919 и минимум — в 1938 г., т.е. показывает обратный ход по сравнению с другими станциями района.

Минимум осадков в указанной зоне, как и в большинстве других, менее устойчив. Это либо 10-е годы (Исландия, юг Норвегии), либо 90-е прошлого века (район к востоку от Белого моря). Для севера Норвегии (кроме Гьесвера) минимум приходится на 90-е годы, а на Ян-Майене (где в более старые годы наблюдения не велись) — на 20-е и 40-е. К югу от Исландии, т. е. на севере Ирландии, Шотландии, а также почти по всей Центральной Европе максимум осадков приходится на 40-е годы, сливаясь на востоке с упомянутой выше северной зоной материка; минимум осадков в этих районах приходится также преимущественно на 90-е годы или начало нашего столетия (в Средней Европе минимум наблюдается в самое разное время).

Максимум осадков во второе десятилетие XX в. характерен для юга Англии и Ирландии, Бельгии, Голландии, исчезая в Средней Европе, он вновь появляется начиная от восточного побережья Балтики и северо-восточных Карпат, распространяясь к востоку на большую часть бассейна Волги (к северу от Саратова), Южный и Средний Урал, Зауралье и север Казахстана. Далее к востоку максимум осадков раздваивается и наблюдается преимущественно в 90-е и 60-е годы (восточнее Енисея). Однако до Тихого океана эта полоса не доходит, в противоположность тому, что нами писалось в 1958 г. (Видимо, объяснять ее только более ранним наступлением максимума ледовитости в Восточной Арктике все же нельзя.) На северо-востоке Азии она заменяется максимумом в 30-е и вторичным максимумом — в 60-е годы (Колыма, побережье Охотского моря). Минимум осадков в вековом ходе западнее Алтая приходится на 30-е годы (реже — на 40-е), что соответствует времени наибольшего потепления в Арктике. С этим минимумом связано резкое падение уровня Каспийского моря. Восточнее же Алтая минимум осадков приходится на 10-е—20-е годы, в Якутии и на побережье Охотского моря — на 90-е годы XIX в. и 20-е годы XX в. Таким образом, 90-е годы в Северном Казахстане дают максимум, а на северо-востоке Азии — минимум осадков, на Камчатке же опять максимум. На Камчатке, как и на севере Японии, довольно большие осадки приходятся и на 50-е годы. На Сахалине же на конец 40-х годов приходится, наоборот, минимум осадков.

Корея и южная часть Японии, относящиеся уже к субтропической зоне, дают максимум осадков в 50-х годах, время же наступления минимума здесь неустойчиво.

Север Испании, большая часть Франции, Сардиния, Сицилия, Мальта находятся в субтропической полосе компенсации по отношению к умеренным широтам и дают максимум осадков в вековом ходе в 30-е годы, в остальной части юга Европы время наступления максимума осадков в вековом ходе неустойчиво. Минимум осадков, который должен был наблюдаться в 10-е годы, здесь почти не выявляется и проявляется лишь восточнее: в Закавказье и северной части Средней Азии. На восточном побережье Средиземного моря и юге Ирана максимум осадков приходится на 40-е годы, на севере Ирана главный максимум осадков наблюдается в 900-е годы.

В Омане, Пакистане и на северо-западе Индии максимум осадков наблюдается, так же как и в субтропической зоне, в 30-е годы, в более восточных районах Северной Индии — в 40-е, в низовьях Ганга и в северной части Бирмы — в конце 20-х — начале 30-х годов, в средней части Индокитайского полуострова — опять в 40-х; на те же годы максимум осадков приходится и в прибрежной части южного Китая. Таким образом, образуется обширная полоса, где увлажнение возрастает при потеплении Арктики; однако минимум осадков наступает в этой полосе в различное время. Континентальная часть Китая дает вековой ход осадков, типичный для умеренных широт. Максимум осадков приходится здесь на 10-е годы. Аналогичный ход осадков обнаруживается во внутритропической зоне: на восточном побережье Бенгальского залива, Андаманских островах, побережьях Сиамского залива, полуострове Малакка и на севере о. Суматра. На Калимантане и Сулавеси обнаруживается некоторая компенсация — максимум осадков в 30-е годы. В юго-восточной части Индии и на о. Цейлон наибольшие осадки приходятся преимущественно на 20-е и 50-е годы.

В других районах тропической Азии вековой ход осадков либо отсутствует, либо носит сугубо локальный характер. Время минимума осадков в вековом ходе там, где оно носит не слишком локальный характер, отмечается в Ираке и Западном Иране в начале века и в 30-е годы, на севере Ирана — в 50-е годы, на юге Персидского залива — в 40-е. На северо-западе Индии минимум осадков приходится, как и в Ираке, преимущественно на начало века, на юге и на востоке — на 50-е годы; на те же годы приходится минимум осадков и на большей части Индокитайского полуострова, в низовьях Ганга и на восточном побережье Бенгальского залива, минимум же осадков падает преимущественно на конец 90-х годов. В остальных районах время минимума осадков в вековом ходе неустойчиво.

Таким образом, фазы векового хода на территории Евразии довольно разнообразны, хотя упомянутые выше характерные десятилетия или близкие к ним встречаются среди экстремальных значений довольно часто.

Сходные в общем закономерности, однако с существенным сдвигом по территории, наблюдаются и в теплый период года.

В Исландии максимум осадков в теплый период наблюдается, как и в холодный, в 30-е годы, на Ян-Майене — в 50-е (или позднее).

На севере Скандинавии и на Кольском полуострове максимум осадков приходится на конец 10-х годов, следовательно, здесь похолодание в Арктике благоприятствует обильному увлажнению.

Южнее — в Скандинавии, Англии, Северной Франции, на южном побережье Балтийского моря, в Центральной полосе Европейской части СССР (до Урала) — максимум осадков приходится на 20-е годы, однако в большей части Финляндии, на юго-западе Швеции, в Голландии он отмечается в 30-е годы (как в более южной полосе), а на юге Норвегии и в Дании — в 50-е. То же время макси-

мум (50-е годы) обнаруживается на востоке Ирландии, на п-ове Бретань и на Азорских островах. На Азорских островах, в Ирландии, в большей части Скандинавии и на юге Финляндии на 10-е годы приходится уже минимум осадков, в Восточной же Европе в этой полосе время наступления минимума осадков неустойчиво.

В северной полосе СССР, к востоку от Белого моря и до Чукотки включительно, максимум осадков приходится на 60-е годы, что частично может быть связано и с изменением методики измерения осадков (апрель и октябрь на Крайнем Севере уже зимние месяцы, когда в осадкомер возможно надувание).

В эти же годы максимум осадков наблюдается в восточной части Якутии, на побережье Охотского моря, в Хабаровске и части Приморского края, что уже изменением методики наблюдений не объяснишь. Однако в северной части Приморья, на Сахалине, Курильских островах и на севере о. Хоккайдо максимум осадков приходится на 20-е годы. Время минимума осадков во всей рассмотренной зоне не вполне устойчиво.

За Уралом, в большей части Западной Сибири максимум осадков в вековом ходе с 20-х годов перемещается на 40-е. В Забайкалье этот максимум приходится на 30-е годы. К юго-востоку он распространяется до Пекина, но в Читинской области и восточной части Хабаровского края максимум осадков перемещается на 90-е годы. Примечательно, что как 90-е, так и 30-е, и 40-е годы являются годами малой ледовитости; следовательно, потепление Арктики благоприятно для осадков большей части Сибири. Минимум осадков в средней полосе Западной Европы (к северу от Альп) приходится на начало века, в бассейне Камы и средней полосе Западной Сибири — на 60-е годы. Таким образом, ход увлажнения в средней полосе и на севере оказывается до некоторой степени зеркальным. В более же южных районах минимум приходится на 30-е годы. Четкий минимум в 30-е годы отмечается в сравнительно узкой полосе, тянущейся от Могилева (Белоруссия) через все Полесье, Центральные черноземные области, Куйбышевскую и Оренбургскую области на Кустанай и Целиноград. Поскольку, несмотря на смещение по сезонам зон сухости, минимум осадков в указанной полосе и зимой, и летом приходится здесь на 30-е годы, то эти годы особенно резко сказались здесь, как на увлажненности, так и на режиме рек, отражая последствия малой ледовитости полярных морей.

На севере Испании максимум осадков приходится на 40-е годы, в южной же части Франции, в районе Альп, Карпат и Динарских гор, а также в Венгерской низменности максимум осадков падает на 30-е годы, и эта полоса оказывается в оппозиции к более восточным районам. Сравнительно большими остаются осадки в 30-е годы и во всей южной Европе, отражая субтропическую зону увеличения осадков при потеплении Арктики. Главный же максимум осадков приходится здесь на разные годы: в Лиссабоне и в Сицилии — на 90-е годы, в западной части Средиземноморья — на начало века, а восточнее — на 10-е годы; вторичный максимум отмеча-

ется в 30-е годы. Над востоком Европы область максимума осадков во второе десятилетие нашего века расширяется, захватывая частично Малую Азию и Сирию, юго-запад Средней Азии и Иран. Это область, увлажнению которой благоприятствует холод в Западной Арктике, районы же южной Италии и Балкан, где максимум осадков двойной, хорошо увлажняются как при аномально холодной, так и аномально теплой Арктике, получая меньше влаги как раз в промежуточных условиях.

Продолжение района с максимумом во второе десятилетие нашего века и минимумом в 30-х годах прослеживается на севере Индии, а также на всем восточном побережье Бенгальского залива, в южной части Индокитая, включая полуостров Малакка. Внутритропический индокитайский участок этой зоны характеризуется примерной синхронностью хода осадков в теплое и холодное время года. Создается впечатление, что и на севере Индии, и в Индокитае еще ощущаются последствия изменения термического режима Арктики, что раньше определялось лишь методами формальной корреляции [Дроздов и Гирская, 1971]. Указанный максимум увлажнения прослеживается и в Китае, в бассейне р. Янцзы. В Пакистане намечается зона компенсации с максимумом в 30-е годы. Аналогичный ход захватывает юг Индии и о. Шри Ланка (Цейлон), в остальной части Индии преобладает максимум осадков в 50-х годах и минимум — в 30-х (а на восточном побережье Аравийского моря — в начале века). Сходное время максимума обнаруживается на Андаманских островах, на севере Вьетнама, в большей части Японии и Кореи. Максимум осадков в 20-х годах прослеживается на юге Китая, на северном острове Филиппин — Лусон и на Сулавеси (на юге Филиппин в 40-е годы выпало осадков больше, чем в 20-е).

Подводя итоги сказанному выше, можно отметить, что по крайней мере по проявлению векового максимума увлажнения вековой ход обнаруживается на территории почти всего полушария. Гораздо более локальным оказывается время минимального увлажнения. Но все же на большей части территории Евразии удается установить и его.

Между тем правильный вековой ход, особенно определенный статистически надежно, обнаруживается на значительно меньшей территории и в общем тоже довольно локально в виде трех широтных полос. Например, в Западной Европе в холодный период вековой цикл выявляется более или менее надежно в виде трех широтных полос. Первая северная полоса включает Ян-Майен, восточную Исландию, среднюю часть Скандинавии и Финляндию. Вторая полоса надежного векового хода идет через Среднюю Европу, от Бреста через Париж на Франкфурт-на-Майне, Берлин, Варшаву, распространяясь на Чехословакию, Венгрию и Румынию. И, наконец, на юге проявляется третья полоса (иногда сплошная) — Понта-Дельгада, Мадрид, Ла-Валетта, Афины, в промежуточных же зонах и станциях вековой ход оказывается в пределах ошибок.

В теплый период картина получается еще менее четкая. Надеж-

ные связи получаются на севере Европы на Ян-Майене, на севере Норвегии (Гьесвер) и в Финляндии. По-прежнему обнаруживается полоса и в Средней Европе: Брест, Париж, Франкфурт-на-Майне, Прага, Вена, Белград и несколько южнее — Цюрих, Милан, Болонья, Сараево. Наконец, по самому югу надежно отмечается вековой ход в Понта-Дельгада, Лиссабоне, Афинах. В общем прослеживается почти та же система полос, что и в холодный период, и явно не охватывающая всех реальных проявлений векового хода.

При этом следует иметь в виду два обстоятельства: 1) корреляция в вековом ходе не сводится только к совпадению главных максимумов или главных минимумов, о которых упоминалось выше; и 2) параллелизм в вековых ходах может нарушаться, причем эти нарушения за период в 70 лет могут и не успеть реализоваться. Так, выявившиеся в начале 60-х годов нарушения параллелизма, обработанные к моменту написания статьи; уже заставили нас несколько ослабить некоторые оценки сходства вековых ходов, опубликованные в [5]. Параллельность хода осадков за холодный и теплый периоды, независимо от степени надежности формального определения векового хода, проявляется прежде всего для севера материка: в Исландии, на Ян-Майене, в Норвегии, Финляндии и в СССР — от Архангельска до Салехарда и Туруханска, а вероятно, и восточнее, но там мы не располагаем надежным материалом. Здесь можно ожидать большого векового колебания уровня озер, колебаний ледников и т. п.

Вторая полоса параллельности хода наблюдается в средних широтах. Она отражает частичные совпадения, одинаково влияющие на осадки циркуляционных зон холодной и теплой части года, вообще говоря, имеющих неодинаковое распространение. Эта зона проявляется во Франции, прерывается в Средней Европе и западных областях Европейской части СССР, становится вновь заметной в районе Воронежа и Пензы и более четко проявляется в ее восточных районах (Боровое), а также в северной части Казахстана и на юге Западной Сибири. Затем параллелизм опять теряется и проявляется только на востоке материка (с некоторым сдвигом по времени) в Николаевске-на-Амуре, в Поронайске и на севере о. Хоккайдо (Немуро). С этой полосой на Европейской части СССР связан не только вековой ход уровня Каспия, но и весьма заметный ход засушливости, так как сухость лет не компенсируется зимами.

В субтропической зоне аналогичная полоса проходит через Азорские острова, Балеарские острова, север Италии, Сардинию, Грецию и Западное Закавказье. В этой зоне также должен иметь место большой вековой ход засушливости. Эта зона прерывается в Восточном Закавказье и западной части Средней Азии и вновь проявляется в Ташкенте. За отсутствием материала ее трудно проследить в Центральной Азии, но на Дальнем Востоке она проявляется в Среднем Китае (Ханькоу, Шанхай), в Корее (Вонсан) и ряде пунктов Японии (Ниигата, Киото, Акита, Надзе).

Наконец, имеется еще одна разорванная полоса параллельности векового хода в течение года во внутритропической зоне. Она проявляется местами в Индии (Нагпур, Шиллонг), на о. Шри Ланка (Цейлон); следы параллельности показывает и средняя часть Филиппин (Манила, Ило-Ило).

Гораздо реже и весьма локально встречается противоположный (зеркальный) вековой ход осадков теплого и холодного периодов. Такая цепочка станций прослеживается в Средней Европе (там, где прерывается полоса параллельности хода осадков): Цюрих, Берлин, Копенгаген, Кошалин, а в пределах СССР — Калининград, Москва, Казань, Омск, на Дальнем Востоке — довольно четко Благовещенск, в Китае — Чунцин, в Японии — Саппоро. В указанных районах влияние векового хода осадков на ход природных явлений должно быть минимальным, кроме муссонных районов, где зимние осадки особой роли для увлажнения не играют. В субтропической зоне таких пунктов совсем мало: Гибралтар, в слабой форме в течение большей части периода Тбилиси; есть такие пункты и в Пакистане (Карачи, Кветта), в слабой форме — на севере Филиппин (Аппари). Судя по местоположению большинства приведенных пунктов, противоположность в годовом ходе осадков зимы и лета, помимо перекрытия компенсационных зон разных сезонов, обусловлена главным образом частичной орографической закрытостью, препятствующей или, наоборот, благоприятствующей образованию осадков при ветрах определенных румбов.

Таким образом, в целом почти на всем северном полушарии вековые ходы осадков в теплое и холодное время года или ясно выражены, либо при нечеткости этого хода все же проявляются в тенденциях группировок вековых максимумов. В связи с этим пространственные закономерности их распределения обнаруживаются даже там, где вековой ход в строгом смысле слова остается статистически неопределенным. При этом при всей сложности и разнообразии фаз этого явления существование компенсационных зон атмосферной циркуляции, начинающихся в арктических районах, в основном подтверждается. Неодинаковость дислокации этих зон в разные сезоны приводит к тому, что параллельность хода в эти сезоны наблюдается лишь в узких полосах, еще реже встречается зеркальность векового хода осадков зимой и летом, которая иногда связывается с орографическими условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л., Гидрометеиздат, 1971.
2. Дроздов О. А. О связи различных сторон колебаний климата. — Труды ГГО, 1958, вып. 84.
3. Дроздов О. А. Об изменении осадков северного полушария при изменении температур полярного бассейна. — Труды ГГО, 1966, вып. 198.
4. Дроздов О. А., Гирская Э. И. К вопросу о связи температуры арктического бассейна с осадками умеренных и тропических широт. — Труды ГГО, 1970, вып. 258.
5. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР, Л., Гидрометеиздат, 1971.

6. Кондратьев К. Я., Никольский Г. А. Вариации солнечной постоянной по аэростатным исследованиям 1962—1968 гг.—Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1970, т. VI, № 3.

7. Логинов В. Ф., Сазонов Б. И. Солнечная постоянная и климат Земли.—Изв. ВГО, 1971, т. 103, вып. 3.

8. Слуцкий Е. Е. Избранные труды. Теория вероятностей, математическая статистика. М., Изд. АН СССР, 1960.

9. Lamb H. H. Climates and circulation regimes developed over the northern hemisphere during and since the last ice age. Lecture: Leningrad, 1970. Symposium on dynamical climatology. Ротапринт ГГО, 1970.

О ПЕРИОДИЧНОСТИ ОСАДКОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР

В последнее время заметно повысился интерес к изучению природных ритмов, в частности циклических колебаний атмосферных осадков. Наиболее обстоятельно рассмотрен этот вопрос в монографии О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [5]. Авторами выявлен ряд долгопериодных циклов осадков, характерных для определенных районов СССР.

В связи с этим представляло интерес подвергнуть обработке имеющийся в нашем распоряжении материал за 1900—1941 гг. по площадным характеристикам осадков на Европейской территории СССР. В свое время этот материал был использован для режимных и прогностических разработок, в частности для исследования связи осадков с атмосферной циркуляцией [1]. В указанных разработках аномалии осадков, выраженные в процентах нормы по каждой станции в отдельности, осреднялись затем по 11 крупным районам ЕТС. По каждому району использовались наблюдения примерно 20 станций. Осредненные аномалии осадков были разбиты на три градации: норма — от 70 до 130%, дефицит — менее 70% и избыток — более 130%. Исследованы осадки января и июля.

В первую очередь сопоставлены были (отдельно для января и для июля) характеристики осадков на ЕТС с точки зрения аналогичности распределения аномалий в разные годы. Индексом аналогичности каждой пары сопоставляемых месяцев служило число районов с совпадающей градацией аномалии осадков. Этот индекс может принимать значения от 0 до 11. Очень низкие и очень высокие значения индекса встречаются редко. В январе, например, индексы 0—3 и 7—11 в совокупности дали только 21,5%, а 78,5% случаев пришлось на средние величины — от 4 до 6. Среднее значение индекса аналогичности из всех 820 сопоставлений составило 4,7, т. е. в среднем менее 5 районов из 11 характеризовались однотипной аномалией. Для июля средний индекс аналогичности оказался несколько меньшим, т. е. 4,3.

Далее поставлена была задача проследить, как изменяется индекс аналогичности в зависимости от интервала времени, разделяющего сравниваемые месяцы. Были подсчитаны средние значения

индекса для всех временных интервалов — от 1 до 31 года. Ограничение числом 31 обусловлено тем, что число случаев для каждого интервала (периода) убывало с удлинением периода. Для подсчета среднего индекса у периода в 1 год, располагая рядом в 41 год, мы имели 40 случаев, а для периода в 31 год — всего 10 случаев. Подсчет средней величины индекса аналогичности для меньшего числа пар мы не считали надежным.

Таблица 1

Аналогичность распределения аномалий осадков на Европейской территории СССР через различные интервалы времени (в годах)

Период (годы)	Январь		Июль		Период (годы)	Январь		Июль	
	средний индекс аналогичности	% высоких индексов	средний индекс аналогичности	% высоких индексов		средний индекс аналогичности	% высоких индексов	средний индекс аналогичности	% высоких индексов
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	4,8	15	4,3	5	17	4,1	17	4,0	
2	4,4	13	4,1	5	18	4,8	22	4,3	4
3	5,3	34	4,2	13	19	4,5	14	4,7	9
4	4,7	22	4,6	8	20	4,7	10	4,3	5
5	4,5	11	4,6	11	21	4,7	15	4,2	10
6	5,1	23	4,1	11	22	4,8	61	4,2	16
7	4,8	15	4,4	12	23	4,7	17	3,7	11
8	4,3	9	4,6	12	24	5,4	24	4,6	18
9	4,6	16	4,1	6	25	4,6	25	4,6	19
10	4,7	19	4,1	10	26	5,1	20	4,0	20
11	4,4	10	4,0	10	27	4,9	21	4,2	14
12	4,4	17	4,1	14	28	4,5	15	4,4	3
13	4,3	11	4,8	18	29	6,1	50	4,2	8
14	4,6	30	4,5	19	30	4,8	18	4,0	9
15	5,1	19	4,5	15	31	4,4	20	3,4	10
16	4,6	16	4,5	8	Среднее	4,7	18,8	4,3	10,6

В табл. 1 представлены значения индекса для всех периодов — от 1 до 31 года. Из столбца 2 следует, что наибольшую степень аналогичности распределения аномалий осадков в январе дает период 29 лет, далее следуют периоды 24, 3 года, а также 6, 15 и 26 лет. Был использован еще один показатель, приведенный в столбце 3, — повторяемость (в %) высоких индексов аналогичности — от 7 до 11. По этому признаку снова вышел на первое место период в 29 лет, затем — 3, 14, 25 и 6 лет.

Для окончательного установления наиболее выделяющихся в январе периодов аналогичного распределения осадков были отобраны такие периоды, для которых оба показателя аналогичности превышали среднее значение (в столбце 2 брались величины 4,8 и более, в столбце 3 — 19% и выше). Такими периодами оказались: 3, 6, 15, 18, 24, 26, 27 и 29 лет.

Аналогично январским были обработаны аномалии июля. В столбце 4 табл. 1 приведены средние значения индекса аналогичности для периодов от 1 до 31 года, а в столбце 5 — процент высоких индексов (от 7 и выше).

Учитывая среднее значение индекса, равное 4,3, и средний процент повторяемости высоких индексов (для июля он равен 10,6), были выделены периоды, у которых показатели аналогичности по обоим столбцам превышают средние. Такими периодами оказались: 5, 7, 8, 13, 14, 15, 24 и 25 лет. По сравнению с январем выявились некоторые различия. Выпал 3-летний период, хотя он выделяется по данным столбца 5. Вместо одного 6-летнего периода выявились три, близкие к нему: 5, 7 и 8 лет. Наряду с 15-летним в июле фигурируют еще два близких периода: 13 и 14 лет. Как и в январе, выделился период в 24 года, а также соседний с ним период 25 лет. 29-летний период, самый четкий в январе, в июле не проявляется. Не проявляется должным образом и 18-летний период, но по данным столбца 5 он и соседний 19-летний заметны.

Полученные периоды довольно хорошо согласуются с наиболее значимыми циклами колебаний осадков, установленными Дроздовым и Григорьевой. Как указывают эти авторы [5], 2-летний цикл — один из наиболее часто встречающихся, но имеет небольшую амплитуду, 3-летние циклы имеют амплитуду в 1,5 раза большую, но уступают 2-летним по частоте. Авторы отмечают, что 2—3-летний цикл хорошо проявляется почти во всех циркуляционных характеристиках. По частоте он занимает первое место, но по амплитудам только шестое.

Дроздов и Григорьева склонны объединять циклы в 2 и 3 года и большей частью говорят об одном 2—3-летнем цикле. Такое объединение требует дополнительных обоснований. Пока еще нельзя говорить об общей природе этих циклов. Как показывают многочисленные работы, посвященные квазидвухлетней цикличности, средняя длительность этого цикла составляет 2,2 года. Из нашей табл. 1 следует, что цикл ровно 2 года в осадках на ЕТС (при принятом методе обработки) не проявляется, но 3-летний имеется. Повидимому, мы имеем дело с двумя циклами. Интересно отметить, что Е. В. Воробьева [3], исследуя цикличность интенсивности зональной циркуляции на уровне 500 мб в американском секторе, выделила два цикла: около 3 и около 2 лет. Продолжительность этих циклов переменная. В январе наиболее частое значение первого цикла равно 3,4 года, а второго 2,2 года, в июле соответственно 3,6—3,7 и 2,3 года. В другой работе, посвященной цикличности геомагнитных возмущений, Е. В. Воробьева [4] также выявила не один, а два цикла в интервале 2—3 лет: 3,66 и 2,34 года в среднем.

Наиболее частые значения этих циклов в январе 3,1—3,2 и 2,2, в июле 3,3—3,8 и 2,2—2,3.

Говоря о 2-летнем цикле, мы должны подчеркнуть еще раз, что отсутствие его в ряду периодов, выделенных из табл. 1, отнюдь не свидетельствует о его нереальности. По-видимому, сказались специфика обработки материала и то, что исследовался период ровно 2 года. Многочисленные исследования на самых различных материалах, в том числе и по осадкам, убедительно доказывают реальность квазидвухлетнего цикла. Существуют разные гипотезы о природе этого цикла. Автором настоящей статьи предложена гипотеза о лунно-солнечном происхождении цикла в 2,2 года [2], чисто лунная гипотеза выдвинута Брайером [11].

3-летний цикл, хорошо выделяющийся по январским данным табл. 1, нередко фигурирует в литературе, относящейся к разным явлениям. Виссер нашел 3-летнюю цикличность в колебаниях атмосферного давления. В результате периодограммы-анализа, выполненного И. В. Максимовым, Н. П. Смировым, В. Н. Воробьевым [8] этот цикл обнаружен в многолетних колебаниях ледовитости морей Советской Арктики и среднегодовых значений индекса циркуляции атмосферы Г. Я. Вангенгейма и А. А. Гирса в атлантической и тихоокеанской частях Земли. О работах Е. В. Воробьевой упоминалось выше. В отношении природы 3-летнего цикла еще в начале 20-х годов шведский ученый Петерсон высказывал предположение, что он лунного происхождения. По мнению Н. П. Смирнова [8], этот цикл создается малыми вариационными изменениями скорости вращения Земли.

О цикле осадков 6—7 лет в [5] говорится, что он по количеству действия перекрывает все более короткие из-за большой амплитуды. Этот цикл, возможно, связан с семилетним нутационным ритмом, проявляющимся и в атмосфере, и в гидросфере Земли [6, 8]. С другой стороны, по Н. П. Смирнову [10], 6-летняя цикличность отчетливо выявляется при периодограмме-анализе среднемесячных чисел Вольфа. Таким образом, можно предполагать, что помимо нутационного ритма в происхождении 6—7-летней цикличности осадков играет роль и 6-летняя составляющая колебаний солнечной активности.

Следующим циклом, на котором необходимо остановиться, является 11-летний. По данным табл. 1 этот популярный солнечный цикл, как и соседние 10- и 12-летние, не выделяется. У Дроздова и Григорьевой 11-летний цикл осадков фигурирует, но не на всей ЕТС, а главным образом на северо-западе и отчасти на юге.

Нами было проверено наличие 11-летнего цикла по площадным характеристикам осадков одного северо-западного района ЕТС, и, как оказалось, он вполне реален. Подтверждается вывод О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой о том, что реакция осадков на 11-летний солнечный цикл имеет место в ограниченных районах. Добавим, что в большинстве связей, установленных разными исследователями, осадки в 11-летнем цикле имеют, как правило, не одну, а две (иногда и три) волны.

Период около 15 лет выделяется хорошо и в январе, и в июле. По Дроздову и Григорьевой, «цикл длительностью 14—15 лет выделяется как в осадках, так и в циркуляционных характеристиках. По плотности вероятности в осадках он перекрывает все ранее отмеченные циклы и стоит на втором месте для всего интервала частот, а по действию на первом». Как видим, наши данные хорошо согласуются с [5]. В июле, наряду с 15-летним, фигурируют 14- и 13-летние периоды. В январе 14-летний период нами не выделен, так как средний индекс аналогичности немного ниже 4,7, однако по второму показателю — проценту высоких индексов — этот период резко выделяется среди остальных и уступает лишь 29- и 3-летнему.

О природе 15-летнего цикла можно высказать те же соображения, что и в отношении 6—7-летнего. По [5], возможно влияние как нутационных, так и солнечных факторов — тина, указанного Б. М. Рубашевым. Имеются в виду выводы Б. М. Рубашева [9] о том, что возможны комбинации двух и более солнечных циклов разной длительности. Необходимо к этому добавить, что результаты периодограммы-анализа чисел Вольфа, о котором уже упоминалось в связи с 6-летним циклом, выявили вполне отчетливые 15-летние колебания солнечной активности [8, 10].

Следующий период с показателями выше средних — 18-летний, но он выделяется лишь в январе, в июле же средний индекс равен норме, а процент высоких индексов очень низок. Циклы 18—19 лет фигурируют и в монографии [5], но выделяются лишь в ограниченных районах Азиатской части СССР, на ЕТС же имеют место обертоны этого цикла (8—9 лет, 4—5 лет). Цикл 18—19 лет объясняется деклинационным лунным приливом [5, 7, 8].

Далее в табл. 1 выделяются периоды 24—25 лет. В январе к ним примыкают еще 26- и 27-летние. Циклы 24—25 лет отмечаются в числе частых и в монографии [5] как по осадкам, так и по циркуляционным характеристикам.

Высказывается предположение о солнечной природе этого цикла, близкого к известному хэловскому циклу 22—23 года. Смущает то обстоятельство, что в осадках проявляются более длинные циклы, чем солнечные. Такой же сдвиг обнаруживают и некоторые циркуляционные характеристики. Пока трудно дать объяснение этому факту. Возможно, что сказывается наложение других факторов.

Последний из периодов, выявляющихся в табл. 1, — 29-летний. По обоим показателям этот период в январе значительно превосходит все остальные. В данных Дроздова и Григорьевой такой цикл не обнаруживается. Из большого количества станций, использованных этими авторами, только несколько имеют циклы, близкие к 30 годам, но они определены с малой надежностью. В своих выводах авторы не упоминают данный цикл в числе значимых. Это единственное расхождение наших результатов с монографией [5]. Причины такого расхождения неясны.

29-летний цикл, подобно циклам 6, 11, 15, 84 года, входит в число колебаний, выявленных Н. П. Смирновым методом периоди-

граммы-анализа в колебаниях солнечной деятельности, однако этот период характеризуется весьма низким показателем вероятности и его нельзя, по мнению И. В. Максимова и Н. П. Смирнова, считать реальным [8]. Вместе с тем, как указывается в той же монографии [8], в период с 1906 по 1962 г. 18 авторов указали на существование 30-летнего или близкого к тому ритма в природе. Наши данные также свидетельствуют о наличии такого ритма в осадках. Не следует поэтому исключать и 29-летний цикл из программы дальнейших исследований ритмической деятельности.

Упомянув о серии циклов, выявленных с помощью периодограммы-анализа в колебаниях солнечной активности, нельзя не коснуться интерпретации этих циклов, выдвинутой И. В. Максимовым и Н. П. Смирновым. В монографии [8] этому вопросу посвящен специальный параграф (15). В нем весьма аргументированно защищается гипотеза о приливном происхождении многолетних возмущений солнечной деятельности, выдвинутая еще в 1900 г. Эрнестом Броуном. Приводится длинный список исследователей, которые на протяжении ряда лет (1911—1966 гг.) высказывались в пользу «приливной гипотезы». В 60-х годах к ним присоединились И. В. Максимов и Н. П. Смирнов. В [8] справедливо отмечается, что противниками гипотезы Броуна она отвергалась без добросовестного изучения. Серьезный подход к вопросу со стороны Максимова и Смирнова, полученные ими результаты и их интерпретация делают приливную гипотезу вполне приемлемой. Интересно, что эта гипотеза способна объяснить именно те периоды в колебаниях осадков, которые обнаружались в табл. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вительс Л. А. Атлас месячных аномалий температуры и осадков на Европейской территории СССР при различных условиях циркуляции. Л., Гидрометеоздат, 1957.
2. Вительс Л. А. О космической природе двухлетней цикличности.— Солнечные данные, 1965, № 2.
3. Воробьева Е. В. Циклические изменения интенсивности зональной циркуляции в средней тропосфере и их временные вариации.— Труды ГГО, 1967, вып. 211.
4. Воробьева Е. В. Цикличность геомагнитной возмущенности и ее временные вариации.— Труды ГГО, 1968, вып. 227.
5. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1971.
6. Максимов И. В. О «полюсном приливе» в море и атмосфере Земли.— ДАН, 1952, т. 86, № 4.
7. Максимов И. В. О многолетних приливных явлениях в море и в атмосфере Земли.— Труды ИОАН СССР, 1954, т. VIII.
8. Максимов И. В. Геофизические силы и воды океана. Л., Гидрометеоздат, 1970.
9. Рубашев Б. М. Проблемы солнечной активности. М.—Л., «Наука», 1964.
10. Смирнов Н. П. Долгопериодные ритмические явления в деятельности Гольфстрима. Изв. ВГО, 1965, № 5.
11. Frieg G. W. Evidence for a longer period tidal oscillation in the tropical atmosphere. Quart. J. Roy. Met. Soc., vol. 92, N. 392, 1966.

Л. А. КУДРЯВЦЕВА

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ 20—24-ЛЕТНЕГО ЦИКЛА В ХОДЕ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И ОСАДКОВ

Изучение причин возникновения цикличности в ходе осадков направлено на решение важной задачи — составление фонового сверхдолгосрочного прогноза.

Обширные работы по выявлению цикличности автокорреляцией с использованием дополнительного метода анализа структуры метеорологических рядов, разработанного О. А. Дроздовым [8], проведены в Главной геофизической обсерватории. Было показано, что цикл 20—24 года в ходе атмосферных осадков выявляется четко, с большими амплитудами и занимает определенные географические районы территории Советского Союза. Однако аналогичного четко выраженного цикла в ходе характеристик атмосферной циркуляции не обнаружено. Отсюда возникает вопрос — насколько цикл 20—24 года определяет собою общий фон осадков и какими характеристиками атмосферной циркуляции он обусловлен.

Анализ цикличности проводился нами по ходу кривых, сглаженных осреднением по 3 года. Такое сглаживание наиболее целесообразно для выявления циклов 20—24 года [4]. По сравнению с 3-летним скользящим осреднением оно позволяет более отчетливо проследить максимумы, минимумы и границы изучаемой цикличности.

Цикличность в ходе осадков характеризуется длительными отрицательными аномалиями и более короткими, но резко выраженными всплесками положительных аномалий. По серединам отрицательных аномалий более точно определяется средняя длительность цикла. Длительность циклов, определяемая по максимумам кривой хода осадков, отличается большей негационарностью. Но для исследования генезиса цикличности и изменения стационарности циклов, для использования обнаруженной цикличности в целях сверхдолгосрочных прогнозов более целесообразно определять длительность циклов именно по максимумам кривой хода осадков. Длину циклов в ходе характеристик атмосферной циркуляции мы также определяли по максимальным значениям кривой.

Были построены кривые хода осадков для теплого (с апреля по октябрь) и холодного (с ноября по март) сезонов по данным 59 станций. Анализ показал, что цикличность 20—24 года действительно проявляется в ходе осадков, и настолько четко, что может быть использована для сверхдолгосрочного прогноза осадков. За границами района ее проявления либо наблюдается картина распада изучаемого цикла на половины или четверти, либо образуется цикличность, равная двойному 20—24-летнему.

Несомненно, что столь четко выраженная цикличность в ходе атмосферных осадков вызвана какими-то процессами атмосферной циркуляции. Имеется довольно много работ, в которых выявлены циклы 20—24 года в ходе характеристик атмосферной циркуляции [3, 8, 9, 10, 11].

Нами строились кривые повторяемости характеристик атмосферной циркуляции для теплого, холодного периодов и за год. Полученные результаты мы сравнивали с уже имеющимися выводами других авторов.

Для типов циркуляции по Г. Я. Вангенгейму построены кривые числа дней с типами циркуляции W, E, C и кривые хода всех видов преобразований этих форм.

В ходе числа дней с западным (W) и меридиональным (C) типами циркуляции циклов 20—24 года не обнаруживается. Здесь хорошо выражен вековой ход. А в ходе числа дней с восточным (E) типом циркуляции за теплый период видна цикличность длиннее исследуемой, 24—26 лет. Последнее было отмечено и автокорреляцией [8]. Кривые хода числа дней с типом E за теплый период и в среднем за год почти идентичны, т. е. средняя годовая картина повторяемости типа E определяется процессами теплого периода. Л. А. Вительсом [3] для числа дней с типом E за год отмечен цикл 28—29 лет. По-видимому, это справедливо с той точки зрения, что наблюдаемый цикл со средним периодом 24—26 лет неустойчив и колеблется в пределах от 23 до 29 лет. В работе В. Ф. Логинова [10] методом Шустера для числа дней с типами циркуляции W, E и C за год выявлен цикл около 21 года.

Мы приблизительно оценили амплитуды циклов от 20 до 25 лет для типов W и C и циклов от 20 до 29 лет для типа E, воспользовавшись методом Шустера в упрощенном варианте, который изложен у О. А. Дроздова [6]. Период для исследования взят тот же, что и у В. Ф. Логинова. На построенных нами периодограммах числа дней с типами W и C амплитуды периодов 20—25 лет оказались малыми. Как нам кажется, здесь метод Шустера работает плохо из-за наличия большого векового хода. Для типа E наибольшую амплитуду дает период около 25 лет. Одновременно амплитуды периодов 20—21 год очень малы. Таким образом, анализ периодограмм показал, что четко выраженного цикла с периодом около 21 года в ходе числа дней с типами циркуляции W и C за год нет. В ходе числа дней с типом E за год существует цикличность с периодом более длинным, 24—26 лет.

Цикл 24 года, обнаруженный для числа преобразований типов:

циркуляции $W \rightarrow C$, $C \rightarrow W$, $W \rightarrow E$ и $E \rightarrow W$ за теплый период [8], хорошо виден по ходу кривых. Довольно четко этот цикл прослеживается трижды. Но после 50-х годов в кривых хода преобразований типов $W \rightarrow E$ и $E \rightarrow W$ наблюдается как бы распад указанного цикла на два, а в кривых числа преобразований типов $W \rightarrow C$ и $C \rightarrow W$ разрушается совсем. За холодный период в преобразованиях типов $W \rightarrow E$ и $E \rightarrow W$ отмечены следы 20-летнего цикла [8]. По ходу кривых видны вспышки увеличения числа преобразований с периодом около 21 года на фоне более длинного цикла. Ни в одном из шести возможных видов преобразований типов циркуляции за год цикла 20—24 года нет. Здесь видны циклы более длинные. Аналогичные выводы получены Л. А. Вительсом [3].

Нашими исследованиями подтверждается факт, отмеченный Л. А. Вительсом [3], что взаимные переходы одной формы циркуляции в другую попарно группируются. Сходство кривых в парах настолько велико, что суммарные кривые попарных преобразований еще более четко выражают закономерности, присущие отдельным видам преобразований, входящим в пару.

Кривая хода преобразований с участием типа W за теплый период аналогична кривой суммы попарных преобразований типов $W \rightarrow E$, $E \rightarrow W$. Эти процессы определяют собою цикличность в характеристике неустойчивости западного потока в теплый период. За холодный период сумма преобразований с участием типа W неожиданно обнаружила четко выраженный цикл 20—21 год. Указанную цикличность обусловили вспышки увеличения числа преобразований $E \rightarrow W$, $W \rightarrow E$ на фоне более длинного цикла, а максимум в 1895 г. обусловлен увеличением числа преобразований $W \rightarrow C$, $C \rightarrow W$. В ходе числа преобразований с участием типа W за год виден цикл 18 лет, т. е. в годовом выводе сезонные особенности цикличности в ходе неустойчивости западной формы циркуляции размыты. Этот цикл короче, чем найденный Л. А. Вительсом, 23 года [3], но осреднение по 3 года дает возможность определить длину цикла более точно, чем 10-летнее скользящее осреднение.

По ходу кривых суммарного числа всех преобразований типов циркуляции по Г. Я. Вангенгейму цикличности с периодом 20—24 года нет.

Типы циркуляции по Б. Л. Дзерdzeевскому мы исследовали только для европейского и сибирского секторов северного полушария. В сибирском секторе за холодный период для числа дней с типом «меридиональный северный» О. А. Дроздовым [8] обнаружен цикл 23—24 года. По ходу кривой хорошо виден цикл 20—21 год. В европейском секторе цикличности 20—24 года не обнаружено. Для типа «меридиональный южный» за теплый период отмечены следы 20-летнего цикла [8]. По кривой этот цикл не проявляется совсем. Цикл 20—22 года для типов «меридиональный южный» и «меридиональный северный» для апреля найден Л. Г. Полозовой [11]. На кривых наблюдаются циклы со значительными амплитудами, но с периодом несколько короче, около 19 лет.

В ходе числа дней с типами циркуляции Б. Л. Дзердзеевского за год ни в сибирском, ни в европейском секторах хорошо выраженного цикла 20—24 года нами не обнаружено. Аналогичный вывод получил И. П. Дружинин [9] из анализа корреляционных функций, так как пики для периодов 20—24 года оказались малыми. Цикл 21 год для типа «зональный» в европейском секторе выявлен В. Ф. Логиновым [10] методом Шустера. Мы оценили приблизительно [6] амплитуды периодов от 19 до 25 лет. На периодограмме амплитуды указанных периодов вообще невелики, а период 21 год имеет наименьшую амплитуду из рассмотренных.

Из всех групп циркуляции по более детальной типизации Б. Л. Дзердзеевского для европейского и сибирского секторов северного полушария цикличность около 22 лет обнаружена только для группы циркуляции «долготная северная» в сибирском секторе за холодный период. По фазе и по длине цикла она близка к цикличности числа дней с типом циркуляции «меридиональный северный» первоначальной, более общей типизации автора для сибирского сектора за тот же холодный период. Этот факт говорит за то, что в данном случае новая детальная типизация сопоставима с первоначальной. Но это правило не всегда соблюдается столь четко.

Цикличность в ходе числа дней с циклонической циркуляцией по Л. А. Вителюсу в 3, 4, 6, 7 и 8-м барико-циркуляционных районах исследована О. А. Дроздовым [8]. Цикл 20—21 год обнаружен в ходе числа дней с циклонической циркуляцией в 6-м барико-циркуляционном районе. Четко виден этот цикл и по кривой. В 7-м барико-циркуляционном районе цикличность очень неустойчива, периоды циклов колеблются от 21 до 27 лет, на фоне более длинного цикла — около 60 лет. Это обнаруживается как по ходу кривой, так и автокорреляционной функцией. В теплый период цикличность с периодом, близким к исследуемому (19—20 лет), отмечена для 7-го барико-циркуляционного района. По кривой хорошо прослеживается цикл 18—19 лет, т. е. короче изучаемого нами. В других районах цикличность с периодом 20—24 года по кривым не обнаружена.

Для наших исследований интересен вопрос о возможном проявлении 20—24-летней цикличности в ходе характеристик интенсивности атмосферной циркуляции. Анализ двух характеристик интенсивности зонального переноса [8] наличия такой цикличности не показал.

Нами в качестве интенсивности циклонической циркуляции взято число дней с глубокими циклонами (с индексом n_9) по Л. А. Вителюсу [2] для 3, 4, 6, 7 и 8-го барико-циркуляционных районов. Ни в теплый, ни в холодный периоды в ходе числа дней с глубокими циклонами цикл 20—24 года не был обнаружен. Иными словами, там, где в ходе числа дней с циклонической циркуляцией такая цикличность проявляется, максимумы ее увеличением числа дней с глубокими циклонами не обусловлены.

Для возможного объяснения генезиса мы сравнивали 20—24-

летнюю цикличность в ходе осадков с аналогичной цикличностью в ходе характеристик атмосферной циркуляции. При сравнении кривых мы придерживались правила: 20—24-летний цикл в ходе осадков можно считать генетически обусловленным аналогичным циклом в ходе характеристик атмосферной циркуляции, если между повторяемостью экстремумов сравниваемых циклов существует определенная закономерность от цикла к циклу.

За теплый период в ходе осадков центральных районов ЕТС и в Прибалтике хорошо проявляется цикличность с периодом около 24 лет. Аналогичная цикличность обнаруживается в ходе числа преобразований с участием западного типа циркуляции за тот же теплый период. Но полной синхронности в этих колебаниях нет. Цикличности с периодом около 21 года, которая проявляется в осадках теплого периода западных районов Казахстана и в центральных районах Западной Сибири, в характеристиках атмосферной циркуляции не обнаруживается вообще. За холодный период в ходе осадков отмечается 22-летний цикл в центральных районах и на юго-востоке ЕТС. В ходе числа дней с циклонической циркуляцией в 6-м барико-циркуляционном районе и в числе преобразований с участием типа W наблюдается цикличность со средним периодом около 21 года. Но и здесь закономерной связи между цикличностью осадков и атмосферной циркуляцией нет.

Появление цикличности с периодом 20—24 года в ходе характеристик атмосферной циркуляции часто связывается с влиянием солнечной активности. Однако при розысках солнечно-земных связей мы перебираем огромный материал, пока искомая связь не обнаружится. Поэтому здесь возникает опасность принять случайные совпадения циклов за реальные солнечно-тропосферные связи [12]. И особенно велика опасность подобной ошибки для характеристик атмосферной циркуляции, так как ряды последних достигают лишь 80 лет.

Статистически установить реальность гелиообусловленности 20—24-летних циклов характеристик атмосферной циркуляции пока нельзя, так как мы имеем всего лишь неполных четыре цикла. Применение статистического эксперимента в той форме, которую предлагает Е. Е. Слуцкий [12], осложнено знакопеременностью солнечно-земных связей. Более чувствительный критерий предложен О. А. Дроздовым [7], но и для его применения трех-четыре цикла недостаточно. Таким образом, о солнечной обусловленности циклов с периодом 20—24 года в ходе характеристик атмосферной циркуляции можно говорить лишь предположительно.

При использовании метода «наложения эпох» для выявления гелиообусловленных колебаний в ходе повторяемостей характеристик атмосферной циркуляции в связи с 22-летним солнечным циклом возникает опасность получить ложные закономерности при построении средней циклической кривой в случае неучета хорошо выраженного векового хода. Такое явление мы наблюдали, когда сравнили средние циклические кривые числа дней с типами W, E и C для четного и нечетного 11-летних циклов, построенные нами

по данным табл. 4 из работы М. Ш. Болотинской [1], с ходом наших кривых. Средние циклические кривые не выразили основных закономерностей перехода от одного 22-летнего цикла к другому, так как главные максимумы на средних циклических кривых отражали распределение их в цикле на высоком вековом уровне, а минимумы появились за счет глубоких минимумов на общем низком вековом уровне.

Для выявления возможной связи характеристик атмосферной циркуляции с солнечной активностью мы считаем более целесообразным метод непосредственного сопоставления. Если 22-летний цикл в ходе повторностей характеристик атмосферной циркуляции возникает как вынужденные колебания, вызываемые влиянием двойного солнечного цикла, он должен быть четко фазирован относительно последнего. В этом случае, учитывая, что процессы на Солнце и процессы общей циркуляции атмосферы носят циклический характер с относительно переменными периодами колебания, и если эти процессы действительно случайны, то нет никаких оснований максимумам и минимумам одной кривой от цикла к циклу находиться против соответствующих точек другой кривой. Если же экстремумы кривой характеристик атмосферной циркуляции повторяются от цикла к циклу регулярно против определенных точек кривой, характеризующей солнечную активность, а в случае нарушения этого закона фаза зависимостей резко меняется на противоположную, это будет доводом в пользу реальности солнечного генезиса исследуемого цикла. Может существовать и другой вид связи, когда солнечная активность как бы «раскачивает» собственные колебания, присущие ходу изучаемого элемента с периодом, близким к солнечному. В этом случае разница фаз от цикла к циклу постепенно нарастает и в какой-то момент, достигая $\frac{1}{4}$ цикла, на некоторое время связь исчезает, но резкой смены фаз на противоположную мы здесь уже не наблюдаем.

Кривые тех характеристик атмосферной циркуляции, в ходе которых четко виден 20—24-летний цикл, мы сравнивали с ходом среднегодовых значений чисел Вольфа. При этом период четный 11-летний цикл плюс нечетный 11-летний цикл, согласно А. И. Олю [5], считался нами за временной период 22-летнего солнечного цикла. Попытка применить в качестве характеристики солнечной активности кривые хода планетарного геомагнитного индекса K_p по сезонам и в среднем за год ничего принципиально нового не дала. Эти кривые приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, первый максимум числа попарных преобразований $W \rightarrow C$, $C \rightarrow W$ за теплый период совпадает с фазой максимума 13-го цикла на кривой чисел Вольфа. В 15-м цикле максимум совпадает с фазой ветви падения, а в последующем наблюдается уже на фазе роста четного 18-го цикла. Далее цикл как бы размывается совсем. Нет ясной фазировки и минимумов числа преобразований. В этом случае, как нам кажется, мы имеем картину влияния солнечного 22-летнего цикла на собственные колебания, при-

сущие процессам преобразования типов $W \rightarrow C$, $C \rightarrow W$ за теплый период.

Максимумы числа попарных преобразований $W \rightarrow E$, $E \rightarrow W$ за теплый период дважды совпадают с фазой восходящей ветви чет-

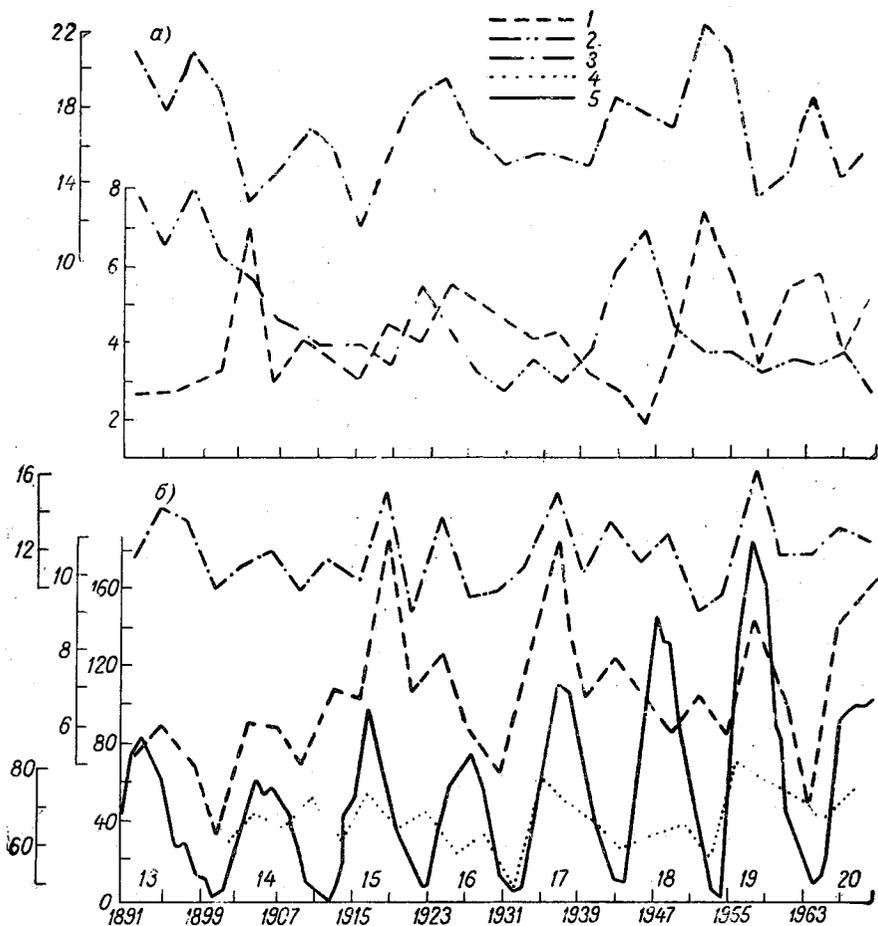


Рис. 1. Повторяемость характеристик атмосферной циркуляции (средненных по 3 года) и числа Вольфа.

a — теплый период; *б* — холодный период; 1 — число попарных преобразований $W \rightarrow E$ и $E \rightarrow W$; 2 — число попарных преобразований $W \rightarrow C$ и $C \rightarrow W$; 3 — число преобразований с участием формы W ; 4 — число дней с циклонической циркуляцией в шестом барико-циркуляционном районе; 5 — числа Вольфа.

ных 14 и 16-го циклов. Однако на восходящей ветви 18-го цикла мы наблюдаем минимум числа преобразований. Картина здесь лишь напоминает смену знака связи, так как дальше максимум числа преобразований мы наблюдаем на фазе нисходящей ветви 18-го цикла и на фазе минимума 19-го цикла. А на соответствующ-

щих фазах четных 14 и 16-го и нечетных 13, 15 и 17-го циклов резко выраженной фазы минимума числа преобразований не отмечалось. После 18-го цикла наблюдается распад 24-летнего цикла на два. По данному характеру связи мы более склонны считать этот цикл по происхождению не солнечным.

При сравнении кривой числа преобразований с участием формы W за теплый период с кривой чисел Вольфа мы видим постепенное расхождение фазы максимального числа преобразований с фазами солнечного цикла. Первый максимум наблюдается на нисходящей ветви 13-го цикла, второй — уже на восходящей ветви четного 16-го цикла, а третий — на нисходящей ветви четного 18-го цикла. Четкой картины смены знака связи не наблюдается. То есть говорить о том, что неустойчивость западной формы циркуляции за теплый период обусловлена влиянием только солнечной активности, не приходится. Это влияние, возможно, выражается лишь в воздействии на собственные колебания этого процесса.

В ходе числа попарных преобразований $W \rightarrow E, E \rightarrow W$ за холодный период максимум числа преобразований отмечается на нисходящей ветви 15-го цикла, затем дважды на фазе максимума нечетных 17 и 19-го циклов. В 13-м цикле картина напоминает смену знака связи — на фазе нисходящей ветви резкий минимум числа преобразований. Минимумы числа преобразований фазированы по отношению к солнечному циклу менее четко, хотя наблюдается тенденция к относительному уменьшению числа преобразований на фазах максимума и нисходящей ветви в четных циклах. Если говорить о солнечном генезисе данного цикла, то необходимы дополнительные исследования для объяснения некоторой неустойчивости связи. Кроме того, возражения здесь вызывают начавшиеся преобразования на фоне 20-го солнечного цикла, которые пока не могут быть объяснены с точки зрения влияния солнечной активности.

Более интересными оказались результаты сравнения числа преобразований с участием типа W за холодный период. Здесь максимальное число преобразований дважды наблюдается на нисходящей ветви нечетных 13 и 15-го циклов, а затем дважды на фазе максимума в 17 и 19-м циклах. Минимумы числа преобразований совпадают с нисходящей ветвью четных циклов. В данном случае, как нам кажется, можно ставить вопрос о солнечном происхождении указанного цикла.

Закономерной связи между циклами 20—21 год в ходе числа дней с типом «меридиональный северный» и группой циркуляции «долготная северная» с фазами солнечного цикла не отмечается; по-видимому, этот цикл имеет независимое от солнечной активности происхождение.

Воздействие солнечной активности на циклоническую деятельность может проявляться как в изменении числа циклонов, так и интенсивности циклонов. Принципиально возможно то и другое. Но цикличности с периодом 20—24 года в ходе числа дней с глубокими циклонами не обнаружено. Четко выраженный 22-летний

цикл в ходе числа дней с циклонической циркуляцией обнаружен только в шестом барико-циркуляционном районе за холодный период. Первый максимум числа дней с циклонической циркуляцией (рис. 1) совпадает с фазой максимума чисел Вольфа в 15-м цикле. Второй и третий максимумы отмечаются на восходящей ветви в 17 и 19-м циклах. Минимумы числа дней с циклонической циркуляцией менее четко фазируются по отношению к солнечному циклу — первый совпадает с фазой минимума в нечетном 13-м цикле, затем он дважды наблюдается на фазе минимума четных 16 и 18-го циклов. Но картины смены знака связи мы не наблюдаем. За солнечное происхождение указанного цикла говорит тот факт, что мы наблюдаем довольно хорошо выраженную тенденцию к увеличению числа дней с циклонической циркуляцией на восходящей ветви и в фазу максимума нечетных циклов и заметное уменьшение числа дней с циклонической циркуляцией в периоды четных циклов вообще и на нисходящей ветви их в особенности. Но для доказательств того, что это не случайное совпадение циклов, приблизительно равных по длительности, нужны дополнительные исследования.

Выводы

1. Цикличность с периодом 20—24 года там, где она обнаружена автокорреляцией, действительно проявляется в ходе атмосферных осадков.

2. В теплый период цикличность с периодом 24 года обнаруживается в ходе числа преобразований типов циркуляции $W \rightarrow E$, $E \rightarrow W$ и в сумме числа преобразований с участием западной формы циркуляции по Г. Я. Вангенгейму. В холодный период в ходе числа преобразований с участием типа W виден цикл 21 год, а в повторяемости числа дней с циклонической циркуляцией в 6-м барико-циркуляционном районе по Л. А. Вительсу — 20—21 год. В ходе числа дней с типом «меридиональный северный» по Б. Л. Дзердзеевскому и с группой «долготная северная» по более подробной типизации автора в сибирском секторе проявляется цикл 21—22 года.

3. Всех особенностей цикличности в ходе осадков не удается объяснить близкой по периоду цикличностью в ходе повторяемости характеристик атмосферной циркуляции. Цикличности, по периоду близкой к 21-летнему циклу осадков теплого периода, в Западной Сибири в ходе повторяемости характеристик атмосферной циркуляции вообще не найдено. Поэтому вопрос, какими же особенностями атмосферной циркуляции обусловлено появление цикличности с периодом 20—24 года в ходе атмосферных осадков, остается не разрешенным.

4. Картина, похожая на солнечную обусловленность появления 20—24-летнего цикла в ходе характеристик атмосферной циркуляции, наблюдается в холодный период для суммы попарных преобразований $W \rightarrow E$, $E \rightarrow W$, числа преобразований с участием

типа W по Г. Я. Вангенгейму и числа дней с циклонической циркуляцией в шестом барико-циркуляционном районе по Л. А. Вителюсу. Но и в указанных случаях нужны дополнительные исследования, чтобы уверенно отнести эти циклы к солнечным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотинская М. Ш. Влияние солнечной активности на формирование циркуляционных эпох и их стадий.—Труды ААНИИ, 1969, вып. 289.
2. Вителюс Л. А. Многолетние изменения барико-циркуляционного режима и их влияние на колебания климата.—Труды ГГО, 1948, вып. 8(70).
3. Вителюс Л. А. Многолетние изменения повторяемости форм атмосферной циркуляции и их преобразований в связи с солнечной активностью.—Труды ГГО, 1960, вып. 90.
4. Вейнберг Б. П. Признаки случайности ряда наблюдений.—Геофизический сборник, 1929, т. VII, вып. 1.
5. Гневышев М. Н., Оль А. И. О 22-летнем цикле солнечной активности.—Астрономический журнал, 1948, т. 25, № 1.
6. Дроздов О. А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Изд. ЛГУ, 1956.
7. Дроздов О. А., Логинов В. Ф., Покровская Т. В. Изменчивые солнечно-тропосферные связи и методы установления их надежности.—Изв. АН СССР, сер. географ., 1969, № 6.
8. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеониздат, 1971.
9. Дружинин И. П. и др. Речной сток и геофизические процессы. М., «Наука», 1966.
10. Логинов В. Ф. Многолетние колебания циркуляции атмосферы и их связь с солнечной активностью.—Вестник ЛГУ, сер. геолог. и географ., 1966, № 12.
11. Полозова Л. Г. Анализ цикличности колебания средней месячной температуры воздуха в северном полушарии.—Труды ГГО, 1970, вып. 269.
12. Слущкий Е. Е. Статистический эксперимент как метод исследования.—Журнал геофизики, 1935, т. 5, вып. 1.

А. С. ГРИГОРЬЕВА, О. А. ДРОЗДОВ, К. В. ЕРЕМЕНКО, И. В. МАЛКОВА

СТРУКТУРА КОЛЕБАНИЙ ОСАДКОВ ОТДЕЛЬНЫХ МЕСЯЦЕВ ГОДА

При изучении структуры осадков встречаются трудности, обусловленные большой их изменчивостью. Поэтому в ряде случаев приходится прибегать к осреднению во времени или пространстве.

В работе [3] при исследовании цикличности осадков на отдельных станциях территории Советского Союза осреднение производилось за холодный и теплый периоды года, поскольку вековой ход во многих районах СССР зимой значительно больше, чем летом, и в разных районах зимой и летом может быть зеркальным или синхронным, или связи могут чередоваться. Осреднение же за год могло исказить эти особенности.

Исследование осадков для засушливых районов СССР показало, что циклы весны — начала лета и второй половины лета также различаются между собой по спектральному составу. Период IV—VI часто ведет себя аналогично холодному периоду, а VII—VIII — теплomu, хотя во втором случае аналогия более слабая. Это указывает на различие структуры осадков и внутри теплого периода, как это, например, имеет место в температуре, где структура отдельных соседних месяцев различная. Поэтому для районов, наиболее важных в сельскохозяйственном отношении — юга ЕТС, юга Западной Сибири и Северного Казахстана, — была исследована цикличность осадков за отдельные месяцы. К сожалению, из-за большой изменчивости осадков при уменьшении интервала осреднения возрастает роль случайных факторов, поэтому для уменьшения их роли и получения более правильной картины поля осадков необходимо осреднение по площади, как это, например, было сделано Ю. М. Алехиным [1] и др., и делается в физико-статистических прогнозах под руководством М. И. Юдина [7].

Р. Л. Каганом [5] было показано, что ошибка, которая вносится за счет случайных погрешностей при определении средней по площади, меньше зависит от числа станций, чем от естественной изменчивости данной величины на исследуемой территории. Средняя квадратическая погрешность определения месячных сумм

осадков по данным 9 станций на площади около 8000 км² составит около 5%, сезонных — около 3%.

Н. И. Ефремовой [4] были рассчитаны для ЕТС и Казахстана фоновые осадки по административным районам. Она показала целесообразность такого осреднения и возможность получить близкие значения фоновых осадков, полученных по значительно более редкой сети, и точечных, полученных по более густой сети станций.

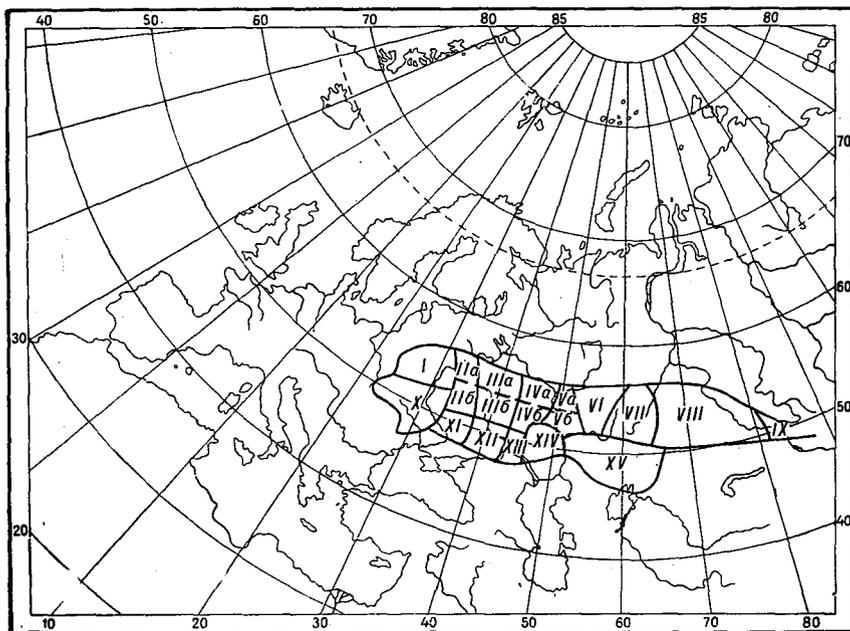


Рис. 1. Карта районов.

Г. А. Плиткин [6] дал оценку средних квадратических ошибок определения средних по площади норм осадков, обусловленных пространственной изменчивостью для Западно-Сибирской равнины, которые увеличиваются с севера на юг от 2 до 6%.

Естественно, что за отдельные месяцы изменчивость будет больше и точность определения осадков средних по территории будет значительно меньше, однако мы были ограничены редкой сетью длиннорядных станций. При осреднении по территории для исследования цикличности должны быть несколько иные требования, чем для получения фоновых осадков. Здесь важно не искажать вековой ход, характерный для данного района.

Для зоны в основном недостаточного увлажнения было выделено 19 районов (рис. 1) и рассчитаны средние порайонные осад-

ки для отдельных месяцев с апреля по август за период 1891—1960 гг. В каждый район входило примерно 7—10 станций, за редким исключением число станций было меньше. Станции охватывали всю площадь района, однако распределение по району было не всегда равномерное. В пределах выделенных районов, там, где это было возможно, обеспечивалась однородность климатических условий. В северном Казахстане, где эффективная изменчивость осадков в теплый период велика, чтобы по возможности исключить влияние случайности, были взяты крупные районы, но при этом на точности результатов могло отрицательно сказаться влияние различия климатических особенностей и очень большое осреднение. Для указанных выше районов была рассчитана методом автокорреляционных функций длительность циклов и их надежность за каждый месяц.

Для выяснения влияния размера района на спектр циклов исследование производилось для районов различных размеров с разной плотностью станций. Цикличность рассчитывалась как для независимых, так и для перекрывающихся районов. Из-за отсутствия длиннорядных однородных станций густота сети не во всех районах была одинаковая. Поэтому сопоставление производилось двояко: для всех районов (т. е. сопоставлялись районы, где плотность станций была равная) и для районов, где густота сети одинаковая. При использовании всех районов, т. е. как районов с одинаковой густотой станций, так и с разной, при переходе от более крупных районов к районам, в два раза меньшим по площади, входящим в крупный район, циклы сохранялись в 60—65% случаев, в 4—9 длина цикла изменилась в два раза, в 18—20 трансформировалась и в 12—13% — образовались новые или исчезли уже существовавшие в основном статистически ненадежные пики. В независимых районах цикличность сохраняется значительно хуже. При переходе от одного независимого района к другому (соседнему) цикличность сохранилась только в 58% всех случаев, распались или объединились 8, изменили длину и исчезли или образовались вновь по 17% соответственно. При этом значительно изменили длину в основном длительные циклы, средний период которых вообще определяется приближенно.

Для получения более сравнимых данных были рассчитаны аналогичные соотношения для выборочных районов с одинаковой плотностью станций. Сопоставление цикличности двух крупных районов с цикличностью в два раза меньших районов, входящих в соответствующий крупный район, показало, что циклы сохранились в 72%, распались или объединились — в 4, изменили длину и исчезли или образовались — по 12%. Соотношение цикличности большого района с цикличностью его северной и южной половины несколько различное. Цикличность всего района и его северной части сохраняется в 67%, южной и всего района — в 76, длина цикла изменилась в два раза в 3—5, изменили длину 11—12% и исчезли или образовались новые циклы — на севере — в 17, на юге — в 9%.

Таким образом, при изменении размера района спектр циклов меняется постепенно; даже при увеличении района в два раза сохраняется 72% циклов. Хотя распределение осадков носит пестрый характер, однако для исследования цикличности за отдельные месяцы особенно мелкие районы брать не имеет смысла, так как из-за большого веса случайных факторов при недостаточном сглаживании можно получить случайные циклы, но в то же время не следует и особенно укрупнять районы, так как различные климатические условия могут исказить спектр циклов. Поэтому, на наш взгляд, важно выделить районы, расположенные в одинаковых климатических условиях, а число равномерно расположенных длиннорядных станций должно быть в каждом районе не менее 7—10 на площади 100—150 тыс. км².

Хотя уже указывалось и раньше, что спектр циклов со временем меняется постепенно, представляло интерес получить количественные значения при изменении длины периода, для чего была рассчитана автокорреляция для районов юга ЕТС за период 1891—1950 и 1891—1960 гг. (табл. 1). Оказалось, что при изменении длины периода на 10 лет циклы сохранились в 76% случаев, распались или объединились — в 4, изменили длину — в 11 и вновь образовались или исчезли — в 9%. Получилась примерно та же картина, что и при переходе от большого района к району, в два раза меньшему и входящему в этот крупный район.

Таким образом, можно сказать, что при изменении длины периода и размера территории спектр циклов меняется постепенно, сохраняются те циклы, которые наиболее четко выражены.

Значительно хуже циклы сохраняются при переходе от месяца к месяцу. Сохранился спектр циклов только в 27% случаев, циклы изменили длину в два раза в 14, изменили длину в ином соотношении в 36 и исчезли или образовались вновь — в 23%. Таким образом, для каждого месяца в основном существует свой набор циклов, хотя в целом на юге ЕТС и северном Казахстане для всех месяцев наблюдается преимущественно близкий спектр циклов, однако по территории они в разные месяцы распределяются различно.

Наиболее четко цикличность выражена в апреле и августе. В апреле, кроме 2—4-летнего цикла, который обнаруживается во все месяцы, наблюдались циклы 5—8, 13—15 и на западе юга ЕТС 20—26 лет.

В мае отмечались циклы 5—8; 14—15 лет, на западе 10—12 лет, в большинстве же районов встречается цикл около 30 лет. В июне в более северных районах цикл 5—8 лет, в более южных — 9—10 лет, а в западных — 20—30 лет. В июле распределение цикличности имеет более пестрый характер. На северо-западе юга ЕТС, в Предуралье и на Нижней Волге наблюдается цикл около 10 лет, в остальных районах юга ЕТС цикл приблизительно в два раза короче; в Казахстане он достигает 6—8 лет, а на западе цикл больше — 20 лет. В августе, наоборот, на западе наблюдаются более короткие циклы — 5—8 лет, восточнее — 9—10 лет,

Таблица 1

Цикличность порайонных осадков за различные периоды

Район и месяц	1891—1950			1891—1960			
	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	
2-й район	IV	2—3	8	I	2—3	8	I
		6—8	14	III	6—7	15	III
		20—24	12	III	24—30	15	III
		60	9	3	60	6	3
	V	2—3	9	I	2—3	7	I
		5—6	17	I	5—6	12	II
		10—11	22	III	10	22	I
		30—40	16	2	ВХМ*	—	3
	VI	2 (фон)			2—3	3	I
		4	10	I	8—9	15	I
		8	16	III	18—20	12	III
		20—22	22	II	70	4	3
ВХМ		—	3				
VII	2—3	13	I	2—3	2	III	
	5—6	11	I	3—4	10	I	
	ВХМ	—	3	5—6	14		
				ВХМ	—	3	
VIII	2—3	10	I	2—3	6	I	
	4—5	—	—	5—6	12	I	
	60	6	3	>60	10	3	
3-й район	IV	2—3	14	I	2—3	15	I
		13—14	10	III	13—14	10	III
		около 22	18	—	25—30	15	III
		60	14	2	62	7	3
	V	2—3	9	I	2—3	8	I
		5—6	16	III	5—6	15	
		около 30	16	III	10—11	12	III
		около 50	6	3	около 30	15	II
					75	3	3
	VI	2—3	4	I	2—3	2	I
		4—5	15	II	4—5	15	I
		20—21	30	I	20	12	III

Район и месяц	1891—1950			1891—1960			
	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	
VII	47	9	3	>60	6	3	
	2	4	I	2	4	I	
	3—4	19	I	3—4	18	I	
	9—10	—	—	9—10	15	I	
VIII	55	5	3	>60	4	3	
	2—3	19	I	2—3	15	I	
	9—10	10	III	8—10	10	III	
4-й район	45	6	3	40—45	15	3	
	IV	2—3	4	I	2—3	6	I
		6—7	5	III	6—7	5	II
	V	13—14	13	I	13—14	9	I
40—45		10	2	86	8	3	
2—3		7	1	2—3	5	1	
VI	14—15	25	I	14—15	15	II	
	около 50	—	3	>60	5	3	
	3—4	13	I	3—4	12	I	
VII	35—40	8	2	30—40	12	3	
	2—3	5	I	2—3	11	III	
	5—7	14	III	5—6	—	—	
	45—50	6	3	20	15	III	
VIII	2—3	7	I	64—70	10	3	
		24	1	2—3	8	I	
		8	3	10—11	22	I	
5-й район	40—42	8	3	около 40	—	3	
	IV	2—3	2	I	2—3	11	I
		5	—	—	4—6	—	—
		14	25	I	13—14	15	1
V	ВХМ	—	—	30	—	—	
	2—4 (фон)	—	—	2 (фон)	—	—	
	6—8	15	III	4—5	10	I	
VI	25—28	15	3	35—40	9	3	
	2—3	5	—	2—3	6	I	
	6—8	14	—	около 8	10	II	

Район и месяц	1891—1950			1891—1960		
	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности
VII	VXM			16	14	II
				30—35	9	3
	2—3	12	I	2—3	11	I
				3—4	12	I
VIII	15	15	III	14—16	14	I
	VXM			>60	3	3
	3—4	14	0,01	2,3—4	10	I
	20—21	25	4	8—9	11	III
6-й район	VXM			20	30	3
	IV					
	2—3	7	I	2—3	12	I
	14—15	28	I	13—14	8	II
V	VXM			>80	20	I
	3—4	23	I	2,3—4	13	I
	30	15	II	30—34	18	III
VI	3—4	20	I	2,3—4	4	I
	8	—	—	8	12	III
	около 30	18	III	VXM	—	—
VII	VXM					
	2—3	11	I	2—3	12	I
	10—11	30	I	10	26	I
VIII	30	17	2	VXM	—	—
	2—3	3	I	2,3—4	14	I
	(сбивается на 4)					
	20—21	12	III	40	10	3
8-й район	40	12	2			
	IV					
	2—3	21	I	2—3	21	I
	4—5	—	—	4—5 (9—10)	11	—
V	14—15	15	III	14—16	15	II
	50	11	3	50	4	3
	2—3	14	I	2—3	12	I
	18—20	25	I	18—20	21	I
VI	VXM	—	—	VXM	—	—
	2—3	16	I	2—3	10	I

Район и месяц	1891—1950			1891—1960		
	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности
VII	10	18	I	10	15	I
	VXM	—	—	VXM	—	—
	6—7	27	I	6—7	26	I
	2 (в середине)	—	—	2—3 (в середине)	—	—
VIII	54—60	19	3	70	10	3
	2—3	20	I	2—3 (сбивается на 4)	22	I
11-й район	18—20	20	III	18—20	17	II
	VXM	—	—	>60	5	3
	2—3	22	I	2—3	22	I
	24—26	23	II	25—26	20	I
V	>50	8	3	>50	7	3
	3—4	6	I	3—4	4	—
	15	13	—	6—7	7	—
VI	35	9	3	15 около 40	8	I
	3—4	4	I	2—3	6	I
	9—10	17	II	9—10	12	III
VII	50—60	6	3	>60	—	3
	3—4	13	I	2—3	5	I
	5—6	—	III	5—6	9	III
VIII	35	10	3	35	9	2
	3—4	2	I	2—3; 3—4	5	I
	6—7	17	III	—	—	—
14-й район	40	9	3	40	9	3
	2—3	6	I	2—3	7	I
	6—8	23	I	6—8	22	II
	40	6	3	VXM	—	—
V	2—3	5	I	2—3	5	I
	10	16	III	10	25	III
	50	6	3	30—40	12	3
VI	2—3	22	I	2—3	12	I
	9—10	18	I	8—10	18	I

Район и месяц	1891—1950			1891—1960		
	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности	длительность цикла (годы)	амплитуда цикла (%)	класс надежности
VII	50	7	3	50	7	3
	2—3	12	I	2—3	5	I
	около 10	16	I	около 10	12	III
VIII	55	9	3	55	8	3
	2—3	9	I	2—3	11	I
	24—26	22	III	3—4	20	—
	10	—	—	9—10	—	—
	ВХМ	—	—	60	4	3

* — Вековой ход мал.

в Предуралье и Северном Казахстане — 18—22 года, а вблизи Алтайских гор — 14—15 лет.

Вековой цикл во все рассмотренные месяцы выражен слабо. Поэтому предположение о возможности использовать вековой ход отдельных месяцев весны и лета для целей фонового прогноза осадков не оправдалось. Кроме того, даже там, где есть вековой ход, амплитуда более коротких циклов, в особенности 2—3-летнего, часто перекрывает амплитуду векового. Поэтому использовать данные о цикличности для фоновых прогнозов осадков отдельных месяцев конкретных лет в таком виде, с нашей точки зрения, трудно. Е. В. Воробьева [2] пытается учесть изменение продолжительности циклов в годы максимума и минимума солнечной активности при выборе предикторов в долгосрочных прогнозах погоды. Нами все же была сделана попытка дать порайонный прогноз осадков с использованием данных более коротких циклов и с применением уравнений регрессии на основе использования автокорреляционной функции осадков. Уравнения множественной регрессии применялись к тем районам, где надежность определения коэффициентов корреляции составляла больше 2,5 σ .

Поскольку испытывалось проявление цикличности любого периода — от 2 до 50 лет, — то общее возможное число испытаний с разрешением до 1 года равно 49. В этих условиях величина, выходящая за пределы 2,5 σ , может случайно встретиться не чаще, чем в половине всех случаев. Однако это значит, что каждый второй случай подобной цикличности ложный. Если критерий применить к циклам длительностью до 10 лет, надежность уже существенно увеличится и вероятность случайного появления составит приблизительно один раз в 10 случаях, что уже приемлемо для использования цикличности для прогноза. Однако коэффициенты автокорреляции редко выходят за пределы 2,5 σ от уровня

случайной корреляции, а если выходят, то чаще один раз и, следовательно, возможно применить уравнение регрессии лишь с одним аргументом, сравнительно редко — с двумя и тремя. Таким образом, там, где представлялось возможным, аномалия осадков определялась двумя способами, при этом один способ как бы дополнял другой. Однако эта попытка, по указанным выше причинам, особой успешности не имела.

Более обоснованно применение указанной методики к суммам осадков за теплую и холодную части года, и не к отдельным годам, а к осредненным величинам. По ряду причин в качестве такого периода было выбрано 5 лет. С учетом данных о цикличности и сведений о современном состоянии и изменениях ледовитости Арктических морей и общей циркуляции атмосферы был дан климатический прогноз на 20 лет вперед по пятилетиям [3]. Проверка прогноза за первое пятилетие (1966—1970 гг.) показала неплохие результаты, несмотря на то что изменение числа сроков наблюдений осадков нарушило однородность рядов на станциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алехин Ю. М. Опыт статистического прогнозирования годовых сумм осадков.— Труды ЛГМИ, 1964, вып. 22.
2. Воробьева Е. В. Временные изменения продолжительности метеорологических циклов и возможные их причины.— Труды ГГО, 1969, вып. 245.
3. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971.
4. Ефремова Н. И. О пространственной статистической структуре атмосферных осадков, осредненных по большим площадям.— Труды ГГО, 1970, вып. 258.
5. Каган Р. Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных.— Труды ГГО, 1966, вып. 191.
6. Плиткин Г. А. Пространственная изменчивость элементов водного баланса Западно-Сибирской равнины.— Труды ГГИ, 1969, вып. 174.
7. Юдин М. И. Физико-статистический метод долгосрочных прогнозов погоды. Л., Гидрометеиздат, 1968.

О СВЯЗИ НАСТУПЛЕНИЯ ЗАСУХ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ СССР С КОРПУСКУЛЯРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ СОЛНЦА

Среди всех крупных аномалий гидрометеорологического режима засухи привлекали к себе особое внимание при отысканиях связей с солнечной активностью. В этом направлении получены результаты, характеризующиеся высокой степенью статистической надежности, особенно при использовании как показателя солнечной активности индекса геомагнитной возмущенности K_p , отражающего корпускулярную составляющую активности [14, 6].

На рис. 1 показан ход геомагнитного индекса за 1884—1970 гг. с обозначением лет сильных засух на Европейской территории СССР, в Казахстане и на обеих территориях одновременно (данные по 1965 г. были представлены в упомянутой работе Покровской). Значения геомагнитного индекса брались по каталогу А. И. Оля (1969). К сильным засухам на ЕТС были отнесены засухи большого распространения по каталогу Н. Г. Каменьковой (1964), а засухи в Казахстане учитывались по данным А. С. Утешева; сведения же за последние годы, не вошедшие в каталоги, по 1965 г., были получены из Гидрометцентра СССР. Засухи на ЕТС, вошедшие в перечень сильных по причине их большого распространения по площади, пришлось на следующие годы: 1892, 1906, 1914, 1936, 1938, 1939, 1946, 1950, 1959 (9 случаев); засухи в Казахстане были в 1888, 1900, 1911, 1931, 1932, 1933, 1944, 1955, 1963 гг. (тоже 9 случаев). Более редко сильные засухи поражали одновременно и ту, и другую территорию, что произошло в 1891, 1920, 1921, 1924, 1951, 1957 гг. (6 случаев).

Рисунок 1 показывает закономерное распределение засух на протяжении 11-летнего цикла активности корпускулярного излучения Солнца. Все засухи на ЕТС падают на восходящую ветвь K_p , включая максимум, причем на каждую ветвь, кроме 1923—1930 гг., приходится хотя бы один случай засухи (самое большое — три случая), тогда как на нисходящей ветви не отмечено ни одного. Наоборот, засухи в Казахстане приурочены только к нисходящей ветви K_p (включая минимум), с такой же повторяемостью — от одной до трех — на каждой ветви, как засухи на ЕТС при восходя-

щей ветви K_p . Что касается засух «двойных», т. е. одновременных на ЕТС и в Казахстане, то во избежание противоречия с только что сказанным они должны приходиться на такие года, когда ход индекса K_p как-то совмещает в себе особенности восходящей и нисходящей ветвей (или не похож ни на то, ни на другое). Это может осуществляться только на тех участках кривых, где происходит перелом в ходе K_p , что в той или иной степени наблюдается в большинстве случаев одновременных засух.

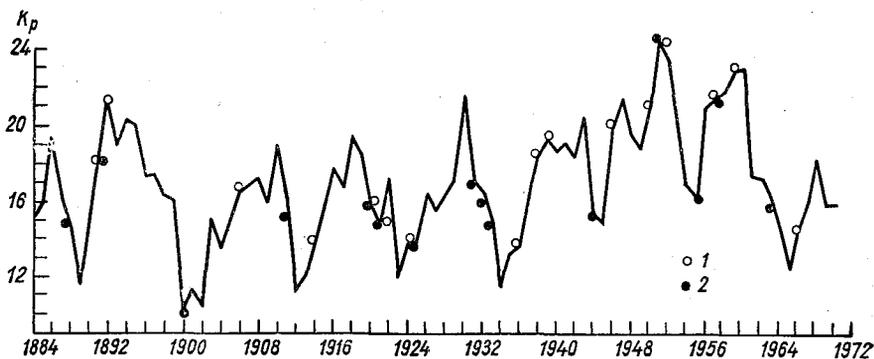


Рис. 1. Ход индекса геомагнитной возмущенности K_p за 1884—1970 гг. и распределение засух.
1 — засухи на Европейской территории СССР, 2 — засухи в Казахстане.

Указанное распределение засух на ЕТС и в Казахстане не может быть случайным. В монографии [6] приводятся высокие оценки неслучайности. Здесь мы приводим полученные нами цифры. Общая вероятность засух за период 1887—1965 гг. составляет 0,11—как для ЕТС, так и для Казахстана. Для первой территории вероятность засухи на восходящей ветви (46 лет) поднимается до 0,20, а для второй вероятность засухи на нисходящей ветви составляет 0,28.

Рассмотрим вероятности случайного отсутствия засух на ЕТС в 32 годах нисходящей ветви и засух в Казахстане в 46 годах восходящей ветви. Эти вероятности соответственно равны $0,89^{32}$ и $0,89^{46}$, т. е. 2,4 и 0,5%. Вероятность совпадения того и другого события составляет лишь 0,012%, что и выражает практически полное отсутствие влияния случайности на фактическое распределение засух по фазам 11-летнего цикла геомагнитной активности. Трудный для анализа случай совмещения засух на ЕТС и в Казахстане если не статистически, то логически вполне увязывается с указанными выводами, сделанными для той и другой территории по отдельности.

Исключительно хорошее совпадение показателей наступлений засух и хода геомагнитной активности заставляет продолжить ис-

следования данной связи, учитывая также и ее практическое значение для долгосрочного прогнозирования засух.

Ранее мы уже упоминали, что закономерностей в распределении рассмотренных нами случаев засух с ходом чисел Вольфа (а не индекса K_p) не усматривается [13]. Не дало улучшения по сравнению с числами Вольфа W использование широт пятнообразования — средних [3] и зоны максимального пятнообразования [4], как по отдельности, так и в сочетании с W или K_p . Не подтвердилась и связь засух с индексом поля кольцевого тока по Г. И. Олю [12]. Это заставляет снова обратиться к данным K_p . Нами сделано сопоставление с этим индексом не только засух, но и сумм атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Представилось возможным использовать данные Н. И. Ефремовой [7] по количеству осадков, осредненных для большого числа районов за 1946—1970 гг., причем в качестве норм нами были взяты средние за 1946—1965 гг. Более длинными рядами однородных данных для ЕТС мы не располагали, для Казахстана же материал вообще был недостаточным. Нами были обработаны материалы для той части ЕТС, которая вообще признается агрометеорологами подверженной засухам, средним и сильным [1]. Граница ее идет западнее Кишинева, северо-западнее Киева, проходит почти точно через Москву, оставляя ее в зоне возможной засушливости, и направляется на Пермь.

Территория, где могут наблюдаться засухи, включает в себя следующие районы из числа выделенных Н. И. Ефремовой [7]: 6—25, 28—49, 51, 53—67, 75, 78. На основании порайонных данных нами были получены для каждого года суммарные для апреля — июня (период весенне-летних засух по Каменьковой) численные характеристики двух родов. Вначале вычислялась площадь S , на которой наблюдался дефицит осадков (80% нормы и менее), в процентах ко всей площади территории с возможными засухами и среднее процентное количество осадков P на этой площади; величину $100 - P$ можно рассматривать как средний недобор осадков, а произведение $(100 - P)S$ принималось показателем суммарного дефицита в данном году и обозначалось D . Если эта величина относится только к площади с недобором осадков, независимо от того, что наблюдалось на остальной территории, то рассматривалась и величина второго рода R , представляющая собой процентное количество осадков, осредненное по всей территории с возможными засухами. Получив значения S , P , D , R для каждого года периода 1946—1970 гг., мы получили также средние для каждой восходящей и нисходящей ветви K_p за данный период.

Представляет интерес прежде всего проследить, сохранилась ли в последнее пятилетие закономерность, выявленная на материалах по 1965 г., т. е. была ли хотя бы одна засуха на ЕТС в годы восходящей ветви K_p , в данном случае в 1966—1970 гг. Поскольку каталог засух на эти годы не продолжен, использованы упомянутые данные по характеристике осадков. Обращает на себя внимание 1968 г., когда на 53% площади выпало в среднем только 53%

осадков. В отношении дефицита осадков D этот год занимает третье место в ряду после 1946 и 1957 гг. и превосходит 1950, 1951 и 1959 гг., причем все перечисленные пять лет в каталог засух вошли. На этом основании 1968 г. можно отнести к засушливым, т. е. закономерность реализовалась, хотя и с допуском — был сдвиг площадей с засухой по сравнению с критерием [10].

Далее приводим сводку суммарных характеристик осадков по фазам роста и падения геомагнитной активности (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики режима осадков на восходящей и нисходящей ветви геомагнитного индекса K_p

Годы	Фаза K_p	S (%)	P (%)	D	R (%)
1946—1951	Восходящая	40	64	1515	88
1952—1955	Нисходящая	16	69	540	107
1956—1960	Восходящая	32	67	1257	98
1961—1965	Нисходящая	16	70	467	110
1966—1970	Восходящая	24	68	788	101

По всем графам таблицы видно чередование пониженных и повышенных величин при переходе от одной фазы (ветви) K_p к другой, что особенно ярко выражено в величинах D . Наглядно ход осадков показан на рис. 2. Помимо указанного чередования выступает еще одна, не менее важная особенность, закономерность того же порядка, т. е. общее увеличение количества осадков R , а вместе с тем снижение значений дефицита D от начала к концу рассматриваемого периода. График является весьма показательной иллюстрацией к положению, высказанному в монографии О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [6]: «Цикличность осадков, выражающаяся в их вековом ходе, имеет не меньшее значение для прогноза сильной засухи, чем фаза магнитной активности». И наоборот, как показано здесь, в целях прогноза необходимо знание не только многолетнего тренда, но и колебаний по определенным фазам магнитной активности, длительностью около 5 лет каждая.

Отметим, что данные рис. 2 по восходящей ветви K_p 1966—1970 гг. хорошо увязываются с прогностическими данными О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой на указанное пятилетие.

Поскольку выявленная ранее зависимость режима осадков на ЕТС от хода геомагнитного индекса K_p подтвердилась, естественно рассмотреть после межгодовых и внутригодовых его изменения.

Как хорошо известно из геофизики, кривая показателей геомагнитных возмущений имеет в годовом ходе два максимума — весенний и осенний, приходящиеся на месяцы равноденствий март и сентябрь. Во время равноденствий Земля занимает наиболее

«выгодное» положение относительно Солнца, т. е. в это время наша планета может войти в корпускулярные потоки, исходящие от Солнца, при условии их радиальности. На радиальность квазипостоянных корпускулярных потоков, ясно выраженную в период нисходящей ветви солнечной активности и менее ясно выраженную, но

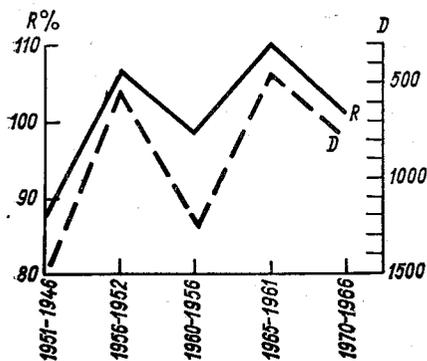


Рис. 2. Характеристики осадков за 1946—1970 гг. по фазам роста и падения геомагнитного индекса K_p . Годы у оси абсцисс указывают начало и конец фаз.

Мы приводим на рис. 3 в график хода интересующего нас индекса K_p , составленный по данным 1884—1970 гг. Двойная волна выражена очень четко. Вариации ее по отдельным десятилетиям весьма значительны. Возможно как почти полное повторение многолетней нормы (1911—1920 гг.), так и сглаженность обеих волн (1884—1890 гг.); наблюдаются сильное развитие и той, и другой (1941—1950 гг.), подавление осенней волны за счет весенней (1891—1900 гг.) и обратная картина (1961—1970 гг.). Очевидно, подобные различия зависят как от циклических, так и от неупорядоченных колебаний активности Солнца в тех его широтных зонах, которые имеют геомагнитное значение.

Для нас особо интересны различия годового хода индекса K_p на восходящей и нисходящей ветвях солнечной активности. То, что геомагнитная возмущенность от месяца к месяцу меняется различным образом в зависимости от фазы солнечной активности, уже известно из работ Бартельса [15], Пристера и Каттани [16]. Эти авторы пришли к выводу, что равноденственные волны лучше выражены на фазе уменьшения солнечной активности, причем первый автор производил группировку по ходу чисел Вольфа в 11-летнем их цикле, а второй — по широтам солнечных пятен, уменьшающимся по мере приближения к минимуму чисел Вольфа.

Нами был взят другой показатель геомагнитной возмущенности и произведена иная группировка по фазам 11-летнего цикла, чем это было сделано указанными авторами. Отсюда и некоторое общее различие в выводах — нельзя сказать, что в годы роста K_p

весьма вероятную в период возрастания солнечной активности, указывает Э. Р. Мустель [8]. 21 марта и 23 сентября Земля проектируется на гелиографические широты -7° и $+7^\circ$, а в дни солнцестояния — на экватор. Зона наибольшей активности Солнца, если судить по пятнообразованию, лежит в широтах около 23° , а самая низкая граница этой зоны и составляет в среднем $\pm 7^\circ$, на самом же экваторе геоактивные очаги отсутствуют. Этим и можно объяснить наличие максимумов геомагнитной активности в марте и сентябре, а минимумов — в июне и декабре.

двойная волна в его годовом ходе выражена хуже, чем в годы понижения K_p . Этот ход показан на рис. 3 а,б, где изображены кривые, построенные по данным за все 54 года восходящей фазы K_p и все 33 года нисходящей фазы. Возрастание K_p за один год восходящей ветви составляет в среднем 1,5, более быстро идущее падение за один год 2,3. Эти изменения накладываются на полугодовые волны и деформируют их таким образом, что на фазе роста

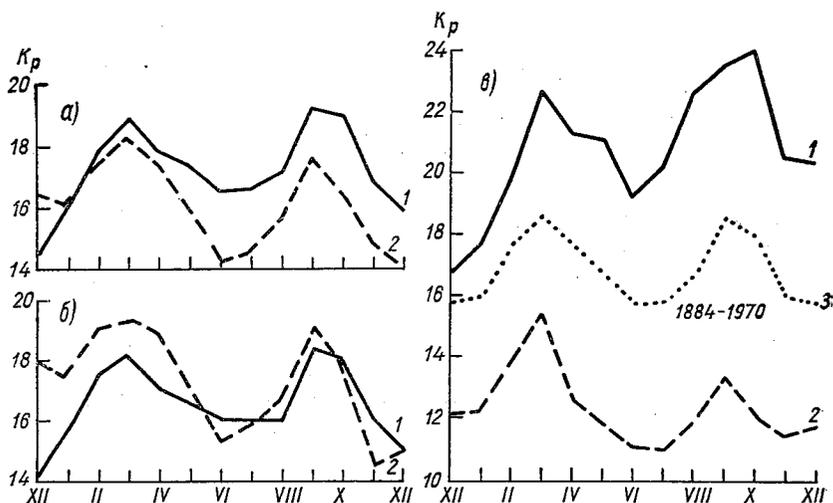


Рис. 3. Годовой ход индекса K_p в зависимости от фазы геомагнитной активности.

а — восходящая ветвь и нисходящая ветвь; б — то же, без включения лет максимума и минимума; в — максимум и минимум, многолетнее среднее за 1884—1970 гг. 1 — годы восходящей ветви и максимума, 2 — годы нисходящей ветви и минимума.

усиливаются подъемы кривой, на фазе падения — ее понижения и подавляются внутригодовые изменения, не согласующиеся с общей тенденцией роста или падения. Одним из следствий этого является несколько более сильное развитие осенней волны по сравнению с весенней в годы роста K_p и обратное соотношение — в годы падения K_p , что особенно резко выражено в годы максимума и минимума K_p (рис. 3 в). Поскольку нас особо интересует сезонное явление — засухи и предшествующие им месяцы, то следует отметить существенную в этом отношении особенность: происходит очень сильный подъем кривой от декабря к марту на восходящей ветви. Если мы выделим годы с засухами на ЕТС, то увидим, что указанная особенность еще «утруруется», причем весенний максимум достигается уже в феврале (рис. 4 а). Аналогичные кривые построены также для группы лет с засухой в Казахстане и для группы лет с засухами на той и другой территории одновременно (рис. 4 б, в).

Очень показательное закономерное изменение разности K_p от декабря предшествующего года к марту (или февралю) в зависи-

мости от фазы K_p и вариации K_p в годы засух того или другого распространения:

Норма	Восходящая ветвь	Засуха ЕТС	Засуха ЕТС + Ка- захстан	Нисходящая ветвь	Засуха Казахстан
3,3	4,4	5,5 (5,9)	5,0	1,8	1,4

Эти данные подтверждают правильность найденных положений о зависимости наступления засух на ЕТС и в Казахстане от степени подверженности Земли корпускулярным воздействиям Солнца.

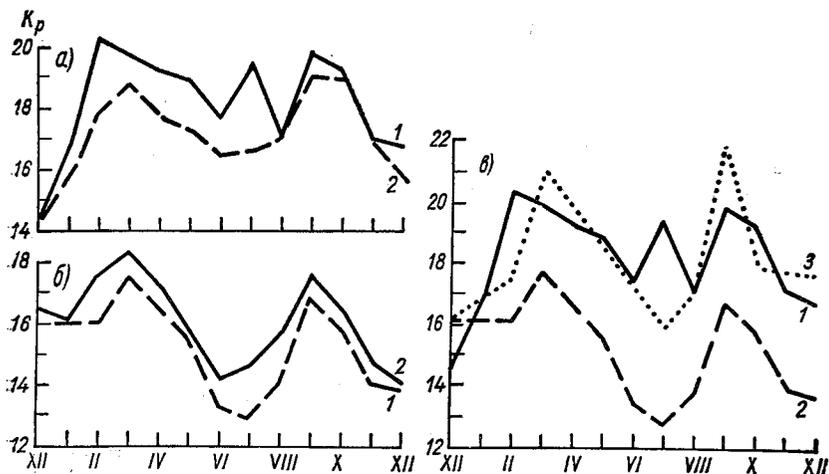


Рис. 4. Годовой ход индекса K_p .

а — при засухах на ЕТС: 1 — годы засух, 2 — годы восходящей ветви; *б* — при засухах в Казахстане: 1 — годы засух, 2 — годы нисходящей ветви; *в* — при засухах различного распространения: 1 — ЕТС, 2 — Казахстан, 3 — ЕТС и Казахстан.

Однако рассмотрение отдельных лет по каждой группе показало, что не имеется простой связи, справедливой для каждого случая, между ходом индекса K_p за декабрь — март и наступлением или ненаступлением засух.

Остается обратиться еще к синхронным соотношениям, т. е. к анализу хода K_p за апрель — июнь в годы с различным увлажнением. Как показывают соответствующие кривые (рис. 4) — чего и следовало ожидать, — в эти месяцы сохраняются высокие значения K_p в годы засух на ЕТС (а также засух «двойных»), в годы же Казахстанских засух — низкие. Естественным представляется также малое падение K_p от марта к июню в первом случае и большое во втором. Анализ отдельных лет опять-таки не дал ясной картины.

Для периода 1946—1970 гг. нами построены графики хода K_p в годы с избытком или недостатком осадков в зоне ЕТС, подверженной засухам. Все 16 лет восходящей ветви K_p за указанный период были разделены на две группы, с относительно малым и относительно большим количеством осадков, и для этих групп построены графики рис. 5 а. Затем, независимо от того, к какой ветви K_p относился данный год, было выделено по 10 лет с малым и большим дефицитом осадков на рассматриваемой территории, и для каждой группы также построены графики (рис. 5 б).

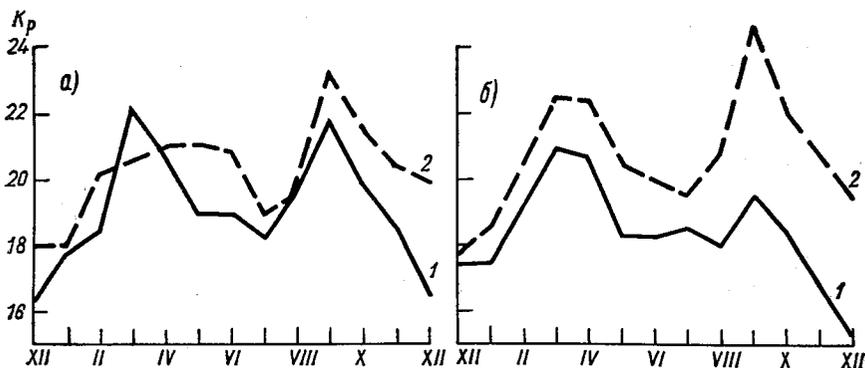


Рис. 5. Годовой ход индекса K_p в годы с повышенным и пониженным количеством осадков.

1 — повышенное количество осадков, 2 — пониженное; а — для лет восходящей ветви K_p , б — для всех лет 1946—1970 гг.

Анализ рис. 4 и 5 показывает, что особенности хода K_p , отмеченные для лет с засухами на ЕТС, выбранными за многолетний период, сохранились и для лет с дефицитом осадков в периоде 1946—1970 гг. Интересная особенность отмечена на рис. 4 а — очень высокий уровень K_p с февраля по июнь, весьма мало колеблющийся от месяца к месяцу.

Все особенности, отмеченные на рис. 3—5, должны быть в дальнейшем рассмотрены специально, с учетом состояния атмосферной циркуляции в соответственные годы и месяцы. Необходимо будет анализ внутримесячного хода геомагнитной активности и атмосферных процессов. Сейчас можно сослаться на некоторые уже опубликованные данные общего характера [13, 14]. Оказывается, что барическая ситуация, способствующая засухам на ЕТС и хорошему увлажнению в Казахстане, типична для группы лет максимума и восходящей ветви K_p , а ситуация, создающая противоположный характер увлажнения, — для лет минимума и восходящей ветви ([13], рис. 35—38, [14], рис. 4—6 б). Для подтверждения сказанного могут служить указанные карты, показывающие противоположность средних характеристик барического режима в годы максимума и минимума K_p .

Э. Р. Мустелем построены карты среднего изменения поля давления после вторжения солнечных корпускулярных потоков по большому числу случаев изолированных геомагнитных возмущений, отобранных за период 1890—1967 гг. [9]. Легко видеть высокую степень сходства карты из [9] (рис. 4) и нашей карты из [14] (рис. 6 б), притом барические поля, изображенные на этих картах, отражают тенденцию засушливости на Европейской территории СССР и тенденцию хорошего увлажнения Казахстана.

Зависимость режима осадков от солнечной активности примерно для той же территории, что и у нас, исследовалась Д. А. Дрогайцевым [5]. В результате обработки снятых с карт за 1891—1965 гг. данных по осадкам за май было выделено три равночисленных класса осадков — ниже нормы, норма, выше нормы. Распределение классов ниже и выше нормы по фазам чисел Вольфа — около минимума и около максимума — оказалось весьма четким. В прогностических целях рассматривались резкие повышения чисел Вольфа в предшествующие сентябрь — февраль и получены были определенные связи.

Л. А. Вительс еще в 1952 г. [2] обратил внимание на то, что в переходные месяцы амплитуды колебаний количеств осадков в юго-восточной части Европейской территории СССР резко завышены. Он объяснил эту особенность тем, что во время равноденствий Земля становится особенно подверженной влиянию корпускулярной составляющей солнечной активности, которая создает добавочные возмущения в тропосфере Земли.

Результаты Вительса и Дрогайцева подтверждают перспективность изучения проблемы.

Основной вывод данной статьи — есть все основания для дальнейшего анализа влияния солнечного корпускулярного излучения на атмосферную циркуляцию и гидрометеорологический режим в целях краткосрочных, долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов погоды, включая и прогнозы засух.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатъев А. М., Иванова В. Н. Характеристика и географическое распространение засух.— Сб. «Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай». Под ред. А. И. Руденко. Л., Гидрометеоздат, 1958.
2. Вительс Л. А. Годовой ход крупных аномалий осадков.— Метеорология и гидрология, 1952, № 3.
3. Витинский Ю. И. Прогнозы солнечной активности. М.—Л., Изд. АН СССР, 1963.
4. Витинский Ю. И., Щеголева Г. П. О характере широтного смещения зоны пятнообразования в 11-летнем цикле.— Солнечные данные, 1971, № 3.
5. Дрогайцев Д. А. Долгосрочный прогноз осадков в мае.— Труды ГМЦ, 1968, вып. 12.
6. Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоздат, 1971.
7. Ефремова Н. И. О пространственной статистической структуре атмосферных осадков, осредненных по большим площадям.— Труды ГГО, вып. 258.

8. Мустель Э. Р. Происхождение солнечного ветра и его астрофизические аспекты. Научные информации, вып. 10. М., Астрономический Совет АН СССР, 1968.

9. Мустель Э. Р. Об изменении циркуляции в нижних слоях земной атмосферы после вхождения Земли в солнечный корпускулярный поток. Гидрометцентр, Межсоюзная Комиссия по солнечно-земной физике. Научная сессия исследовательской группы по солнечной активности и нижней атмосфере. Ленинград, май 1970. М., Астрономический Совет АН СССР, 1970.

10. Каменькова Н. Г. К вопросу об изучении весенне-летних засух на Европейской территории СССР.— Труды ГГО, 1964, вып. 164.

11. Оль А. И. Возмущенность магнитного поля Земли и ее изменение в 11-летнем цикле.— Труды ГГО, 1969, вып. 245.

12. Оль Г. И. Некоторые особенности развития геомагнитных возмущений и их связь с солнечной активностью.— Солнечные данные, 1970, № 5.

13. Покровская Т. В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л., Гидрометеоздат, 1969.

14. Покровская Т. В. Опыт фазировки синоптических процессов по степени их зональности в 11-летнем цикле корпускулярной активности Солнца.— Труды ГГО, 1970, вып. 258.

15. Bartels J. Discussion of time-variations of geomagnetic activity, indexes K_p and A_p , 1932—1961. Annales de Geophysique., 1963, t. 19, No. 1.

16. Priestler W. and Cattani D. On the semi-annual variation of geomagnetic activity and its relation to the solar corpuscular radiation. Journ. of the Atmosph. Sci., 1962, vol. 19, No. 2.

К ВОПРОСУ О СВЯЗИ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРЕДШЕСТВУЮЩИМИ АТМОСФЕРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В. Ю. Визе [3] показал, что количество осадков в апреле — мае в Воронежской и соседних с нею областях хорошо коррелируется с площадью льдов в Баренцевом море за май — июнь предшествующего года. А так как ледовитость Баренцева моря связана с общей циркуляцией атмосферы, то должна существовать зависимость между осадками рассматриваемой области и общей циркуляцией атмосферы. Эту зависимость можно исследовать статистическими методами, применив результаты для долгосрочного прогноза осадков.

Г. Я. Вангенгейм [2] разработал метод прогноза сезонного распределения метеорологических элементов на Европейской территории СССР (ЕТС), основанный на закономерностях преобразования от сезона к сезону преобладающих форм (типов) циркуляции; восточной (Е), западной (W) и меридиональной (С). Рассмотрены закономерности преемственности разных форм циркуляции, показана однородность лет, вошедших в выделенные типовые группы, установлена возможность перехода от сезонного прогноза форм циркуляции к прогнозу режима погоды. Представлен комплекс карт вероятности аномалий осадков различных градаций на ЕТС весной в зависимости от преобладания того или другого типа циркуляции в предшествующую зиму.

Л. А. Вительсом используются месячные числа дней с циклонической или антициклонической циркуляцией по восьми крупным районам, охватывающим Атлантику, Европу и Западную Сибирь [4]. В целях прогнозирования осадков на ЕТС (по 11 районам) были рассмотрены две серии карт барического режима — для месяцев, предшествовавших избытку осадков в том или ином районе ЕТС, и для месяцев, предшествовавших дефициту осадков. По этим картам были выделены те фазы подготовительного процесса, в которых контрастность аномалий барического режима выражена особенно резко, и найденные характеристики циркуляции использованы для прогноза аномалий осадков для всех месяцев года по районам ЕТС (краткое изложение методики дано в работе 11).

Д. А. Дрогайцев установил, что перед весенней засухой в пред-

зимье не было волн холода с северо-востока и наблюдались выносы тепла с юго-востока. Перед веснами с хорошим увлажнением в предзимье проходили волны холода с востока, которые сливались с волнами холода, пришедшими с запада, и усиливаясь смещались на юг; волн же тепла с юго-востока не наблюдалось [8]. Затем автор несколько развил метод, применив понятие «импульсы тепла и холода» (характеристики траекторий очагов роста и падения OT_{1000}^{500} [9]).

Е. В. Воробьева дает характеристику распределения осадков над ЕТС при преобладании различных форм атмосферной циркуляции по Г. Я. Вангенгейму [5]. В другой статье излагается метод прогноза осадков с заблаговременностью порядка двух лет на основе характеристики интенсивности зональной циркуляции над американо-атлантическим сектором северного полушария [6].

Принципиальные вопросы применения математической статистики к прогнозам месячного количества осадков разрабатываются Н. А. Багровым [1].

При составлении месячных и сезонных прогнозов погоды в Гидрометцентре СССР используется ряд работ, выполненных преимущественно сотрудниками ГМЦ (прогноз осадков составляет часть общего прогноза погоды).

В нашей работе сделана попытка установить связи между атмосферной циркуляцией и последующим распределением осадков в Воронежской области для месяцев переходного времени года — мая, сентября и октября. В качестве характеристик атмосферных процессов использовались месячные числа дней с формами циркуляции E, W, C по Г. Я. Вангенгейму. Нормы этих характеристик взяты по работе [7].

Для характеристики месячных сумм осадков были использованы карты [10], в которых осадки выражены в процентах от нормы. Материал имеется в настоящее время за период с 1891 по 1940 г.

Остановимся более подробно на выполненных нами разработках для мая. Были выбраны годы с аномально «сухим» и аномально «влажным» маем. К сухим относились те месяцы, в которые на территории Воронежской области осадков было меньше 80% нормы не менее чем на 90% площади области (80% нормы по данным одной точки мы допустили только в одном случае). К влажным были отнесены такие месяцы, в которых осадков было не менее 80% нормы не менее чем на 90% площади (лишь в одном случае было отмечено 70% нормы в одной точке). Из выбранных пяти лет три года (1903, 1912 и 1933 гг.) характеризовались количеством осадков не менее 160% нормы почти на всей площади.

Для получения количественной оценки осадков за каждый год с карт снимались данные, в десятках процентов по отношению к норме, для пяти точек с координатами:

Точка	1	2	3	4	5
Широта, N	50°	51°	52°	50°	51°
Долгота, E	40°	40°	40°	38°	42°

Снятые данные осреднялись по площади: за месячное количество осадков в Воронежской области принималось среднее арифметическое из пяти отсчетов, взятое в десятках процентов.

Связи режима осадков в мае с атмосферной циркуляцией за предшествующее время устанавливались сначала для групп экстремальных лет (отобранные наиболее сухие и наиболее влажные месяцы), а затем для всей совокупности данных 1891—1940 гг.

Атмосферные процессы рассматривались за два предшествующих года при помощи графиков средних групповых чисел дней с восточной, западной и меридиональной циркуляцией. Графики были построены отдельно для группы наиболее сухих и для группы наиболее влажных лет и затем совмещены друг с другом. На этих же совмещенных графиках нанесены и кривые хода среднего многолетнего числа дней с формами циркуляции.

Контрастность процессов, предшествующих положительным и отрицательным аномалиям, не обязательно проявляется во всей цепи процессов. Могут выделяться только отдельные стадии процесса, в которых контрастность выражена достаточно отчетливо и которым могут соответствовать прогностические признаки. На построенных нами графиках в некоторые месяцы отклонение в ходе кривых для группы сухих и влажных месяцев противоположны по знаку, кривые расположены по разные стороны от нормы, причем расхождение довольно значительно. Очевидно, что связи между циркуляцией и майскими осадками наиболее отчетливо могут проявиться именно в эти месяцы. Кроме того, на графиках можно выделить промежутки времени в несколько месяцев, в течение которых происходит, положим, убывание числа дней с западной циркуляцией от величины больше нормы до величины меньше нормы перед влажными месяцами, а перед сухими месяцами имеет место обратный ход кривой. В таком случае разность числа дней с данным типом циркуляции (между началом процесса убывания или нарастания и его окончанием) позволяет судить и об аномалиях количества осадков в последующие месяцы. Указанный способ отыскания вероятных прогностических связей для осадков в интервале времени 2—2,5 года был разработан Л. А. Вительсом и Е. В. Воробьевой [4, 6, 11].

Наметив по графикам месяцы и формы циркуляции, мы произвели оценку предполагаемых связей с использованием данных всех лет. Были построены диаграммы рассеивания [12] количества майских осадков в зависимости от характеристик циркуляции. Удалось выявить несколько связей линейного характера, т. е. с расположением точек внутри полосы, вне которой находились лишь отдельные точки. Эти точки, одни и те же для всех диаграмм, соответствовали 1903, 1912, 1933 гг. и были исключены из дальнейших разработок (только на одной диаграмме для типа С эти годы не выделялись, и поэтому вычисления были произведены как с включением, так и с исключением этих данных). Для связей, обнаруженных по диаграммам, были подсчитаны коэффициенты линейной корреляции между числами дней с той или другой формой циркуляции и коли-

чеством майских осадков. Затем были определены средние квадратические ошибки r по формуле:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}},$$

где n — число лет, и построены по методу наименьших квадратов уравнения регрессии. Использовались только те связи, где $|r| \geq 0,4$ при $|r : \sigma_r| \geq 3,0$

Результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Корреляционные связи между числом дней с формами циркуляции и осадками в мае в Воронежской области

Формы циркуляции, месяцы и годы	E(VI) ₋₂	W(VII-V) ₋₁	W(V-II) ₋₁	C(I+II+III) ₋₁
Коэффициент корреляции	-0,56	-0,48	0,38	0,46(0,54)
$ r : \sigma_r $	5,4	4,2	3,0	3,9(5,4)
Число лет	45	46	46	46(49)

Примечание. В первой строке римские цифры означают месяцы арабские — годы, предшествующие прогнозируемому маю. Для типа циркуляции С в скобках указаны данные, относящиеся ко всему периоду лет (без исключения выскакивающих точек).

Уравнения регрессии для вычисления количества осадков (в процентах от нормы) в зависимости от числа дней с циркуляцией имеют следующий вид (в порядке типов циркуляции, указанных в первой строке таблицы):

$$y = 90,5 - 0,69x, \quad y = 86,3 - 1,64x, \quad y = 83,0 + 1,26x,$$

$$y = 56,0 + 1,43x, \quad y = 47,7 + 2,11x,$$

где x — число дней.

Вычисленные по уравнениям регрессии количества осадков лишь в одном случае (для всех пяти уравнений и всех использованных лет наблюдений) отклонились от фактических на величину, превышающую 2σ .

Полученные результаты, по-видимому, в определенной степени подтверждают вывод В. Ю. Визе, который утверждал, что для рассмотренной территории «возможен, хотя и частично, прогноз майских осадков статистическим путем».

Нами найдено четуре процесса, с которыми коррелируется количество майских осадков. Июньское ослабление (усиление) восточной циркуляции по сравнению со средним многолетним указывает на вероятность увеличенного (уменьшенного) количества осадков.

в мае через два года. Ослабление (усиление) западной циркуляции от февраля к маю указывает на вероятность уменьшенного (увеличенного) майского количества осадков через год. Ослабление (усиление) западной циркуляции от мая к июлю указывает на вероятность увеличенного (уменьшенного) количества осадков в мае через год. Наконец, усиление (ослабление) меридиональной циркуляции в январе — марте свидетельствует о вероятности увеличенного (уменьшенного) количества осадков в мае следующего года. Здесь для краткости говорится об «усилении» или «ослаблении» типа циркуляции вместо «увеличения (уменьшения) числа дней», связанного с этим типом циркуляции.

Аналогичная работа была проведена для осадков за сентябрь и октябрь. Выводы получились менее четкими. При соблюдении указанных выше условий, которым должны удовлетворять прогностические связи, удалось установить лишь две зависимости, обе относящиеся к сентябрю. Прогностическими признаками являются числа дней $W(VI-V)_{-2}$ и $W(IX-VIII)_{-1}$, соответствующие коэффициенты корреляции имеют значения 0,42 и 0,40. По-видимому, макроциркуляционные процессы, обуславливающие режим осадков в мае, выражены более резко, чем соответствующие процессы, обуславливающие осадки в сентябре и октябре.

В дальнейшем следует продолжить исследование, используя и другие характеристики атмосферной циркуляции, помимо числа дней с циркуляцией E, W, C в европейско-атлантическом секторе, в целях повышения значимости прогностических связей. Что же касается уже найденных нами зависимостей, то предстоит проверка их на независимом материале (с 1941 г., после его поступления), с тем чтобы определить устойчивость зависимостей и наиболее целесообразные формы их комбинирования в целях прогноза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Н. А. Предсказание месячного количества осадков.— Метеорология и гидрология, 1966, № 7.
2. Вангенгейм Г. Я. Предсказание сезонных распределений метеорологических элементов.— Изв. АН СССР, серия географ. и геофиз., 1941, № 3.
3. Визе В. Ю. К вопросу о долгосрочном предсказании количества осадков в апреле и мае в южно-центральной и восточном районах Европейской России.— Геофизический сборник, 1925, т. IV, вып. 3.
4. Вительс Л. А. Характеристики барико-циркуляционного режима и их использование для долгосрочного прогноза сезонных особенностей циркуляции.— Труды ГГО, 1949, вып. 15 (79).
5. Воробьева Е. В. Характеристики осадков при основных формах циркуляции.— Труды ГГО, 1967, вып. 211.
6. Воробьева Е. В. Опыт сверхдолгосрочного прогноза месячных сумм осадков на основе учета сопряженности атмосферных процессов.— Труды ГГО, 1969, вып. 245.
7. Гирс А. А. Внутриэпохальные преобразования форм атмосферной циркуляции и их причины.— Труды ААНИИ, 1963, т. 255.
8. Дрогайцев Д. А. Температурные волны в тропосфере.— Труды ЦИП, 1963, вып. 120.

9. Дрогайцев Д. А. Метод долгосрочного прогнозирования осадков на весну и начало лета.— Труды ЦИП, 1964, вып. 135.

10. Карты месячных и годовых сумм осадков в отношении к многолетним средним северного полушария. Вып. 1—2, 1891—1940 гг. ГГО, 1964—1965.

11. Пагава С. Т. и др. Основы синоптического метода сезонных прогнозов погоды. Л., Гидрометеониздат, 1966.

12. Смирнов Н. В. и Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. Изд. 3-е, М., «Наука», 1969.

К СВЕРХДОЛГОСРОЧНОМУ ПРОГНОЗУ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

В определенных областях человеческой деятельности важны прогнозы климатического фона не только на десятилетия вперед, но на одно, два и даже три столетия. Так, при проектировании плотин, мостов, каналов желательно учитывать возможные изменения климатических элементов на одно — два столетия вперед. В Европе до настоящего времени функционируют мосты и плотины, дренажные и ирригационные системы, построенные триста — пятьсот лет назад. Существенным для прогнозирования изменений климатических характеристик является установление в последние десятилетия многочисленных связей между давлением и температурой воздуха, циркуляцией атмосферы и осадками, с одной стороны, и уровнем солнечной активности — с другой. Используя прогнозы солнечной активности на следующий цикл, климатологи не раз давали прогнозы будущих характеристик климата, ледовитости северных морей, стока рек и уровня озер, оказавшиеся удовлетворительными.

В последние годы мысль о влиянии положения планет на уровень солнечной активности, впервые высказанная Вольфом, нашла поддержку в ряде работ [3, 4, 5, 6], основная идея которых сводится к тому, что группировка планет в одной части эклиптики или рассредоточение их более или менее равномерно вокруг Солнца — важные временные реперы в ходе солнечной активности. Этот факт может быть положен в основу сверхдолгосрочного предсказания солнечной активности. В работе Джозе, в частности, было показано на материале двухсотлетних наблюдений, что соединение планет-гигантов приводит к смещению центра тяжести Солнца относительно неподвижного центра масс всей солнечной системы так, что между этими двумя центрами расстояние может меняться от 0,01 до 2,19 солнечных радиусов [5]. Хотя общий угловой момент всей солнечной системы и остается постоянным, угловые моменты планет и Солнца изменяются. Можно предполагать, что на Солнце возникают возмущающие силы, пропорциональные изменениям углового момента за единицу времени, которые способствуют росту запятанности поверхности Солнца. Хотя теория этого вопроса и не разработана, эти факты могут быть использованы для численного прог-

ноза солнечной активности. Вычисляя последовательно координаты планет и изменения углового момента Солнца, можно получить ряд данных, который возможно будет трансформировать в известные показатели солнечной активности, например числа Вольфа, используя коэффициенты связи, найденные из обработки наблюдений за прошлые годы. По целому ряду причин задача такого рода требует больших затрат труда даже при наличии современных быстродействующих машин и больших предварительных проработок.

Кроме того, этот путь мало нагляден. Однако можно использовать и более простой подход к решению данной проблемы, на котором мы и остановимся в настоящей статье.

Таблица 1

Относительные угловые скорости между планетами (градусы на месяц) и время между соединениями

	Юпитер	Уран	Плутон
Сатурн	1,5107 $\frac{\text{град.}}{\text{мес.}}$	0,6613 $\frac{\text{град.}}{\text{мес.}}$	
	238,30 мес.	544,38 мес.	—
	19,858 года	45,365 года	—
Нептун	—	0,1750 $\frac{\text{град.}}{\text{мес.}}$	0,06234 $\frac{\text{град.}}{\text{мес.}}$
		2057,14 мес.	5774,8 мес.
		171,428 года	481,233 года

Можно достичь значительного упрощения задачи, приняв скорость движения планет на орбитах равномерной и используя такую величину, как относительная угловая скорость движения двух соседних планет. Тогда легко подсчитать время между соединениями этих планет. В табл. 1 приведены относительные угловые скорости движения соседних планет от Юпитера до Плутона и соответствующие периоды их соединения. Поскольку вклад Сатурна и Юпитера в изменение углового момента Солнца доминирующий, то и проявление примерно 20-летнего цикла должно быть наиболее ярким в солнечной активности. В связи с тем что и в момент соединения двух планет и в том случае, когда планеты находятся по обеим сторонам от Солнца, угловой момент Солнца или не меняется или меняется незначительно в единицу времени, возмущающие силы на Солнце будут минимальны. Все циклы, указанные в табл. 1, окажутся по этой причине двойными, с двумя максимумами и двумя минимумами. В то время как минимумы будут повторяться через равные интервалы времени, соответствующие половинам указанных циклов, максимумы будут смещены к точке, совпадающей по времени с соединением двух соответствующих планет. Связано это с тем, что изменения углового момента Солнца

пропорциональны величине $R \cdot \Delta R$, где R есть расстояние между неподвижным центром масс системы Солнце — планеты и центром тяжести Солнца.

Принимая массы двух планет примерно равными, а движения центра тяжести Солнца примерно круговыми и проходящими через центр масс системы в момент наибольшего удаления двух планет друг от друга, можно показать, что наибольшие изменения углового момента Солнца будут происходить в то время, когда угол между планетами в гелиоцентрической системе координат будет примерно равен 60° . Это и объясняет смещение максимумов в изменениях углового момента Солнца и, соответственно, максимумов в активности Солнца к моменту соединения планет. Периоды, указанные в табл. 1, должны делиться поэтому максимумами активности Солнца в отношении 1 к 2. Так, период в 19,9 года должен распадаться на 6,6 и 13,3 года, период в 171,4 года — на 57,1 и 114,3 года, хотя по минимумам эти же периоды, как уже говорилось, должны делиться на равные части.

Соединения Юпитера и Сатурна вместе с приливными воздействиями планет земной группы, по-видимому, и определяют продолжительность и структуры основного 11-летнего цикла запятненности Солнца [4, 5, 6]. Другие циклы формируют фон, на котором и происходят 11-летние изменения активности Солнца.

Соединение трех или четырех планет должно вызывать появление таких циклов солнечной активности, обнаружить которые будет особенно легко, если предварительным сглаживанием убрать 11-летний цикл. При этом не обязательно требовать соединения трех или четырех планет в астрономическом смысле — будет достаточно, если произойдет их сближение в небольшой области солнечного небосвода, или, что то же самое, — в небольшом интервале гелиоцентрических долгот.

Очень мощный и устойчивый во времени цикл должно давать соединение четырех планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Продолжительность этого цикла близка к 178 годам. В этот период укладываются 9 соединений Сатурна и Юпитера, 4 соединения Урана и Сатурна и одно соединение Урана и Нептуна ($19,9 \times 9 = 179,1$ года, $45,4 \times 4 = 181,6$ года, $171,4 \times 1 = 171,4$ года). На существование цикла около 178 лет впервые обратили внимание Предтеченский, Шове и Андерсен. За последние годы цикл исследовался многими астрономами, причем Джозе назвал его основным циклом солнечной активности [5]. Однако, по-видимому, существует еще более длительный цикл солнечной активности — около 1900 лет, — связанный со сближением трех планет — Урана, Нептуна и Плутона, которого не заметил Джозе, опираясь на 200-летний ряд наблюдений ($481,2 \times 4 = 1925$ лет, $171,4 \times 11 = 1885$ лет). Этот цикл хорошо прослеживается в похолоданиях и потеплениях климата, в увлажненности материков, ледовитости северных морей и горных стран, в вулканизме и уровне Мирового океана, в изменениях постоянного магнитного поля Земли и других геофизических показателях [1, 2]. По-видимому, этот цикл следует считать

самым длительным и самым мощным циклом активности Солнца, самым существенным для происходящих на Земле процессов.

Сверхдолгосрочное прогнозирование солнечной активности, таким образом, может основываться на соединении двух циклов — 178-летнего и 1900-летнего — с учетом присущих им особенностей. На рис. 1 сплошной кривой показан сглаженный с использованием биномиальных коэффициентов ход годовых чисел Вольфа, а частым пунктиром — ход прогнозируемых чисел Вольфа на 200 лет вперед.

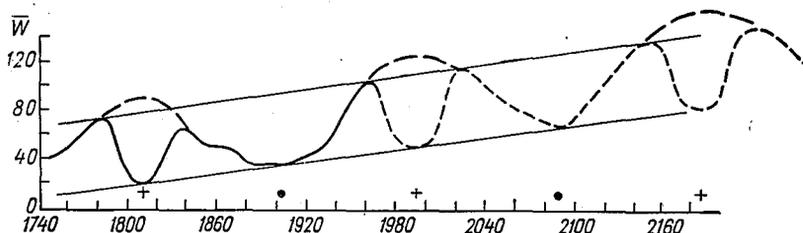


Рис. 1. Средний уровень солнечной запятненности. W — число Вольфа.

Прогноз основывался на следующих соображениях. Наибольшее сближение Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна в прошлом веке происходило около 1810 г., следующее — произойдет около 1990 г. (крестики на рисунке). В эти моменты, а также на 90 лет раньше и позднее (точки на рисунке) должны наблюдаться минимумы солнечной активности, равные по величине. Около моментов соединения четырех планет должны располагаться равные по величине максимумы солнечной активности на расстоянии равном 55—60 годам. Если максимумы и минимумы солнечной активности не равны между собой — это говорит о вмешательстве цикла, равного 1900 годам. Из имеющихся данных инструментальных наблюдений можно получить сведения о трех максимумах и двух минимумах солнечной активности в 178-летнем солнечном цикле. Учитывая, что амплитуды двух соседних 178-летних циклов должны быть примерно равными, можно по этим пяти точкам провести две параллельные прямые, расстояние между которыми будет соответствовать амплитуде 178-летнего или, практически говоря, 90-летнего цикла солнечной активности. Максимум 1840 г. мы не приняли во внимание, поскольку он вследствие неудачного сочетания, как мы предполагали, максимумов в 19,9, 45,4 и 481,2-летних циклах оказался размытым и аномально низким.

Поскольку сближение Урана, Нептуна и Плутона произойдет где-то около 2350 г., современную эпоху можно рассматривать как эпоху относительно быстрого нарастания солнечной активности в 1900-летнем цикле. Принимая, что темп этого нарастания будет в ближайшие два столетия примерно таким же, как и в прошедшие два столетия, можно получить все необходимые координаты для переломных точек сглаженных чисел Вольфа на ближайшие два столетия.

По-видимому, уровень солнечной активности будет повышаться вплоть до 2250 г., после чего наступит снижение активности, продолжительность которого будет примерно равна $\frac{1}{3}$ наиболее продолжительного периода, связанного с соединением Нептуна и Плутона (481,2 года), т. е. примерно 160 годам. Наиболее мощные максимумы будут наблюдаться около 2150 и 2200 гг.

Имеются многочисленные пути уточнения приведенной наглядной схемы, ценность и целесообразность использования которой будет тем больше, чем глубже мы будем осведомлены о физике влияния положения планет-гигантов на солнечную активность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. М., «Наука», 1969.
2. Берг Л. С. Климат и жизнь. ОГИЗ, 1947.
3. Bigg E. K. Influence of the Planet Mercury on Sunspots. *Astron. J.*, 1967, vol. 72, No. 4.
4. Nemeth T. An attempt to the explanation and to the Prediction of the Eleven-Year Cycle of Solar Activity. *Pure and Appl. Geoph.*, 1966, vol. 63, No. 1.
5. Jose P. D. Sun's motion and Sunspots. *Astron. J.*, 1965, vol. 70, No. 3.
6. Clayton H. H. Solar cycle. *Smith. Miss. Coll.*, 1947, 106, No. 22.

О ПРОВЕРКЕ УСПЕШНОСТИ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ОСАДКОВ НА ПЯТИЛЕТИЕ 1966—1970 гг.

В работе О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [1] дан прогноз средних пятилетних аномалий осадков за теплый (апрель — октябрь) и холодный (ноябрь — март) периоды года в пределах 20-летия 1966—1985. Прогноз был дан на основе учета многолетних квазипериодических составляющих хода осадков. Поскольку первое пятилетие уже позади, имело смысл проверить успешность прогноза, на основании чего можно в дальнейшем внести соответствующие уточнения в прогнозы на последующие пятилетия.

К сожалению, в связи с некоторым изменением методики измерений осадков сравнимость современных наблюдений с прошлым периодом существенно нарушилась. Введение осадкомеров вместо дождемеров мало нарушило сравнимость наблюдений в теплую часть года (кроме весеннего периода до установки в осадкомер воронки, когда резко возросло испарение), но в холодную часть года нормы осадков изменились, причем из-за фактического отсутствия параллельных наблюдений на конкретных станциях изменение нормы могло быть учтено лишь ориентировочно.

Затем в современные нормы наблюдений над осадками вносятся поправки на смачивание и ветровой недоучет осадков, в текущие же наблюдения вносятся пока лишь поправка на смачивание. Поправки эти неточны, но они хорошо известны, и восстановить сравнимость норм исключением поправок не составило бы труда, если бы не изменение числа сроков наблюдений с 2 на 4 с 1967 г. Последнее уменьшило поправку на испарение, но существенно увеличило поправку на смачивание (в среднем в 1,8 раза), следовательно, нормы все равно изменяются, даже если взять неисправленные данные.

Условно нами было принято, что эти поправки приблизительно компенсируют друг друга, но, конечно, не в географическом аспекте и не в годовом ходе.

Между тем пятилетние средние имеют сравнительно малую изменчивость, особенно в районах и сезонах, где преобладают короткие циклы. Последние преобладают во многих местах летом, а зимой — в основном в низовьях Волги. Вариационные коэффициенты

составляют на севере и в центре Европейской части СССР и Западной Сибири в теплый период 0,17—0,28, в холодный период 0,14—0,30; на юго-западе Европейской части СССР соответственно 0,19—0,33 и 0,25—0,33, на юге Сибири 0,21—0,24, 0,33—0,35, в Крыму, на юго-востоке Европейской части СССР и на бывших целинных землях Казахстана 0,28—0,43 и 0,22—0,61. Таким образом, в среднем вариационный коэффициент составляет в теплый период около 0,25, в холодный 0,30, и, пренебрегая связностью, можно считать, что изменчивость пятилетних сумм будет в 2 раза меньше, т. е. составит для теплого периода 0,11 и для холодного 0,14. Деля диапазон изменения переменного на три равновероятных интервала — норма, выше нормы и ниже нормы, — находим, что граница интервала «норма» должна проходить около 0,43 σ , что для теплого периода составляет в среднем 5% нормы, а для холодного — около 6% нормы. Поэтому ошибка в норме в 5—6% уже переносит величину из градации «норма» в одну из крайних, существенно ухудшая прогноз.

Между тем, после всех изменений методики вряд ли можно ручаться за 5-процентную точность норм. Соответственно прогноз будет правильно оценен в районах, где предсказаны большие аномалии, и может быть оценен как неточный в местах, где была предсказана норма, хотя прогноз был на самом деле удачным. Благодаря любезности С. А. Сапожниковой нам был прислан для проверки материал 50 станций (за холодный период — 48), использованных нами или находящихся близко от них и расположенных на Европейской части СССР, Западной Сибири, Казахстана; одна станция — в Закавказье (Тбилиси). По этим станциям по возможности была восстановлена сравнимость рядов способом, упомянутым выше.

Результаты проверки объединены по следующим районам: южная половина Европейской части СССР (18 станций), целинные земли юга Сибири и Казахстана, а также Средняя Азия (11+2), север Европейской части СССР (13 станций) и северная часть Западной Сибири (4 случая в холодный и 6 случаев в теплый период) (оба последних района пришлось объединить вместе из-за малочисленности данных).

Проверка производилась двумя путями.

1. Оценивалось совпадение знаков предсказанного и фактического. Прогноз нормы не рассматривался и учитывался лишь в случае точного совпадения прогноза и фактических осадков, на основании этих сведений вычислялся аналог качественного коэффициента корреляции ρ : из числа совпадений знаков вычиталось число совпадений, и разность делилась на общее число использованных случаев.

2. Оценивалась оправдываемость прогноза по трем градациям: норма, выше нормы и ниже нормы. За границу нормы брался интервал $\pm 5\%$ от нормы — для теплой части года. Это в среднем правильно, но для холодного периода такой интервал несколько маловат. Было бы еще лучше эти интервалы варьировать в зависи-

Результаты проверки прогноза аномалий осадков на пятилетие
1966—1970 по западной половине СССР

Район	Число станций	Сезон	Совпадение знака (%) или градации (%)	Различие на 1 балл (%)	Несовпадение знаков (%)
Юг ЕТС	18	Холодный			
I способ			78	11	11
II способ			88	6	6
	18	Теплый			
I способ			39	56	5
II способ			56	44	0
Север ЕТС и Западной Сибири	17	Холодный			
I способ			35	53	12
II способ			47	41	12
	19	Теплый			
I способ			37	37	26
II способ			58	21	21
Юг Западной Сибири, Казахстан и Средняя Азия	13	Холодный			
I способ			24	38	38
II способ			31	31	38
	13	Теплый			
I способ			38	31	31
II способ			38	38	24
Вся территория	48	Холодный			
I способ			48	33	19
II способ			58	25	17
	50	Теплый			
I способ			38	42	20
II способ			52	34	14

мости от фактической изменчивости на каждой станции, но мы этого пока не делали (возможно, что в связи с этим в районах большой изменчивости мы получили пониженную успешность прогноза). Аналог количественного коэффициента корреляции r вычислялся следующим образом: совпадение градаций отмечалось как успех (+1), расхождение на одну градацию (норма — выше или ниже нормы) — (0) и расхождение на две градации (ошибки

в знаке) как ошибка (—1); алгебраическая сумма баллов делилась на общее число случаев. (Это соответствует количественному коэффициенту корреляции, вычисленному по трем градациям.)

Данные проверки сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между прогнозировавшимися на пятилетие 1966—1970 гг. и фактическими осадками

Район	Сезон	ρ	r	Процент успешных прогнозов	
				I способ	II способ
Юг ЕТС	Холодный	0,73	0,88	84	91
	Теплый	0,31	0,46	67	78
Север ЕТС и Западной Сибири	Холодный	0,23	0,35	61	68
	Теплый	0,11	0,37	56	69
Юг Западной Сибири, Казахстан и Средняя Азия	Холодный	—0,07	+0,07	43	47
	Теплый	0,007	0,14	54	57
Вся территория	Холодный	0,29	0,41	65	71
	Теплый	0,18	0,38	59	69

Самый удачный прогноз был для юга Европейской части СССР, где аномалии осадков были исключительно резкими, неудачным получился прогноз для целинных земель (особенно на зиму). Прогноз с отделением нормы от крупных аномалий везде получился успешнее прогноза аномалий только по знаку, причем в первом случае разница в успешности между теплым и холодным периодами в среднем невелика, в то время как без учета интенсивности аномалий она довольно заметна. Это говорит о том, что предложенный метод реально учитывает степень интенсивности ожидаемой аномалии.

Вероятность осуществления прогноза точно по знаку лишь немного больше половины, но ошибка в знаке аномалии имеет место лишь в 14—17% случаев. Много случаев (25—34%) приходится на замену аномалии на норму или наоборот.

Прогноз нормы в среднем давался в холодный период в 33% случаев, в теплый — 42%. Таким образом, в среднем границы интервалов при проверке были выбраны правильно. Однако, вероятно, при условии детализации этих соотношений по отдельным станциям с учетом изменчивости осадков на них успешность была бы несколько большей, чем при принятой нами упрощенной методике проверки.

Соответствует ли степень успешности прогнозов аномалии априорному их уровню? Нет, за прошлое пятилетие уровень успешности оказался несколько ниже априорного. Однако, если учесть

как нарушение сравнимости метеорологических рядов, так и огрубленную методику проверки, то меньшая, чем ожидаемая, успешность может быть вполне объяснена, даже если не учитывать особенностей данного пятилетия. О последних мы уже упоминали в своей монографии. Прогноз был несколько затруднен повышенной вероятностью трансформации циклов в 60-е годы. Сбор и подготовка материалов для проверки прогноза произведены инженером К. В. Еременко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов О. А. и Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1971.

ОПЫТ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕСЕННИХ СЕЗОНОВ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

Для удовлетворения практических нужд различных отраслей народного хозяйства, особенно для наиболее рационального использования природных ресурсов, необходимо детальное знание климатических условий по отдельным сезонам года. Среди работ о сезонах года большая доля исследований посвящена изучению устойчивых сезонов — зимы и лета. Переходные сезоны — весна и осень, характеризующиеся резкими изменениями не только климатообразующих факторов, но и всего климатического режима в целом, — изучены менее. Особое значение этот вопрос приобретает в районах с резко выраженной континентальностью климата, где исключительно быстрый ход весны заставляет проводить сельскохозяйственные и другие работы в самые сжатые сроки.

Вопросами определения климатических сезонов занимались К. С. Веселовский [3], Н. Н. Галахов [4], Т. В. Покровская [8], А. Н. Лебедев [6], М. Х. Байдал [2] и другие.

В работе «О климате России» К. С. Веселовский пишет: «Метеорологическое разделение времени года, однообразное для всех мест, дает возможность сравнивать распределение теплоты в различных местах земного шара за одни и те же периоды времени, но как начало и конец каждого времени года определяется при этом известными днями календаря, то это разделение, очевидно, не везде соответствует тем понятиям, какие с временами времени года соединяются в общежитии и особенно в земледельческой практике». Сто с лишним лет назад он предложил принимать за начало весеннего сезона устойчивый переход средних суточных температур через 0° , а за окончание — переход их через 15° . Критерии, предложенные К. С. Веселовским, нашли широкое применение. В своих исследованиях ими пользовались Ф. Шперк, И. П. Семенов-Тянь-Шаньский, А. Н. Лебедев и другие. В настоящее время их широко используют агрометеорологи, поскольку с указанными градациями совпадают важнейшие этапы развития сельскохозяйственных культур [1, 7].

Так, переход средней суточной температуры через 0° в Северном Казахстане совпадает с временем схода снежного покрова

и связан с началом вегетации растений. С датой перехода температуры через 5° связано наступление мягкопластичного состояния верхних слоев почвы, или, как говорят специалисты, ее «физической спелости». Эта дата ориентировочно принята за начало сева ранних зерновых культур, гороха, подсолнечника, и начало активной вегетации многих плодовых и дикорастущих растений [1]. Дата перехода температуры через 10° принята за дату начала сева поздних зерновых культур, кукурузы и проса [7]. Выбор даты устойчивого перехода средней суточной температуры через 15° как критерия для определения окончания весны обусловлен тем обстоятельством, что в рассматриваемом районе к этому времени прекращаются заморозки [5]. Эта же дата принята за начало сева таких теплолюбивых культур, как огурцы и рис [7]. В силу того, что такое деление хорошо отражает основные климатические особенности данной территории, будем использовать его в дальнейшем для определения весеннего сезона.

Т. В. Покровская [8] считает, что за начало весны лучше принимать время устойчивого повышения дневных температур до 0° , вследствие чего «начинается таяние и оседание снежного покрова». За конец весны она принимает устойчивый переход дневных температур через 10° . Такое деление, безусловно, имеет свои основания, но в наших целях для увязки с практикой сельского хозяйства удобнее пользоваться определением Веселовского.

М. Х. Байдал [2] первым выделил по датам устойчивого перехода средней суточной температуры через $-5, 0, 5, 10^{\circ}$ и последнего заморозка шесть типов весен, характерных для Северного Казахстана: очень ранний с замедлением, ранний с замедлением, ранний с ускорением, средний с замедлением, средний с ускорением и средний дружный. Типизация хорошо отражает интенсивность нарастания температуры в диапазоне от -5 до 10° , но твердых критериев она не дает. Трудно согласиться с и отсутствием нормальных типов весен, численность которых зависит от методического подхода. Кроме того, переход средних суточных температур через -5° не соответствует тому пониманию весны, которое исторически сложилось; такой подход расходится с фенологическими данными.

А. Н. Лебедевым для территории целинных и залежных земель дана подробная характеристика продолжительности периодов повышения средних суточных температур воздуха от 0 до 5, от 5 до 10 и от 10 до 15° . Им впервые указано на большие отклонения от норм, которые наблюдаются в датах перехода. Особо интересные выводы получены по обеспеченности дат перехода через указанные пределы при известных средних многолетних, что позволяет значительно расширить значение и смысл средних величин. Однако он не рассматривает полной картины прохождения фаз тепла в каждом сезоне в целом.

Главной задачей настоящей статьи является разработка методики для сведения всего многообразия температурного режима Северного Казахстана весной к определенным типам, характеризующимся общностью условий формирования и развития во вре-

мени. Помимо дат устойчивого перехода через 0, 5, 10, 15° в качестве критерия использовались средние месячные температуры воздуха и их отклонения от нормы. За основной показатель принимались их средние квадратические отклонения от нормы (σ). Для анализа температурных кривых использовался 90-летний ряд наблюдений (1881—1970) по станциям Барнаул, Оренбург и Целиноград. Ввиду того что в наблюдениях по станции Целиноград имелись пропуски, ряд восстанавливался по картам отклонений от нормы. Типизация проводилась в несколько этапов в следующей последовательности: 1 — выделение типов сезонов по датам устойчивого перехода температуры воздуха через 0, 5, 10, 15°; 2 — выделение типов сезонов по аномалиям средних месячных температур воздуха в апреле — мае; 3 — обобщение результатов первых двух типизаций с целью перейти к единой комплексной типизации.

На первом этапе работы по средним месячным температурам воздуха графически определялись даты устойчивого перехода через вышеуказанные пределы и вычислялись их средние квадратические отклонения от нормы так, как принято в климатологическом справочнике (по методике И. А. Гольцберг [5]). Расчеты показали, что средние квадратические отклонения дат устойчивого перехода в рассматриваемом районе характеризуются малой изменчивостью как в пространстве, так и от месяца к месяцу. В связи с этим для всех станций и месяцев σ считалось постоянной величиной, равной 8 дням. Критерии дат установлены следующим образом: нормальная $3 \geq \Delta t \geq -3$, ранняя $\Delta t \leq -4$ и поздняя $\Delta t \geq 4$, где Δt — отклонение от средней даты в сутках. Таким образом, за предел выхода из класса нормы принималось 0,5 σ . Затем по аномалиям дат перехода от нормы каждая градация была зашифрована цифрами 1, 2, 3, где 1 — нормальная, 2 — ранняя, 3 — поздняя даты. Каждый весенний сезон оказывается зашифрованным набором из четырех цифр. В зависимости от преобладания в этой группе цифр того или иного порядка выводится общий индекс сезона. Так, переход температуры воздуха через 0 и 5° в Барнауле в 1935 г. наблюдался на 3 и 2 дня позже, а через 10 и 15° — на 2 и 6 дней раньше срока. Первые три даты шифруются цифрами 1, а последняя — 2. В целом весь сезон оказался зашифрованным цифрами 1, 1, 1, 2, что позволило отнести данную весну к нормальному типу.

Помимо трех вышеуказанных типов выделяются еще два: с возвратом холодов — с ранним началом периода и поздним окончанием — и компенсационный — с началом позже, а окончанием раньше нормы. Первый шифруется цифрой 4, а второй — 5.

Классификация по датам перехода хорошо отражает сроки наступления и продолжительность весенних периодов. Весенний сезон компенсационного типа — самый короткий. Наиболее характерным примером является весна 1908 г. в Барнауле, с началом на 4 дня позже, а окончанием на 16 дней раньше срока. При средней продолжительности 52 дня все фазы тепла оказались пройденными в течение 32 дней. Напротив, отличительной особенностью типов весны с возвратом холодов является их растянутость. В среднем весны

этого типа длятся на 10—12 дней дольше нормальных. В некоторые годы они бывают более продолжительными. Наиболее типичным случаем была весна 1893 г. в Барнауле, с началом на 17 дней раньше, а окончанием — на 11 дней позже срока. Длительность весны составляла 80 дней, что является рекордной цифрой для рассматриваемого сезона.

Практика приводит к необходимости учитывать крупные аномалии. В годы с шифром 1, 1, 2, 2 или с другими сочетаниями 1, 2 учитывается величина отклонения. Если хотя бы в одной градации величина отклонения составляет 10 дней, то весна считается ранней. В качестве примера характерен 1965 г. в Барнауле. Первые фазы тепла прошли с небольшим опережением — на 3 и 2 дня соответственно, в дальнейшем опережение достигло более высоких значений — 7 и 16 дней. Все даты перехода оказались зашифрованными так: 1, 1, 2, 2. Крупные отклонения в последней завершающей стадии весны позволяют отнести ее к типу ранней. Аналогичное правило распространялось и на периоды с отрицательными отклонениями. При ситуациях 1, 1, 3, 3 и их сочетаниях (1, 3, 1, 3; 3, 1, 1, 3 и т. п.) весна считалась поздней, если запаздывание хотя бы в одной градации равнялось или превышало 10 дней.

Следующим этапом работы была типизация, в основу которой положены средние месячные отклонения температуры от нормы в апреле — мае. Температурные показатели марта в расчет не принимались, поскольку в среднем устойчивый переход температуры воздуха через 0° и сход снежного покрова в рассматриваемом районе происходит в самом начале апреля.

В связи с тем что средние квадратические отклонения температуры воздуха от нормы изменяются как в пространстве, так и во времени, количественные критерии типов для каждой станции и каждого месяца разные. Так же, как и в предыдущей типизации, пределом выхода из нормы считалось 0,5 σ . Цифрами 1, 2, 3 шифруются величины отклонения температуры от нормы в течение двух месяцев, притом цифрой 2 обозначаются теплые, а 3 — холодные месяцы. Индекс весеннего сезона зависит от сочетания индексов в апреле и мае. Если в апреле $\Delta t \geq 0,5 \sigma$, а в мае $\Delta t \leq -0,5 \sigma$, то сезон относится к типу с возвратом холодов. При $\Delta t \leq -0,5 \sigma$ в апреле, меняющемся на $\Delta t > 0$ с шифром 1 в мае, весенний сезон считался холодным, а если Δt в мае и апреле в среднем больше $1/2 \sigma$ — теплым. При $\Delta t > 0$ в апреле и $\Delta t \leq -\sigma$ в мае весна считалась холодной, если среднее $\Delta t \leq -1/2 \sigma$, и нормальной при $\Delta t \leq 1/2 \sigma$ в апреле и малом $\Delta t < 0$ в мае, а также при $\Delta t \leq 1/2 \sigma$. При $\Delta t \leq -1/2 \sigma$ в апреле, сменяющемся в мае на $\Delta t \geq 1/2 \sigma$, весенний сезон считался компенсационным.

Следующим этапом работы явилось построение комплексной классификации, в основу которой положены индексы двух разобранных выше классификаций. Как правило, ранние весны оказы-

вались теплыми, поздние — холодными, что привело к совпадению типов по одной и по другой типизации. Однако не все индексы в типизациях совпали, что послужило поводом для выделения двух подтипов и одного типа вёсен. Сочетания индексов 1(2) были сведены в один подтип, который шифровался как 1а (например, Целиноград — 1909, 1954, 1955 гг., Оренбург — 1881, 1920, 1832 гг.), а сочетания 4(2) — в 4а (Целиноград — 1912, 1931, 1939, Барнаул — 1938, 1946, 1947 гг.). Первый свидетельствовал о теплом начале весны и нормальном окончании, а второй указывал на теплую раннюю весну с поздним возвратом холодов. Сочетания 1(3), 4(1), 5(1), 1(5), 5(3), 3(5), где первая цифра — шифр типизации по датам перехода, а цифра в скобках — по аномалиям средней месячной температуры воздуха, выделены в особую группу — вне типа. (Целиноград — 1902, 1948, Оренбург — 1905, 1925, Барнаул — 1942, 1950 гг. и др.) Применение обеих классификаций позволяет полнее учесть информацию, представленную средними месячными температурами воздуха. Так, если классификация по датам перехода непосредственно отражает сжатость или растянутость, опережение или запаздывание, а по отклонениям средней месячной температуры от нормы — уровень температуры воздуха, то общая классификация указывает как на то, так и на другое. Ниже приведена таблица повторяемости типов весенних сезонов по общей классификации. Из табл. 1 видно, что наиболее часто повторяются 4 типа — нормальный, теплый, холодный и тип вёсен с возвратом холодов. Нормальные чаще встречаются в Оренбурге (35,6%), а типы вёсен с возвратом холодов наиболее часты в Барнауле (22,2%).

Представляет интерес сравнить одновременность наступления типов вёсен на рассматриваемых станциях. Как видно из табл. 2, совпадение типов незначительное, причем наименьшее сходство наблюдается между Барнаулом и Оренбургом, что объясняется значительной удаленностью станций друг от друга. Интересно сравнить результаты одновременности наступления вёсен по общей классификации со случайным совпадением. Как показали расчеты, только для типов вёсен с возвратом холодов для Барнаула — Оренбурга фактическая повторяемость одновременного наступления равна вероятности случайных совпадений. Во всех других случаях фактическая повторяемость гораздо больше. Что касается вопроса сравнения термического режима указанных пар станций, то он не является новым.

Подобная, но с более общим подходом работа уже проделана Рубинштейн [9]. Приведенные ею изокорреляты средней месячной температуры воздуха для территории Советского Союза по отношению к данным Барнаула позволяют судить о тесноте связи в разное время года. Наиболее тесная связь оказалась между Барнаулом и Целиноградом. Коэффициенты корреляции в марте, апреле и мае соответственно равнялись 0,80, 0,75, 0,55. Теснота связи к западу с увеличением расстояния и от марта к маю падает. Так, коэффициент корреляции между Барнаулом и Оренбургом в марте равен 0,55, в апреле 0,15 и в мае — 0,35. Как следствие этого, в мае в те

Таблица 1

Повторяемость типов вёсен по общей классификации (число случаев и проценты к общему числу лет наблюдений)

Пункт	Тип вёсен											
	нормальная		теплая (ранняя)		холодная (поздняя)		с возвратом холодов		компенсационная		вне типа	
	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%
Барнаул	22	24,4	14	15,5	20	22,2	20	22,2	8	8,9	6	6,7
Целиноград	25	27,8	19	21,1	18	20,0	11	12,2	8	8,9	9	10,0
Оренбург	32	35,6	17	18,9	23	25,6	9	10,0	5	5,5	4	4,4

Таблица 2

Результаты выявления одновременности наступления вёсен (число случаев и проценты к общему числу лет наблюдений)

Пункт	Тип вёсен												Всего	
	нормальная		теплая (ранняя)		холодная (поздняя)		с возвратом холодов		компенсационная		вне типа		число случаев	%
	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%		
													число случаев	число случаев
Целиноград—Барнаул	12	13,3	11	12,2	12	13,3	5	5,6	7	7,8	3	3,3	50	55
Целиноград—Оренбург	15	16,7	11	12,2	10	11,1	4	4,4	1	1,1	—	—	41	45
Оренбург—Барнаул	10	11,1	6	6,7	7	7,8	2	2,2	1	1,1	—	—	26	28

периоды, когда в Оренбурге наблюдается повышение температуры, в Барнауле часто имеет место похолодание, и наоборот. На графиках скользящих средних десятилетних температур, помещенных в работе Рубинштейн и Полозовой [10], хорошо видны несовпадения фаз колебаний температуры на этих станциях.

Обращает на себя внимание тот факт, что хорошо выраженные вёсны с крупными аномалиями температуры и дат перехода в рассматриваемом районе относятся к одному типу.

В дальнейшем предполагается продолжить исследования по основным длиннорядным станциям Северного Казахстана с целью выявления условий формирования основных типов вёсен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агроклиматические и водные ресурсы районов освоения целинных и залежных земель. Под редакцией Ф. Ф. Давитая. Л., Гидрометеиздат, 1955.
2. Байдал М. Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебаний климата Казахстана. Часть 1 и 2. Л., Гидрометеиздат, 1964.
3. Веселовский К. С. О климате России. СПб, 1857.
4. Галахов Н. Н. Изучение структуры климатических сезонов года. М., Изд. АН СССР, 1959.
5. Гольцберг И. А. Агрометеорологическая характеристика заморозков в СССР и методы борьбы с ними. Л., Гидрометеиздат, 1961.
6. Лебедев А. Н. Обеспеченность дат перехода средней суточной температуры воздуха через 0, 5, 10, 15° весной на территории целинных и залежных земель. Труды ГГО, 1956, вып. 65(127).
7. Методические указания по составлению справочников «Агроклиматические ресурсы области». М., Гидрометеиздат, 1967.
8. Покровская Т. В. Климат Ленинграда. Л., Гидрометеиздат, 1957.
9. Рубинштейн Е. С. Количественная характеристика связи между температурой воздуха разных частей Советского Союза.—Труды 1-й научной конференции по общей циркуляции атмосферы (1960, 14—18 марта). М., Гидрометеиздат, 1962.
10. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. Л., Гидрометеиздат, 1966.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. П. Спирина. О сезонных изменениях поля температуры северного полушария после вулканических извержений	3
Е. В. Воробьева, С. Б. Дмитриева. Особенности структуры распределения интенсивности зональной циркуляции в связи с вторжениями корпускулярного потока в магнитосферу	8
Б. И. Сазонов, Т. М. Зушинская, Т. Н. Ульянова. Космические факторы и циклы в давлении воздуха	19
Б. И. Сазонов. Основные частоты геофизических процессов. Часть I	25
Т. М. Зушинская, Б. И. Сазонов. Основные частоты геофизических процессов. Часть II	37
Л. Г. Полозова. Аномалии средней месячной температуры воздуха над северным полушарием в различные фазы 11-летнего и векового циклов солнечной активности	47
Л. Г. Полозова. Точность норм средней месячной температуры воздуха в зависимости от ее многолетних колебаний	52
А. В. Ефанова. О методике изучения холодных зим	66
М. А. Верещагин. Краткая характеристика некоторых результатов изучения горизонтальных потоков тепла над Европейской территорией СССР	75
М. А. Верещагин. О связи между направлениями макротурбулентного потока тепла и горизонтального градиента средней температуры	84
О. А. Дроздов. О фазах векового цикла количества осадков на территории Евразии	91
Л. А. Вительс. О периодичности осадков на Европейской территории СССР	100
Л. А. Кудрявцева. К вопросу об исследовании 20—24-летнего цикла в ходе характеристик атмосферной циркуляции и осадков	106
А. С. Григорьева, О. А. Дроздов, К. В. Еременко, И. В. Малкова. Структура колебаний осадков отдельных месяцев года	116
Т. В. Покровская. О связи наступления засух на Европейской территории СССР с корпускулярным излучением Солнца	126
Н. П. Баранов, А. Н. Милованова. К вопросу о связи количества осадков в Воронежской области с предшествующими атмосферными процессами	136
Б. И. Сазонов. К сверхдолгосрочному прогнозу солнечной активности	142
О. А. Дроздов. О проверке успешности климатологического прогноза осадков на пятилетие 1966—1970 гг.	147
Г. Н. Чичасов. Опыт классификации весенних сезонов в Северном Казахстане	152

ТРУДЫ ГГО, ВЫП. 299

Общая и синоптическая климатология

Редактор Е. И. Ильиных
Техн. редактор Л. М. Шишкова
Корректоры: Т. В. Алексеева и Г. С. Макарова

Сдано в набор 27/X 1972 г. Подписано к печати 17/V 1973 г.
М-11107. Формат 60×90^{1/16}, бум. типогр. № 1. Печ. л. 10,5
Уч.-изд. л. 10,96. Тираж 800 экз. Индекс МЛ-76. Зак. 913.
Цена 78 коп.

Гидрометеиздат, 199053, Ленинград, 2-я линия, 23

Сортавальская книжная типография Управления по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли Совета Мини-
стров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.