

П48

Т. В. ПОКРОВСКАЯ

СИНОПТИКО-КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ
И
ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ
ДОЛГОСРОЧНЫЕ
ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ

59636



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1969

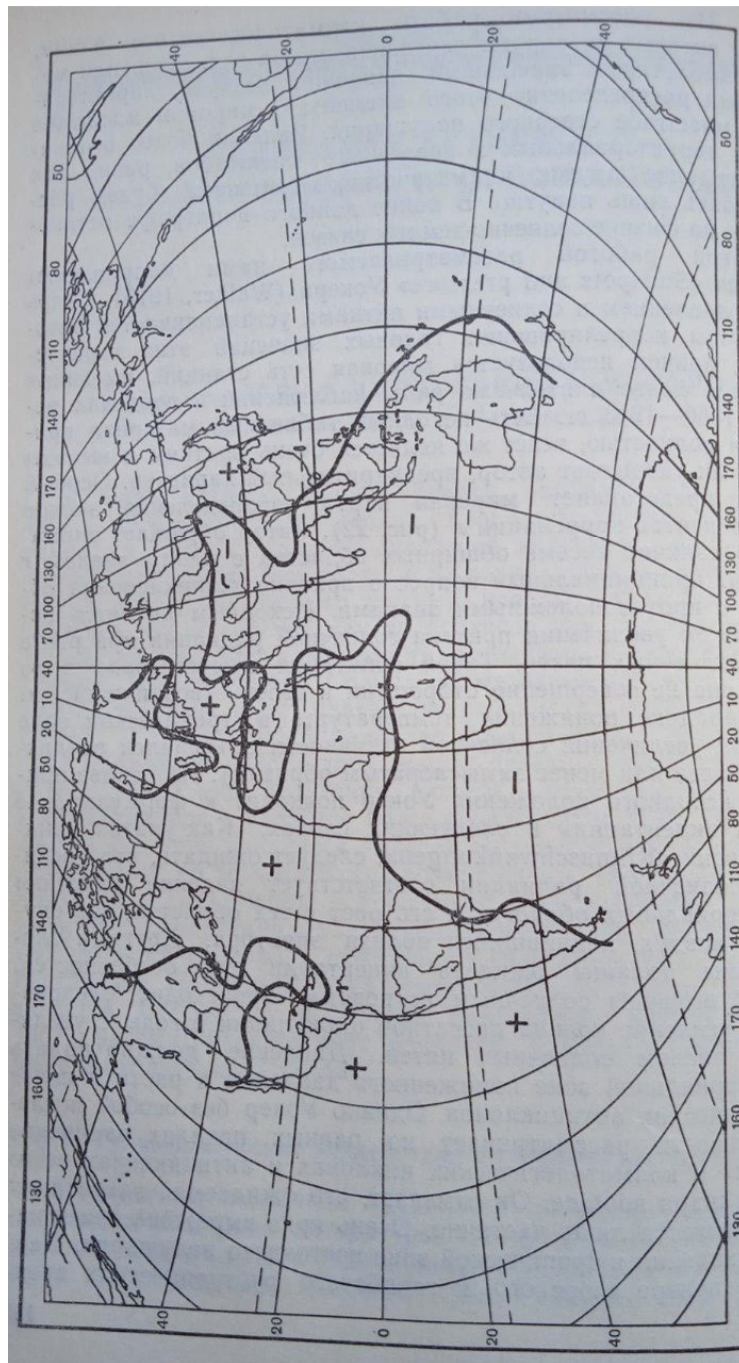


Рис. 22. Знаки коэффициентов корреляции между средним годовым числом солнечных пятен и давлением воздуха (по Дж. Т. Уокеру).

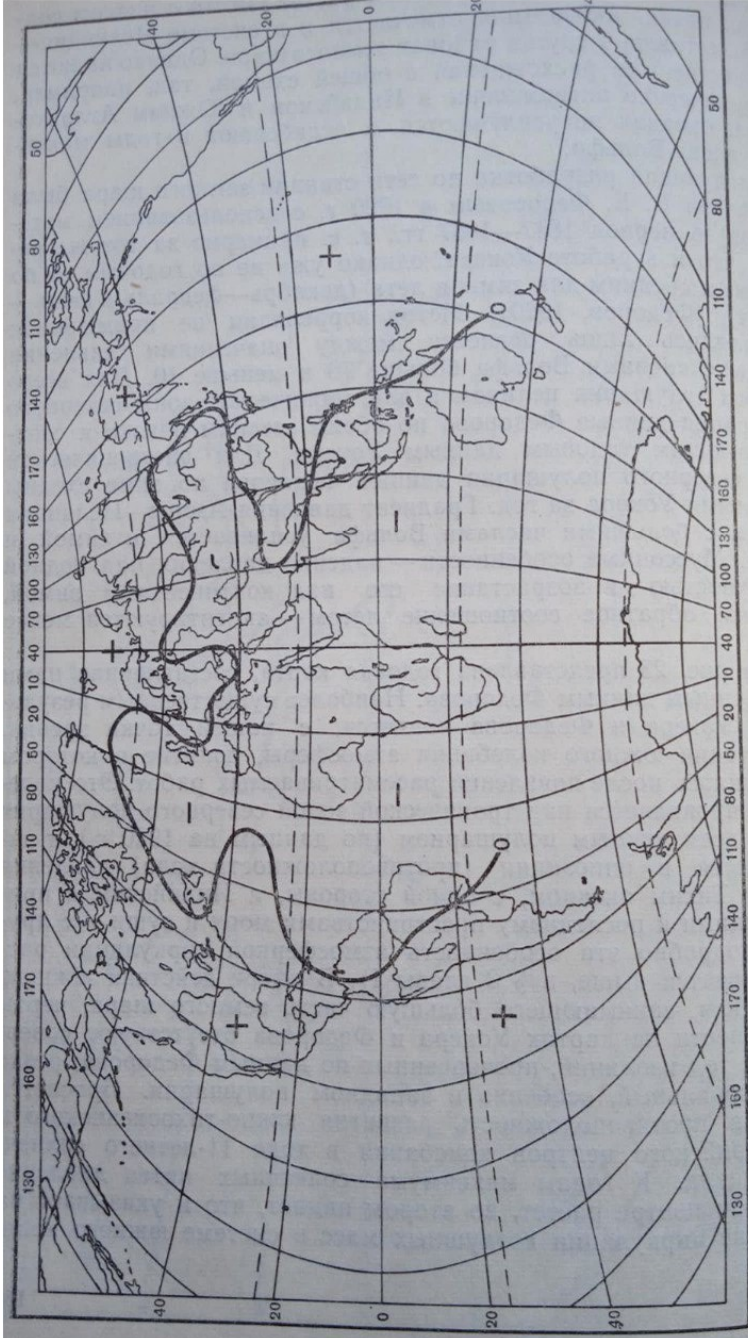


Рис. 23. Знаки разностей между давлением воздуха, в среднем за зимние и летние месяцы, в годы максимума и минимума солнечных пятен (по данным Е. Е. Федорова).

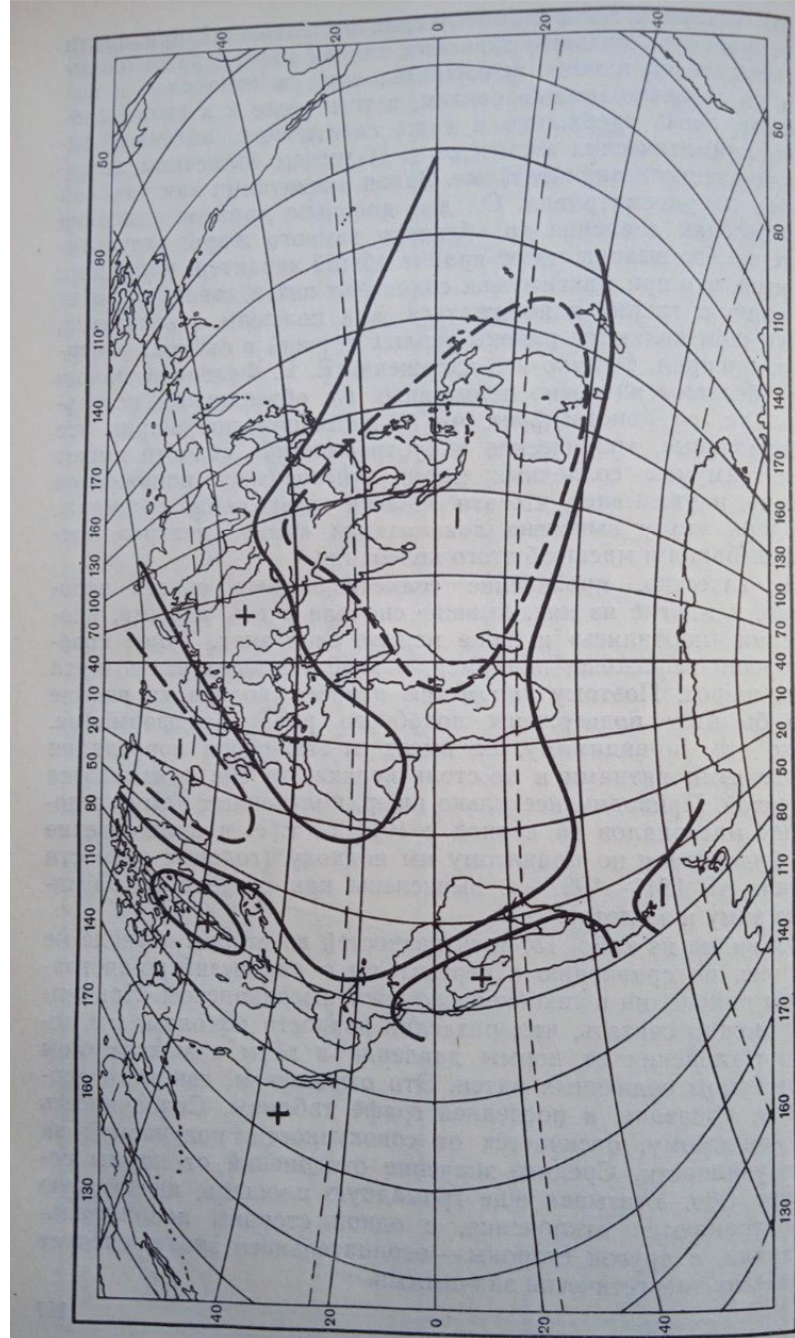
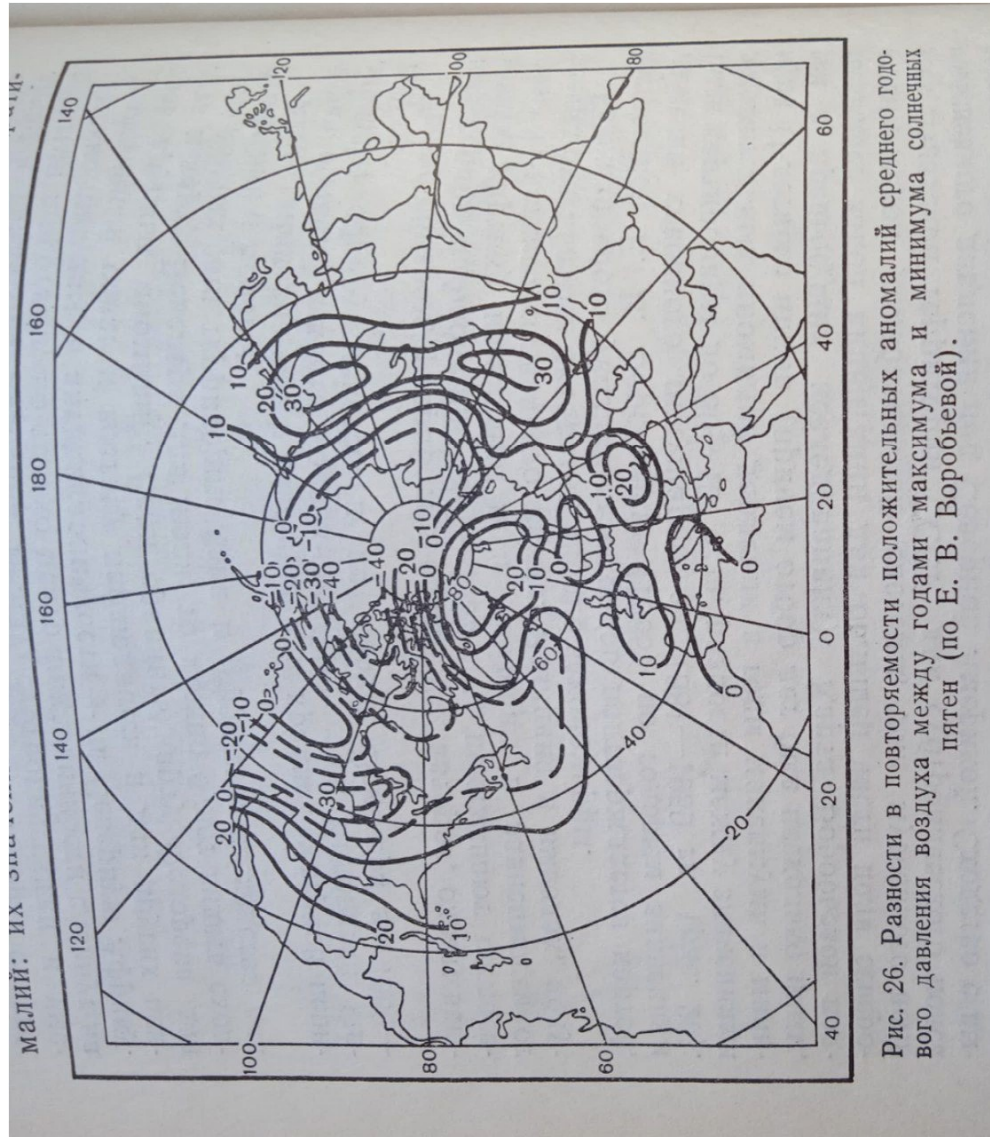
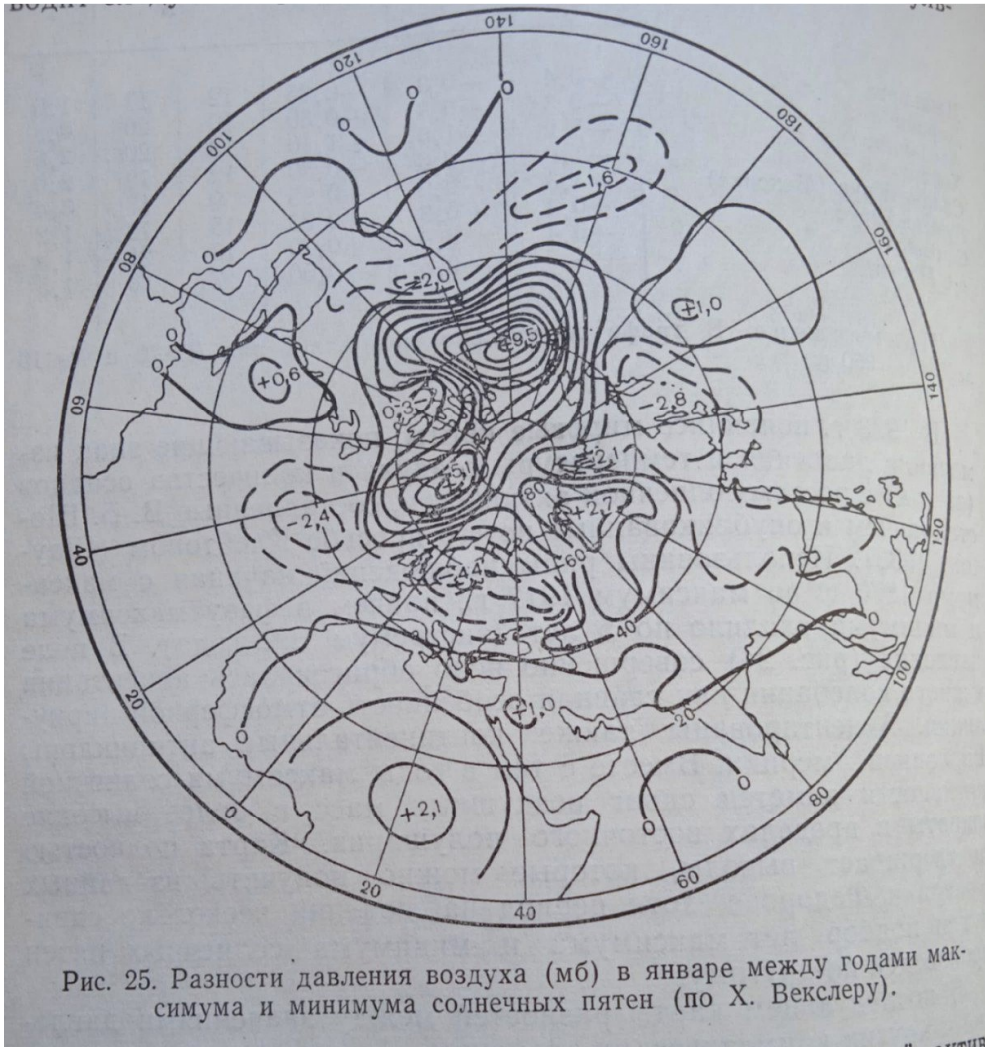


Рис. 24. Знаки изменения среднего годового давления воздуха с ростом числа солнечных пятен (по В. Б. Шостаковичу).



ность.

Проведенная нами систематизация результатов гелиоклиматических работ позволяет сделать два основных вывода.

1. Влияние циклических изменений солнечной активности на общую атмосферную циркуляцию несомненно и достаточно существенно: оно явно прослеживается уже по обычным данным чисел Вольфа. Несмотря на неустойчивость гелиоклиматических соотношений, о которой много говорится в литературе, существуют, по-видимому, некоторые инвариантные связи, относящиеся к наиболее крупным особенностям циркуляции. Это прежде всего наблюдающаяся в годы максимума 11-летнего цикла акцентация южного и североатлантического колебаний; в более слабой степени отмечается она и в северо-тихоокеанской системе за счет углубления алеутского минимума. Усиливаются муссонные особенности в системе Евразия—Атлантика, отмечается перемещение воздушных масс в более высокие широты. Отмеченная нами инвариантность связей выявлена, однако, на ограниченном материале и нуждается в подтверждении на более обширном. «Разношерстность» реакций атмосферной циркуляции в северном полушарии на солнечные воздействия согласуется со взглядами П. П. Предтеченского, считавшего, что вместе с солнечной активностью усиливается как зональная, так и ме-

166

риональная циркуляция. Вместе с тем Предтеченский подчеркивает, что меридиональная циркуляция усиливается более интенсивно (1950). На конкретном материале синоптико-климатологических данных эти положения в дальнейшем были разрабатаны А. Л. Кацем (1960). Они по существу согласуются с выводами Л. Р. Ракиповой, которая рассматривала влияние усиления солнечной активности на атмосферу с помощью уравнений термогидродинамики и пришла к выводу, что под влиянием солнечной активности усиливаются барические градиенты между циклоническими и антициклоническими системами.

2. Рассматриваемое влияние солнечной активности весьма многообразно и сложно, поскольку накладываются друг на друга воздействия солнечных циклов различной длительности, связанных вообще с различными процессами на Солнце. Упомянем о весьма важной проблеме 5,5-летней цикличности, о гипотетической 26-месячной ее цикличности, не говоря уже о такой общепризнанной, какой является 27-дневная. Сложность солнечных процессов сочетается со сложностью процессов в атмосфере Земли, в связи с чем гелиогеофизические представления далеко еще не сведены в единую стройную систему. Вновь поступающие данные заставляют вносить поправки в прежде полученные выводы. Так, например, одним из важных реперов в исследованиях зависимости атмосферной циркуляции от солнечной активности является высказанное А. А. Гирсом положение о том, что в первую очередь реагируют на изменения солнечной активности синоптические процессы в тихоокеано-американском секторе, а затем уже в порядке взаимодействия изменения возникают и в атлантико-европейском секторе (1956). Однако впоследствии Гирс пришел к заключению, что на определенных этапах последовательность в развитии циркуляции может стать обратной (1963).

§ 2. О природе солнечно-земных связей

В настоящее время нет общепризнанных гипотез о механизме воздействия солнечной активности на климат и погоду земного шара, но многое сделано для выявления и характеристики носителей этого воздействия.

На этом вопросе мы здесь только и остановимся, поскольку исследования о передаче эффектов воздействия солнечной активности из верхних слоев атмосферы в нижние или носят очень общий характер, или по своему подходу выходят за пределы общего характера рамок (работы А. А. Дмитриева, Л. Р. Ракиповой и других авторов, выполненные методами термогидродинамики).

167

Б. Дюль и Г. Дюль в известной своей работе 1948 г. четко разграничили корпускулярные и волновые факторы солнечной геоактивности. Первая группа воздействий устанавливалась авторами путем отбора случаев возмущенного и невозмущенного геомагнитного поля. Вторая группа определялась по солнечным хромосферным вспышкам, во время которых происходит увеличение ультрафиолетовой радиации солнца. Зарубежные исследователи и в настоящее время не сбрасывают со счета возможность флуктуаций волновой радиации Солнца, влияющих и на солнечную постоянную в целом. Это видно уже по обзору, сделанному нами в первой части параграфа — такой точки зрения придерживается, например, Виллет. О солнечной «непостоянной» прямо говорит Митчелл (Mitchell, 1965), считая, что изменения ее порядка 0,1% будут уже достаточно эффективными для колебаний общей циркуляции атмосферы. К. Я. Кондратьев (1966), аргументируя необходимость измерений по приборам, установленным вне земной атмосферы (на Луне), говорит, что точные данные о солнечной постоянной должны иметь решающее значение для решения проблемы Солнце—погода.

Наши гелиогеофизики — Л. А. Вительс, Э. Р. Мустель, Б. М. Рубашев, Б. И. Сазонов — решительно отдают предпочтение корпускулярным (а не волновым) носителям гелиогеосвязей. Цитируем Мустеля (Mustel, 1966): «Многочисленные имеющиеся исследования показывают, что если существуют определенные соотношения между солнечной активностью и явлениями в атмосфере, то они являются результатом выброса газов от Солнца, другими словами, они возникают благодаря эмиссии солнечных корпускул. Ультрафиолетовая и X-радиация Солнца, создающаяся в его активных областях, имеет второстепенное значение».

В дальнейшем мы будем опираться в основном на цитированный доклад Мустеля, сделанный на Венском симпозиуме по взаимодействию высоких и низких слоев атмосферы в мае 1966 г. В этом докладе дан обзор исследований, проведенных совместно сотрудниками Астрономического совета АН СССР и Волгоградского педагогического института (Э. Р. Мустель, Б. Д. Фоменко и др.). В настоящее время работы данного направления проводятся в лаборатории солнечно-земных связей ГМЦ СССР и им принадлежит ведущее положение в гелиогеофизических исследованиях, организованных в СССР. Получены уже значительные результаты по вопросу о воздействии корпускулярных потоков на барическое поле земной атмосферы. Исходя из положения о значении вторжений корпускул в атмосферу Земли, авторы ищут связи атмосферных процессов не с солнечными пятнами, а с активными областями на Солнце, гораздо более обширными образованиями (они хорошо распознаются на спектрогелиограмме), в сфере которых и могут раз-

виваться пятна.¹ Те же представления приводят к необходимости отбора для исследований только тех активных областей, которые располагаются вблизи видимого центра солнечного диска, т. е. в низких широтах Солнца, так как корпускулярные потоки, исходящие из более высоких широт Солнца, минуют плоскость эклиптики. Другими словами, следует четко различать гелиофизические и гелиогеофизические процессы.

Активные области в силу своей устойчивости создают квазистационарные потоки газа, которые распознаются по рекуррентным геомагнитным возмущениям (27-дневная последовательность) (тип I). Другой геоактивный тип эмиссии солнечного газа связан с извержениями корпускул при эпизодических интенсивных хромосферных вспышках (тип II). Проверка геоактивности каждого случая таких вспышек делается путем установления наличия или отсутствия возмущения в поле земного магнетизма.

Таким образом, можно констатировать строгий, гелиофизически и геофизически обоснованный отбор исходных случаев возможных солнечных воздействий. Мустель подчеркивает, что в дальнейшем необходимо более тесно привязываться к возмущениям геомагнитного поля в целях установления не только факта, но и времени попадания Земли в облако солнечных корпускул.

Обработка данных по давлению воздуха произведена «методом наложенных эпох»: строились кривые хода давления изо дня в день, осредненные по всем случаям солнечных воздействий, начиная с 4-го дня до воздействия и кончая 10-м днем после воздействия. Использовалась большая сеть станций, для типа I воздействий по Европе и Азиатской части СССР, для типа II включались также зарубежные станции Полярного бассейна и отдельные станции субтропической зоны. Богатый и хорошо обработанный материал дает неопровержимое доказательство реальности солнечно-земных связей, а именно показаны возмущения в ходе давления на 6-й день после исходного процесса на Солнце для типа I воздействий и на 3—4-й день для типа II воздействий (разница объясняется различной скоростью корпускул той и другой группы). Реальность возмущений подтверждается критериями математической статистики, но еще

¹ Определение понятий об активных областях и центрах на Солнце и солнечной активности вообще можно найти у Ю. И. Витинского (1968). Эти определения сделаны с астрофизической точки зрения. В них рассматривается целый комплекс различных явлений в солнечной атмосфере, характеризующихся значительными изменениями основных физических свойств соответствующих слоев Солнца. Не все из этих явлений могут быть геоактивными в смысле воздействия на атмосферную циркуляцию и метеорологический режим Земли, но именно в таком более узком смысле «солнечная активность», как это принято в настоящее время, и в настоящей работе.

большее впечатление создается от сравнения возмущенной кривой со «стандартной», невозмущенной. Последняя кривая построена для случаев, когда на Солнце возникли активные области и хромосферные вспышки, совершенно аналогичные вошедшим в типы I и II, но расположенные в таких широтах Солнца, которые не могли быть геоактивными. Стандартная кривая имеет лишь небольшие возмущения чисто случайного порядка и практически мало отличается от прямой.

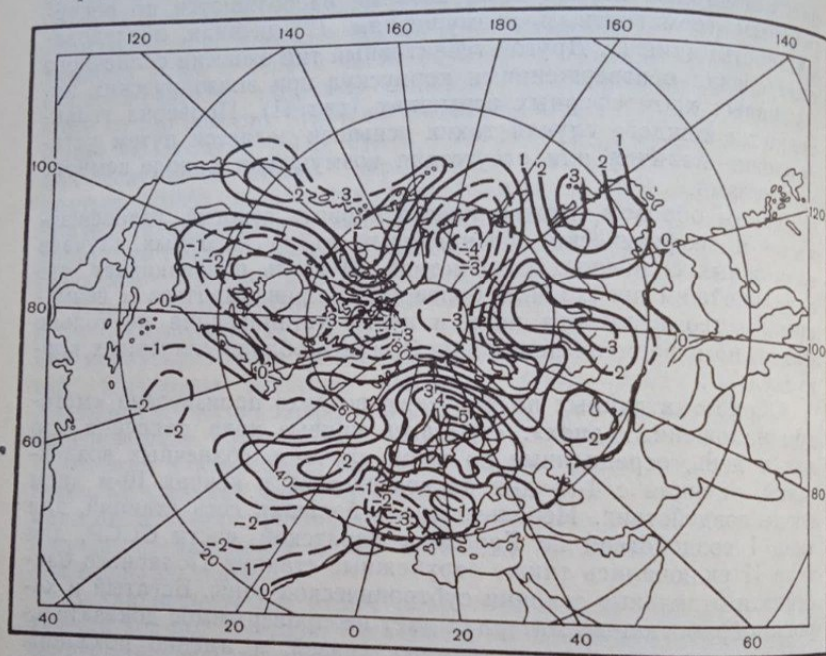


Рис. 27. Среднее изменение давления воздуха (мб) после хромосферных вспышек от нулевого до 4-го дня (по Э. Р. Мустелю).

Не останавливаясь на полученных, очень интересных выводах, отметим только указание Мустеля на то, что характер (знак) максимального возмущения в ходе давления неодинаков для различных географических районов. Это дало возможность построить карту среднего изменения давления (мб) после хромосферных вспышек от нулевого до четвертого дня (по данным 1956—1961 гг.) (рис. 27). Мустель видит основное проявление закона акцентации в повышении наземного давления над континентальными районами и понижении его над прибрежными и океаническими районами, что при осреднении данных за все сезоны отражает в основном ситуацию для холодного времени

года. Рассмотрение карты приводит нас к выводу, что хромосферные вспышки действительно создают эффект акцентации барического поля, но скорее не наземного, а высотного, относящегося примерно к уровню 500 мб. Действительно, усилены гребни, располагающиеся на высоте этой поверхности над восточной Атлантикой и Скандинавией, западнее Байкала, у западного побережья Северной Америки, а также ложбины, распространяющиеся из полярной области на Северную Америку, на Урал и на Восточную Сибирь; заметно даже углубление ложбины над Средиземным морем. Изменения в средней тропосфере накладывают, естественно, сильный отпечаток и на наземное барическое поле.

Карта Мустеля имеет большое сходство с картой японских авторов Асакуры и Катаямы «Изменение высоты поверхности 500 мб после геомагнитной бури». Здесь также обнаруживается резкая акцентация двух основных высотных гребней и двух ложбин северного полушария. Области наибольшего изменения несколько сдвинуты на запад по сравнению с тем, как они располагаются на карте Мустеля. Карта японских авторов построена по данным за 16-летний период, предшествующий периоду, обработанному Мустелем (воспроизведена в монографии Сазонова, 1964).

Новые и с нашей точки зрения вполне убедительные доказательства справедливости закона акцентации дано Мустелем в одной из более поздних статей (1967). Имеется вообще большое число работ, в которых в качестве показателя солнечных воздействий используются геомагнитные индексы. Широко известность заслужили исследования Дюллей и Крега в этом направлении. Существенными являются также результаты, полученные Б. М. Рубашевым (1964), который показал соотношение между геомагнитными возмущениями и типами циркуляции северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому. В последнее время очень интересные данные опубликованы Р. Ф. Усмановым (1967), В. Мироновичем (V. Mironovitch, 1967).

В докладе Мустеля говорится еще об одной детали, крайне интересной с точки зрения гелиогеофизики; в некоторых случаях при хромосферных вспышках появляются особые, высокоэнергичные частицы, приносимые космическими лучами солнечного происхождения. Это субрелятивистские протоны, вызывающие поглощение радиоволн в полярных областях (РСА-эффект). Такому явлению сопутствует глубокое падение давления в зоне выше 80° геомагнитной широты. Связь этого явления с вторжением протонов указанного типа Мустель считает еще принципиально неясной.

Вполне определенную точку зрения о роли космических лучей высказал Б. И. Сазонов. По его мнению, именно эти лучи являются, скорее всего, носителями гелиофизических воздей-

ствий. Уже в его работе 1964 г., выполненной на основе «корпускулярной гипотезы», он говорит о необходимости исследовать галактического происхождения, так как только такие высокоэнергичные частицы способны глубоко внедриться в атмосферу или даже пробить всю ее толщу. В дальнейших своих исследованиях автор выдвигает концепцию, согласно которой корпускулярных потоков вовсе не отвергается, а комбинируется с ролью космических лучей, так как последние либо экранируются облаками корпускул, создающими магнитные поля, либо свободно пропускаются через радиационные пояса Земли при отсутствии задержек, создаваемых корпускулами. Такая гипотеза позволяет объяснить некоторые отмеченные в литературе «неувязки», как-то: слишком быстрое появление некоторых возмущений в поле давления, еще до вторжения корпускулярных потоков. Автор приводит весьма интересные соображения о характере действия частиц различной энергии и показателя атмосферной циркуляции, подтверждающие его предположения. Понятно, что ввиду новизны и сложности вопроса он требует дальнейших исследований.

Изложенные далее (главы III—IV) соображения хорошо увязываются с концепцией о геоактивности солнечных корпускулярных потоков. Имея дело с климатологическим материалом, т. е. с многолетними рядами наблюдений, мы использовали прежде всего классический показатель солнечной активности — числа Вольфа. Выводы подтвердили освещенную уже в литературе (например, у Баура) геоактивность не только фазы максимума, но и фазы минимума 11-летнего цикла. Положение о геоактивности Солнца в годы минимума и годы перед минимумом можно объяснить с точки зрения корпускулярной теории. Как известно, к году минимума солнечные пятна «сползают» в низкие широты Солнца, приближаясь к его экватору (до 5—6°). Вместе с тем передвигаются и другие активные образования. Так как плоскость эклиптики очень мало наклонена к плоскости солнечного экватора, то лишь такие потоки материальных частиц могут встретить Землю, которые исходят из низкоширотных очагов на Солнце, другие же пронесутся в мировом пространстве, минуя нашу планету. Поэтому при приближении к году минимума солнечных пятен, хотя число очагов деятельности Солнца и уменьшается, они становятся более геоактивными, и последний фактор может перевесить. Только в том случае, если солнечная активность действительно падает до нуля, Земля оказывается полностью предоставленной сама себе. Если судить по солнечным пятнам, то это иногда так и бывает — на протяжении ряда лет в фазе минимума число Вольфа может быть равным нулю. Однако, например, в минувшем солнечном цикле оно и в год минимума опустилось только до 10. Нельзя недооценивать и

фактор повышенной упорядоченности, ритмичности солнечных воздействий в годы солнечной активности «перед минимумом» и «минимум», что специально исследовано Л. А. Вительсом (1967). Упорядоченность воздействий не может не отразиться на атмосферной циркуляции, особенно если ритмы колебаний атмосферы близки по своей длительности к солнечным ритмам (в случае, например, их длительности около месяца).

Исходя из подобных соображений, мы в качестве второго солнечного показателя привлекли широту солнечных пятен, данные по которой опубликованы с 1856 г. (Витинский, 1963). Большой интерес этих данных подчеркивается и чисто астрономическими исследованиями. По М. Н. Гневышеву (Анталова, Гневышев, 1965), 11-летний цикл солнечных пятен не является, как это до сих пор считают, единым процессом, описываемым совместно законом Вольфа и законом Шперера. Согласно этим законам, происходит увеличение числа солнечных пятен от лет после минимума к году максимума и затем уменьшение к году минимума с одновременным «сползанием» пятен к экватору от начала к концу цикла. В действительности же, по Гневышеву, имеет место наложение двух самостоятельных 11-летних циклов — развитие солнечных пятен в низких экваториальных широтах Солнца и развитие их во всей той зоне, где они вообще могут существовать, причем эти циклы сдвинуты по фазе один относительно другого.

К чисто солнечным показателям можно присоединить и земные, а именно индексы возмущенности магнитного поля Земли, которые показывают, попадает ли Земля в поток солнечных корпускул или нет. Общую ориентировку дают уже средние многолетние сводки геомагнитных индексов, составленные Бартельсом. В его работе (Bartels, 1963) публикуются подробные, хорошо дифференцированные показатели геомагнетизма (не одна «средняя» возмущенность) за 1932—1962 гг. На рис. 28 воспроизведен ход чисел Вольфа и характерных геомагнитных показателей K_p по пяти фазам солнечного цикла: *A* — минимум (1933, 1944, 1954); *B* — восходящая ветвь (1934, 1935, 1936, 1945, 1946, 1955, 1956); *C* — максимум (1937, 1947, 1957); *D* — после максимума (1938—1940, 1948—1950, 1958—1960); *E* — перед минимумом (1932, 1941—1943, 1951—1953, 1961). Индексы K_p со значением 8—9 соответствуют сильным магнитным бурям; индексы 5 и 6 относятся к классу умеренных бурь и обычных возмущений. Источниками возмущений последнего типа являются *M*-области на Солнце, дающие устойчивый, квазистационарный поток корпускул, который создает рекуррентные возмущения земного магнетизма, наступающие через 27-дневные промежутки времени. Для таких возмущений характерно преобладание индексов K_p в диапазоне 4—6 с повторяемостью 80% при общей повторяемости 20%.

Рисунок 28 ясно показывает различие хода чисел Вольфа и геомагнитных показателей в 11-летнем цикле. Максимум последних смещен к минимуму солнечных пятен, особенно для баллов $K_p = 5 \div 6$. Это указывает на возможность больших для баллов обусловленных возмущений в атмосфере Земли в годы перед минимумом солнечных пятен. Годы же после минимума должны быть наиболее спокойными, так как и число активных образований невелико и находятся они в таких широтах Солнца, которые неблагоприятны в смысле воздействия на Землю солнечных источников материальных частиц.

С точки зрения волновой теории также можно говорить об увеличении некоторых эффектов солнечной активности при при-

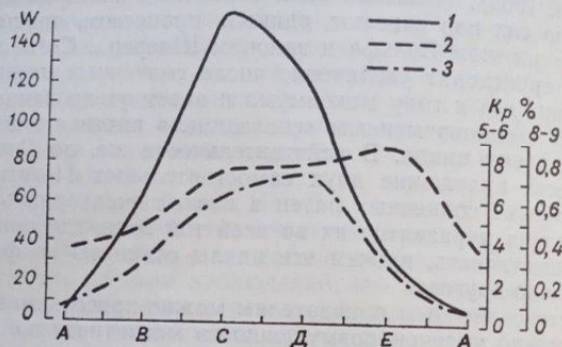


Рис. 28. Солнечные пятна (1), геомагнитные возмущения K_p 5—6 баллов (2) и 8—9 баллов (3) в разные фазы солнечного цикла (по Дж. Бартельсу).

ближении к годам минимума солнечных пятен. Виллет нашел обратную корреляцию между числами Вольфа и количеством озона в земной атмосфере. Согласно его работам, максимум содержания озона достигается за 1,5—2 года до минимума солнечных пятен, а в «малом» цикле, т. е. во второй половине 22-летнего цикла — даже в самом году минимума (Willet, 1965; Виллет, 1966). Лоуренс считает, что ультрафиолетовая радиация с длиной волны около 2000 Å, если она исходит из низкоширотных солнечных пятен, достаточно эффективна в смысле усиленного образования озона (Lowrence, 1965). Как Виллет, так и Лоуренс придерживаются мнения, что солнечнообусловленное повышение содержания озона над субтропическим поясом Земли влечет за собой изменение атмосферной циркуляции и общего характера погоды в определенных зонах земного шара. Согласно Лоуренсу, воздух в стратосфере над субтропическими максимумами интенсивно нагревается при увеличении содержания озона и растекается по направлению к полюсу,

следствием чего является уменьшение давления у земной поверхности в полосе субтропических максимумов в период, близкий к минимуму солнечных пятен.

Чисто физические расчеты показывают, что в атмосфере, содержащей озон, тропопауза расположена значительно ниже, чем в атмосфере без озона (Манабэ, Стриклер, 1967). Высота же тропоплаузы не может не оказывать влияния на циркуляцию в тропосфере.

Вопрос об активности Солнца в годы минимума и перед минимумом является весьма существенным и вместе с тем сложным, и он не нашел еще своего разрешения. В последующем изложении мы будем неоднократно к нему возвращаться.

В настоящее время более разработанной является теория корпускулярных, а не волновых воздействий Солнца, существенный вклад в развитие которой внесен советскими гелиофизиками. В дальнейшем мы этой теории и придерживаемся. Продвижение исследований о влиянии волновой энергии еще в большей степени, чем исследований о влиянии материальных частиц, задерживается недостатком исходных данных (измерений радиации Солнца, свободных от воздействия земной атмосферы).

Все сказанное подчеркивает необходимость использования целого ряда гелиофизических и геофизических характеристик с целью исследования природы солнечно-земных связей.