

551.5  
ПЧВ

Т. В. ПОКРОВСКАЯ

СИНОПТИКО-КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ  
И  
ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ  
ДОЛГОСРОЧНЫЕ  
ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ

59636



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1969

шарию на период с конца 60-х по 90-е годы, основанием к чему послужил климатологический анализ карт аномалий температуры по десятилетиям периода 1881—1960 гг. Выявилась весьма четкая 80-летняя цикличность смены полей температуры, что и позволило перейти к прогностическим выводам.

Хотя рассмотренные сверхдолгосрочные прогнозы атмосферной циркуляции успеха не имели, принципиальную возможность таких прогнозов отрицать нельзя. Она подтверждается сходством спектра колебаний во времени гелиофизических (или геомагнитных) и циркуляционных (или гидрометеорологических) характеристик. Об этом говорится в работах Е. В. Воробьевой (1967) и Н. А. Хаминова (1968). Интересно, что наряду с «классическими» 11-летним и 22-летним циклами частотный анализ показывает наличие еще новых циклов (порядка 2, 3 года, 6—8 лет и др.). 6—8-летний цикл, проявляющийся в некоторых гидрометеорологических показателях, Б. М. Рубашев (1964) связывает с переходом от четных к нечетным циклам солнечной активности, поскольку ход гидрометеорологических показателей в этих циклах различен.

### Глава III. СВЯЗЬ ЗАСУХ И СУРОВЫХ ЗИМ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

#### § 1. Засухи в 11-летнем солнечном цикле

Об отборе засух. Вопросу о связи засух с солнечной активностью посвящена обширная литература. Здесь мы остановимся лишь на некоторых работах, важнейших с нашей точки зрения.

В приложении дана сводка использованных нами рядов лет с засухами, составленная по литературным источникам, а для Англии, Китая и Северной Америки по данным годовых сумм осадков на основании карт годовых осадков и метеорологических ежегодников. Способ определения засух в нашем случае значения не имеет, учитываются ли засухи атмосферные или почвенные, на основе прямых признаков (состояние сельскохозяйственных культур) или косвенных (метеорологические факторы — одни осадки или в комплексе с температурой и т. д.). В целях сопоставления с гелиофизическими показателями важно иметь только длительные и однородные ряды. Поэтому наряду с засухами в собственном смысле слова мы рассматривали и случаи дефицита осадков по сравнению с нормой, хотя бы это и не приводило к засухам.

Как видно из табл. 1 приложения, подход к отбору засух был самый разнообразный, о чем говорит большая пестрота

в вероятности их по данным различных авторов. Так, М. И. Семенов и вслед за ним Е. Е. Слуцкий анализировали лишь самые жестокие засухи в Европейской России, отобранные по сводкам урожайности, случившиеся 9 раз за 115-летний период. В других сводках вероятность года с засухой доходит до 40% и более. Некоторые авторы (Каменькова, 1964) отобрали сами по своим материалам более сильные засухи, после чего вероятность засух приблизилась к отмеченной Семеновым или Обуховым. Из рядов по Казахстану и по ФРГ мы выбрали наиболее сильные засухи, так как авторы привели количественные характеристики — показатели урожайности в первом случае и количества осадков во втором. Критерием для такого отбора мы взяли повторяемость засух примерно один раз в десять лет. Наиболее сухие годы в Англии и в Северной Америке отбирались нами по тому же принципу. Для рассмотренной территории Китая (примерно к востоку от линии Чанчунь—Гуйсуи—Чунцин) взято несколько большее число засух, поскольку выделить наиболее сильные из них по картам осадков оказалось трудно.

Засухи и солнечные пятна. Остановимся прежде всего на основном вопросе, является ли связь засух с фазами 11-летнего цикла солнечных пятен статистически достоверной. Авторитетное подтверждение обоснованности этой гипотезы на материалах М. И. Семенова за 1801—1915 гг. для Европейской России было дано Е. Е. Слуцким, о чем специально говорилось в § 2 главы II. Это подтверждение тем более ценно, что Слуцкий вовсе не исходил из каких-либо априорных соображений о значении солнечной активности для режима погоды. Наоборот, им была исчерпывающим образом вскрыта статистическая несостоятельность ряда гелиогеофизических связей, показанных в работах Клейтона, в ранних работах Баура. Отбросив целый ряд выводов, Слуцкий указал на вывод Семенова как на статистически обоснованный в следующих словах: «Трудно думать, что найденное Семеновым соответствие между урожаями и солнечными пятнами было чисто случайным совпадением» (1935). Результат, по словам Слуцкого, говорит в пользу гипотезы и требует, чтобы она не была отброшена, а подвергалась углубленной и разносторонней проверке. Как уже было сказано, засухи в Европейской России в XIX веке и в начале XX века концентрировались около лет минимума (по сглаженным данным урожайности), а в годы, близкие к максимуму, они не встречались, причем уровень случайности такого распределения составляет лишь 0,47%. Аналогичными особенностями характеризуются и засухи в Северном Казахстане. Это распределение менее четко выражено, однако следует иметь в виду, что ряд урожайности не сглаживался. Вероятность случайного отсутствия засух в году максимума и в двух последующих годах

на протяжении 6 солнечных циклов для Казахстана составляет 1,6% (по правилу перемножения вероятностей).

Совершенно иную форму имеет распределение засух в Федеративной Республике Германии, согласно Ф. Бауру. В целом ряде своих работ (1958 и др.) он говорит, что имеется двойная волна засушливости в течение 11-летнего солнечного цикла: вероятность засухи в ФРГ существенно повышена в узких интервалах времени перед минимумом и перед максимумом солнечной активности. А именно, если отобрать из 124-летнего ряда наблюдений 1833—1956 гг. 23 самые сильные засухи (по критерию аномалий количества осадков), то 11 из них уложатся в интервалы 1,6—2,4 года перед экстремумами чисел Вольфа. Уровень значимости такого распределения Баур оценивает цифрой  $3\sigma$ , т. е. вероятность случайного появления данного распределения менее 0,27%. С использованием этих выводов Бауру удалось предсказать засуху 1963 г. Однако поскольку с его оценкой уровня случайности можно не согласиться, мы проверили ее путем статистического эксперимента. Было произведено 150 опытов вытаскивания 23 билетиков или подбора 23 случайных номеров из ряда в 124 года. Ни в одном из этих 150 опытов мы не получили распределения, подобного Бауровскому, где 11 случаев из 23 расположены в двух различных интервалах 11-летнего цикла каждый длиной по 0,9 года. В соответствии с этим экспериментом вероятность случайного осуществления Бауровского распределения во всяком случае меньше 0,67%. Для более точной оценки следовало бы увеличить число опытов.

Как известно, Баур стоит на позиции признания двухвершинности 11-летнего солнечного цикла, получающейся за счет двух максимумов в развитии факельных полей. В последние годы двухвершинность установлена М. Н. Гневышевым по данным о широтах солнечных пятен.

Весьма интересны выводы Э. Фишера (Fischer, 1965) относительно двухвершинности хода годового количества осадков в Клагенфурте (Австрия) за период 1854—1964 гг. По данным Фишера, как и по данным Баура, в годы минимума и максимума очень мало сухих лет, а перед этими годами вероятность засушливости увеличивается. Интересен очень резкий переход в ходе осадков к году минимума и к году максимума. В фазе минимума только в одном из 11 солнечных циклов наблюдался дефицит осадков. При общей вероятности отрицательного отклонения 0,6 уровень значимости такого распределения составляет только 0,1%.

Произведенный анализ четырех распределений засух внутри 11-летнего цикла мы считаем вполне достаточным для статистического подтверждения зависимости засух от солнечной активности. Различие в характере распределения для территории СССР и для Западной Европы является естественным — в лите-

ратуре достаточно полно освещен вопрос о различии проявления солнечного влияния в различных географических областях, что связано и с условиями атмосферной циркуляции.

Остановимся несколько подробнее на данных по Европейской территории СССР (табл. 1 приложения). Помимо рядов М. И. Семенова и В. М. Обухова (основанных на данных по урожайности), в список вошли ряды, захватывающие более поздние годы.

Так, Б. С. Гуревич отобрала в периоде 1890—1948 гг. катастрофические засухи (хотя она и среди них выделяет засухи «средней» и «наибольшей» интенсивности), пересмотрев обширную метеорологическую литературу, литературу по сельскому хозяйству и ряд других доступных источников. Данные систематизировались с помощью синоптических карт, количественных критериев засух не дано. Ряд А. М. Алпатьева и В. Н. Ивановой основан на показателях урожайности и на значениях гидротермического показателя по Г. Т. Селянинову. Авторы указывают, что в перечень вошли средние и сильные засухи, снижающие урожай не меньше, чем на 20%. Близки к этим данным и ранее опубликованные данные А. М. Алпатьева (1956), ввиду чего мы будем пользоваться первым из указанных двух рядов. Так как он оканчивается 1955 г., мы пополнили список засухами 1957 и 1959 гг. согласно работе Н. Г. Каменьковой (1964). Последняя, уточняя список засух с 1891 по 1961 г., использовала предыдущие работы, а также ежегодные карты распределения осадков. В этом ряду учтены засухи весны и начала лета, по июнь включительно. На основании подробного анализа опубликованных в литературе данных из их общего числа выделены засухи с более значительным территориальным охватом и засухи «очень сильные». В ряду Байдала и Утешева засухи для ЕТС, как и для Казахстана, определены по величине неурожая, но количественных показателей они не приводят.

Для характеристики засух на Украине имелся ряд В. М. Обухова, составленный на основании данных по урожайности, и ряды И. Е. Бучинского, определенные по значениям плевометрических коэффициентов. Преимущество последних рядов в том, что они доведены до последних лет. Однако, если даже подобрать периоды с примерно одинаковой повторяемостью засух на Украине, перечни наиболее засушливых лет по данным одного и другого автора сильно расходятся. Более определенные результаты по связи с солнечной активностью получены нами на основании данных В. М. Обухова, которыми мы преимущественно и пользуемся.

Ряд работ по определению засух на Европейской территории СССР не мог быть нами использован вследствие не вполне четкого определения засушливости, на что указывает Н. Г. Каменькова (1964).

Рассмотрим прежде всего вопрос о приуроченности засух к фазе максимума или минимума солнечного цикла (см. табл. 2 приложения). Близость к тому или другому солнечному экстремуму определялась на основании табл. 4 приложения по расстоянию от экстремума года с засухой (при равном расстоянии засчитывалось по полстучая в группу максимума и группу минимума). На Европейской территории СССР в прошлом столетии и в начале текущего имелась тенденция к группировке засух ближе к году минимума (ряды 1—2). Засухи в Казахстане в течение всего периода явно приурочены к годам минимума. Засухи на ЕТС в текущем столетии и засухи в ФРГ за весь период (1883—1956 гг.) более или менее равномерно распределены по группе лет максимума и минимума с некоторым преобладанием по группам максимума.

Если выделить более распространенные и более сильные засухи (по Каменьковой), то большая приуроченность к фазе минимума выявится еще определеннее. Это заметно также по ряду Баура для территории ФРГ.

«Компактный» промежуток без засух для ЕТС хорошо заметен только в сглаженных данных Семенова. В ряде случаев его вообще нельзя было обнаружить (тогда в таблице ставился прочерк). В некоторых рядах он свелся всего к одному году — перед минимумом. Статистические оценки этой особенности не так плохи, чтобы отнести ее целиком за счет случайности. Это как будто бы противоречит тенденции к группировке засух около года минимума (по ряду Семенова и Обухова). Однако резкое изменение режима осадков между смежными годами, лежащими у фазы солнечных экстремумов, хорошо заметно и по 110-летнему ряду Клагенфурта.

Различия в распределении засух на ЕТС по годам 11-летнего солнечного цикла в рядах табл. 2 приложения наводит на мысль о неоднородности распределения в зависимости от периода наблюдений, о чем уже упоминалось. Действительно, взяв основные ряды, получаем следующее распределение (для ряда 16 граница периода определена с учетом ряда 6б):

Таблица 17

Число засух вблизи года максимума и минимума солнечного цикла

Ряд (по табл. 1 приложения)	Годы	Максимум	Минимум
16 (Семенов и др.)	1801—1931	4	9
	1932—1964	2	—
5 (Алпатыев)	1885—1934	6,5	9,5
	1935—1961	8	2
6 (Каменькова)	1891—1931	2	2
	1932—1961	4	—

В первой части периода засухи наблюдались преимущественно в годы минимума солнечных пятен, во второй — в годы максимума. Переход, относящийся к началу 30-х годов, был связан, по-видимому, с одновременным общим изменением климата. Для других географических областей подобного перехода не отмечается.

Если ходу засух внутри 11-летнего солнечного цикла в Западной Европе действительно присуща двухвершинность, а в Казахстане — одновершинность, то становится понятной меньшая определенность положения на Европейской территории СССР, являющейся промежуточной географической областью, и возможность здесь сдвигов наибольшей вероятности засух то к фазе минимума, то к фазе максимума солнечных пятен.

М. Х. Байдал (1963, 1964), изучая распределение засух в Северном Казахстане, отмечает исключительно четкую их связь с солнечной активностью. Он рассмотрел все катастрофические засухи в северной половине Казахстана за период 1888—1955 гг., для которых автором приводится график и таблица вероятности в разные годы солнечного цикла.

Таблица 18

Вероятность засух в Северном Казахстане в разные фазы солнечной активности (%)

Минимум	43	Максимум	0
Минимум и предшествующий год	57	Максимум и предшествующий год	0
Минимум и два предшествующих года	100	Максимум и два предшествующих года	0

М. Х. Байдал подчеркивает практическое значение полученных выводов, указывая, что вполне надежные прогнозы засух можно давать с большей заблаговременностью (в несколько лет).

Недостатком выводов Байдала является то, что они делаются на основании сглаженных чисел Вольфа (см. график в его работе 1963 г.), причем способ сглаживания не указан. Имеются несоответствия между текстом, таблицей и графиком: на графике не указана засуха в 1954 г. (год минимума) и в двух предшествующих годах, которая должна быть согласно таблице. Кроме того, отмечается засуха в 1945 г., т. е. за 2 года до максимума, чего не должно быть судя по таблице.

М. Х. Байдал не останавливается вовсе и на способе отбора лет с засухой. Поэтому мы обратились к возможным первоисточникам. В более ранней статье М. Х. Байдала и А. С. Утеистова (1959) приведен список засух в северной половине Казахстана (отдельно для западной и восточной частей). Указаны также и годы с засухой в южной половине Европейской территории СССР. Период совпадает с периодом, использованным

для графика в работе 1963 г. Как указывают авторы, «за показатель засухи принята низкая урожайность яровых хлебов, в частности пшеницы, сведения о которой были взяты по материалам статистических организаций Казахстана, а также по общезвестным научным и литературным источникам за 1888—1955 гг. включительно». Кроме того, можно воспользоваться материалами Утешева о засухах в Северном Казахстане (без разделения на западную и восточную части), где приводятся количественные данные об урожайности за 1880—1939 гг. Этот ряд, несколько более короткий, чем ряд, использованный Байдалом и сдвинутый на более ранние годы, мы и положили в основу проверки. Числа Вольфа были взяты нами по известному Цюрихскому ряду. Проверка подтвердила зависимость, выявленную Байдалом, хотя не в таком чистом виде, как она дана автором.

Возможно поставить вопрос, не улучшится ли связь, если мы применим более жесткий критерий к отбору засух. Пользуясь данными Утешева, возьмем пять наиболее сильных в 60-летнем периоде, что будет пропорционально 9 засухам в 115-летнем ряде Семенова. Однако уровень значимости здесь хуже — вероятность случайного осуществления последовательности лет без засух составляет 10% (вместо 1,6%).

Большой интерес представляет распределение засух за период после окончания ряда Утешева (с 1940 г.) и особенно после 1955 г. (конец периода сопоставления засух и чисел Вольфа, по Байдалу). К сожалению, нельзя дать определенного ответа из-за отсутствия однородного материала. Как показывают имеющиеся у нас данные, засухи в Казахстане были в 1944 и 1955 гг. (по статье Байдала и Утешева), в 1957 и 1963 гг. (по сообщению А. В. Процера, отдел агрометеорологических прогнозов Главного гидрометеорологического центра).

Годы вблизи максимума и минимума солнечной активности располагались следующим образом (засухи отмечены буквой з):

Минимум			Максимум		
—2	—1	0	—2	—1	0
1) 1942	1943	1944 (з)	2) 1945	1946	1947
3) 1952	1953	1954	4) 1955 (з)	1956	1957 (з)
5) 1962	1963 (з)	1964			

Правило Байдала (есть засухи в год минимума или перед ним, нет засух в год максимума и перед ним) оправдалось в трех случаях из пяти — см. 1944, 1947 и 1964 гг. Наш вывод об отсутствии засух в год максимума и в два следующих года (см. стр. 194) подтвердился для максимума 1947 г. и не подтвердился для максимума 1957 г. Однако неизвестно, следует

ли считать засуху 1957 г. столь же сильной, как те, для которых был произведен наш статистический расчет. Приходится заключить, что без сравнимых и непрерывных данных по урожайности нельзя разрешить вопрос относительно оправданности прогностического правила Байдала.

Однако по существу мы считаем его вполне верным на основании нижеследующего сопоставления повторяемости засух с широтой солнечных пятен.

Засухи и широта солнечных пятен. Исходя из соображений, изложенных в начале этого параграфа, мы ввели в разработку гелиографические широты солнечных пятен совместно с числами Вольфа. Мы пользуемся тремя рядами средних годовых гелиографических широт  $\phi$ : 1) гринвичские данные за 1878—1953 гг.; 2) сглаженные М. Н. и Р. С. Гневнышевыми за 1856—1943 гг.; 3) приблизительные значения, полученные нами по графику средних значений широты для каждого года солнечного цикла. Все эти исходные сведения брались из работы Ю. И. Витинского (1963), причем в основу положен ряд 1878—1953 гг., данные до 1856 г. пополнялись по сглаженному ряду, а недостающие по графику.

Кривая распределения значений гелиографической широты  $\phi$  характеризуется резким минимумом повторяемости около значения  $\phi = 16^\circ$ . Поэтому числа Вольфа со средней широтой пятен до  $15^\circ$  включительно мы относим к низкоширотным (примерно две трети случаев), а с широтой  $16^\circ$  и более — к высокоширотным (одна треть). Такую границу низкоширотных, геоактивных очагов на Солнце можно найти и в работах астрономов. Так, А. Б. Северный по этому поводу высказывает такие соображения: «Магнитные бури имеют повторяемость 27 дней, а слои Солнца с таким временем оборота расположены не выше  $15^\circ$ . Значит, поток корпускул, попадающих в магнитосферу Земли, должен исходить из зон Солнца с широтой не более  $15^\circ$ » (1956) (здесь под повторяемостью понимается повторение процесса через 27-дневные промежутки времени). Считая, что корпускулярные потоки активно воздействуют на атмосферную циркуляцию и что их источники смещаются по широте на диске Солнца вместе с солнечными пятнами, будем придавать особое значение тем годам, когда широта не достигала  $15^\circ$ .

Что касается чисел Вольфа, то провести между их значениями физическую границу исходя из их повторяемости также можно, хотя эта граница не такая четкая, как для широт солнечных пятен.

Повторяемость чисел Вольфа за период 1800—1964 гг. по интервалам через 10 единиц следующая:

Интервал . . . . .	0—9	10—19	20—29	30—39	40—49	50—59	60—69
Число случаев . . . . .	24	26	12	17	18	9	21

Переходным считаем интервал 20—29 и делим всю совокупность на две группы: со значением числа Вольфа  $0-29$  и  $>30$ . В первую группу войдет примерно одна треть всех случаев, во вторую — две трети.

Случаи засух и других длительных и сильных аномалий можно подсчитывать для выделенных частей совокупностей двух солнечных показателей — широты солнечных пятен и числа Вольфа отдельно, а также для комбинации этих показателей, как показано на рис. 32.

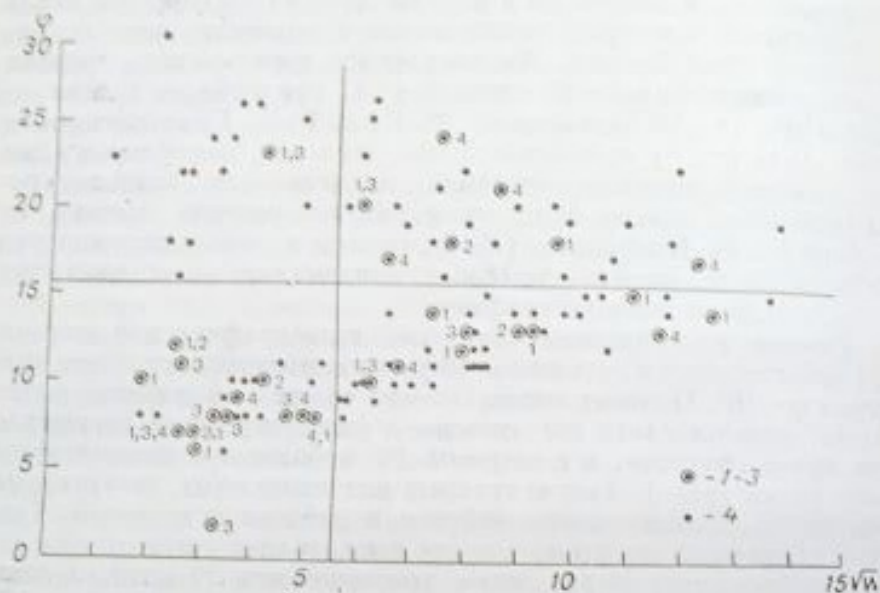


Рис. 32. Сопоставление случаев засух с числом солнечных пятен  $W$  и их средней широтой  $\varphi$ .  
1—3—годы с засухой (1—на ЕТС, 2—на Украине, 3—в Казахстане), 4—годы без засух.

В табл. 3 приложения приведено число засух в годы с высокими и низкими широтами солнечных пятен. Так как низкоширотная группа по объему примерно вдвое больше, чем высокоширотная, то при независимости засух от широты солнечных пятен в группу лет с низкоширотными пятнами в среднем должно войти около двух третей всех засух. В графе 1 приведено число засух для низкоширотной группы, рассчитанное исходя из конкретного соотношения числа лет для каждого ряда, а также фактическое число засух. Фактическое число засух почти во всех рядах больше, чем рассчитанное, но превышение невелико. Гораздо более определенная картина получается, если выделить годы с малым числом солнечных пятен (числа Вольфа меньше 30), что показано в графах 2 и 3. При

малых числах солнечных пятен и их высоких широтах число засух почти вдвое меньше их среднего (рассчитанного) числа, а при низких широтах — вдвое больше (см. также рис. 32). Отсюда можно сделать вывод, что в высокоширотных районах соотношение имеют хороший уровень значимости  $p$ . Поскольку для всех районов вывод получается качественно одинаковым, то уже это одно говорит о реальности связи, во всяком случае для континента Евразии (для Северной Америки данных недостаточно).

Некоторые изменения или добавления в рядах табл. 3 приложения по сравнению с исходной табл. 1 приложения вызваны целесообразностью удлинения периода для увеличения числа случаев (Казахстан). Ряд лет с засухой на ЕТС взят с 1833 г. для большей сравнимости с рядом для ФРГ, что было возможно, поскольку на ЕТС в 1800—1832 гг. сильных засух вообще не было. Данные по Северной Америке в графы 2 и 3 не включены из-за малого числа случаев.

Очень ярко выступает приуроченность засух к годам с низкоширотными пятнами, если составить список лет с засухой хотя бы в одном географическом районе, как это показано в табл. 5. При средней годовой широте менее  $16^\circ$  насчитывается 17 лет с засухой, а при широте более  $16^\circ$  — только 2 года, т. е. в 8,5 раза меньше; в случае же независимости засух от широты солнечных пятен в высокоширотной группе засух должно было бы быть только в 2 раза меньше.

## § 2. Геомагнитная возмущенность как показатель вероятности возникновения засух и суровых зим

В предшествующем параграфе было показано, что жесткие засухи имеют тенденцию особенно часто повторяться в годы с низкоширотным расположением солнечных пятен на диске Солнца. Мы связывали это с тем, что в такие годы потоки корпускулярных частиц, исходящих от Солнца, расположены в плоскости земной эклиптики и поэтому являются особо геоактивными, вызывая возмущения атмосферной циркуляции в виде меридиональных переносов воздушных масс. А так как вторжения корпускул распознаются по геомагнитным возмущениям, то естественно сделать следующий шаг и сопоставить годы засух с геомагнитными индексами. Это и было сделано нами по рекомендации и при консультации Э. Р. Мустеля. Мы пользовались рядами индексов Дж. Бартеляса (1963) и А. И. Оля вальских индексов Дж. Бартеляса (1963) и А. И. Оля (1964). Первый из этих рядов относится к периоду 1932—1962 гг. и содержит сводку наблюдаемых значений планетарных геомагнитных индексов  $K_p$  и  $A_p$  в виде повторяемости их различных градаций по каждому месяцу каждого года. Во втором ряду приведены значения  $K_p$  за период с 1884 по 1962 г., дальней-

шие же сведения сообщил нам А. И. Оль. Данные до 1932 г. в этом ряду являются восстановленными, они получены на основании корреляционных связей с предшествующими, менее совершенными геомагнитными показателями. В связи с этим значения индексов не детализированы по градациям, они содержат только средние месячные значения  $K_p$ , по виду однородности и длительности ряда он представляет исключительную ценность для гелиоклиматических исследований.

Сделаем некоторые предварительные выводы, пользуясь геомагнитными индексами  $K_p$  и числами Вольфа по Бартельсу ( $W$ ), сведенными в табл. 19.

Таблица 19

Гелиофизические и геомагнитные показатели по фазам 11-летнего солнечного цикла				
Фаза 11-летнего цикла	$W$	$K_p$ X		
		8-9	6-9	5-6
A. Минимум	6	0,07	1,00	3,8
B. Восходящая ветвь	62	0,30	2,1	4,9
C. Максимум	152	0,64	4,4	7,7
D. После максимума	120	0,74	4,5	7,7
E. Перед минимумом	34	0,29	3,6	8,6

Как уже отмечалось в начале данной главы, ход индексов несимметричен в 11-летнем цикле. Максимум геомагнитной возмущенности смещен к минимуму солнечных пятен, особенно для значений  $K_p=5-6$ , достигающих максимальной повторяемости перед минимумом 11-летнего цикла. Между прочим, значения  $K_p$  в интервале 4-6 типичны для дней с прохождением через центральный меридиан Солнца  $M$ -областей, которые вызывают рекуррентные геомагнитные возмущения, следующие одно за другим через 27-дневные промежутки. В эти дни повторяемость индексов 4-6 доходит до 80% при средней их повторяемости 20%. Отсюда можно сделать предварительное заключение о существенной роли  $M$ -областей в возникновении засухообразующих атмосферных процессов.

Связь засух с геомагнитными возмущениями подтверждается и анализом отдельных лет. За период 1932-1962 гг. у нас имеются месячные данные числа случаев с индексом  $K_p=4-5$ . Выбрав за этот период случаи засух на ЕТС с большим распространением по площади (по Каменьковой), убеждаемся в том, что все восемь таких засух приходятся на возрастающую ветвь геомагнитной активности. Более того, на каждую такую ветвь

приходится по одной или несколько засух, как это показано на рис. 33. Отдельные положительные флуктуации, т. е. подъемы активности только на один год, засухами не сопровождались. Не отмечалось вовсе больших по площади засух на ветвях спада геомагнитной активности. Приуроченности засух к ходу чисел Вольфа не видно: четыре случая пришлось на ветвь спада и четыре — на ветвь подъема.

Возрастание повторяемости индексов 4-5 из года в год наблюдается столь же часто, как и падение. Отсюда находим, что вероятность случайного размещения восьми засух исключительно на ветвях роста геомагнитной активности равна  $(\frac{1}{2})^8$ , т. е. всего 0,39%.

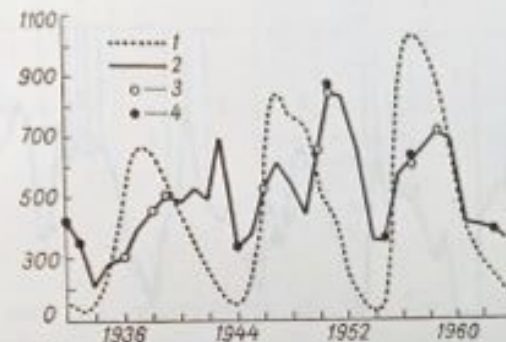


Рис. 33. Засухи на Европейской территории СССР (3) и в Казахстане (4) в сопоставлении с числами Вольфа  $W$  (1) и с геомагнитной возмущенностью  $K_p=4+5$  баллам (2).

Обратимся теперь к кривой хода индексов за длинный период 1884-1965 гг. (рис. 34). На этой кривой такими же условными знаками показаны годы с засухами за тот же длинный период на ЕТС и в Казахстане. Первые данные взяты по Каменьковой, вторые по Утешеву и Процерову. Для ЕТС взяты только сильные засухи, согласно ряду Каменьковой с 1891 г., а отсутствие таковых в предыдущие годы проверено по работе Г. Т. Селянинова (1958). Как видно, общая закономерность, отмеченная по ряду Бартельса, сохраняется — засушливые для ЕТС годы относятся преимущественно к восходящей ветви геомагнитной активности, засушливые для Казахстана — к нисходящей ветви или к минимуму. Другими словами, как правило, годы засух на ЕТС и в Казахстане не совпадают. Это хорошо известно из литературы; в частности, показано, что температура и осадки весенне-летнего периода в южной части ЕТС и в Казахстане связаны между собой значительной отрицательной корреляцией. Однако не менее хорошо известно, что иногда, в очень

редкие годы, жестокая засуха поражает одновременно земельные районы и ЕТС, и Казахстана. Следовательно, стоя на той же позиции гелиообусловленности засух, мы должны ожидать редкого, но неизбежного нарушения приуроченности засух на ЕТС к восходящей ветви, а засух в Казахстане — к нисходящей ветви геомагнитной активности.

Засухи, охватывающие одновременно ту и другую территории, могут приходиться как на фазу геомагнитной активности, характерную для ЕТС, так и на фазу, характерную для Казахстана. Для таких «парных» засух могут быть, по-видимому, два типа синоптических условий: 1) европейско-казахстанский, когда условия, характерные для ЕТС, распространяются на Ка-

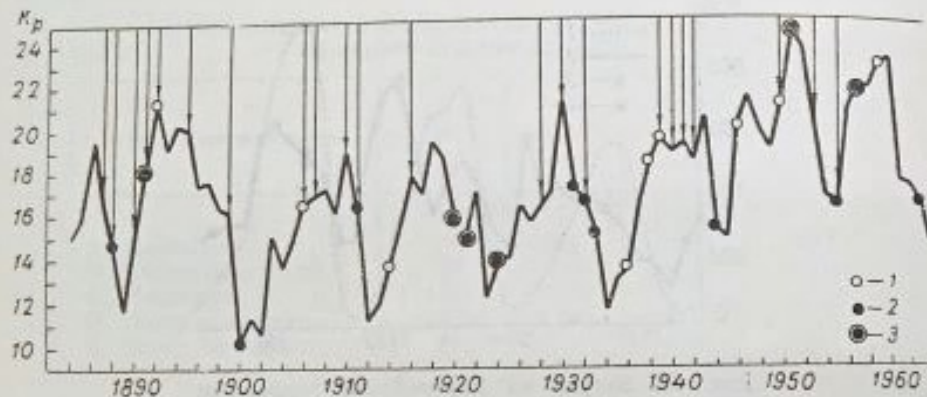


Рис. 34. Засухи на Европейской территории СССР и в Казахстане и холодные зимы на Европейской территории СССР в сопоставлении с геомагнитной возмущенностью  $K_p$ .

1 — засухи на ЕТС, 2 — засухи в Казахстане, 3 — засухи на ЕТС и в Казахстане. Стрелками указаны годы с холодными зимами.

захстан, как это было в 1891, 1951, 1957 гг.; 2) казахстано-европейский, когда условия, характерные для Казахстана, распространяются на ЕТС, что и случилось в катастрофические 1920 и 1921 гг.

Важно, что все случаи одиночных засух увязываются с ходом геомагнитной активности. Исключений нет. Если же засуха на ЕТС или в Казахстане попадает не на свою ветвь геомагнитной кривой, то эта засуха не одиночная, но обязательно парная, т. е. охватывающая одновременно и ту, и другую территории.

Распределение засух по годам восходящей и нисходящей ветвей геомагнитной активности показано в табл. 20.

Ниже приводится процентное отношение числа засух к общему числу лет восходящей и нисходящей ветвей, с разделе-

Таблица 20

Число засух на Европейской территории СССР (Е), в Казахстане (К) и на обеих территориях одновременно (ЕК) на восходящей и нисходящей ветвях геомагнитной возмущенности

годы	Восходящая ветвь				Нисходящая ветвь				
	число лет	Е	К	ЕК	годы	число лет	Е	К	ЕК
1890—1892	3	1	—	1	1887—1889	3	—	1	—
1901—1910	10	1	—	—	1893—1900	8	—	1	—
1913—1918	6	1	—	—	1911—1912	2	—	1	—
1924—1930	7	—	—	1	1919—1923	5	—	—	2
1935—1943	9	3	—	—	1931—1934	4	—	3	—
1946—1951	6	2	—	1	1944—1945	2	—	1	—
1956—1960	5	1	—	1	1952—1955	4	—	1	—
					1961—1965	5	—	1	—
Всего	46	9	—	4	Всего	33	—	9	2
Всего, с распределением случаев ЕК в группы Е и К		13	4	—	Всего, с распределением случаев ЕК в группы Е и К		2	11	—

нием засух как на три группы (Е, К и ЕК), так и на две группы (Е, К):

	Е	К	ЕК	Е	К
Восходящая ветвь	19	—	9	28	9
Нисходящая ветвь	—	31	6	6	37

С точки зрения статистической полученные цифры, как и график (рис. 34), убедительны, так как показывают реальность зависимости засух от направления изменения геомагнитной активности. Однако возможности использования их для прогнозов ограничены, так как полученные цифры вероятностей не столь высоки. Это отмечается и М. Х. Байдалом, по мнению которого жестокие засухи в Казахстане приурочены исключительно к фазе минимума солнечных пятен, т. е. данная фаза есть необходимое условие для наступления засух. Однако это условие недостаточное (не во все годы фазы минимума наступает засуха). Для уверенного прогноза засух в наступающем сезоне нужно не только знать ход солнечной активности, но и иметь хорошо обеспеченный прогноз типа атмосферных макропроцессов. Кроме того, как раз исключения из общего правила имеют особое значение. Они говорят о том, что на нисходящей ветви солнечной активности засух только на ЕТС не бывает, но возможны засухи «двойные» — и на ЕТС, и в Казахстане одно-



временно. Аналогичное заключение приходится сделать и в отношении засух в период спада солнечной активности.

Однако более внимательный анализ кривой рис. 34 позволяет обнаружить определенные закономерности и в распределении европейско-казахстанских засух. Если европейские засухи должны располагаться на восходящей ветви, а казахстанские — на нисходящей, то совпадение обоих явлений может относиться только к местам перехода от повышения к понижению годовых чисел  $K_p$ , т. е. к тем местам кривой, где она будто «не знает», куда ей идти, вверх или вниз — производная приближается к нулю. Как видно по рис. 34, из шести случаев «двойных» засух пять (кроме 1891 г.) падают именно на такие участки кривой. Разделим всю совокупность межгодовых разностей индексов  $K_p$  на две равновеликие группы — большие и малые (по абсолютному значению). Малые значения лежат в пределах от  $-1,5$  до  $+1,8$ . От года двойной засухи к следующему году индексы изменяются таким образом:

1891	1920	1921	1924	1951	1957
+3,1	-0,4	+1,7	+0,1	-1,1	+0,1

Уровень случайности такого распределения не так высок и составляет 9%. Однако логически вывод вполне увязывается с выводами табл. 20. Общий результат формулируется так: для положительной производной годовых индексов  $K_p$  характерна тенденция к засушливости на Европейской территории СССР, для отрицательной — к засушливости в Казахстане, а для случаев приближения производной к нулю характерны «двойные» засухи.

Для других территорий, по которым у нас имеются данные (источники их см. в приложении), обнаруживаются свои закономерности в соотношении показателей частоты засух с геомагнитными индексами. Так, сильные засухи в ФРГ и в Англии бывают в годы, когда геомагнитная возмущенность меньше, чем в предшествующие годы (в 10 случаях из 12 для обеих стран). Для Северной Америки характерны повышения значения индексов в засушливые годы (5 случаев из 6). Эти соотношения статистически эквивалентны найденным выше для европейско-казахстанских засух (в смысле уровня значимости).

Для Украины и Китая нельзя найти каких-либо определенных соотношений: засухи отмечались как при максимальных, так и при минимальных значениях индекса, как при его росте, так и при падении из года в год. Возможно, что как Украина, так и Китай лежат в переходных зонах в смысле гелиообусловленности атмосферных процессов. В отношении Украины это подтверждается тем обстоятельством, что засушливость на ЕТС в целом характерна для лет с возрастанием индекса  $K_p$ , а за-

сушливость в Западной Европе — для лет с убыванием индекса  $K_p$  (как и в Казахстане).

То, что засушливость лучше увязывается не с абсолютными значениями геомагнитного индекса, а с его производной, должно соответствовать каким-то особенностям его структуры. Пользуясь данными Бартельса, мы вычислили повторяемость больших значений индекса, в пределах 6—9, за период 1932—1962 гг. Оказалось, что на восходящей ветви геомагнитной кривой число

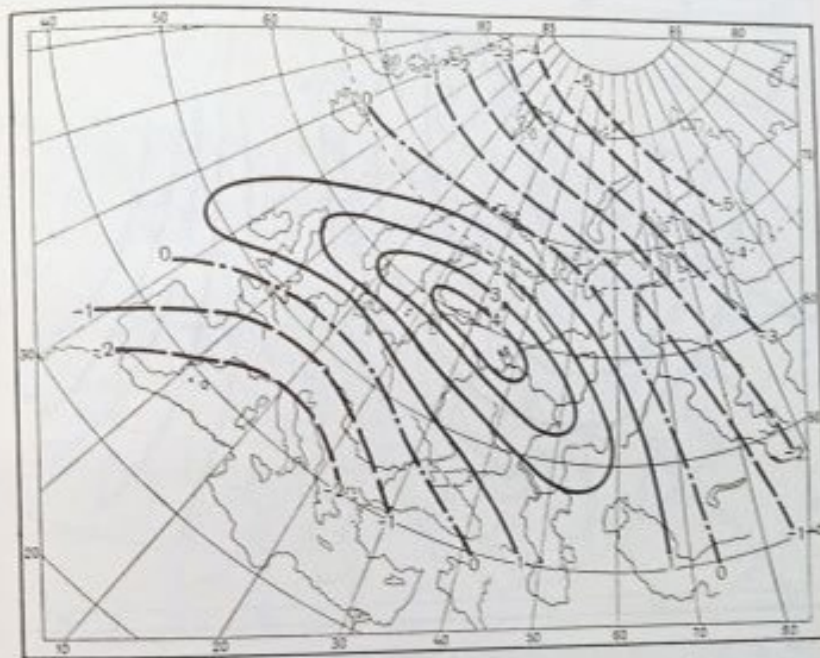


Рис. 35. Число дней с антициклонами (отклонения от нормы) за март—май в годы максимума индекса геомагнитной возмущенности  $K_p$  в периоде 1900—1965 гг.

таких значений индекса в 2,5 раза больше, чем на нисходящей ветви.

Такая резко выраженная и устойчивая особенность погоды, как засухи, должна сопровождаться и резко выраженными особенностями атмосферной циркуляции. Естественно сопоставить между собой характеристики атмосферной циркуляции в годы, отличающиеся по значениям геомагнитного индекса  $K_p$ . С этой целью мы использовали каталог Л. А. Вительса и составили средние карты отклонения антициклоничности от нормы весной (март—май) для максимальных и минимальных значений  $K_p$ . В первую группу вошли годы 1910, 1918, 1930, 1943, 1947, 1951.

1959, 1960; во вторую 1900, 1912, 1923, 1934, 1944, 1945, 1955, 1964 (в группу лет минимума добавлены некоторые соседние с минимумом годы, мало отличающиеся по значениям  $K_p$ ; в группу максимума добавлен вторичный, но резкий пик 1947 г.). Кроме того, из числа указанных лет по каждой группе были выделены последние годы с резко повышенным общим уровнем геомагнитной активности начиная с 1944 г.

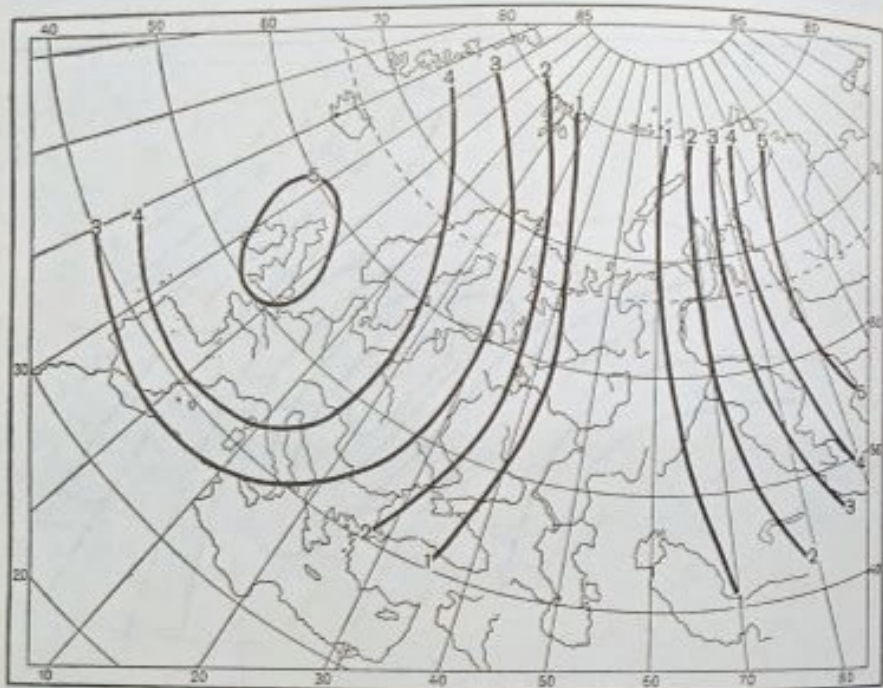


Рис. 36. Число дней с антициклонами (отклонения от нормы) за март—май в годы минимума индекса геомагнитной возмущенности  $K_p$  в периоде 1900—1965 гг.

Рисунок 35 показывает, что в годы максимума геомагнитной активности развивается синоптическая ситуация, опасная в смысле возникновения засух на ЕТС, что полностью соответствует характеристикам засухообразующего процесса по Г. Т. Селянинову и М. С. Андрианову. Происходят, очевидно, вторжения арктического воздуха с северо-запада и последующее стационарирование антициклонов на ЕТС. Западная Сибирь и Северный Казахстан находятся в области циклонического тыла, что говорит о хорошей обеспеченности осадками этих районов в противоположность Европейской территории СССР. Эта карта очень сходна с картой Э. Р. Мустеля, показывающей изменение давления на четвертый день после хромосферных вспышек

(см. рис. 27). Карта для лет минимума имеет совершенно другой вид (рис. 36). Видно, что такая синоптическая ситуация способствует засухам в Западной Европе и в Казахстане и хорошему увлажнению Европейской территории СССР, особенно на ее центральных меридианах.

Рисунки 37 и 38 построены, как было сказано, совершенно аналогично только что рассмотренным, но только за последние годы сильно повышенной геомагнитной активности. Как видно,

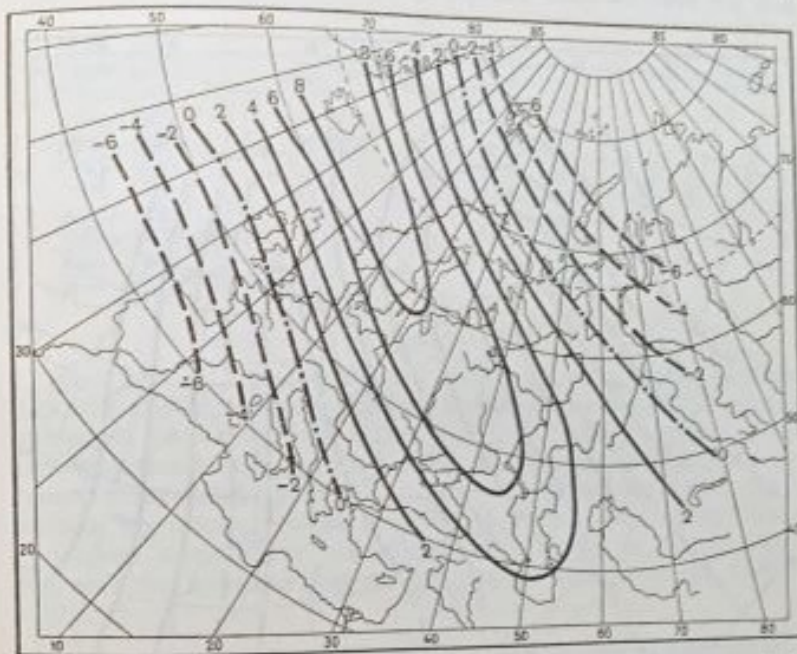


Рис. 37. Число дней с антициклонами (отклонения от нормы) за март—май в годы максимума индекса геомагнитной возмущенности  $K_p$  в периоде 1943—1965 гг.

все указанные особенности барического поля в эти годы оказались резко акцентированными. Бросается в глаза, что при минимуме геомагнитной активности меридиональность атмосферных процессов не только не уменьшается, но, наоборот, возрастает по сравнению с годами максимума.

Приурочены к геомагнитным возмущениям и холодные зимы на ЕТС, отмеченные на рис. 34 стрелками. Холодные зимы отбиралось тремя способами:

1. По каталогу, составленному в отделе долгосрочных прогнозов ГМЦ (период 1891—1960 гг.), где различаются, исходя из определенных количественных соотношений, холодные и

экстремально холодные месяцы (х, эх). Зима считалась холодной, если два соседних месяца из трех зимних (с декабря по февраль) относились к х или эх. Если же один из трех основных зимних месяцев был экстремально теплый, то зима к холодным не относилась.

2. По каталогу, составленному Т. В. Покровской (1956 и др.) за период 1884—1966 гг., холодными считались зимы, имеющие не менее трех холодных месяцев в периоде с ноября по март или же хотя бы один январь при условии, что холода в этом

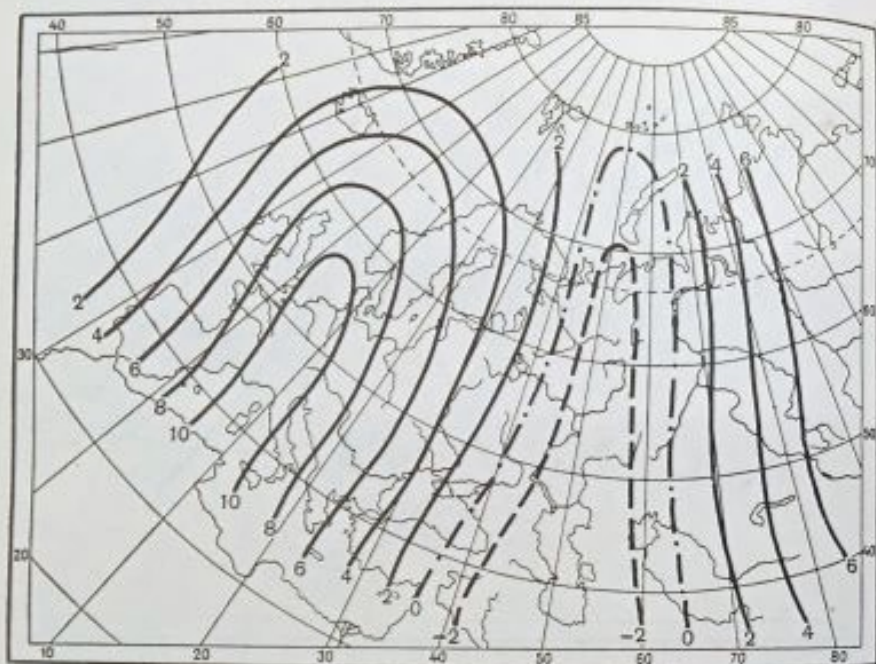


Рис. 38. Число дней с антициклонами (отклонения от нормы) за март—май в годы минимума индекса геомагнитной возмущенности  $K_p$  в периоде 1943—1965 гг.

месяце отмечаются два года подряд. Таким образом, внимание обращалось на повторение холодных месяцев в течение одного сезона или из года в год. Наличие теплых месяцев среди холодных при указанных условиях не препятствовало включению зимы в разряд холодных.

3. По картам отклонений температуры от нормы (издание 1961—1967 гг.) холодными считались зимы в том случае, если два рядом стоящих месяца из трех (декабрь—февраль) имеют аномалию  $-5^\circ$  и более, с нарушениями в отдельных районах до  $+3^\circ$ . Эта типизация проведена Л. П. Спириной.

На рис. 34 показаны холодные зимы, отобранные по указанным способам в соответствии с табл. 21. Годовые значения индекса  $K_p$  брались за год начала зимы, т. е. по декабрю.

Таблица 21  
Холодные зимние сезоны на Европейской территории СССР с 1884 по 1966 г.

Годы	Способ отбора	Годы	Способ отбора
1887—1888	2	1916—1917	1, 2, 3
1888—1889	2, 3	1928—1929	1, 2, 3
1890—1891	2	1930—1931	1, 3
1891—1892	2	1932—1933	2
1892—1893	1, 2, 3	1939—1940	1, 2, 3
1895—1896	1, 2, 3	1940—1941	1, 2, 3
1899—1900	1, 3	1941—1942	1, 2, 3
1906—1907	1, 2	1942—1943	1, 2, 3
1907—1908	1, 2, 3	1950—1951	3
1910—1911	1	1953—1954	1
1911—1912	1, 2, 3	1955—1956	1, 3

Всего за 82 года по той или иной типизации отмечены 22 холодные зимы, которые пришлось преимущественно на высокие значения геомагнитного индекса  $K_p$ . В годы с геомагнитной возмущенностью  $K_p > 16$  наблюдалось 20 случаев холодных зим; соответствующий уровень значимости  $q$  составляет 0,47%. Но не только холодные сезоны в целом, а также и отдельные очень холодные месяцы (эх) чаще встречаются при тех же значениях  $K_p$ , как показывают следующие цифры повторяемости (1891—1960 гг.):

Общая	При $K_p > 16$	При $K_p \leq 16$	Уровень значимости $q$
56%	70%	27%	0,45%

Интересно, что повторяемость экстремально теплых зимних месяцев не реагирует на изменения  $K_p$ . Возможно, что это связано с резким различием синоптических ситуаций, создающих вынос тепла на Европейскую территорию СССР — это может происходить как при преобладании W, так и при преобладании типа циркуляции E.

Следует ожидать, что и в других географических районах обнаружится более или менее определенная связь суровости с геомагнитными возмущениями. Это подтверждается, например, данными Филевича, который установил тесную связь низких зимних температур в Польше с годами максимума солнечных пятен в 11-летнем цикле, кончая 18-м циклом (Filewicz,

1960). Для каждого солнечного цикла отбирались отдельно самые холодные зимы. Для всех этих холодных зим выполнялось условие  $K_p > 16$ , в том числе и для зимы 1911-12 г., которая являлась исключением из закономерности, установленной Филевичем: она далеко отстояла от года максимума солнечных пятен, но непосредственно следовала за годом максимума индекса  $K_p$ , наступившим значительно позже максимума чисел Вольфа. Зимы Западной Европы были исследованы В. П. Кёппеном (Körpen, 1930) по сводкам, охватывающим период с 1764 г. Кёппен задался целью установить закономерности наступления холодных зим, не прибегая к какой-либо априорной гипотезе. В результате работы он пришел к заключению, что интервалы между холодными зимами, превышающие 5—6 лет, группируются около значений 11, 33 и 44 года. Связь обнаруженной цикличности с цикличностью солнечных пятен, как указывает Кёппен, очевидна.

В табл. 22 дается краткая сводка статистических показателей.

Таблица 22

Число случаев с засухами (1887—1965 гг.) и с холодными зимами (1884—1960 гг.)

	<i>N</i>	<i>n</i>	<i>q</i>
Засухи на ЕТС, 46 лет восходящей ветви . . . . .	9	9	1,5
Засухи в Казахстане, 33 года нисходящей ветви . . . . .	9	9	0,28
Засухи на ЕТС и в Казахстане одновременно, 40 лет с пониженным межгодовым изменением . . . . .	6	6	5
Холодные зимы на ЕТС при $K_p > 16$	22	20	0,46

Примечание. *N* — общее число случаев, *n* — при указанной характеристике  $K_p$ ; *q* — уровень значимости (%).

Уровни значимости *q* подсчитаны по биномиальной формуле. Они говорят о неслучайности распределения засух по фазам хода геомагнитной кривой. Можно добавить, что наличие связей для всех трех типов засух одновременно значительно повышает надежность общей гипотезы о зависимости засух от солнечной активности по сравнению с наилучшим показателем для отдельной связи. Это повышение должно быть более существенным, чем возможное понижение за счет того, что сам способ оценки выбирался нами уже после сопоставления засух с ходом индекса, таким образом, чтобы получить наилучшие значения неслучайности.

Полученные результаты подчеркивают перспективность использования геомагнитных индексов, сопоставление с числами Вольфа не позволило бы сделать столь четких выводов.

Поскольку наступление и засух, и холодных зим увязывается с ходом геомагнитного индекса, предполагается продолжать дальнейшие разработки в том же направлении.

## Глава IV. ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

### § 1. Оправдываемость прогнозов в различные годы 11-летнего цикла

При анализе причин недостаточной оправдываемости современных долгосрочных прогнозов весьма существенным является

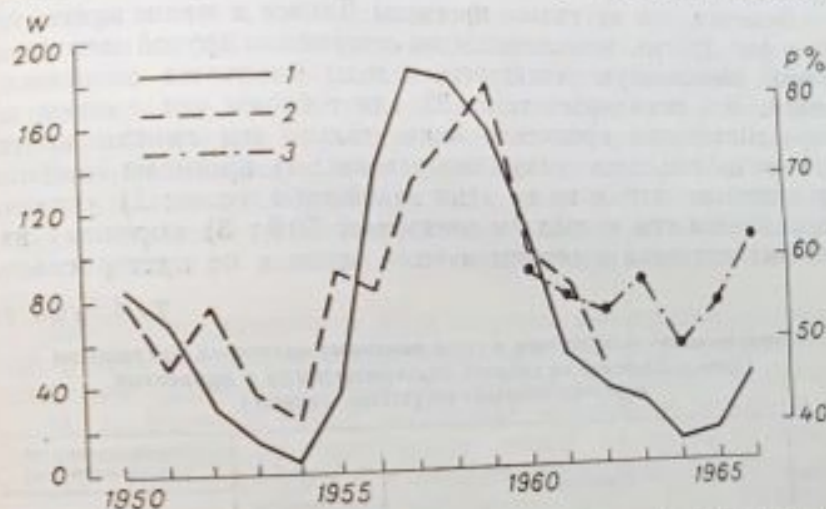


Рис. 39. Ход чисел Вольфа *W* (1) и оправдываемости *P* прогнозов температуры, составленных Э. Динисом (2) и Т. В. Покровской (3).

вопрос о роли солнечных факторов, прежде всего солнечной активности в формировании погоды. Э. Динис (Dinies, 1963) приводит интересные данные по оправдываемости прогнозов месячных аномалий температуры и осадков в ФРГ в связи с изменениями чисел солнечных пятен в их 11-летнем цикле. На рис. 39 параллельно с числами Вольфа *R* отложена оправдываемость прогнозов температуры *P*. Оправдываемость наиболее высока в годы, близкие к максимуму солнечной активности, а при малых значениях чисел Вольфа она падает ниже уровня случайных прогнозов, т. е. ниже 50%. Динис связывает это с тем, что прогнозы в ФРГ в значительной степени бази-