

PUBLICATIONS OF THE ASTRONOMICAL INSTITUTE
OF THE CZECHOSLOVAK ACADEMY OF SCIENCES

No. 33

Zdeněk Gregor, Ladislav Křivský

**Langfristige Zirkulationsänderungen
im Atlantisch-Europäischen Gebiet
Und Ihre Beziehungen zur Säkularen Sonnentätigkeit**

PRÁCE GEOFYSIKÁLNÍHO ÚSTAVU ČESKOSLOVENSKÉ AKADEMIE VĚD
ТРУДЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ЧЕХОСЛОВАЦКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

TRAVAUX DE L'INSTITUT GÉOPHYSIQUE DE L'ACADÉMIE
TCHÉCOSLOVAQUE DES SCIENCES

No 62

GEOFYSIKÁLNÍ SBORNÍK 1957

МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ АТЛАНТИЧЕСКО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ОБЛАСТИ В СВЯЗИ С СЕКУЛЯРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ*)

Zdeněk Gregor

Гидрометеорологический институт, Прага

Ladislav Křivský

Астрономический институт ЧСАН, Онджейов

СОДЕРЖАНИЕ

- I. Введение
 1. Введение
 2. Проблематика и цель настоящей работы
 3. Исходная работа
- II. Атлантическо-европейская фронтальная зона и ее многолетние изменения
 1. Метод частот фронтальной зоны
 2. Климатологическая фронтальная зона
 3. Изменение климатологической фронтальной зоны в отдельных сезонах
 4. Связь между изменениями атмосферной циркуляции и изменениями климата
 5. Рассмотрение результатов
- III. Связь между многолетними изменениями циркуляции и климата и секулярной солнечной деятельностью
 1. Связь между многолетними изменениями циркуляции и климата и секулярной солнечной деятельностью
 2. Рассмотрение результатов
 3. Сжатые выводы
- IV. Таблицы

*) Langfristige Zirkulationsänderungen im Atlantischeuropäischen Gebiet und ihre Beziehungen zur säkularen Sonnentätigkeit.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ныне уже достаточно известно и доказано, что и в нынешнее время происходят изменения климата, хотя эти изменения не настолько существенны, чтобы каким-либо значительным способом влияли на цивилизацию определенной области. Общеизвестно, что переживаемый нами период времени, точно также как это имело место и в прошлых десятках и сотнях тысяч лет, находится в какой-то неизвестной и до сих пор трудно определенной стадии такого крупного изменения климата. И так, нет вообще оснований думать, что причины, вызывающие, например, возникновение известного ледникового периода, перестали существовать, или что они не могли бы снова возникнуть. Изменения климата за последние столетия, а также в нынешнее время не так уж велики, а длительнось их сравнительно коротка; известны колебания климата с продолжительностью от нескольких лет до десятков и сотен лет. Наиболее известное изменение климата в нынешнее время представляет потепление северных полярных областей, проникающее и в смежные части европейского, азиатского и американского континентов. Это потепление представляет интерес не только с теоретической точки зрения, но имеет и практические последствия, например, продолжение судоходного периода в северных морях вокруг Шпицбергена, где период свободного мореплавания в течение нескольких последних десятилетий продолжился примерно на 4 месяца в году. Появляются уже первые работы, из которых можно заключить, что тенденция к потеплению в последних десятилетиях приостановилась и что потепление, повидимому, будет иметь тенденцию к падению.

2. ПРОБЛЕМАТИКА И ЦЕЛЬ НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЫ

Все в большей и большей степени находит подтверждение принцип, действительный в природе, заключающийся в том, что при неизменном воздействии сравнительно незначительной силы в определенном направлении, размеры последствий возрастают с длительностью этого воздействия [1].

Если себе представить, что причины, вызывающие потепление полярных областей, и сопряженные с ним иные климатические изменения в дальнейших областях Земли существовали бы не лишь 30—40 лет (как это имеет место в действительности), а несколько сот и даже тысяч лет! Если себе пред-

ставить далее, что темпы повышения средних температур в особенности в зимних месяцах не подвергались бы изменениям, то нам думается, что никто из специалистов не сомневался бы в том, что по крайней мере, молодое поколение дожило бы до того момента, когда холодный климат в северных полярных краях будет уже принадлежать прошлому. Но вполне достаточно и того, если себе скромно представить, что причина, вызывающая потепление Арктики и ее краевых областей, воздействует лишь в той же мере, как имело место в последних десятилетиях, т. е. что температурные последствия этого воздействия в дальнейшем не будут увеличиваться, и что тенденция к изменению величины влияния в будущем не будет ни возрастать, ни убывать. Какие бы это имело последствия? Эти последствия проявились бы в том, что происходящие изменения климата в этих областях продолжались бы до определенного времени и до известных пределов, обусловленных инерцией процесса превращений определенного количества ледников в воду, а холодной воды — в воду более теплую. Иными словами можно сказать, что наблюдающееся повышение температуры полярных краев даже в том случае, если бы оно существенно и не увеличивалось и если бы оно продолжалось и в течение дальнейших нескольких десятилетий, оказало бы дальнейшее влияние на превращение льда в воду и, следовательно, на убывание толщины и площади ледяных полей в полярных морях и на уменьшение ледников (Гренландия и др.).

Однако уже имеются признаки, основанные на исследованиях [2], что потепление уже приостановилось и что даже настает период постепенного охлаждения полярных краев. Причины, вызвавшие потепление, уже, следовательно, не влияют на изменение климата, или же в атмосфере они вызвали реакцию, препятствующую их воздействию на климат, или же, скорее всего, здесь мы имеем дело с прямым влиянием иных причин, вызывающих охлаждение климата.

Ввиду того, что в нашем распоряжении имеются метеорологические данные относительно погоды и климата в некоторых случаях даже за период времени около двухсот лет, то мы можем непосредственно, на основании точных измерений, изучать изменения климата в некоторых областях Земли и таким образом познавать закономерности хотя бы некоторых сравнительно коротких колебаний характера климата. Таким путем можно получить не только практически пригодные результаты в климатологии, но и можно объяснить и открыть причины этих изменений и их механизм [3, 4].

Климат создается под влиянием многих факторов; существенным же фактором, который своими изменениями мог бы вызвать и изменения климата, является исключительно изменяющееся состояние (свойство) земной атмосферы, т. е. тропосферная циркуляция. Длительные изменения тропосферной циркуляции в определенных достаточно обширных областях

Земли представляют возможнейшую и даже, можно сказать, единственно возможную причину изменений климата. Причины изменений в среднем состоянии земной атмосферы, а следовательно, и в ее свойствах, можно искать исключительно вне сферы атмосферы, в особенности же это касается длительных изменений порядка десятков сотен и тысяч лет. Одним из этих внешних факторов, определяющих непосредственно даже климат, является солнечная радиация и ее изменения, вызванные солнечной деятельностью.

То обстоятельство, что в связи с изменяющейся солнечной активностью происходят как изменения солнечной радиации, доходящей до земной атмосферы, а также в определенных диапазонах волновой эмиссии до земной поверхности, так и изменения эмиссии корпускулярного характера, не представляет ныне ничего гипотетического, но наоборот является вещью доказанной [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Эти изменения, происходящие в солнечной эмиссии, вызывают температурные, химические и радиационные превращения и отклонения в некоторых сферах земной атмосферы, а именно почти непосредственно после определенных явлений солнечной деятельности. Переводный механизм влияния этих изменений на климат не был до сих пор достаточно объяснен и поэтому является предметом гипотетических рассуждений. В поисках закономерностей нам не остается ничего другого, как идти в этой обширной проблематике по следующему пути:

1. определять изменения климата на основании метеорологических записей за достаточно длительные промежутки времени;
2. создавать последовательную связь этих рядов прошлого с данными, полученными как на основании вторичных проявлений климата (например, из сферы флоры), так и на основании исторических записей, летописей и т. д.;
3. исследовать в связи с известными изменениями климата и изменения циркуляции в атмосфере, считая ее ближайшей причиной изменения климата.
4. заключать на причины изменений климата и циркуляции на основании связи по времени и причинной связи с внешними влияниями (солнечная активность).

Целью настоящей статьи является установление изменений характера циркуляции в связи с известными изменениями климата в последних нескольких десятилетиях, а также определение зависимости от длительного уже известного колебания солнечной активности. Предлагаемая работа преследует цель характеризовать изменение циркуляции при помощи климатической фронтальной зоны в северной части области Атлантического океана и Европы и определить, соответствует ли установленное изменение циркуляции известным климатическим изменениям, а в особенности по теплению полярных краев и Скандинавии.

3. ИСХОДНАЯ РАБОТА

Решением задания приблизительно того же характера с меньшим или большим успехом занимались авторы нескольких работ. Среди них работа, которую создал S. Petterssen [11], принесла больше всего новых сведений.

S. Petterssen, основываясь на данных, которые привели H. W. Ahlmann [12], Hesselberg и Birkenland [13] относительно изменений климатических элементов в северных краях, исследует годовые изменения циркуляции. На основании материалов Historical Weather Maps [14] за период времени 1899—1939 гг. он вычисляет для двух двадцатилетних периодов 1900—1919 гг. и 1920—1939 гг. распределение чистого зонального переноса, далее чистого и полного меридионального переноса, а также меридионального обмена и, наконец, изменение как поля давления, так и частоты циклональной активности. Результаты, приведенные на картах, обнимают область, расположенную от 70° з. д. до 40° в. д. и от 80° с. ш. до 25° с. ш. Эти результаты не были приведены отдельно для каждого из названных периодов времени. Полученные данные характеризуют происшедшие изменения, т. е., иными словами, они были конструированы на основании вычисленных разностей между периодом А (1900—1919) и периодом В (1920—1939). Этот метод прямо позволяет понять различные характеры обоих периодов в названных элементах циркуляции.

Этого метода придерживались также авторы настоящей статьи; равным образом и выбор периода для установления изменений климатологической фронтальной зоны был сходен с периодом, который рассматривал Petterssen; здесь были использованы те же карты и те же характеристические эпохи представленные кривыми изменений климатических элементов [15].

Приводим некоторые важнейшие заключения из работы, которую опубликовал Petterssen. Заключения касаются периода 1920—1939 гг.

1. Механизм изменений климата обусловлен изменениями интенсивности источников холода и тепла, а в силу этого и изменениями циркуляции атмосферы.

2. Ограничение зональной циркуляции в результате меридиональной интенсификации (высокий индекс обращается в низкий — Rossby).

3. Конвергенция меридионального переноса вызывает активизацию полярной и арктической фронтальной зоны северной части Атлантического океана, а также и рост циклональной активности (см. рис. 1).

4. Существенное общее возрастание полного меридионального переноса начинается в периоде 1920—1929 годов, приобретает четкий характер в периоде 1930—1939 годов. Это свидетельствует об общем возрастании меридионального переноса между северными и средними широтами, т. е.

об увеличении всеобщего обмена в общей циркуляции атмосферы. В субтропических краях обмен понижен.

5. Повышение циклональной активности и меридионального обмена в пространстве между Средиземным морем и Балканами увеличивает приливы теплого воздуха в восточную часть Средней Европы.

6. В результате увеличенного переноса воздуха на север из восточной части Средней Европы в Скандинавию, сопровождаемого переносом воздуха из восточной части Северо-Атлантического океана в Исландию и в об-

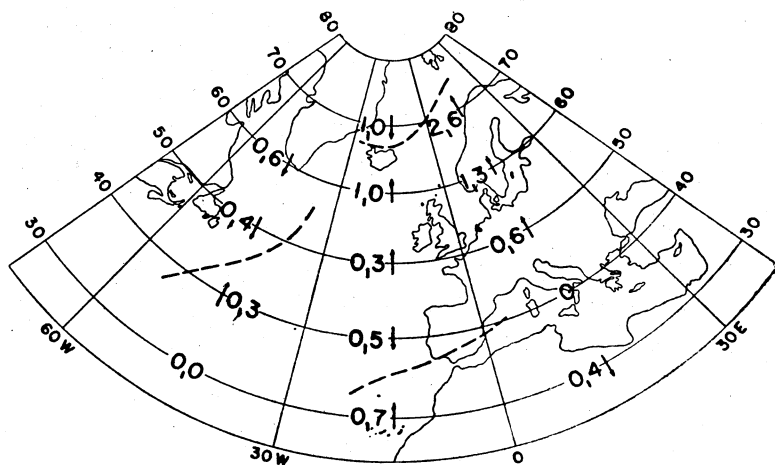


Рис. 1. Изменение чистого меридионального переноса ($\text{кг}/\text{м}^2 \text{сек}$) начиная эпохой 1900—19 до эпохи 1920—39. Стрелки означают направление меридиональной слагающей переноса (S. Petterssen).

ласть над Норвежским морем, повысились температуры и влажности в европейской полярной и субполярной областях.

7. В результате смещения циклональной активности на запад, происходит адвекция теплого океанского воздуха в арктические края.

8. Адвекция в Атлантической области на север должна компенсироваться переносом воздуха из Арктики на юг, а именно, в области других долгот (область озера Вайкал?). В результате повышенного общего обмена произошло бы повышение низких температур в области вокруг полюса.

9. Область Скандинавии приобретает все более и более антициклональный характер; повышается градиент (ветер). В результате происходит разрушение приземных инверсий, встречающихся чаще всего зимой, так что наибольший климатический эффект относительно температур проявляется зимой.

10. Климатически обнаруженное потепление возрастает с географической широтой, так что пока нельзя утверждать, что оно проявляется во всех слоях. Lysgard предполагает, что увеличенный привод тепла вызывается или повышенной солнечной активностью или изменением радиационного теплового баланса атмосферы. Увеличенный привод тепла может проявиться в повышении меридионального градиента зимней температуры, что в действительности и наблюдается.

Результаты работы (автор Petterssen), имея важное значение, все-таки страдают тем недостатком, что расчет всех параметров циркуляции атмосферы и характеристик производится не для отдельных сезонов и не для отдельных типичных месяцев сезонов, а для всего года. Если себе представить, насколько различна циркуляция летом и зимой, то не трудно придти к заключению, что в годовых значениях многое остается завуалированным или искаженным, а поэтому может привести к неправильным интерпретациям. Этих недостатков лишена настоящая работа, в которой изменения климатологической фронтальной зоны, хотя и рассматриваются и исследуются при помощи сходного метода изменений и для тех же периодов времени, как это делает Petterssen, но обработка материала и создание карт на основании результатов обработанного материала были осуществлены для типичных месяцев 4 годовых сезонов. У этих четырех избранных месяцев есть гарантия того, что они, как с климатической, так и с циркуляционной точек зрения, правильно характеризуют годовые сезонные изменения циркуляции атмосферы в области Северной Америки и в северной области Атлантического океана и Европы [16].

II. АТЛАНТИЧЕСКО-ЕВРОПЕЙСКАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА И ЕЕ МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

1. МЕТОД ЧАСТОТ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ

В настоящей работе для более наглядного объяснения состояния циркуляции был применен тот же метод и использован тот же материал, что и в работе Э. Грегора (Z. Gregor) и Л. Крживского (L. Křivský), опубликованной в 1952 году [17, 18].

На высотных картах северного полушария, в особенности на картах абсолютной топографии поверхности 500 мб, а также на картах более высоких поверхностей, можно обнаружить в умеренном поясе области

усиленных течений воздуха. Эти области изменяют с течением времени свое положение и направление, в одних случаях они располагаются последовательно вокруг всего полушария, в иных же случаях на некоторых местах взаимно разделяются. Этот пояс усиленного течения воздуха в метеорологической литературе носит название „jet stream“, „Strahlströmung“, „Freistrahл“ или „планетарная фронтальная зона“ [19, 20]. Исследуя такую планетарную фронтальную зону более детальным образом, мы можем ее всегда разделить на несколько аналогичных частей. Характеристическим признаком этих частей является вход (сходимость) зоны и дельта (расходимость) зоны [20, 21]. Фронтальные зоны являются важным фактором динамики общей циркуляции, ибо в них сосредоточен наивысший градиент давления и температуры. Фронтальные зоны служат, собственно говоря, как бы „мотором“ атмосферной циркуляции. В тех случаях, когда наивысший градиент не ограничивается лишь высокими слоями тропосферы и превышает определенное значение на приземной карте этой области, можно обнаружить фронты, фронтальные волны и семейства циклонов, известные нам по данным норвежской школы и характеризующие в каждом данном моменте состояние циркуляции (само собой разумеется, в связи с барическим полем). Средние положения фронтов за определенную часть года это — климатические фронты [22]. Они взаимно разделяют отдельные воздушные массы и положение их зависит прежде всего от температуры и распределения материков и морей.

В целях получения основного исходного материала для настоящей работы, мы определяли путем зарисовки линий на отдельных дневных приземных картах положения фронтальных зон, но не положения фронтов, как это сделали Т. Е. W. Schumann и М. Р. Van Rooy [23]. Каждый фронт зарисованный на приземной карте, не должен еще быть расположен во фронтальной зоне. Примером таких фронтов, расположенных вне фронтальной зоны могут служить холодные фронты в области холодных высотных циклонов, возникающих обыкновенно на высоких широтах, или холодные фронты в восточной части динамических антициклонов, ограничивающих холодный воздух, который пассивно сдвигается к югу вдоль восточного края динамического антициклона.

Фронтальные зоны устанавливались таким образом, чтобы их направление соответствовало направлению поступательного движения фронтальных волн, окклюзии и фронтальных циклонов, а их положение — месту наибольшей фронтальной активности, определяемой, с одной стороны, площадью вблизи вершин теплых секторов волн, а с другой стороны — окклюзионными точками в окклюдированных циклонах. Таким путем были исключены фронты, не лежащие во фронтальной зоне, а также фронты усиленного течения воздуха, которые появляются лишь на вышележащих поверхностях и которые лишены фронтогенетического характера.

На средних месячных картах абсолютной топографии поверхности 500 мб [24] можно установить в северном полушарии три главные фронтальные зоны с характеристическими признаками входа и дельты, а именно: атлантическо-европейскую, азиатскую и тихоокеанскую. Длина, направление и интенсивность этих зон в течение года испытывают колебания.

Фронтальные зоны устанавливались на территории, расположенной от 100° западной долготы (примерно от центра Северной Америки) до 80° восточной долготы (на восток от Урала) и от 75° северной широты до 15° сев. широты, на основании Historical Weather Maps [14] за период времени от января 1899 года до апреля 1939 года, т. е. за 41 год. В нашем распоряжении не было данных, касающихся СССР и относящихся к периоду времени перед окончанием первой мировой войны и после нее. Недостающие данные были восполнены путем экстраполяции. Карты средних частот фронтальной зоны (карты климатологической фронтальной зоны) для месяцев январь и апрель представляют среднее значение за 41-летний период времени (1899—1939 гг.), карты же для месяцев июль и октябрь — средние значения за 40-летний период времени (1899—1938 гг.). Частоты появлений фронтальной зоны определялись для каждого поля карты с площадью 5° широты и 10° долготы. Ввиду того, что величина этих полей изменяется с географической широтой, был произведен их пересчет на площадь, равную 200.000 км², что приблизительно равно площади 5° широты × 10° долготы на 70° северной широты. Значения изолиний на средних картах за весь 41 или 40 летний период выражают число дней в месяце, в течение которых фронтальная зона в среднем лежала над данным полем (однако с пересчетом на ту же площадь). Коэффициенты редукции, использованные для той же площади 200.000 км² и для отдельных широтных поясов имеют следующие значения:

15—20° с. ш.	0,350	45—50° с. ш.	0,477
20—25°	0,350	50—55°	0,532
25—30°	0,360	55—60°	0,603
30—35°	0,383	60—65°	0,701
35—40°	0,405	65—70°	0,832
40—45°	0,438	70—75°	1,067

Карты средних частот фронтальной зоны приведены на рис. 2, 4, 6, 8. Карты изменений частот фронтальной зоны, приведенные на рис. 3, 5, 7, 9, построены тем же образом, но значения изолиний выражают здесь разности простых сумм появлений фронтальной зоны в промежутке времени между периодом 1900—1919 гг. (этот 20-летний период будем обозначать также через А) и периодом максимального потепления климата 1920—1939 (этот 20-летний период будем обозначать также через В). Области отрицатель-

ных частот фронтальной зоны на картах выражают убывание появлений фронтальной зоны в периоде В, области же положительных частот выражают возрастание появлений фронтальной зоны в периоде В. Значения сумм за периоды А и В в отдельных исследованных полях были приведены к той же площади тем же способом, как это имело место у средних карт.

Величина территории для карт изменений фронтальной зоны немного меньше, чем для карт средних; на востоке конец изолиний доходит до 40° восточной долготы по той причине, что установление фронтальных зон восточнее 40° восточной долготы не надежно. Это проявилось с особой силой в нескольких годах периода А, когда на отдельных синоптических картах не было данных, зарегистрированных на восточно-европейских станциях.

В целях достижения того, чтобы при установлении изменения появления фронтальной зоны в обоих периодах (А и В) в нашем распоряжении находились суммы появлений фронтальной зоны за полных двадцать лет, значит и за период В, для которого картовый материал [14] в 1939 году кончается месяцем апрелем, материал был дополнен следующим образом. Что касается месяца июля, то недостающий 1939 год в исторических картах был восполнен таким образом, что значения появления фронтальной зоны в области, простирающейся на карте от 40° зап. долготы до 40° восточной долготы, были определены на основании синоптических карт Deutsche Seewarte [25]. Значения появления фронтальной зоны для остальных частей карты были дополнены значениями, полученными путем деления суммы появлений фронтальной зоны в 19-летнем периоде времени 1920—1938 на число 19. Что касается месяца октября, то недостающие значения для 1939 года в исторических картах были восполнены таким образом, что значения появлений фронтальной зоны на карте, охватывающей всю территорию, были получены путем деления суммы появлений фронтальной зоны в 19-летнем периоде времени (1920—1938) на число 19. Значения эти — „заменители“ появления фронтальной зоны в месяцах июль и октябрь — были сложены в суммами за 19 лет (1920—1938). Таким образом был получен полный 20-летних период и для эпохи В.

Карты изменений положений фронтальной зоны в период времени 1920—1939 гг. по сравнению с периодом времени 1900—1919 гг., для четырех типичных месяцев отдельных сезонов приведены на рис. 3, 5, 7, 9.

В таблицах I, II, III, IV приведены значения сумм появлений фронтальной зоны на полях величиной 5° широты $\times 10^\circ$ долготы лежащих на карте в исследованной области. Все значения, приведенные в таблицах, представляют значения сумм появлений фронтальной зоны в определенных периодах. Значения были приведены к определенным площадям вышеупомянутым образом. Значения, обозначенные в таблице через Т, выражают суммы появлений фронтальной зоны в период времени 1899—1939 гг.,

т. е. за 41 год, у месяцев же июль и октябрь в период времени 1899 до 1938 гг., т. е. за 40 лет. На основании этих значений были построены средние карты (рис. 2, 4, 6 и 8).

Значения, обозначенные в таблицах через E_A , выражают суммы появлений фронтальной зоны в эпохе 1900—1919, т. е. за 20 лет; значения, обозначенные через E_B , выражают суммы появлений фронтальной зоны в эпоху 1920—1939, т. е. тоже за 20 лет. Эти суммы были непосредственно использованы для вычисления изменения появления фронтальной зоны в период В по сравнению с периодом А, путем получения разности значений E_A и E_B . На основании значений, полученных таким путем, были построены карты изменений (рис. 3, 5, 7 и 9).

2. КЛИМАТОЛОГИЧЕСКАЯ ФРОНТАЛЬНАЯ ЗОНА

В среднем, за период времени 41 года в январе месяце (рис. 2) фронтальная зона перемещается из США через океан на северо-восток, в Норвежские моря и Северную Европу. Область максимальной частоты имеет над океаном узкую и продолговатую форму, в то время как над Европой можно наблюдать большее расстояние частот с вторичным максимумом над Средиземным морем.

В апреле (как это вытекает из среднего за 41 г.) область максимальных частот над океаном короче и шире, что является показателем большей меридиональной циркуляции по сравнению с январем (рис. 4). Это подтверждается и повышенным европейским максимумом частот. Над Европой, повидимому, усиливается высотная барическая ложбина.

В июле преобладает зональный характер циркуляции (рис. 6). Западная половина фронтальной зоны сдвинута к северу, а восточная половина — к югу. Над Европой можно наблюдать снова увеличенное рассеяние частот (обыкновенное явление в дельте зоны), однако, во всей фронтальной зоне преобладает узкий и продолговатый максимум частот, являющийся показателем поступательного движения подвижных барических образований по весьма устойчивому пути. Карта была построена как средняя карта за сорокалетний период времени.

Октябрьская фронтальная зона занимает над океаном из всех четырех типичных месяцев наиболее северное положение, имеет вторичный максимум над Европой и напоминает до известной степени положение в апреле. Карта была построена как средняя карта за 40-летний период времени (рис. 8).

Из более детального анализа климатологической фронтальной зоны, приведенного в опубликованных работах З. Грегора (Z. Gregor) и Л. Крживского (L. Krivský) [17, 18], можно сделать следующие выводы:

1. на фронтальную зону над Атлантическим океаном существенное влияние оказывает высотная барическая ложбина, проходящая над восточной половиной североамериканского материка. Форма ложбины в известной степени зависит от температурных условий, существующих над Северо-Американским материком и Северо-Атлантической областью;
2. на положение фронтальной зоны над европейским материком влияют многие факторы, но прежде всего это касается также высотной ложбины над Америкой, далее количества холодного воздуха к северу от Европы и, наконец, количества теплого воздуха в южной и юго-восточной Европе и в северной Африке.

3. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ОТДЕЛЬНЫХ СЕЗОНАХ

Нижеприведенный анализ содержит описание установленного изменения фронтальной зоны в период времени 1920—1939 (В) по сравнению с периодом времени 1900—1919 (А).

Январь (рис. 3)

Вход фронтальной зоны чаще всего сдвинут слегка к югу, основное положение фронтальной зоны над океаном остается неизменным, однако дельта чаще всего сдвинута к юго-востоку (Англия, Бельгия, Голландия). Продолжение секундарной ветки над Феноскандией не так часто, однако максимум появления фронтальной зоны в области Северного Ледовитого Океана (между Шпицбергом и северным концом Скандинавии) четок. Область этого увеличенного появления фронтальной зоны находится, по-видимому, в соответствии с более частым образованием арктической фронтальной зоны в северной части Норвежского моря.

В области, расположенной юго-восточнее Исландии, можно наблюдать четкое убывание числа случаев перехода фронтальной зоны. Из этого изменения вытекает, что преобладающее зональное направление появлений фронтальной зоны в области Европы, а также в Северо-Атлантической области меняется все больше и больше в направлении меридиональное, по-видимому, благодаря большему возникновению материкового антициклона в восточной Европе. В результате этого изменения в эпохе В происходит большее перемешивание теплых и холодных воздушных масс в этой области, и можно наблюдать более частую теплую адвекцию над северо-западной и северной частями европейского материка вплоть до полярных краев. Это находится в соответствии с более частым возникновением арктической фронтальной зоны.

КАРТЫ СРЕДНИХ ЧАСТОТ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ

Значения изолиний выражают среднее число дней появления фронтальной зоны над данным районом в определенном месяце (с приведением к той же площади).

КАРТЫ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЯВЛЕНИЯ ФРОНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ В ПЕРИОД ВРЕМЕНИ 1920—1930 ГГ.

ПО СРАВНЕНИЮ С ПЕРИОДОМ ВРЕМЕНИ 1900 ДО 1919 ГГ.
В ТИПИЧНЫХ МЕСЯЦАХ СЕЗОНОВ

Значения изолиний выражают разности сумм обоих приведенных периодов. В положительных областях является увеличение числа появлений фронтальной зоны, в отрицательных же областях — уменьшение числа появлений фронтальной зоны в период времени 1920—1939 гг.

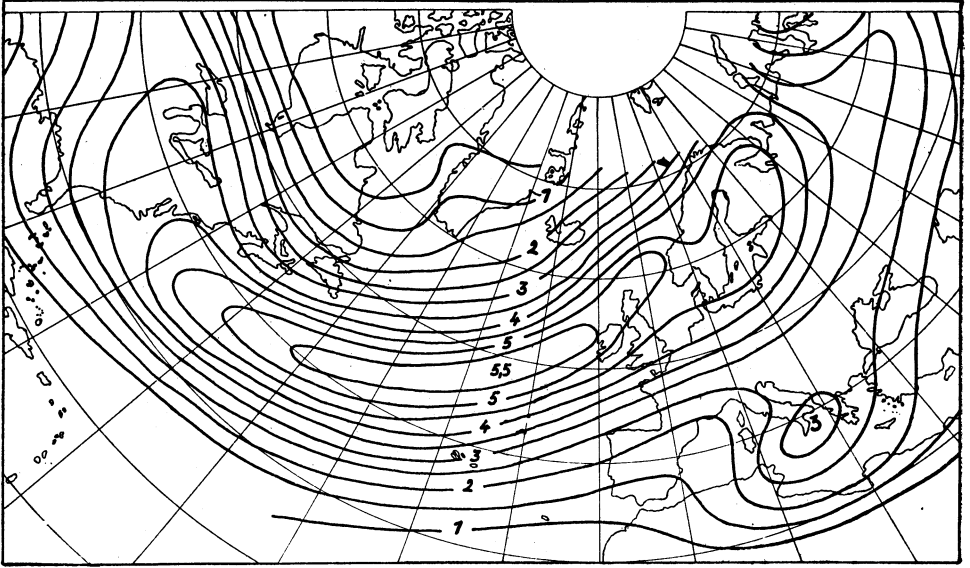


Рис. 2. Среднее число появлений фронтальной зоны в январе (1899—1939, 41 год).

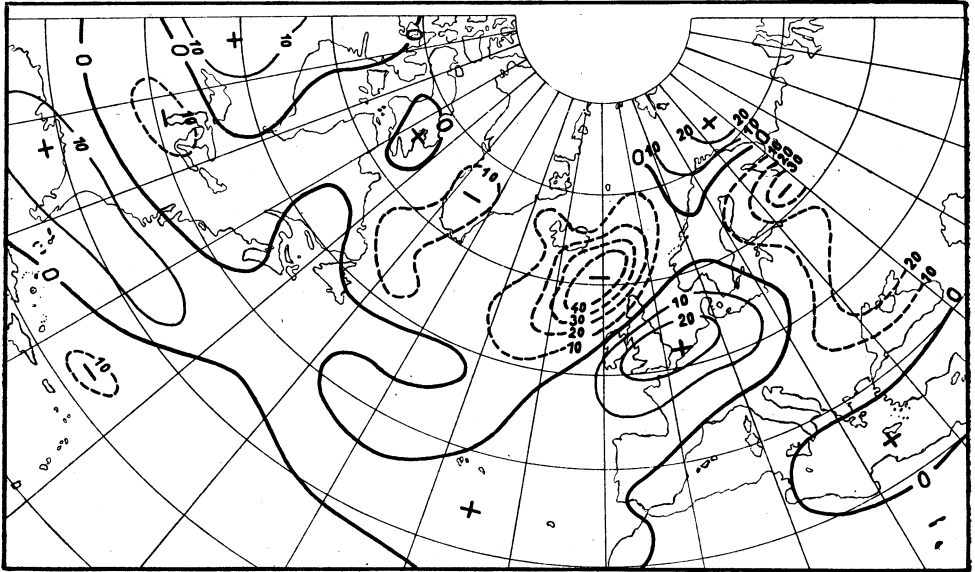


Рис. 3. Карта изменения появлений фронтальной зоны в период времени 1920—1939, по сравнению с периодом времени 1900—1919, в январе.

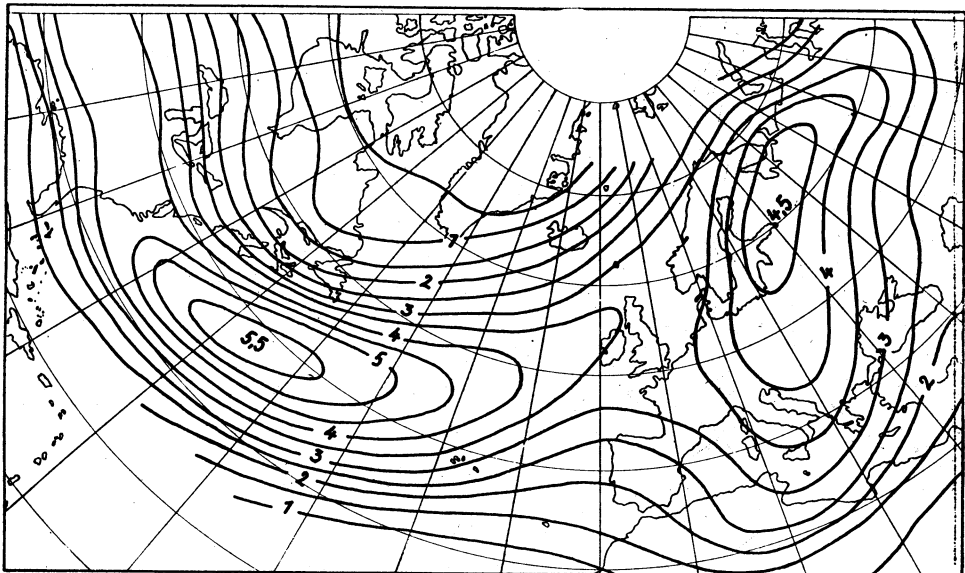


Рис. 4. Среднее число появлений фронтальной зоны в апреле (1899—1939, 41 год).

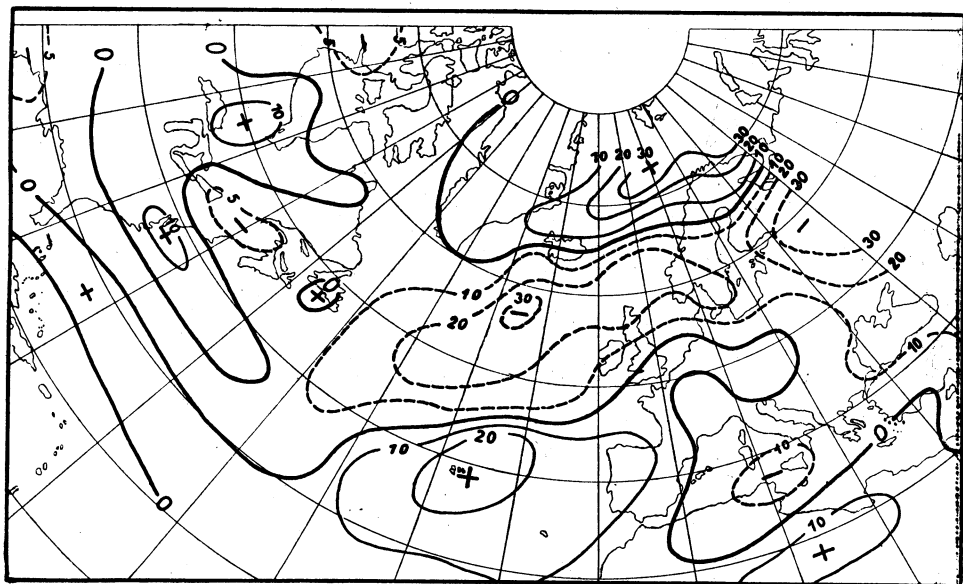


Рис. 5. Карта изменения появлений фронтальной зоны в период времени 1920—1939 гг. по сравнению с периодом времени 1900—1919 гг., в апреле.

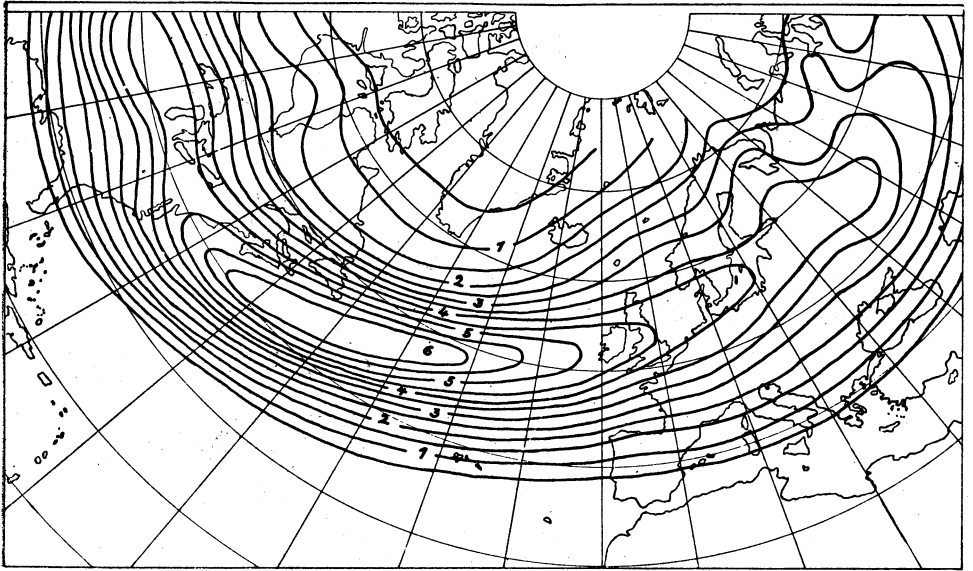


Рис. 6. Среднее число появлений фронтальной зоны в июле (1899—1938, 40 лет).

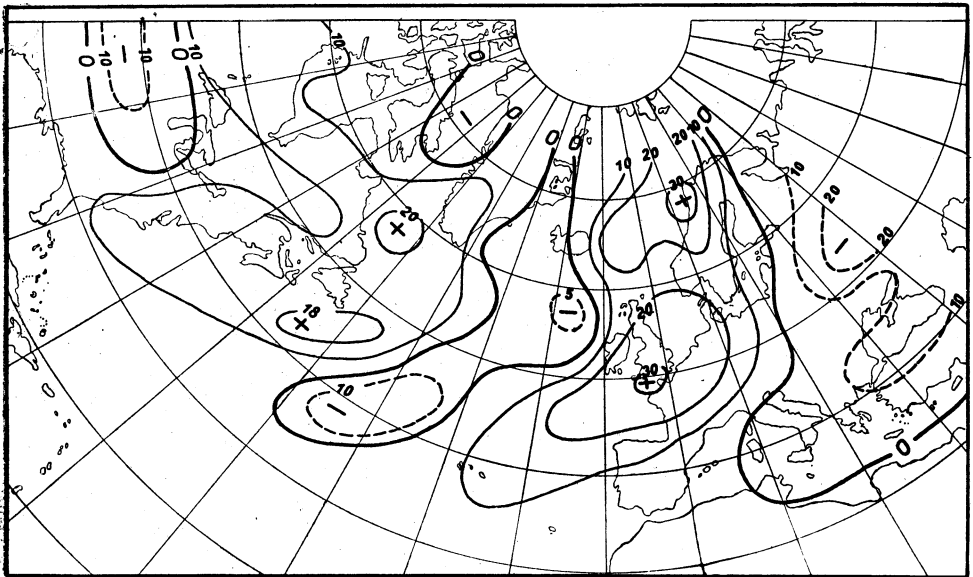


Рис. 7. Карта изменения появлений фронтальной зоны в период времени 1920—1939 гг. по сравнению с периодом времени 1900—1919 гг., в июле.

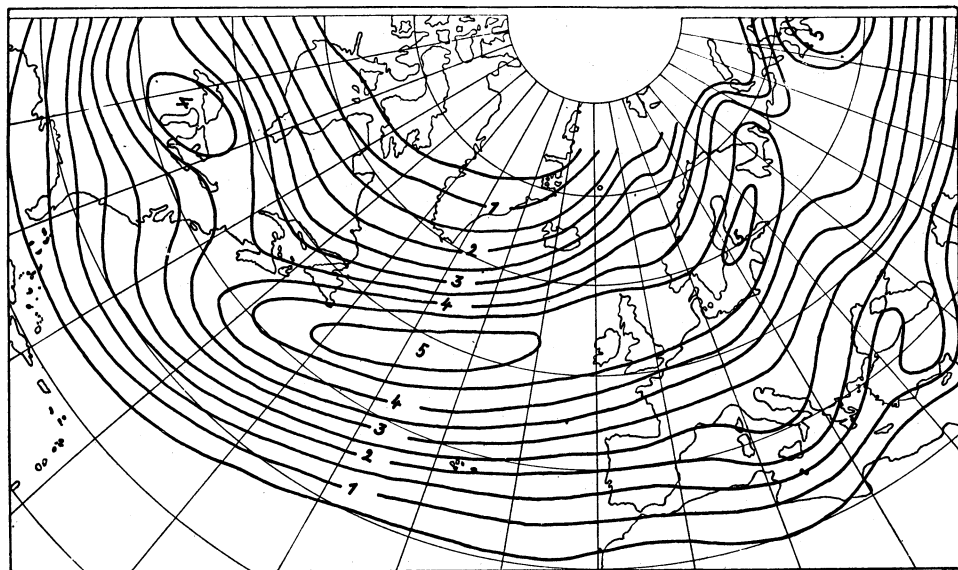


Рис. 8. Среднее число появлений фронтальной зоны в октябре (1899—1938, 40 лет).

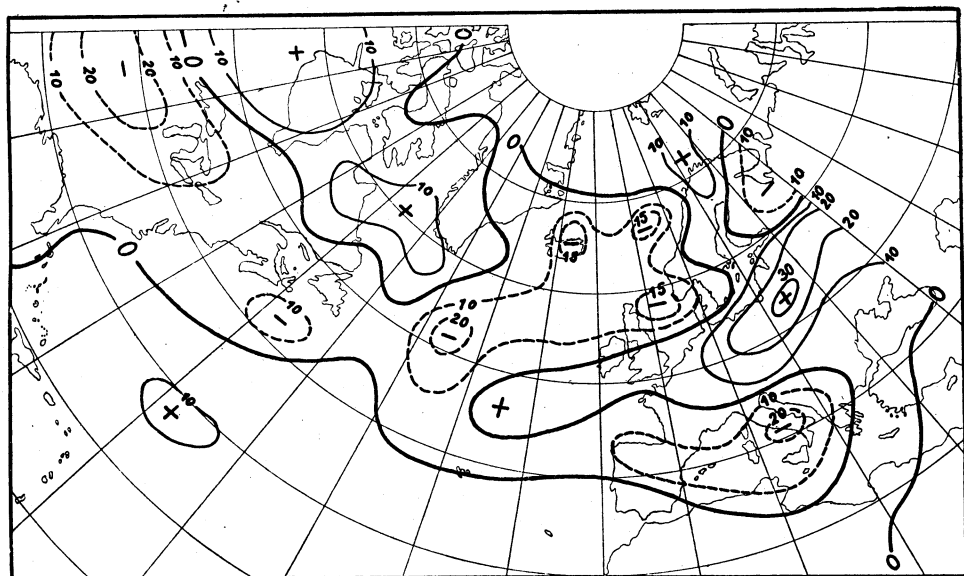


Рис. 9. Карта изменения появлений фронтальной зоны в период времени 1920—1939 гг. по сравнению с периодом времени 1900—1919 гг., в октябре.

У дельты фронтальной зоны главной ветви, по всей вероятности, происходила бы более частая регенерация фронтальной зоны (путем притока новых воздушных масс), и путь фронтальной зоны, проходящий через южную Англию в северо-западную Германию немного удлинился бы. Кроме этого, из карты видно, что вход фронтальной зоны испытывает гораздо меньшие изменения, чем ее дельта. В дельте фронтальной зоны высвобождается кинетическая энергия, вследствие чего там проявляются гораздо большие изменения фронтальной зоны, чем в ее входе.

Итак, вопрос значимых изменений климата в этой атлантическо-европейской области в зимние месяцы, с точки зрения циркуляции, был уже объяснен.

Апрель (рис. 5)

Изменение механизма активности фронтальной зоны аналогичное изменению, имевшему место в январе, происходит и в апреле.

Более частое появление фронтальной зоны опять же происходит на правой стороне дельты главной атлантической ветки, а именно в большой области вокруг Азорских островов. Главная атлантическая фронтальная зона была бы таким образом, что касается своей дельты, немного сдвинута к югу. Это положительное отклонение аналогично январскому отклонению над Западной Европой. Так как апрельская фронтальная зона короче январской, то область отклонений в апреле сдвигается к западу. Равным образом и у области отрицательных отклонений, южнее Исландии, наблюдается по сравнению с январем определенный сдвиг.

Меридиональная европейская ветвь значительно менее часта и в особенности менее развита в северо-восточной Европе. Можно также наблюдать значительное убывание фронтальной зоны в большой области, простирающейся на восток от Нью-Фаундленда, на юг от Исландии, через южную Скандинавию вплоть до СССР. Наибольшее приращение появлений фронтальной зоны можно наблюдать в области Северного Ледовитого Океана (на восток от Гренландии, в области на юг от Шпицбергена и над северной Скандинавией).

Довольно частое образование арктической фронтальной зоны вызывает увеличение как перемешивания холодных и теплых воздушных масс, так и теплую адвекцию из северо-восточной атлантической области в полярные края.

Такой то механизм находился бы в соответствии с известным изменением климата арктических и полярных областей в период времени после 1920 года, а также в промежутке времени весенних месяцев.

Из апрельского изображения отклонений видно, что в период В проявляется особенно сильная тенденция к разделению фронтальной зоны на зону полярную и зону арктическую.

Июль (рис. 7)

Вся атлантическо-европейская фронтальная зона имеет значительное рассеяние; увеличенная частота наблюдается над Канадой и северо-западной частью Атлантической области. У дельты тихоокеанско-североамериканской фронтальной зоны проявляются признаки небольшого убывания. В средней части Северо-Атлантического океана, в поясе от Исландии вплоть до области, расположенной к западу от Азорских островов, появление фронтальной зоны уменьшается. Это уменьшение касается как раз области наибольших средних частот фронтальной зоны и ее климатологического расположения.

Четкое возрастание частот можно наблюдать в обширной области моря и прибрежных частей западной и северо-западной Европы, т. е. в области дельты фронтальной зоны и к северу от нее. Главная область увеличенных частот лежит над Англией и северо-западной Францией, а также над северо-западной Норвегией и Норвежским морем. Значительная область убывания частот фронтальной зоны лежит над европейской частью СССР.

Расположение фронтальной зоны имело бы в эпоху В еще более неправильную форму с тенденцией, в особенности, что касается европейской части, к меридиональному распределению. Это явилось бы подтверждением увеличения возникновений антициклонов в восточной Европе, в результате чего увеличилась бы одновременно и адвекция теплого воздуха в обширную область дельты фронтальной зоны вдоль западного и северо-западного побережья Европы вплоть до полярных краев.

На основании как увеличенного рассеяния фронтальной зоны во всей исследуемой области, так и увеличенной частоты появлений зоны на северных широтах, и в особенности между Гренландией и Скандинавией, можно судить, что здесь происходили бы и увеличение меридионального переноса и перемешивание воздушных масс таким же образом, как это имело место в предыдущих месяцах.

Октябрь (рис. 9)

В области дельты тихоокеанской северо-американской ветки фронтальной зоны можно наблюдать более четкое убывание частоты; в области же Канады, а также между Гренландией и Северной Америкой находится область увеличенных частот появления фронтальной зоны. Вдоль всего главного расположения фронтальной зоны в Атлантической области убывание, достигающее своего наибольшего значения в месте наибольшего среднего появления и в направлении вплоть до Исландии и Норвегии, становится уже менее четким. За этим продолговатым поясом убывания следует убывание, наблюдаемое над северной частью европейской части СССР. Дальнейшая самостоятельная область убывания фронтальной зоны

находится над западной половиной Средиземного моря с максимумом убывания над Италией. Над средней частью всей Европы наблюдается четкая область возрастания частоты фронтальной зоны, простирающейся от Франции через Германию и Польшу вплоть до СССР. Небольшая область увеличенного появления фронтальной зоны лежит между Шпицбергом и северной Скандинавией.

Фронтальная зона над северной Америкой более часто появляется над северными краевыми областями Северной Америки; менее появляется во всем главном поясе атлантическо-европейской зоны. Над Европой в общей сложности наблюдается увеличение частот.

Характер изменений в октябре, в эпохе В не так четок, что в конечном счете соответствует климатическим данным, полученным в осенние месяцы, когда не было установлено каких-либо значимых изменений температуры в северо-американской, европейской и азиатской областях.

4. СВЯСЬ МЕЖДУ ИЗМЕНЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

В этом разделе приводятся сначала литература и результаты исследования изменений циркуляции и климата, т. е. материал, являющийся исходным пунктом для настоящей работы, так как результаты, почерпнутые из этого материала, касаются суждений и заключений, приведенных в настоящем труде.

G. W. Brieg установил в периоде времени 1899—1939 гг. в Северном полушарии ощутительное убывание общей воздушной массы [26]. В наибольшей степени этот эффект проявляется на высоких географических широтах; вблизи экватора ход этого эффекта имеет слегка обратный характер. Эффект убывания общей воздушной массы (уменьшение давления) достигает наибольшей степени в период времени 1930—1939 гг., т. е. в период максимального потепления климата. Работа E. L. Deasona [28] относительно изменений климата в Австралии, начиная с 1880 года, касается исследований секулярных изменений, количества выпавших осадков в юго-восточной Австралии в связи с изменениями циркуляции. Изменения, происшедшие в этой части южного полушария, являются следствием повышения интенсивности меридиональной циркуляции. Аналогичные результаты, что касается Южной Америки, получили W. Schwerdfeger и C. Vasino [29]. Эти работы свидетельствуют о том, что сходные изменения циркуляции (увеличение температурного контраста и горизонтального градиента давления) происходят не только в северном, но и в южном полушарии.

Крупным вкладом в дело изучения этой связи явилась работа Л. А. Вительса [30, 31], доказывающего, что в полярных морях Североатлантической области в период потепления Арктики (1920—1939) возникает большое число интенсивных глубоких циклонов, однако, общее число циклонов по существу не изменяется и даже скорее уменьшается. Частота особенно глубоких циклонов в районе Баренцова моря особенно увеличивается в зимние месяцы; это увеличение частоты циклонов распространяется также на Карское море и на область Таймыра. В дальнейшем Вительс приводит доказательства и выводы относительно того, что крайняя область североатлантической депрессии расширяется действием глубоких циклонов, движущихся далее на север и на восток. Этот процесс находится в связи с повышением секулярной солнечной активности.

Вопросом изменений климата занимался А. Ångström [32, 33, 34], установивший колебания циркуляции, а также и ощутительное повышение температуры зимой в Швеции, наступившее в период времени 1901 до 1930 гг., в то время, как изменение температуры летом было совсем ничтожно. Также и К. Brosse [35] устанавливает возрастающий температурный тренд в летних месяцах в период времени 1879—1952 гг. в Бамберге (Германия). Вопросами потепления климата в Арктике занимался В. Л. Дзердзеевский [36]. Потепление происходит вследствие увеличения циклональной деятельности. J. Eythorsson [37] исследовал многолетние температурные изменения в Исландии и установил, что у температуры воздуха, а равным образом и температуры морской воды можно наблюдать неуклонное повышение температуры, проявляющейся в наибольшей степени в зимнем сезоне. Однако, M. Grütter [38] на основании исследований температуры в швейцарских Альпах установил, что температура в период времени после 1942 года неизменно выше температуры в период времени сто лет тому назад. В. Helland-Hansen [39] исследовал ход температуры воздуха и морской воды в Норвегии на различных глубинах и установил, что в период времени 1920—1942 гг. температура неизменно повышалась. Т. Hesselberg и В. J. Birkeland [13] приходят к заключению, что в течение последних 50 лет климат Норвегии потеплел. Средняя годовая температура повысилась примерно на $0,6^{\circ}$. Изменения температуры достигают наибольших значений осенью и зимой. O. V. Johansson [40] установил, что в течение последних десятилетий последнего столетнего периода времени в Скандинавии наблюдалось максимальное повышение температуры зимой и весной и определил, что потепление воздуха является первичным, в то время как потепление морской воды — вторичным. Далее было установлено, что циркуляция воздуха между Исландией и Азорскими островами зимой возрастала. У температуры в летних месяцах можно наблюдать скорее небольшое понижение. Температура изменяется с периодом равным примерно 25 и 90 годам.

Ж. Керänen [41, 42, 43] занимается исследованием изменений температуры в Финляндии и в Северной Европе, происшедших с 1830 года. Он установил, что в нынешнем столетии в городах Хельсинки и Оулу произошло повышение температуры, которое наблюдается в особенности в следующих месяцах: IV, V, VII, VIII; XI—I. Максимальное потепление наблюдалось в период времени 1934—1938 гг.; с 1940 года можно наблюдать определенное приостановление возрастающего температурного тренда. Потепление было наиболее ощутительным в холодный период года. И. В. Максимов [44] на основании обширных материалов относительно появления льдин между Исландией и Гренландией и данных относительно уровня поверхности Каспийского моря, а также изменений суровости зимы в Западной Европе и изменения ледников устанавливает, что период изменчивости климата продолжается примерно 80 лет. Он считает, что причиной этих изменений является секулярная солнечная активность и приходит к выводу, что при повышенной секулярной солнечной деятельности возрастает интенсивность общей циркуляции в северном полушарии, в результате чего происходит изменение климата. Также и G. Manley [45] устанавливает на основании материалов за период времени 1753 до 1945 гг. что в Ланкашире (Англия) наблюдается возрастающий температурный тренд в зимние месяцы. В летние месяцы тренд не появляется.

Ж. Річа [46] исследовал секулярный ход зим в Праге за период времени 1775—1950 гг. на основании классификации Хельманна (Hellmann). Одиннадцатилетние и двадцатипятилетние скользящие средние разграничивают следующие характеристические периоды: 1775—1790 — холодный период, 1790—1820 — теплый период, 1835—1875 — холодный период, 1900—1935 — теплый период, 1935—(1950) — холодный период. Секулярный период холодных зим в Средней Европе охватывает, стало быть, период секулярных максимумов 80—90-летней солнечной активности. М. Rodewald [47] высказывает мнение, что потепления климата в полярных областях проявлялись уже до 1920 года, но лишь зимой, однако, в период времени 1931—1950 гг., в области Северного моря произошло потепление не только летом, но и осенью. В Исландии зимнее потепление наступило лишь в период времени 1921—1930 гг. В период времени 1931 до 1940 гг. было установлено повышение температуры для всей Земли, равное 0,1 °С. В общей сложности наблюдалось повышение температуры уже в десятилетие 1921—1930 гг. Эти изменения можно объяснить исключительно или увеличением притока тепла от Солнца или уменьшением излучения в мировое пространство. Возможно также, что потепление вблизи земной поверхности компенсируется похолоданием в более высоких слоях тропосферы. Преобладающее убывание ледников на всех широтах, однако, показывает, что потепление происходит и в высоких слоях тропосферы. Rodewald высказывает мнение, что главная фаза потепления

окончилась и в доказательство своего суждения приводит весьма низкие зимние температуры в некоторых районах за сравнительно короткие промежутки времени (1938—1941). Однако, годовые температуры были до 1950 года пока что неуклонно выше средних температур. S. Róna [48] рассматривает вопрос изменений климата в Венгрии. Климат там не изменился; известны лишь колебания климата, вызванные циркуляцией. На основании ряда температур, наблюдаемых в Будапеште за период времени 1826—1935 гг., Róna устанавливает при помощи скользящих средних за двадцатилетние и десятилетние периоды времени изменения температур. На основании двадцатилетних скользящих средних температура достигает своего максимума в период времени 1835—1870 гг. минимума же — в период времени 1870—1905 гг. и опять максимума — в период времени 1905—1935 гг. Róna считает, что циркуляция является посредником влияния изменений излучающей энергии на климат. Солнечная активность должна увеличивать обмен между низкими и высокими широтами и в силу этого изменять перемещение тепла и влажности. S. W. Visser [49] подтверждает существование восьмидесятидевятилетней периодичности климата, которую можно непрерывно наблюдать в Западной Европе на основании данных о колебаниях температурных условий в зимние месяцы, начиная с 1205 года. В. Ю. Визе [50, 51] рассматривает вопрос потепления климата в Арктике в его связи с циркуляцией, а также и с точки зрения причин этих изменений (солнечная активность). Атлантическо-арктическая область низкого давления еще больше расширилась в восточном направлении; общая циркуляция атмосферы усилилась в силу чего увеличился и обмен. С. С. Wallén и Н. W. Ahlmann [2] накапливают сведения, касающиеся современных изменений климата в Швеции. Авторы исследовали многолетние ряды температур в зимние и летние месяцы за период времени до 1950 года. Начиная с 1940 года тренд потепления уже приостанавливается и кажется, что это является признаком начала длительного падения температуры. В северных районах Швеции летние температуры уже ощутительно падают. Из данных о замерзании моря вдоль шведских берегов, вытекает, что сокращение времени оледенения, вызванное, как было доказано, температурными условиями, продолжалось до 1940 года; в дальнейшем десятилетии не было пока что обнаружено падения температуры. Равным образом и на ледяных толщах было обнаружено влияние температурного тренда. С. С. Wallén [52] занимается вопросом изменений летних температур в южной Швеции, происшедших с 1880 года и их связью с изменениями общей циркуляции. Повышение летних температур в последние десятилетия находится в связи с падением частоты северных меридиональных положений над Европой и ростом южных меридиональных положений, а также и зональных циркуляций. Ход летних температур в Стокгольме был подвергнут исследо-

ваниям, касавшихся данных с 1756 года. Вопросами температурного тренда в настоящем столетии занимается Н. С. Willett [15], используя для этой цели обширный материал, касающийся всей Земли. Исследовался период времени 1850—1939 гг. Повышение температуры начало проявляться с 1885 года, величина его за год равна 1°Ф , зимой же $2,2^{\circ}\text{Ф}$. В периоде времени 1850—1885 гг. была обнаружена убывающая тенденция. Максимальное потепление было обнаружено в первой половине XX. века

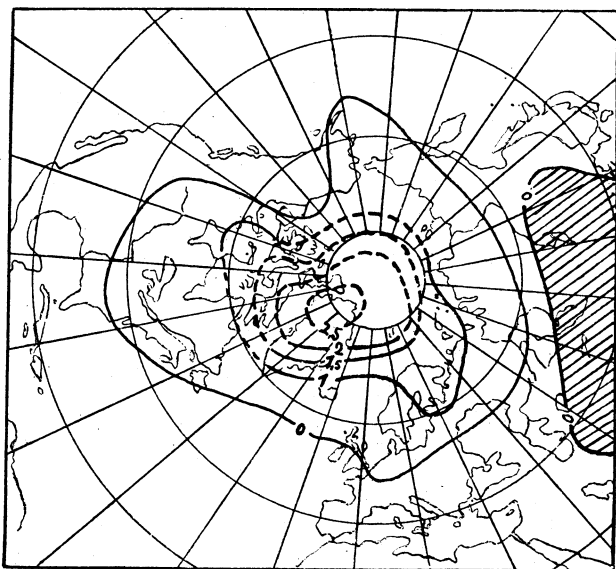


Рис. 10. Отклонение средних годовых температур в период времени 1929—1938 гг. от многолетней средней (по Е. С. Рубинштейн).

в северном полушарии, в областях, расположенных к северу от 40° широты и к югу от экватора. На высоких южных широтах тренд не надежен. На север от экватора можно наблюдать слабую тенденцию по отношению к падению температуры. За двадцатилетний период времени, средней точкой которого был 1930 год, годовые температуры повсюду повышаются; это проявляется в особенности на полярных широтах. Однако, имеются области, в особенности в южном полушарии, где температуры падают. Но и в некоторых из этих областей можно, за малым исключением, наблюдать повышение температур зимой. Непосредственной причиной этого изменения климата являются изменения циркуляции относительно интенсивности и распределения зимних антициклонов над Евразией и Северной Америкой.

Результаты работы Е. С. Рубинштейн [53, 54] нужно привести более подробно, так как они являются прямым доказательством соображений и результатов, полученных авторами настоящего труда путем исследований изменений циркуляции, произведенных с помощью фронтальной зоны.

Потепление Арктики начало проявляться потеплением Баренцова моря. Температура поверхности воды была при сопоставлении данных за периоды времени 1919—1928 гг. и 1912—1918 гг. на 8° выше. Сходные изменения

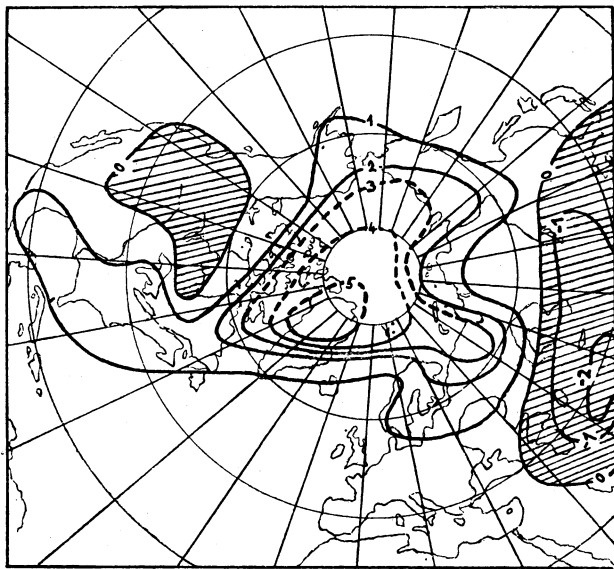


Рис. 11. Отклонение средних январских температур в периоде времени 1929—1938 гг. от многолетней средней (по Е. С. Рубинштейн).

произошли в Гренландии, а также и в северной части Тихого океана. Н. М. Книпович в доказательство сего приводит изменение морской фауны этих областей и приходит к заключению, что в течение короткого промежутка времени произошло такое изменение, которое аналогично изменениям климата, прошедших в древних и длинных геологических периодах. На основании данных за период времени 1921—1938 гг. количество льдов в арктических морях неуклонно уменьшалось. На Шпицбергене годовые температуры за период времени 1930—1938 гг. превысили на $1,5\text{--}3,5^\circ$ средние температуры. Потепление, однако, не ограничилось лишь областью Арктики, но распространилось и на краевые области. На рис. 10 приведены изолинии отклонений от средних годовых температур в период времени 1929—1938 гг. (следовательно, в период максимального потепления) по сравнению с многолетними средними температурами.

Рубинштейн в дальнейшем приводит соображения относительно того, что в южном полушарии происходит сходное изменение.

Максимальный эффект потепления можно установить в зимние месяцы; это вытекает из рассмотрения приложенной карты температурных отклонений в период времени 1929—1938 гг. от многолетней средней месячной температуры января (рис. 11). Максимальные повышения температуры наблюдались в Гренландии, где отклонения в исследуемой эпохе превысили в зимние месяцы среднюю температуру на 4—6°. Равным образом и в остальных зимних месяцах распределение областей потепления и похолодания по существу не изменяется. Область потепления охватывает всю Арктику, северные краевые области Азии, северную и северо-западную Европу, Гренландию, северные и северо-восточные берега Северной Америки. Области похолодания разграничены не слишком четко; они появляются в восточной Европе, над средней и северной частью азиатского материка (исключая краевые области) и над северо-западной частью Северной Америки.

Из работы Е. С. Рубинштейн вытекает, что, несмотря на преобладание в северном полушарии процесса повышения температуры (1929 до 1938), обнаруживаются также области, в которых происходили какие-то компенсации. Карты эффекта, построенные Рубинштейн, указывают на то, что ближайшей причиной крупного климатического изменения в последние десятилетия является изменение, происшедшие в циркуляции атмосферы.

Прежде чем приступить к рассмотрению вопроса, до какой степени результаты, полученные Рубинштейн совпадают с изменениями фронтальной зоны, приведенными в нашей работе (глава II, 3), нужно пояснить в каких областях северного полушария температура в зимние месяцы находится в положительной или отрицательной корреляционной связи с давлением в полярной области. Исследование этих корреляционных связей нам покажет, можно ли увеличение частоты фронтальной зоны с определенной области связывать с потеплением, или было бы справедливо связывать убывание появлений фронтальной зоны с похолоданием. Этим вопросом, что касается зимних месяцев, занимался Ф. М. Ехнер [55]. С. П. Хромов [56] приводит результаты из работы Ехнера используя карту корреляций атмосферного давления в Арктике с температурами в северном полушарии. Из этой карты вытекает, что при низком давлении в Арктике наступает потепление в северо-восточной части Северо-Атлантической области, в северной Европе и в северной половине Азии, а охлаждение над Канадой и, главным образом, между Лабрадором и Гренландией. При высоком давлении в Арктике знак температурного хода в этих областях, понятно, меняется в обратный. Область максимальной корреляции (а именно, — 0,6), по мнению Ехнера, лежит между Исландией и се-

веро-западной Европой. В этой области происходят, стало быть, по большей части потепления (адвекция с юго-запада), сопровождаемые низким давлением в арктическом бассейне, лежащем вблизи европейского и азиатского материка.

5. РАССМОТРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Если сопоставить карту отклонений средних месячных температур января в период максимального потепления 1929—1938 гг. от многолетних средних температур (рис. 11) и карту изменений появления фронтальной зоны в январе (рис. 3), то можно сразу установить, что выступ арктической области потепления, стремящийся в Северную Европу, вызван увеличенной частотой фронтальной зоны в северо-западной Европе и на краю северной Европы. Образование этого выступа области потепления очевидно вызвано, прежде всего, увеличением адвекции теплых воздушных масс в северо-западную и северную Европу, вдоль континентальных антициклонов в юго-восточной Европе и в центральной Азии. Ныне, однако, проблема заключается в том, как объединить центр тяжести арктической области потепления, над Гренландией, ибо в этой области и южнее от нее наблюдается скорее убывание появления фронтальных зон. В качестве единственно возможного объяснения высказываем мнение, что в связи с более частым появлением фронтальной зоны почти непосредственно у европейских берегов, хотя и должна безусловно произойти более крупная и более частая адвекция холодного воздуха от северо-запада к юго-востоку, но что этот воздух не может быть чересчур холодным из-за недостаточной продолжительности времени, потребного для его формирования над Гренландией.

Из-за увеличенного смещения воздушных масс, формирующиеся холодные воздушные массы не могли бы достигнуть столь низкой температуры в арктическом бассейне, ибо в противном случае они должны были бы оставаться в течение непродолжительного времени на месте своего возникновения. И, наконец, тепловой эффект в силу этих соображений был бы в арктической и полярной области вблизи северной Гренландии велик.

Эти выводы опираются на результаты, полученные Petterssen (к сожалению, действительными для целого года) и касающиеся перемещения области низкого давления от Исландии в область Гренландии, к Северному Ледовитому океану и Нью-Фаундлэнду [11].

Из карты аномалий годовых температур в период времени 1929—1938 гг. (рис. 10) видно, что эффект потепления не столь интенсивен, но, несмотря на это, сохраняет такое же распределение как зимой. Здесь можно снова

наблюдать выступ, стремящийся в области над северо-западной Европой.

Результаты, касающиеся многолетнего изменения климатологической фронтальной зоны, соответствуют выводам Л. А. Вительса [30] для арктической области и выше упомянутым результатам, полученным О. V. Johansson [40]. Вопрос, почему температурный тренд не проявляется в Скандинавии (за исключением юго-восточной ее части) в летних температурах, разъясняет карта изменений фронтальной зоны в июле, когда увеличенная частота вдоль всей северо-западной Европы вызывает скорее понижение температуры, что многие климатологи и подтверждают [40, 45]. Повышение температур и в летние месяцы как вытекает из изменения фронтальной зоны следовало бы наблюдать на восток от линии Финляндия-Франция. Это соответствует и результатам, полученным как J. Keränen [43], установившим повышение температур в Финляндии также и в летние месяцы, так и уже приведенным результатам, полученным К. Brosse [35] и С. С. Wallén [52]. Секулярный тренд потепления проявился бы в в средней и восточной Европе, главным образом в летнем сезоне.

По М. Rodewald [47] потепление климата в Исландии проявилось немного позже, а именно тогда, когда в иных областях признаки возрастающего тренда были уже давно заметны. Это можно объяснить тем, что потепление климата в Исландии могло быть вызвано, скажем, даже увеличенным общим обменом воздушных масс определенной степени, когда и более частые адвекции холодных масс, перемещающиеся через Исландию в юго-восточном направлении, в силу увеличенного общего обмена в полярной и субполярной областях вблизи Европы, были менее холодны [11]. Этому объяснению приходят на помощь и результаты исследований годового общего меридионального переноса, полученные Petterssen. В период времени 1920—1939 гг. во всей северной части Северо-Атлантической области наблюдалось весьма значительное возрастание общего меридионального переноса [11].

Обобщая сказанное, можно сделать выводы, что

1. зимой, весной и летом наблюдается увеличенный меридиональный обмен воздушных масс в исследуемой полярной и субполярной частях Северо-Атлантической области и Европы. Это соответствует результатам многолетних климатических изменений температуры в отдельных областях.

2. Принимая во внимание, что случайность и внутренние закономерности атмосферы могут оказывать влияние на изменение циркуляции и климата в более короткие периоды времени (дни, месяцы, годы), мы принуждены удовлетвориться таким объяснением многолетней изменений циркуляции и климата, охватывающей ряд десятилетий, что на эти изменения влияют факторы, нарушающие и направляющие „нормальные“ процессы в атмо-

сфере, в ее целом, путем изменения свойств атмосферы, вызванного какой-либо причиной.

3. Реальность установленных многолетних изменений фронтальной зоны подтверждается единственно возможной физической связью с известными изменениями климата, которые с точки зрения фактических длительных проявлений стоят вне дискуссии.

III

1. СВЯЗЬ МЕЖДУ МНОГОЛЕТНИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ ЦИРКУЛЯЦИИ И КЛИМАТА И СЕКУЛЯРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Прежде чем приступить к рассмотрению вопроса связи между многолетним изменением фронтальной зоны и многолетней солнечной деятельностью, нужно привести, по крайней мере, основные результаты исследований этой связи, полученные до сего времени. Подавляющее большинство работ относительно изменений климата и циркуляции приведенных в главе II,4 объясняет возникновения установленных изменений изменениями, происходящими в солнечной деятельности.

Вопросами многолетних связей впервые у нас занимался F. Augustin [57, 58]. М. С. Эйгенсон [59, 60, 61] приводит в своих работах результаты исследований связи Солнце — климат и приходит к выводу, что влияние солнечной активности на тропосферные явления проявляется тем больше, чем дольше является исследуемый период. Эйгенсон приводит также соображения относительно возможности существования определенного физического механизма связи между солнечной активностью и климатом. Выше упомянутая работа В. Helland-Hansen [39] также объясняет возникновение установленных изменений климата влиянием солнечной активности. R. Jugva [62] исследует вопрос оледенения Балтийского моря в период времени 1830—1940 гг. и приводит соображения относительно связи между оледенением и солнечной активностью. Наибольшее число зим, в течение которых происходили обильные оледенения, относится к периоду времени вокруг 1890 года, начиная с этого времени оледенения убывают, и наименьшее появление оледенений можно отнести к периоду времени 1920—1930 гг. В уже упомянутой работе O. V. Johanssona [40] приводится соображение о 25-летнем и 90-летнем периоде температурной изменчивости (периоды солнечной деятельности). Köppen [63] исследует температурные колебания в средней и северо-западной

Европе, а также в южной Скандинавии и устанавливает, что в период времени 1886—1910 гг. средняя температура была низка; возрастание средней температуры было установлено в период времени 1910—1925 гг.

Многолетней связью между циркуляцией и солнечной деятельностью занимается также А. Reppler [64]. Из этой работы исходит в своей работе J. Pícha [65]. Pícha на основании данных из 1881—1950 гг. установил, что североатлантическая циркуляция в конце XIX. века явилась меньше нормальной, но в начале XX. века она начала ускоряться и после 1921 г. достигает наивысших значений, что хорошо отвечает аналогичному ходу секулярной солнечной деятельности. Н. С. Willett занимается особенно обширным и глубоким исследованием этой проблемы и ее методикой [27, 66, 67] и устанавливает тесную связь между многолетними климатическими изменениями и секулярными ритмами солнечной активности, и в особенности с 80—90-летним ритмом. Равным образом и Л. А. Вительс глубоко исследует эти вопросы [68]. При повышенной солнечной деятельности с точки зрения ее многолетней длительности усиливается атлантическая циркуляция и углубляется североатлантическая депрессия. Обратное явление можно наблюдать в области Гренландского моря, к западу от оси депрессии, там увеличивается количество льда из-за большего притока холодного воздуха. Область Баренцова моря находится, наоборот, под влиянием юго-западных течений воздуха. S. W. Visser [69] исследует изменения зимних температур, зарегистрированных на станциях Де-Бильт и Прага, и устанавливает колебания длительности, равные 80—90 годам и соответствующие периодам солнечной активности этой же длительности.

Авторы приведенных работ и результатов ограничились почти исключительно работами по исследованию многолетних изменений климата и циркуляций по отношению к длительным периодам солнечной деятельности. Приведенные работы являются исходным пунктом или пособием для оценки, приведенной авторами настоящего труда в дальнейшем.

2. РАССМОТРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ныне уже достаточно известна не только одиннадцатилетняя и двадцатидвухлетняя периодичность солнечной деятельности, но и весьма подробно исследована закономерность длительного периода солнечной активности, которая колеблется от 70 до 100 лет. Этот многолетний ритм или цикл описывают в своих работах следующие авторы: E. Balli [70], W. Brunner-Hagger [71], H. H. Clayton [72], M. C. Эйгенсон [73, 74, 75, 76], А. Ганский [77], W. Gleissberg [78, 79, 80, 81], E. J. Cher-

nosky [82], И. Г. Колчинский [83], М. Корецкú [84], И. В. Максимов [44, 85], Н. Mémery [86], Б. М. Рубашев [87], W. Schmidt [88] и Л. А. Вительс [31]. Секулярный период солнечной активности с длительностью 80—90 лет проявляется не только в материалах астрономических наблюдений Солнца, надежных лишь с 1749 года, но и в обработанных исторических записях полярных сияний, являющихся следствием солнечной деятельности [80, 81]. Эта ритмичность была установлена И. В. Максимовым на основании годовых колец секвой [44]. В последние годы было как раз доказано, что секулярный солнечных цикл является не случай-

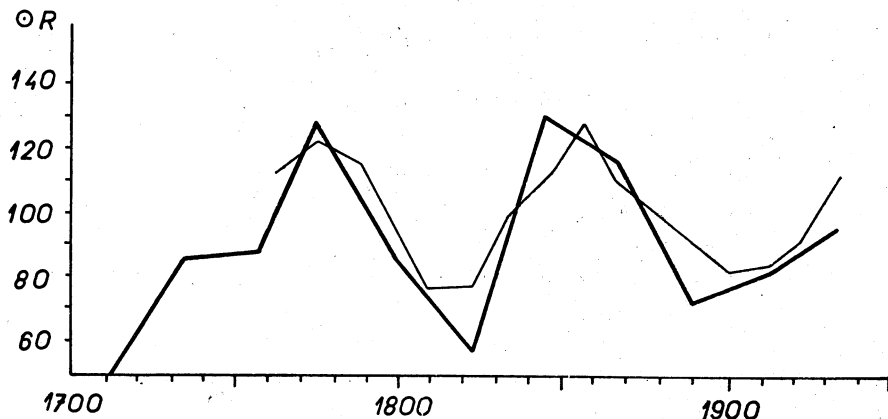


Рис. 12. Колебания секулярной солнечной деятельности. Кривая потолще по М. Корецкому (М. Корецкú), кривая потоньше по В. Глейсбергу (W. Gleissberg). На оси абсцисс нанесены года, на оси же ординат — „секулярное“ относительное число пятен.

ным колебанием, но закономерностью солнечных физических явлений и их проявления на Земле.

Существование этого цикла на протяжении последних 3000 лет [44, 81] было не только доказано, но и установлено, что его можно рассматривать как „вышестоящий“ цикл по отношению к одиннадцатилетним и двадцатидвухлетним периодам (характеристики этих циклов меняются как раз в ритме с длительностью 70—100 лет).

Секулярные изменения солнечной активности в период астрономических наблюдений Солнца приведены на рис. 12.

Для сравнения с нашими результатами, касающимися многолетних изменений циркуляции, достаточно сказать, что многолетняя солнечная деятельность достигла своего минимума в период времени 1890—1920 гг., начиная с 1900 года, наблюдался возрастающий тренд, своего максимума достигла многолетняя солнечная деятельность в период времени 1930 до 1960 г. Период А, обработанной фронтальной зоны (1900—1919 гг.) охва-

тывает, следовательно, период многолетнего солнечного минимума; период В (1920—1939 гг.) относится к периоду возрастающего тренда и максимума. Итак, можно считать, что существует возможная причинная зависимость между многолетними изменениями циркуляции и многолетними изменениями солнечной деятельности.

Связь между солнечной активностью и климатом Земли может проявиться единственно посредством циркуляции. Многолетние изменения циркуляции будут оказывать различные влияния на температуры, осадки и т. д. в различных областях на Земле. Из результатов настоящей работы и ряда работ других авторов вытекает, что с начала XX. столетия происходит повышение интенсивности циркуляции (увеличенный обмен), и что кульминационный период этого изменения и по климатическим данным охватывает период 1920—1950 гг. К концу этой эпохи можно наблюдать уже признаки обратного изменения. Увеличенный обмен в циркуляции атмосферы можно с физической точки зрения объяснить лишь воздействием большей энергии в атмосферных процессах. Источник этой „большей“ энергии можно искать в повышенном высвобождении скрытой энергии в атмосфере, например, при конденсационных и сублимационных процессах, происходящих на ядрах, и вызванных какими-либо причинами. Здесь речь может идти также и о прямых количественно-качественных изменениях энергии, прилагаемой к земной поверхности или к земной атмосфере. Этим вопросом занимаются авторы работ по исследованиям явлений и процессов, возникающих при проникновении солнечного излучения через земную атмосферу и при его изменениях в различных частях спектра (область УФ-излучения, область коротковолнового радиоизлучения), а также при корпускулярной эмиссии [3, 89, 90, 91, 92, 93]. Вопрос физического механизма связи между солнечной активностью и климатом, хотя уже и рассматривался в некоторых вначале упомянутых работах, но не был до сих пор вполне и детально объяснен; рассмотрение этих теорий не входит в рамки настоящей работы, достаточно лишь сказать, что физические предположения, необходимые для объяснения этой связи, уже известны и были подтверждены.

Повышенная солнечная деятельность, учитывая ее физические воздействия в земной атмосфере, способна, в особенности при длительных воздействиях, вызвать изменения у ряда геофизических явлений [60, 74, 94]. Поэтому мы можем считать, не допуская ошибки с точки зрения физической логики, что существует зависимость не только относительно времени, но и относительно причины между крупными изменениями в циркуляции атмосферы, а также между климатом и солнечной активностью. Многолетняя солнечная активность, понизившись в период времени 1880—1920 гг., вновь повышалась и в последних двух десятилетиях достигла наибольших значений. Сходный тренд проявляется и у поте-

пления полярных областей и у связанных с ним прочих изменений климата, вызванных прежде всего изменениями в циркуляции, как самой ближайшей причиной.

Содержание этой статьи преследует цель разъяснить вопросы связи между многолетними изменениями климата и циркуляции и причиной возникновения этих крупных изменений. Пусть настоящая работа послужит дальнейшим документом в этой области знаний и расширит ряды уже опубликованных многочисленных работ и результатов, касающихся смежных областей науки — солнечной физики, метеорологии и климатологии.

3. СЖАТЫЕ ВЫВОДЫ

1. Изменение фронтальной зоны, имевшее место в североатлантической и европейской областях в период времени 1900—1939 гг. было приведено для отдельных типичных месяцев четырех сезонов.

2. Установленное колебание циркуляции в исследованной области, представленное в виде климатологической фронтальной зоны, объясняется связью между ним и известными изменениями климата.

3. Потепление климата Арктики, а также климата полярных и субполярных частей Северо-Атлантической области и области Северной Европы с максимальным проявлением в период времени 1920—1939 гг. вызвано общим увеличением смещения воздушных масс и является результатом увеличенных меридиональных контрастов температуры и давлений. Потепление же скандинавской области и области Шпицбергена является результатом увеличенной частоты фронтальной зоны, сопровождаемой увеличенным переносом тепла на север.

4. Установленные многолетние колебания циркуляции и климата нужно объяснить действием внешнего фактора, а именно, фактора такого рода, который был бы в состоянии физически вызвать эти изменения и который при том имеет существенное значение для процесса непрерывного образования циркуляции и климата. Таким фактором является солнечная эмиссия, связанная с солнечной активностью.

Лишь секулярные изменения солнечной активности могут вызвать энергетические уклонения в солнечной эмиссии, вызывающие со своей стороны в земной атмосфере изменения энергетического баланса, за который „отвечает“ по большей степени как раз солнечное излучение.

Поступило 2. 3. 1957.

Рецензенты J. Jílek, M. Konček, Š. Petrovič

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Эйгенсон М. С.: О возможной природе палеоклиматических изменений. Изв. в. географ. о-ва, 4, 1958, 360.
- [2] Wallén C. C., Ahlmann H. W.: Some Recent Studies in Sweden on the Present Climatic Fluctuation. Arch. f. Met. u. Geoph., Ser. B, 6, 1—2, 1954, 7.
- [3] Haurwitz B.: Solar Activity, the Ozone Layer and the Lower Atmosphere. Harvard Obs. Mon., 7, 1948, 353.
- [4] Scherhag R.: Die explosionsartigen Stratosphärenenerwärmungen des Spätwinters 1951/1952. Ber. d. Deutsch. Wetterd. US-Zone, 38, 1952, 51.
- [5] Corlin A., Hess V. F.: Beitrag zur Kenntnis der Solarkomponente der kosmischen Ultrastrahlung. Gerl. B. z. Geoph., 31, 1931, 169.
- [6] Adams N., Braddick H. J. J.: Time and other Variations in the Intensity of Cosmic Ray Neutrons. Z. f. Naturforsch., 11, 6, 1951, 592.
- [7] Simpson J. A.: The Solar Component of the Cosmic Radiations Derived from Intensity Variations. Commiss. mixte pour l'étude des relat. entre les phénomènes solaires et terrestres (Réunion 1952, Roma), 1953.
- [8] Forbush Scott E.: World-wide Cosmic-ray Variations 1937/1952. J. Geophys. Res., 59, 4, 1954, 525.
- [9] Waldmeier M.: Radioastronomie. Astr. Mitt. Eidg. Sternw. Zürich, 166, 1950.
- [10] Waldmeier M.: Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung. Leipzig 1955, 327, 352, 384.
- [11] Petterssen S.: Changes in the General Circulation Associated with the Recent Climatic Variation. Geografiska Ann., 31, 1—4, 1949, 212.
- [12] Ahlmann H. W. son: Vatnajökull, Scientific Results of the Swedish-Icelandic Investigations 1936—37—38. Part X. The Relative Influence of Precipitation and Temperature on Glacier Regime. Geografiska Ann., 22, 3—4, 1940, 188.
- [13] Hesselberg T., Birkeland B. J.: Säkulare Schwankungen des Klimas von Norwegen — Die Lufttemperatur. Geof. Publ. (Oslo), 14, 4, 1940.
- [14] Historical Weather Maps, Northern Hemisphere Sea Level. US Weather Bureau Washington, 1943.
- [15] Willett H. C.: Temperature Trends of the Past Century. (Centenary Proceedings of the R. Met. Soc. 1950.) Riv. di Met. Aeron., 3—4, 1951, 55.
- [16] Brádka J.: Der Jahresverlauf der zyklonalen und antizyklonalen Aktivität auf der Nordhemisphäre. Studia Geophysica et Geodaetica, 1 (1957), 2.
- [17] Gregor Z., Křivský L.: Kolísání frontální zony v oblasti Atlantiku a Evropy během roku a ve vztahu k sluneční aktivitě. Meteorolog. zprávy, 5, 5, 1952, 122.
- [18] Gregor Z., Křivský L.: The Variation of the Frontal Zone during the Year in the Area of the Atlantic and Europe and in Relation to the Solar Activity. Publ. Astr. Obser. Czechosl. Akad. Sci. Ondřejov, 23, 1953, 5.
- [19] Flohn H.: Studien zur allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre. Ber. d. Deutsch. Wetterd. US-Zone, 18, 1950.
- [20] Погосян Х. П.: Планетарные фронтальные зоны в северном и южном полушариях. Гидрометеоиздат-Ленинград, 1955.
- [21] Scherhag R.: Neue Methoden der Wetteranalyse und Wetterprognose. Berlin 1948.
- [22] Хромов С. П.: Основы синоптической метеорологии. Гидрометеоиздат-Ленинград, 1948, § 63, 464.
- [23] Schumann T. E. W., Van Rooy M. P.: Frequency of Fronts in the Northern Hemisphere. Arch. f. Met. u. Geoph., Ser. A, 4, 1951, 87.

- [24] Погосян Х. П.: Сезонные колебания общей циркуляции атмосферы. Труды Ц. И. П., I, Гидрометеиздат, 1947.
- [25] Täglicher Wetterbericht-Deutsche Seewarte. Hamburg 1939.
- [26] Brier G. W.: Forty Year Trends in Northern Hemisphere Surface Pressure. Bull. Amer. Met. Soc., 28, 1947, 237.
- [27] Willett H. C.: Long-period Fluctuations of the General Circulation of the Atmosphere. J. Meteor., 6, 1, 1949, 34.
- [28] Deacon E. L.: Climatic Change in Australia since 1880. Austr. J. of Physics, 6, 2, 1953, 209.
- [29] Schwerdtfeger W., Vasino C. I.: La variación secular de las precipitaciones en el este y centro de la república Argentina. Meteoros, 4, 3, 1954, 174.
- [30] Вительс Л. А.: Цыклоны северных морей и потепление Арктики. Метеоролог. и гидролог. 5, 1946, 32.
- [31] Вительс Л. А.: Многолетние изменения барико-циркуляционного режима и их влияние на колебания климата. Труды Г. геоф. обс., 8 (70), 1948.
- [32] Ångström A.: The Temperature Climate of Sweden. K. Lantbruks-Akad. Tidskr., 78, 6, 1939, 481.
- [33] Ångström A.: The Change of the Temperature Climate in the Present Time. Geografiska Ann., 21, 2, 1939, 119.
- [34] Ångström A.: Atmospheric Circulation, Climatic Variations and Continentality of Climate. Geografiska Ann., 31, 1—4, 1949, 316.
- [35] Brosse K.: Der warme Sommer 1952 in der 74-jährigen Beobachtungsreihe von Bamberg. Ber. d. Deutsch Wetterd. US-Zone, 42, 1952, 41.
- [36] Дзёрдзеевский Б. Л.: К вопросу о потеплении Арктики. Изв. А. Н. СССР, сер. геогр.-геоф. 2, 1943, 60.
- [37] Eythorsson J.: Temperature Variations in Iceland. Geografiska Ann., 31, 1—4, 1949, 36.
- [38] Grütter M.: Die Witterung im Jahre 1951. Schweiz. Z. f. Forstw., 103, 11, 1952, 466.
- [39] Helland-Hansen B.: Remarks on Some Variations in Atmosphere and Sea. Geografiska Ann., 31, 1—4, 1949, 75.
- [40] Johansson O. V.: Blir Europas klimat mera oceaniskt? Terra, 41, 1—2, 1929, 8.
- [41] Keränen J.: Über die Temperaturschwankungen in Finnland und Nordeuropa in den letzten hundert Jahren. Sitzungsber. d. Finn. Akad. d. Wissenschaften 1941, 1944.
- [42] Keränen J.: On Temperature Changes in Finland during the last Hundred Years. Fennia, 75, 1, 1952, 5.
- [43] Keränen J.: Die Temperaturschwankungen in Finnland seit dem Jahre 1830. Met. Abh. (Inst. Met. Geoph. Fr. Univ. Berlin), 2, 4—II, 1955, 25.
- [44] Максимов И. В.: О восьмидесятилетнем цикле колебаний климата Земли. Докл. А. Н. СССР, 86, 5, 1952, 917.
- [45] Manley G.: The Temperature Trend in Lancashire, 1753—1945. Quart. J. R. Met. Soc., 72, 311, 1946, 1.
- [46] Pícha J.: Změna klimatu ve střední Evropě za posledních 175 let. III. celost. hydromet. konf. Praha 1954. Sborník, Praha 1956, 146.
- [47] Rodewald M.: Ändert sich unser Klima? Umschau, 53, 18, 1953, 552.
- [48] Róna S.: Bemerkungen zu der Frage der Klimaänderung Ungarens. Időjárás, 40, 3—4, 1936, 45, 94.
- [49] Visser S. W.: On Easton's Period of 89 Years. Proceedings-Kon. Nederl. Akad. v. Wetensch., 53, 2, 1950, 172.

- [50] Визе В. Ю.: Причины потепления Арктики. Сов. Арктика, 1937.
- [51] Визе В. Ю.: О колебаниях ветрового режима в Арктике. Проблемы Арктики, 4, 1949.
- [52] Wallén C. C.: Variability of Sommer Temperature in Sweden and its Connection with Changes in the General Circulation. *Tellus*, 5, 2, 1953, 157.
- [53] Рубинштейн Е. С.: К проблеме изменения климата. Труды Н. И. У., Г. У. Г. М. С., сер. 1, 22, 1946.
- [54] Алисов Б. П., Дроздов О. А., Рубинштейн Е. С.: Курс климатологии (I, II). Ленинград, 1952, 306, 311.
- [55] Exner F. M.: Über monatliche Witterungsanomalien auf der nördlichen Erdhälfte im Winter. *Sitz. Ber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien (math.-naturw.)* 122, Abt. IIa, 1913, 1165.
- [56] Хромов С. П.: Основы синоптической метеорологии. Гидрометеиздат-Ленинград, 1948, 654.
- [57] Augustin F.: O poměru skvrn slunečních k teplotě pozemské. Praha 1884.
- [58] Augustin F.: Sucha v Čechách v době od roku 962—1893. Praha 1894.
- [59] Ейгенсон М. С.: Современное состояние проблемы Солнце-тропосфера. Метеоролог. и гидролог., 3, 1949, 4.
- [60] Ейгенсон М. С.: Вековое изменение солнечной активности и его геофизические последствия (II). Бюлл. ком. по иссл. Солнца, 3-4 (17-18), 1949, 51.
- [61] Ейгенсон М. С.: О многовековом изменении солнечной активности и его геофизических последствиях. Изв. в. географ. о-ва, 85, 3, 1953, 286.
- [62] Jurva R.: Über die Schwankungen der grössten Vereisung der Ostsee nebst ihren Meerbusen sowie der Sonnenflecken. *Terra*, 54, 1—2, 1942, 126.
- [63] Köppen W.: Die Schwankungen der Jahrestemperatur im westlichen Mitteleuropa von 1761 bis 1936. *Ann. d. Hydr. u. marit. Met.*, 65, 7, 1937, 297.
- [64] Peppler A.: Energieschwankungen der nordatlantischen Zirkulation und Sonnenflecken 1881—1923. *Gerl. B. z. Geoph.*, 29, 1931, 187.
- [65] Pícha J.: Kolísání severoatlantické cirkulace v období 1881—1950. *Meteorolog. zprávy*, 6, 1, 1953, 16.
- [66] Willett H. C.: Solar Activity and the General Circulation of the Lower Atmosphere. *Harvard Obs. Mon.*, 7, 1948, 369.
- [67] Willett H. C.: Extrapolation of Sunspot-climate Relationships. *J. Meteor.*, 8, 1, 1951, 1.
- [68] Вительс Л. А.: Интенсивность атмосферной циркуляции в Арктике и солнечная активность. Метеоролог. и гидролог., 6, 1946, 25.
- [69] Visser S. W.: L'activité solaire et les hivers extrêmes, *Geof. pura e appl.*, 15, 1—2, 1949.
- [70] Balli E.: Étude des variations courtes dans la fréquence des taches solaires. *Ann. d'Astrophys.*, 18, 2, 1955, 118.
- [71] Brunner-Hagger W.: Langperiodische Änderung des Verhältnisses der Fleckentätigkeit der Nord- zur Südhalbkugel von 1853 bis 1944. *Astr. Mitt. Eidg. Sternw. Zürich*, 144, 1945.
- [72] Clayton H. H.: Solar Cycles. *Smiths. Misc. Coll. (Washington)*, 106, 22, 1947.
- [73] Ейгенсон М. С.: Вековое изменение солнечной активности и его геофизические последствия (часть I). *Астр. жур.*, 25, 2, 1948, 101.
- [74] Ейгенсон М. С., Гневыхшев М. Н., Оль А. И., Рубашев Б. М.: Солнечная активность и ее земные проявления. Москва, 1948.
- [75] Ейгенсон М. С.: О природе современного высокого уровня солнечной активности. Бюлл. ком. по иссл. Солнца, 1 (15), 1949, 9.

- [76] Эйгенсон М. С.: Геофизические проявления векового цикла деятельности Солнца. Изв. в. географ. о-ва 83, 1, 1951, 32.
- [77] Ganskij A.: Sur la grande période de l'activité solaire. Bull. de l'Ac. Imp. Sci. St.-Petersbourg, phys.-math., 20, 4, 1904, 145.
- [78] Gleissberg W.: A Long-periodic Fluctuation of the Sun-spot Numbers. Observatory, 62, 781, 1939, 158.
- [79] Gleissberg W.: The Long-Period Fluctuation of the Characteristics of Sunspot Cycles. Observatory, 63, 795, 1940, 215.
- [80] Gleissberg W.: Nachweis des achtzigjährigen Sonnenfleckenzyklus in alten Nordlichtbeobachtungen. Die Naturwissenschaften, 40, 12, 1953, 336.
- [81] Gleissberg W.: Die Persistenz des 80jährigen Sonnenfleckenzyklus durch 16 Jahrhunderte. Publ. Istanbul Univ. Observ. 57, 1955.
- [82] Chernosky E. J.: Relationship of the Length of Solar Cycles to the Secular Variation of Activity. Publ. Astr. Soc. Pac., 67, 395, 1955, 117.
- [83] Колчинский И. Г.: К вопросу о вековом изменении солнечной активности. Бюлл. ком. по иссл. Солнца, 2, (16), 1949, 9.
- [84] Kopecký M.: Prévisions du maximum du 19^{ème} cycle des taches solaires. Bull. Astr. Inst. Czech., 2, 2, 1950, 30.
- [85] Максимов И. В.: О вековых изменениях одиннадцатилетнего цикла солнечной деятельности. Докл. А. Н. СССР, 92, 6, 1953, 1149.
- [86] Mémery H.: Une période solaire de 100 ans. Comptes Rendus de l'Acad. des Sci. Paris, 202, 19, 1936, 1568.
- [87] Рубашев Б. М.: К вопросу о возможности существования солнечных циклов более высоких порядков. Бюлл. ком. по иссл. Солнца, 2 (16), 1949, 31.
- [88] Schmidt W.: Nachweis von Perioden langer Dauer. Met. Zeitschr., 28, 9, 1911, 401.
- [89] Haurwitz B.: Relations Between Solar Activity and the Lower Atmosphere. Transact. Amer. Geoph. Union, 27—II, 1946, 161.
- [90] Maris H. B., Hulbert E. O.: A Theory of Auroras and Magnetic Storms. Phys. Rev., Ser. II, 33, 1929, 412.
- [91] Прокофьева И. А.: Атмосферный озон. А. Н. СССР, Москва 1951, 158, 210, 211.
- [92] Ракипова Л. Р.: О механизме связи между тропосферой и верхними слоями атмосферы. Труды Г. геоф. obs., 28 (90), 1951.
- [93] Wexler H.: Possible Effects of Ozonosphere Heating on Sea-Level Pressure. J. Meteor., 7, 6, 1950, 370.
- [94] Bartels J.: Geophysikalischer Nachweis von Veränderungen der Sonnenstrahlung. Ergeb. d. exakten Naturwiss., 9, 1930, 38.

DLOUHODOBÁ ZMĚNA CIRKULACE ATLANTICKO-EVROPSKÉ OBLASTI A JEJÍ VZTAH K SEKULÁRNÍ SLUNEČNÍ AKTIVITĚ

Zdeněk Gregor, Ladislav Křivský

Příspěvek je zaměřen na zjišťování změn charakteru cirkulace v souvislosti se známými změnami podnebí v posledních několika desetiletích a na vztah k dlouhodobému kolísání sluneční aktivity. Smyslem práce je zachytit změnu cirkulace pomocí klimatologické frontální zony v oblasti severního Atlantiku a Evropy a zjistit, zdali nalezená změna cirkulace odpovídá známým klimatickým přeměnám, zvláště pak oteplování polárních končin a Skandinávie.

Atlanticko-evropská frontální zóna a její dlouhodobé změny. Metoda četnosti frontální zóny. V této práci byla pro znázornění stavu cirkulace použita metoda a materiál jako v dřívější práci autorů v r. 1952 [17, 18]. Části frontální zóny jsou charakterisovány vchodem (oblasti konvergence) a deltou (oblasti divergence). Frontální zóny jsou důležitým činitelem dynamiky všeobecné cirkulace, protože je v nich soustředěn největší tlakový a teplotní gradient a jsou tak vlastně jakýmsi „motorem“ atmosférické cirkulace. Není-li omezen největší gradient jenom na vyšší vrstvy troposféry a překročí-li určitou hodnotu, nacházíme na přízemní mapě v této oblasti fronty, frontální vlny a rodiny cyklon, jak je známe z norské školy. Ty charakterisují v daném okamžiku stav cirkulace, samozřejmě ve spojení s barickým polem. Průměrné polohy front za určitou roční dobu jsou klimatologické fronty. Oddělují navzájem jednotlivé vzdušné masy a jejich poloha je závislá především na teplotě a rozdělení pevnin a moří. Jako základní výchozí materiál v této práci byly určovány na jednotlivých denních přízemních mapách čarami polohy frontálních zón a nikoli polohy front, jak to provedli T. E. W. Schumann a M. P. Van Rooy [23]. Frontální zóny byly určovány tak, že jejich směr souhlasil se směrem postupu frontálních vln, oklusií a frontálních cyklon, jejich poloha pak s místem největší frontální aktivity udávané jednak plochou u vrcholů teplých sektorů vln, jednak oklusionními body v okludovaných cyklonách. Tím byly vyloučeny fronty, které neleží ve frontální zóně, a dále zóny zesíleného proudění, které se vyskytují pouze ve vyšších hladinách a nejsou frontogenetické.

Frontální zóny byly vytyčovány na území od 100° záp. délky po 80° vých. délky a od 75° sev. šířky až po 15° sev. šířky, a to podle Historical Weather Maps [14] v období od ledna 1899 do dubna 1939, t. j. za 41 let. V letech ke konci a ještě po ukončení první světové války chybí údaje z SSSR a byly nahrazeny

extrapolací. Mapy průměrných četností frontální zony pro měsíce leden a duben jsou průměry z období 41 let (1899—1939), mapy pro měsíce červenec a říjen jsou průměry z období 40 let (1899—1938). Četnosti výskytu frontální zony byly určovány pro každé pole mapy 5° šířkových \times 10° délkových. Poněvadž velikost těchto polí se mění se zeměpisnou šířkou, byly četnosti přepočítávány na plochu 200 tisíc km^2 , což se přibližně rovná ploše 5° šířkových \times 10° délkových na 70° severní šířky. Hodnota isočar na průměrových mapách znamená počet dnů v měsíci, v kterých ležela průměrně nad daným polem frontální zóna (přepočteno ovšem na stejnou plochu). Mapy průměrných četností frontální zony jsou na obr. 2, 4, 6 a 8. Mapy změn četností frontální zony na obr. 3, 5, 7 a 9 jsou provedeny tímž způsobem, ale hodnoty isočar jsou rozdíly součtů výskytu frontální zony mezi obdobími 1900—1919 a mezi obdobími vrcholného oteplování podnebí 1920—1939. Oblasti záporných četností frontální zony na mapách představují úbytek výskytu frontální zony v období 1920—1939, oblasti kladných četností představují zvětšení výskytu frontální zony v období 1920—1939. Hodnoty součtů v obou obdobích v jednotlivých zkoumaných polích byly opět redukovány na stejnou plochu tímž způsobem jako u průměrových map.

V tabulkách I, II, III, IV jsou uvedeny hodnoty součtů výskytu frontální zony v polích 5° šířkových \times 10° délkových zkoumané oblasti na mapách. Veškeré hodnoty uvedené v tabulkách jsou hodnoty součtů určitého období let, redukované na plochu. Hodnoty označené v tabulkách písmenem T jsou celkové součty výskytu frontální zony v epoše let 1899—1939 (u měsíců července a října v epoše let 1899—1938). Z těchto hodnot jsou pak zkonstruovány průměrné mapy (obr. 2, 4, 6 a 8). Hodnoty označené v tabulkách písmenem E_A jsou součty výskytu frontální zony v epoše 1900—1919, t. j. za 20 let, hodnoty označené písmenem E_B jsou součty v epoše 1920—1939, t. j. též za 20 let. Tyto hodnoty součtů sloužily přímo pro výpočet změny výskytu frontální zony v obou obdobích pomocí rozdílů hodnot E_A a E_B . Z rozdílů byly pak zkonstruovány mapy změn (obr. 3, 5, 7 a 9).

Klimatologická frontální zóna a její změny. Stručně jsou uvedeny popisy map průměrného postavení frontální zony ve čtyřech typických měsících sezon (obr. 2, 4, 6 a 8). Ještě podrobnější rozvedení těchto výsledků je v práci [18]. Je uveden popis map změn v lednu, dubnu, červenci a v říjnu. Výsledky jsou na obr. 3, 5, 7 a 9. Z těchto map je zřejmo, že v období vrcholného oteplování polárních končin (1920—1939) docházelo k zvětšenému výskytu frontální zony v polární oblasti severovýchodní části Severního Atlantiku a nad severní polovinou Skandinávie. Změna frontální zony spojená se zvětšeným mísením vzdušných mas a s transportem tepla na sever a na severovýchod od Evropy vysvětluje nalezené změny podnebí v první polovině 20. století v polárních a subpolárních oblastech Severního Atlantiku a Evropy. Největší rozdíl ve výskytu zony v obou zkoumaných obdobích je v zimě, na jaře a v létě.

Vztah změn cirkulace ke změnám podnebí. V tomto oddílu jsou uvedeny výsledky použité literatury, zkoumající dlouhodobé změny ve všeobecné cirkulaci v souvislosti se změnami podnebných prvků. Výsledky některých prací se úzce přimykají k vlastním výsledkům, nebo jsou dokladem pro vlastní zhodnocení v diskusi. Výsledky změn výskytu frontální zony jsou zvláště konfrontovány s klimatickými výsledky E. S. Rubinštejnové o teplotních anomáliích v desetiletí 1929—1938 na severní polokouli (obr. 10 a 11).

Srovnáme-li mapu anomálií průměrných teplot v lednu v období vrcholného oteplování 1929—1938 od dlouhodobých průměrů s mapou změn výskytu frontálních zon v lednu, zjistíme na první pohled, že výběžek oteplení arktické oblasti směřující do severní Evropy, je způsobován zvětšenou četností frontální zony v severozápadní Evropě a při okraji severní Evropy. Tento výběžek oblasti oteplení je zřejmě v prvé řadě způsobován zvětšenou advekcí teplých vzdušných mas do severozápadní a severní Evropy podél kontinentálních anticyklon v jihovýchodní Evropě a v centrální Asii. Je problémem, jak vyložit těžiště oteplení arktické oblasti a to nad severním Gronske, neboť v této oblasti a jižněji od ní je spíše zmenšený výskyt frontálních zon. Jediný možný výklad je ten, že sice v souvislosti s častějším výskytem frontální zony až u evropských břehů musí v této oblasti nutně docházet k větší a častější advekcii studeného vzduchu od severozápadu k jihovýchodu, ale že tento vzduch nemůže být příliš chladný, jelikož neměl dostatečně dlouhou dobu k tomu, aby se zvláště nad Gronske vytvořil. V arktickém basenu v důsledku zvětšeného mísení mas nemohly by tvořící se studené vzduchové masy dosahovat tak nízkých teplot, neboť by setrvaly kratší čas v místě zrodu. Tyto závěry jsou podporovány Petterssenovými výsledky (bohužel platnými pro celý rok) o přesunu oblasti nízkého tlaku od Islandu ke Gronske, do Severního moře ledového a k Newfoundlandu. Výsledky o dlouhodobé změně klimatologické frontální zony souhlasí též se závěry L. A. Vitelse [30] pro arktickou oblast a též s výsledky O. V. Johanssona [40]. Proč teplotní trend se ve Skandinavii neprojevuje (vyjma jihovýchodní části) na letních teplotách, vysvětluje mapa změn frontální zony v červenci, když zvýšená četnost podél celé severozápadní Evropy má v létě pochopitelně za následek spíše snížení teplot, což je též mnohými klimatologi potvrzováno. Vzestup teplot i u letních měsíců podle změny frontální zony v létě by měl být pozorován na východ od čáry Finsko—Francie. To souhlasí s výsledky J. Keränen a [43], který nalézá ve Finsku též u letních měsíců teplotní vzestup a též s výsledky práce K. Brosse [35] a C. C. Walléna [52]. Sekulární trend oteplení by se měl ve střední a východní Evropě projevovat hlavně v letní sezóně.

Vztah dlouhodobých změn cirkulace a klimatu k sekulární sluneční činnosti. Jako doklad pro existenci dlouhodobých (sekulárních) změn sluneční činnosti jsou uvedeny výsledky nejdůležitějších prací zkoumající zákonitosti dlouhodo-

bých změn sluneční aktivity. Na obr. 12 je uvedena sekulární křivka sluneční aktivity.

Pro srovnání s našimi výsledky o dlouhodobé změně cirkulace postačí uvést, že minimum dlouhodobé sluneční činnosti je v období 1890—1920, od roku 1900 je již patrný vzestupný trend. Maximum dlouhodobé sluneční činnosti je v období 1930—1950. Období zpracování frontální zony 1900—1919 zasahuje tedy období dlouhodobého slunečního minima, druhé období 1920—1939 spadá do doby vzestupného trendu a maxima. Lze tedy usuzovat na možnou příčinnou spojitost dlouhodobé změny cirkulace k dlouhodobé změně sluneční činnosti. Spojitost sluneční aktivity s klimatem Země se může projevovat jediné prostřednictvím cirkulace.

Z výsledku této práce i řady prací jiných autorů vyplývá, že začátkem 20. století dochází k intensifikaci cirkulace (zvětšená výměna) a že vrcholné období této změny i podle klimatických údajů je v období 1920—1950. Zvětšenou výměnu v cirkulaci atmosféry lze fyzikálně vyložit jediné uplatňováním větší energie v atmosférických pochodech. Tato energie „navíc“ může mít původ ve zvětšeném uvolňování latentní energie v atmosféře, na př. při kondenzačních či sublimačních procesech na jádrech, k čemuž může dávat popud nějaká příčina, nebo může jít o přímé změny kvalitativně-quantitativní dodávané energie zemskému povrchu nebo zemské atmosféře. Dlouhodobá sluneční aktivita po poklesu v letech 1880—1920 se znovu zvětšovala a dosahuje v posledních dvou desetiletích největších hodnot. Obdobný trend vykazuje oteplování polárních krajin a s tím spojené změny klimatu vyvolávané proměnami v cirkulaci, jakožto nejbližší příčinou.

Zjištěné dlouhodobé kolísání v cirkulaci a v podnebí nutno vysvětlovat působením vnější příčiny, a to takové příčiny, která je s to fyzikálně tyto změny vyvolávat a je zároveň podstatná při neustálém vytváření cirkulace a klimatu. Takovýmto činitelem je sluneční emise spojená se sluneční aktivitou. Sekulární změny sluneční aktivity jediné mohou způsobit energetické výchyly ve sluneční emisi a tím i v zemské atmosféře změny energetické bilance, za kterou „odpovídá“ drtivou převahou právě sluneční záření.

Zusammenfassung

LANGFRISTIGE ZIRKULATIONSÄNDERUNGEN IM ATLANTISCH-EUROPÄISCHEN GEBIET UND IHRE BEZIEHUNGEN ZUR SÄKULAREN SONNENTÄTIGKEIT

Zdeněk Gregor, Ladislav Křivský

Ziel dieses Beitrags ist die Feststellung von Charakteränderungen der Zirkulation im Zusammenhang mit den bekannten Änderungen des Klimas in den letzten Jahrzehnten und ihre Beziehung zu langfristigen Schwankungen der Sonnentätigkeit. Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung von Zirkulationsänderungen mit Hilfe klimatologischer Frontalzone im Gebiet des nördlichen Atlantischen Ozeans und Europas, und die Feststellung, ob die gefundene Zirkulationsänderung den bekannten klimatischen Schwankungen entspricht, besonders aber der Erwärmung der Polargegenden und Skandinaviens.

Die atlantisch-europäische Frontalzone und ihre langfristigen Änderungen. Methode der Frontalzonenhäufigkeit. Um den Zustand der Zirkulation darzustellen, verwendet diese Arbeit die gleiche Methode und dasselbe Material wie die früheren Arbeiten beider Autoren v. J. 1952 [17, 18]. Die Teile der Frontalzone sind durch den Eingang (Konvergenzgebiet) und das Delta (Divergenzgebiet) charakterisiert. Die Frontalzone sind ein wichtiger Faktor der Dynamik der allgemeinen Zirkulation, weil in ihnen der grösste Druck- und Temperaturgradient konzentriert ist, sodass sie eigentlich gewissermassen den „Motor“ der atmosphärischen Zirkulation darstellen. Wenn der grösste Gradient nicht auf die höchsten Schichten der Troposphäre beschränkt ist und einen bestimmten Wert überschreitet, dann finden wir auf der Bodenkarte dieses Gebietes Fronten, Frontalwellen und Zyklonenfamilien, wie sie von der norwegischen Schule bekannt sind; sie charakterisieren im gegebenen Augenblick den Stand der Zirkulation, selbstverständlich im Zusammenhang mit dem barischen Feld. Die Frontlagendurchschnitte während einer bestimmten Jahreszeit sind die klimatologischen Fronten. Sie sondern gegenseitig die einzelnen Luftmassen, und ihre Lage hängt vor allem von der Temperatur und der Verteilung der Festländer und Meere ab. Das grundlegende Material dieser Arbeit wurde derart zusammengestellt, dass auf den einzelnen täglichen Bodenkarten die Lagen der Frontalzone durch Striche festgelegt wurden, zum Unterschied von T. E. W. Schumann und M. P. Van Rooy [23], die zu diesem Zwecke die Lagen der Fronten verwendeten. Die Frontalzone wurden derart be-

stimmt, dass ihre Richtung mit der Richtung des Fortschreitens der Frontalwellen, Okklusionen und Frontalzyklonen zusammenfiel, und ihre Lage mit dem Ort der höchsten Frontaltätigkeit übereinstimmte, die einerseits durch die Flächen an den Gipfeln der warmen Wellensektoren, andererseits durch die Okklusionspunkte in okkludierten Zyklonen bestimmt ist. Durch diesen Vorgang wurden alle Fronten ausgeschieden, die nicht in der Frontalzone liegen, sowie Zonen verstärkter Strömung, die bloss in höheren Schichten vorkommen und nicht frontogenetisch sind.

Die Frontalzone wurde auf dem Gebiet zwischen 100° westl. Länge und 80° östl. Länge und zwischen 75° nördl. Breite und 15° nördl. Breite trassiert, wozu die Historical Weather Maps [14] im Zeitabschnitt zwischen Jänner 1899 und April 1939, d. h. für einen Zeitraum von 41 Jahren, verwendet wurden. Es fehlten uns sowjetische Daten aus den letzten Kriegs- und ersten Nachkriegsjahren des ersten Weltkriegs; sie mussten durch Extrapolation ersetzt werden. Die Karten der durchschnittlichen Frontalzonenhäufigkeiten für die Monate Jänner und April sind Durchschnitte eines 41jährigen Intervalls (1899—1939), die Karten für die Monate Juli und Oktober sind Durchschnitte eines 40jährigen Intervalls (1899—1938). Die Felder, für die die Frontalzonenhäufigkeit bestimmt wurde, hatten auf den Karten ein Ausmass von 5° Breite und 10° Länge; da sich jedoch die Oberfläche dieser Felder mit geographischer Breite ändert, wurden die vorgefundenen Häufigkeiten auf eine Oberfläche von 200 Tausend km^2 umgerechnet, was ungefähr dem Ausmass einer Fläche von 5° Breite und 10° Länge in einer geographischen Breite von 70° entspricht. Die Wertbezeichnung der Isolinien auf den Durchschnittskarten bedeutet die Anzahl der Tage im Monat, in denen im Durchschnitt die Frontalzone über dem gegebenen Felde lag (selbstverständlich auf die gleiche Fläche umgerechnet). Die Karten der Durchschnittshäufigkeiten der Frontalzone sind in den Abb. 2, 4, 6, 8 wiedergegeben. Die Abb. 3, 5, 7, 9 enthalten Karten der Unterschiede von Frontalzonenhäufigkeiten; diese Karten sind auf die gleiche Art konstruiert wie vorher beschrieben, doch bezeichnen die Werte der Isolinien Differenzen zwischen den Summen von Frontalzonenhäufigkeiten in den Zeitabschnitten 1900—1919 und 1920—1939; der zweite Zeitabschnitt zeigte die höchste klimatische Erwärmung. Gebiete negativer Frontalzonenhäufigkeiten auf den Karten bezeichnen einen Abfall im Vorkommen von Frontalzone im Zeitabschnitt 1920—1939, Gebiete positiver Häufigkeiten bedeuten ein Anwachsen des Vorkommens von Frontalzone im Zeitabschnitt 1920—1939. Auch hier wurden die Summenwerte der einzelnen untersuchten Felder in beiden Zeitabschnitten auf die gleiche Fläche reduziert wie bei den Durchschnittskarten.

Die Tafeln I, II, III, IV enthalten die Summenwerte des Vorkommens von Frontalzone auf Feldern von 5° Breite und 10° Länge der untersuchten Gebiete auf den Karten. Die in den Tafeln angeführten Werte sind immer auf die Grundfläche reduzierte Summenwerte eines bestimmten Zeitabschnittes. Die

in den Tafeln mit dem Buchstaben T bezeichneten Werte sind Gesamtsummen des Vorkommens von Frontalzonen in der Epoche zwischen 1899 und 1939 (für die Monate Juli und Oktober in der Epoche zwischen 1899 und 1938). Auf Grund dieser Werte wurden dann die Durchschnittskarten (Abb. 2, 4, 6, 8) konstruiert. Die in den Tafeln mit dem Symbol E_A bezeichneten Werte sind Summen des Vorkommens von Frontalzonen in der Epoche zwischen 1900 und 1919, d. h. für einen Zeitraum von 20 Jahren, die mit dem Symbol E_B bezeichneten Werte sind Summen in der Epoche zwischen 1920 und 1939, d. h. wieder für 20 Jahre. Diese Summenwerte dienten direkt zur Berechnung der Änderung im Vorkommen von Frontalzone in beiden Zeitabschnitten. Diese Unterschiede dienten dann zur Konstruktion der in den Abb. 3, 5, 7, 9 dargestellten Karten.

Die klimatologische Frontalzone und ihre Veränderungen. Die Beschreibung der Karten der durchschnittlichen Frontalzonlagen in vier typischen Monats-saisonen (Abb. 2, 4, 6, 8) ist kurz gefasst, doch eine gründlichere Bearbeitung der Ergebnisse ist in der Arbeit [18] enthalten. Es folgt eine Beschreibung der Karten der Differenzen für Jänner, April, Juli und Oktober, deren Resultate in den Abbildungen 3, 5, 7 und 9 dargestellt sind. Diesen Karten kann entnommen werden, dass es während des Zeitabschnittes der grössten Erwärmung der Polargegenden (1920—1939) in dem Polargebiet des nordöstlichen Teils des nördlichen Atlantischen Ozeans und über der nördlichen Hälfte Skandinaviens zu einem erhöhten Vorkommen von Frontalzonen kam. Die mit einer erhöhten Mischung von Luftmassen und mit einem Wärmetransport nach Norden und Nordosten Europas verbundene Änderung der Frontalzone ist zugleich eine Erklärung der vorgefundenen Änderungen des Klimas in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den polaren und subpolaren Gebieten des nördlichen Atlantischen Ozeans und Europas. Der grösste Unterschied im Vorkommen der Zonen in beiden untersuchten Zeitabschnitten erfolgt im Winter, Frühjahr und Sommer.

Beziehung der Zirkulationsänderungen zu klimatischen Schwankungen. In diesem Abschnitt werden die Resultate der benützten Literatur angeführt, die den Zusammenhang langfristiger Änderungen der allgemeinen Zirkulation mit Änderungen klimatischer Elemente prüfen. Die Ergebnisse einiger Arbeiten schliessen sich eng an unsere eigenen Resultate an oder bestätigen unseren Standpunkt in der Diskussion. Die Ergebnisse der Änderungen des Vorkommens von Frontalzone werden im besonderen den klimatischen Resultaten E. S. Rubinsteins über die Temperaturanomalien während des Jahrzehntes 1929—1939 auf der nördlichen Halbkugel gegenübergestellt (Abb. 10 und 11).

Vergleichen wir die Karte der Anomalien der Temperaturmittel im Januar von den langfristigen Mitteln während der Periode der höchsten Erwärmung

zwischen 1929 und 1938 mit der Karte der Änderungen des Vorkommens von Frontalzonen in Januar, so können wir auf den ersten Blick feststellen, dass der nach Nordeuropa gerichtete Ausläufer der Erwärmung des arktischen Gebiets auf die erhöhte Frontalzonenhäufigkeit in Nordwesteuropa und über dem Rand Nordeuropas zurückzuführen ist. Dieser Ausläufer des erwärmten Gebietes wird zweifellos in erster Reihe durch die Advektion warmer Luftmassen nach Nordwest- und Nordeuropa längs der kontinentalen Antizyklen in Südosteuropa und in Zentralasien hervorgerufen. Es ist allerdings ein Problem, wie dieser Schwerpunkt der Erwärmung im arktischen Gebiet, u. zw. über Nord-Grönland, erklärt werden kann, da in diesem Gebiet und südlich davon Frontalzonen eher in einer verminderten Anzahl vorkommen. Die einzig mögliche Erklärung ist die, dass es im Zusammenhang mit dem häufigeren Vorkommen von Frontalzonen erst in der Nähe der europäischen Küste in dieser Gegend zu grösseren und häufigeren Advektionen kalter Luft von Nordwesten nach Südosten kommen muss, dass jedoch diese Luft nicht zu kalt sein kann, da sie nicht eine genügend lange Frist dazu hatte, sich besonders über Grönland auszubilden. Im arktischen Becken könnten die sich bildenden kalten Luftmassen infolge erhöhter Mischung nicht so niedrige Temperaturen erreichen, da sie nur eine kürzere Zeit an der Stätte ihrer Bildung verbleiben. Diese Schlussfolgerungen werden von Petterssens Resultaten (die leider für ein ganzes Jahr abgeleitet sind) über die Gebietsverschiebung des Tiefs von Island nach Grönland, bis zum Nördlichen Eismeer und nach Neufundland unterstützt. Die Ergebnisse langfristiger Änderungen der klimatologischen Frontalzone stimmen auch mit den Folgerungen L. A. Vitels' [30] für das arktische Gebiet sowie mit O. V. Johanssons Resultaten [40] überein. Warum sich der aufsteigende Temperaturtrend nicht in den skandinavischen Sommertemperaturen zeigt (mit Ausnahme von Südostskandinavien), erklärt die Karte der Änderungen der Frontalzonen im Juli; in diesem Monat hat die erhöhte Häufigkeit über ganz Nordwesteuropa begrifflicherweise eher eine Senkung der Temperatur zur Folge. Dies wird auch von vielen Klimatologen bestätigt. Auf Grund der Sommeränderungen der Frontalzone sollte eigentlich auch in den Sommermonaten ein Temperaturanstieg östlich von der Linie Finnland—Frankreich beobachtet werden. Dies ist auch in Übereinstimmung mit den Resultaten von J. Keränen [43], der in den Sommermonaten in Finnland einen Temperaturanstieg beobachtet hat, sowie mit den Ergebnissen K. Broses [35] und C. C. Walléns [52]. Ein säkularer Erwärmungstrend sollte sich in Mittel- und Osteuropa hauptsächlich in der Sommersaison deutlich machen.

Beziehung langfristiger Änderungen der Zirkulation und des Klimas zur säkularen Sonnentätigkeit. Um das Vorhandensein langfristiger (säkularer) Änderungen der Sonnentätigkeit darzutun, werden die Resultate der wichtigsten Arbeiten angeführt, die die Gesetzmässigkeit langfristiger Änderungen der

Sonnentätigkeit untersuchen. Abb. 12 gibt die Säkularwerte der Sonnentätigkeit wieder.

Um unsere Resultate langfristiger Zirkulationsänderungen zum Vergleich heranzuziehen, genügt es darauf hinzuweisen, dass das Minimum der langfristigen Sonnentätigkeit im Zeitraum 1890—1920 liegt, wobei schon im Jahre 1900 ein merkbarer aufsteigender Trend beginnt. Das Maximum der langjährigen Sonnentätigkeit liegt im Zeitraum 1930—1950. Das von uns verarbeitete Intervall der Frontalzone 1900—1919 liegt demnach im Intervall des langfristigen Sonnenminimums, während das zweite Intervall 1920—1939 in die Zeit des aufsteigenden Trends und des Maximums gehört. Wir können daher auf eine mögliche ursächliche Beziehung zwischen langfristigen Zirkulationsänderungen und langfristigen Änderungen der Sonnentätigkeit schliessen. Eine Beziehung zwischen der Sonnentätigkeit und dem Klima der Erde kann nur durch die Vermittlung der Zirkulation entstehen.

Aus den Resultaten dieser Arbeit und einer Reihe von Arbeiten anderer Autoren folgt, dass es mit Beginn des 20. Jahrhunderts zu einer Intensifikation der Zirkulation (erhöhter Austausch) kommt und dass der Gipfelpunkt dieser Änderungen, auch nach klimatischen Daten, im Zeitraum 1920—1950 liegt. Ein erhöhter Zirkulationsaustausch der Atmosphäre kann physikalisch nur durch Einbeziehung einer erhöhten Energie in atmosphärischen Vorgängen erklärt werden. Diese „Überschuss“-Energie kann nur durch eine erhöhte Freimachung latenter Energie in der Atmosphäre erzeugt werden, wie z. B. durch Kondensations- oder Sublimationsprozesse an Kernen, die unter Wirkung der Sonnenstrahlung der bestimmten Wellenlängen im grösseren Masse hervorgeufen werden können, oder es kann sich um direkte qualitativ-quantitative Änderungen der der Erdoberfläche oder der Atmosphäre zur Verfügung gestellten Energie der Sonne handeln. Nach dem Rückfall in den Jahren 1880 bis 1920 hat die säkulare Sonnentätigkeit von Neuem zugenommen und hat in den letzten zwei Jahrzehnten die höchsten Werte erreicht. Einen ähnlichen Trend zeigt die Erwärmung der Polargegenden und die damit verbundenen Schwankungen im Klima, die durch Zirkulationsänderungen aus unmittelbare Ursache hervorgerufen werden.

Die beobachteten langfristigen Schwankungen der Zirkulation und des Klimas können nur durch die Einwirkung einer äusseren Ursache erklärt werden, die nicht nur im Stande ist, solche Änderungen physikalisch hervorzurufen, sondern auch für die ununterbrochene Bildung der Zirkulation und des Klimas wesentlich bleibt. Ein solcher Faktor ist die Sonnenemission in Verbindung mit der Sonnenaktivität. Nur die säkularen Änderungen der Sonnentätigkeit können die energetischen Abweichungen in der Sonnenemission hervorrufen und dadurch auch Änderungen der Energiebilanz in der Erdatmosphäre erzeugen, für die gerade in überwiegender Masse die Sonnenstrahlung „verantwortlich“ ist.

ТАБЛИЦЫ

Суммы появлений фронтальной зоны на полях 10° д. \times 5° ш.
(приведенные к площади)
в месяцах январь, апрель, июль и октябрь

T = сумма в эпохе 1899—1939, т. е. за 41 год

E_A = сумма в эпохе 1900—1919, т. е. за 20 лет

E_B = сумма в эпохе 1920—1939, т. е. за 20 лет

Таблица I Январь

Суммы появлений фронтальной зоны на полях 10° д. \times 5° ш. (приведение к площади)

T = сумма в эпохе 1899—1939 (за 41 год)

E_A = сумма в эпохе 1900—1919 (за 20 лет)

E_B = сумма в эпохе 1920—1939 (за 20 лет)

Таблица II Апрель

Суммы появлений фронтальной зоны на полях 10° д. \times 5° ш. (приведение к площади)

T = сумма в эпохе 1899—1939 (за 41 год)

E_A = сумма в эпохе 1900—1919 (за 20 лет)

E_B = сумма в эпохе 1920—1939 (за 20 лет)

Таблица III Июль

Суммы появлений фронтальной зоны на полях 10° д. \times 5° ш. (приведение к площади)

T = сумма в эпохе 1899—1938 (за 40 лет)

E_A = сумма в эпохе 1900—1919 (за 20 лет)

E_B = сумма в эпохе 1920—1939 (за 20 лет)

Таблица IV Октябрь

Сумма появлений фронтальной зоны на полях 10° д. \times 5° ш. (приведение к площади)

T = сумма в эпохе 1899—1938 (за 40 лет)

E_A = сумма в эпохе 1900—1919 (за 20 лет)

E_B = сумма в эпохе 1920—1939 (за 20 лет)

Долгота Широта		100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
		-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	-0°	-10°	-20°	-30°	-40°
70°-75°	T	0	0	0	1	7	14	17	31	51	73	85	105	138	156
	E _A	0	0	0	1	5	8	9	19	29	38	43	46	59	66
	E _B	0	0	0	0	1	5	9	12	21	32	39	57	78	90
65°-70°	T	2	1	3	5	19	33	32	54	79	116	158	178	180	191
	E _A	1	1	2	2	14	24	19	33	40	63	84	86	90	96
	E _B	2	0	2	3	5	9	14	22	38	52	73	89	87	93
60°-65°	T	6	7	10	3	17	43	61	77	123	191	205	182	198	189
	E _A	2	4	6	1	10	26	33	42	79	118	104	90	102	108
	E _B	4	3	3	2	7	16	28	35	44	72	97	88	89	76
55°-60°	T	11	18	23	19	36	58	91	129	198	207	191	193	197	162
	E _A	2	10	13	10	23	33	52	72	118	110	86	90	98	86
	E _B	9	8	8	8	11	25	39	57	77	97	95	97	92	71
50°-55°	T	46	51	54	47	63	101	144	205	238	193	175	164	152	133
	E _A	15	23	27	22	31	56	74	107	118	82	72	72	74	77
	E _B	28	25	24	24	29	45	69	96	114	104	95	86	73	52
45°-50°	T	112	123	119	98	134	171	215	234	184	142	128	112	109	104
	E _A	47	58	59	47	65	82	103	114	84	61	59	53	59	60
	E _B	61	61	56	48	66	85	107	113	92	76	66	55	48	40
40°-45°	T	133	162	147	138	195	221	220	174	116	89	76	101	113	88
	E _A	65	84	74	68	91	109	110	84	53	42	40	53	58	45
	E _B	63	73	70	67	96	107	104	84	57	49	38	46	52	40
35°-40°	T	118	151	155	184	213	183	146	98	70	62	80	126	109	80
	E _A	62	78	74	86	102	90	72	47	32	32	41	62	53	37
	E _B	53	70	76	90	104	90	72	48	35	29	39	62	54	39
30°-35°	T	85	124	145	173	135	108	80	48	34	38	67	94	82	67
	E _A	41	55	62	78	67	53	38	21	14	18	34	46	36	29
	E _B	42	65	75	90	60	54	40	27	19	19	33	48	43	36
25°-30°	T	64	100	100	78	57	48	31	18	10	15	25	34	30	26
	E _A	27	42	45	40	28	25	16	9	5	9	16	20	15	14
	E _B	34	55	50	36	27	23	15	10	5	6	9	13	15	11
20°-25°	T	22	33	35	24	21	14	7	4	3	1	6	6	6	8
	E _A	6	14	19	16	11	7	4	3	2	1	4	5	5	7
	E _B	15	17	15	8	10	7	3	1	0	0	2	1	1	1
15°-20°	T	0	2	4	5	4	2	2	0	0	0	0	0	0	1
	E _A	0	1	3	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
	E _B	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

II

Апрель

Долгота Широта		100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
		-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	-0°	-10°	-20°	-30°	-40°
70°-75°	T	0	0	0	1	1	2	0	9	28	46	85	96	111	117
	E _A	0	0	0	1	0	1	0	2	10	11	25	33	43	42
	E _B	0	0	0	0	1	1	0	6	18	35	63	63	69	77
65°-70°	T	5	2	4	7	7	11	13	35	57	86	118	124	153	179
	E _A	5	2	2	4	3	3	5	10	20	35	57	58	70	83
	E _B	0	1	2	2	3	7	8	25	37	51	62	66	82	96
60°-65°	T	16	18	16	14	25	23	50	84	89	128	126	137	185	199
	E _A	13	12	10	8	15	15	24	48	48	74	75	74	100	111
	E _B	4	8	6	6	10	15	27	36	40	52	52	62	81	84
55°-60°	T	35	37	37	31	36	49	80	110	125	143	131	150	188	174
	E _A	18	18	20	15	19	26	44	71	71	81	71	87	101	102
	E _B	16	19	16	16	17	24	36	39	51	58	59	60	83	72
50°-55°	T	61	64	51	37	44	82	128	144	146	129	138	170	178	149
	E _A	32	29	23	20	22	46	73	84	80	67	66	84	87	86
	E _B	29	29	27	17	21	35	54	58	63	59	71	82	85	60
45°-50°	T	104	100	83	68	108	157	182	175	145	124	138	170	164	135
	E _A	50	43	41	36	52	84	103	94	74	60	68	80	80	72
	E _B	52	53	40	31	54	71	76	77	64	64	66	83	78	60
40°-45°	T	143	149	127	139	199	208	193	194	110	100	121	154	150	112
	E _A	68	71	65	70	99	110	96	63	43	44	60	75	77	59
	E _B	70	74	60	68	96	96	91	83	60	55	59	73	68	49
35°-40°	T	171	174	166	213	229	198	161	109	76	81	111	142	120	84
	E _A	83	84	77	101	111	100	72	41	29	36	58	74	60	40
	E _B	84	87	87	109	113	92	83	64	45	45	49	63	57	40
30°-35°	T	169	157	169	187	170	134	90	52	44	66	108	113	82	61
	E _A	83	77	83	90	84	66	36	19	16	31	54	54	36	38
	E _B	82	77	82	90	81	64	51	33	28	33	51	56	44	28
25°-30°	T	99	108	120	100	86	53	32	19	21	37	56	49	40	42
	E _A	51	54	57	48	39	25	12	7	8	15	19	18	16	20
	E _B	45	52	60	50	44	27	20	12	13	22	31	30	23	21
20°-25°	T	25	41	38	32	19	10	8	3	3	7	7	5	9	10
	E _A	13	19	21	15	9	4	2	1	1	1	1	2	3	4
	E _B	11	21	16	15	9	6	5	1	2	6	6	3	6	6
15°-20°	T	2	5	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1
	E _A	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _B	1	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Долгота \ Широта		100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
		-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	-0°	-10°	-20°	-30°	-40°
70°-75°	T	0	2	1	6	5	7	6	7	31	37	50	56	67	85
	E _A	0	0	1	4	3	1	2	4	15	18	18	16	22	42
	E _B	0	2	0	2	2	5	4	3	16	20	31	38	44	42
65°-70°	T	3	9	5	9	12	12	12	25	54	79	85	92	112	129
	E _A	0	2	0	5	5	1	5	12	26	27	31	28	51	67
	E _B	3	7	5	4	5	12	7	12	27	50	53	64	62	63
60°-65°	T	16	24	20	24	30	30	34	53	88	114	129	125	124	143
	E _A	4	8	8	9	7	8	18	27	42	45	57	55	62	71
	E _B	13	17	11	15	22	23	16	24	44	67	73	74	64	69
55°-60°	T	41	62	42	43	44	51	71	111	150	157	169	171	159	151
	E _A	16	27	13	15	13	18	33	56	77	71	75	81	80	84
	E _B	27	34	29	27	33	34	39	52	69	86	96	92	83	68
50°-55°	T	72	81	69	77	79	134	172	209	200	181	159	143	121	119
	E _A	29	32	31	35	34	59	79	102	99	78	72	66	66	71
	E _B	44	48	40	39	46	76	88	101	97	103	93	82	60	50
45°-50°	T	125	140	125	148	204	245	230	191	164	120	109	93	89	88
	E _A	54	69	59	67	94	113	116	92	72	48	47	45	49	48
	E _B	71	71	67	81	109	131	108	99	92	76	67	51	43	40
40°-45°	T	183	195	191	217	252	204	140	96	71	44	55	45	40	30
	E _A	93	98	88	114	117	100	77	46	27	18	26	28	27	25
	E _B	89	97	101	127	134	102	64	55	46	31	33	21	17	9
35°-40°	T	166	155	193	203	134	67	35	29	15	12	13	15	13	5
	E _A	87	81	93	96	64	40	17	11	6	6	9	12	9	4
	E _B	77	75	105	108	69	27	23	22	13	9	10	6	4	2
30°-35°	T	63	79	94	48	10	4	3	3	2	0	0	2	2	0
	E _A	29	36	42	23	4	0	1	1	1	0	0	1	1	0
	E _B	35	45	52	26	6	3	3	3	2	3	3	2	1	0
25°-30°	T	17	19	11	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _A	6	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _B	12	13	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20°-25°	T	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15°-20°	T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	E _B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

IV

Октябрь

Долгота Широта		100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
		-90°	-80°	-70°	-60°	-50°	-40°	-30°	-20°	-10°	-0°	-10°	-20°	-30°	-40°
70°-75°	<i>T</i>	1	0	3	2	12	14	13	19	40	60	98	85	119	156
	<i>E_A</i>	0	0	3	1	3	7	5	9	19	27	44	44	51	74
	<i>E_B</i>	1	0	0	1	7	5	6	10	20	34	47	44	68	80
65°-70°	<i>T</i>	2	7	9	11	18	35	35	48	82	104	128	138	164	174
	<i>E_A</i>	0	2	5	4	5	17	22	25	48	54	72	73	79	91
	<i>E_B</i>	2	4	4	5	12	19	13	22	33	47	56	65	90	80
60°-65°	<i>T</i>	10	27	24	27	41	57	72	96	124	154	156	171	204	186
	<i>E_A</i>	1	7	10	10	15	27	34	48	67	82	83	82	102	102
	<i>E_B</i>	13	20	13	15	26	29	36	45	53	72	77	86	100	84
55°-60°	<i>T</i>	43	52	58	61	70	89	118	150	172	184	188	194	189	154
	<i>E_A</i>	14	21	25	22	30	37	60	81	92	98	103	100	88	65
	<i>E_B</i>	29	35	34	39	39	48	55	69	78	87	86	95	99	90
50°-55°	<i>T</i>	79	109	108	85	106	142	182	204	193	188	184	174	139	122
	<i>E_A</i>	31	47	52	39	56	67	103	106	100	95	91	76	54	55
	<i>E_B</i>	46	58	52	44	47	72	82	98	95	96	95	97	83	66
45°-50°	<i>T</i>	120	162	149	131	151	193	195	184	165	152	134	126	106	88
	<i>E_A</i>	56	84	79	68	79	99	106	90	81	77	67	59	51	40
	<i>E_B</i>	63	75	71	63	72	94	94	95	84	75	68	70	57	48
40°-45°	<i>T</i>	155	167	135	139	181	184	162	140	114	107	97	110	89	53
	<i>E_A</i>	85	93	71	74	97	90	85	67	60	60	51	65	46	27
	<i>E_B</i>	70	75	65	67	84	95	79	66	54	49	47	46	45	27
35°-40°	<i>T</i>	127	105	106	152	157	129	99	69	64	56	71	92	55	26
	<i>E_A</i>	74	60	58	78	77	63	49	32	29	28	43	54	27	13
	<i>E_B</i>	53	49	50	74	81	68	52	35	35	29	31	38	29	13
30°-35°	<i>T</i>	57	61	87	112	92	57	38	28	26	19	27	35	13	5
	<i>E_A</i>	34	33	43	52	42	27	17	11	11	5	11	18	6	3
	<i>E_B</i>	22	28	45	59	50	30	22	15	15	12	16	18	7	2
25°-30°	<i>T</i>	20	38	51	45	31	12	7	6	3	3	5	2	1	1
	<i>E_A</i>	12	22	25	19	9	3	3	3	1	0	0	1	1	1
	<i>E_B</i>	8	15	26	27	20	8	3	3	1	3	5	1	0	0
20°-25°	<i>T</i>	6	13	11	9	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0
	<i>E_A</i>	4	7	5	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>E_B</i>	3	5	6	5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15°-20°	<i>T</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>E_A</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>E_B</i>	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0