

© В. Г. Бахмутов

Институт геофизики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, Київ

СВЯЗЬ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ И КЛИМАТА В ЕВРОПЕ

На основі нових палеомагнітних даних по території північно-східної Європи розраховано траєкторію дрейфу віртуального геомагнітного полюса за останні 13 тис. років. Проведено її аналіз відносно даних про зміни палеотемператур, які зумовлюють основні закономірності зміни ландшафтно-кліматичних періодів і фаз на території центральної — північно-східної Європи. Встановлено, що чергування холодних і теплих періодів пов'язане з віддаленням-наближенням геомагнітного полюса до території Європи. Підтверджено зв'язок між збуреністю геомагнітного поля, обумовленою сонячною активністю, і атмосферною циркуляцією. Зроблено висновок, що положення геомагнітного полюса і корпускулярне сонячне випромінювання вносять суттєвий вклад у формування атмосферної циркуляції у північній півкулі.

ВВЕДЕНИЕ

Изменчивость пространственно-временной структуры магнитного поля Земли (МПЗ) — одна из наиболее характерных его особенностей. Она обусловлена как глубинными процессами, протекающими в земном ядре и на границе ядро — мантия, так и процессами в магнитосфере, в основном обусловленными солнечным волновым и корпускулярным излучением.

На сегодняшний день можно считать установленным фактом, что изменения МПЗ с периодами порядка миллионов и сотен миллионов лет отражают перестройку конвекции в мантии, которая определяет перемещение плит, а значит, изменение координат различных частей суши. Естественно, что климат на этих частях суши коренным образом изменяется. Рассматриваемые ниже закономерности имеют другие характеристические времена, которые по временному масштабу условно можно разделить на две части. Первая — от сотен и первых тысячи лет, а вариации МПЗ обусловлены процессами в ядре Земли и на границе ядро — мантия, вторая — от десятков секунд до суток, где вариации МПЗ связаны с процессами в магнитосфере.

Изменения МПЗ во времени не могут не оказывать влияния на изменение окружающей среды. В настоящее время предложено множество физических механизмов таких взаимодействий — гипотез как в области солнечно-атмосферно-земных связей, так и в области корреляции геомагнитного поля с

глобальными изменениями окружающей среды (в первую очередь через климатические изменения). Однако несовершенна либо вовсе отсутствует база для оценки применимости этих гипотез путем статистического анализа данных. Последних к настоящему времени накоплено огромное количество, фактический материал зачастую неоднозначный и противоречивый, что в итоге приводит исследователей в тупик при попытках разобраться в причинно-следственных связях и механизмах гелиогеофизических процессов. Постановка такой задачи имеет непосредственное отношение к проблеме солнечно-земных связей и обусловлена необходимостью подтверждения либо отрицания гипотез, лежащих в основе природных процессов и их механизмов в рамках недавней эволюции земли как планеты.

Цель настоящей работы — на основе анализа нового фактического материала об пространственно-временной структуре геомагнитного поля проследить связь между вариациями геомагнитного поля и изменениями климата на разных временных масштабах.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Вначале кратко остановимся на проблеме долговременных изменений климата в масштабе сотен и тысяч лет. Здесь был выдвинут ряд гипотез и разработаны теории, которые в первую очередь старались объяснить причины возникновения оледенений. В частности, всеобщее признание получи-

ла астрономическая теория колебаний климата, известная как теория Миланковича. Она не опирается на изменение во времени солнечной постоянной, но предсказывает долговременные изменения количества солнечного излучения, попадающего на границу атмосферы, в связи с изменениями параметров орбиты Земли. В свете этой теории ледниковые эпохи и теплые интергляциалы в течение ледниковых периодов, отдельные ледниковые стадии и теплые межстадиалы в течение ледниковых эпох могут быть объяснены свойствами системы атмосфера — океан — лед и изменениями астрономических факторов [8, С. 274]. Однако даже активными сторонниками этой теории был поставлен ряд вопросов, которые до настоящего времени остаются открытыми, в частности: каковы причины кратковременных резких изменений климата и погоды? каковы причины возникновения малых ледниковых эпох? могут ли относительно небольшие изменения в сезонной инсоляции быть достаточными для объяснения резких изменений в развитии ледникового покрова? Другими словами, вопрос о причинах короткопериодных изменений климата продолжительностью сотни и первые тысячи лет не находит объяснения в рамках астрономической теории, хотя факты существования «малых ледниковых эпох», которые имели место по крайней мере на протяжении последних нескольких тысяч лет, неоспоримо доказаны. Примером тому является развитие так называемого «Малого ледникового периода» в XVII—XIX вв. Как другой пример можно привести резкий переход от ледникового периода к межледниковью на границе позднего плейстоцена — голоцена около 10 тысяч лет назад, когда изменение средней по Земле температуры на несколько градусов произошло всего за несколько сот лет. Хотя время перехода к межледниковью здесь совпало с фазой цикла Миланковича, для объяснения столь стремительного развития глобальных изменений климата, помимо относительно медленно изменяющихся астрономических параметров, должны быть привлечены дополнительные факторы. В частности, в работе [9] указано, что пониженные значения напряженности геомагнитного поля могут привести к глобальному похолоданию. При этом отмечается, что причинно-следственная связь между изменением магнитного поля Земли и климатом должна быть разной для разных характерных времен этих изменений. В настоящее время многими исследователями принята гипотеза, что вариации магнитного момента Земли с периодом порядка миллионов и сотен миллионов лет отражают перестройки конвекции в мантии, которая определяет перемещение литосферных плит, а

значит, резкое изменение географических координат различных частей суши. Естественно, что климат на этих территориях должен изменяться коренным образом. Рассматриваемая в настоящей работе закономерность имеет другие характерные времена — сотни и тысячи лет, и связана с изменением местоположения геомагнитного полюса во времени.

В серии работ [3, 14, 16] была предпринята попытка объяснить причины длительных и кратковременных изменений климата и погоды в связи с изменением корпускулярного излучения, сопровождаемого изменениями геомагнитной активности. В частности, был сделан вывод, что положение геомагнитного полюса (как центра аврорального овала) вместе с корпускулярным солнечным излучением (обуславливающим геомагнитную активность) существенно влияет на изменение атмосферной циркуляции в Европе. Если этот вывод принять как рабочую гипотезу, то изменение местоположения геомагнитного полюса в масштабе сотен — первых тысяч лет также должно быть отражено в долговременных изменениях климатической ситуации.

ДЛИННОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВНУТРЕННИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Анализ новых данных об местоположении виртуальных геомагнитных полюсов (ВГП), которые были получены по результатам палеомагнитных исследований озерных отложений, наряду с данными об изменении палеотемператур за последние 13 тыс. лет, позволяет по-новому подойти к рассмотрению этой проблемы [1].

В основу выделения и подразделения позднеледниковья-голоцена на ландшафтно-климатические периоды и фазы многими исследователями положена модифицированная схема Блитта — Сернандера, хорошо отражающая характер основных природных изменений, по крайней мере в масштабах Северной Евразии. Эта схема неоднократно уточнялась и детализировалась, и к настоящему времени в каждом из этих периодов в свою очередь выделены фазы с достаточно точно установленными хронологическими рамками и климатическим содержанием. Подробная хронология и климатическая характеристика подразделений схемы дана в работах [10, 11]. Уточненный вариант схемы подразделений голоцена, отражающий характер сверхвековых ландшафтно-климатических изменений в центре Русской равнины, представлен на рис. 1. Здесь же приведена динамика ландшафтно-климатических условий в голоцене, рассчитанная мето-

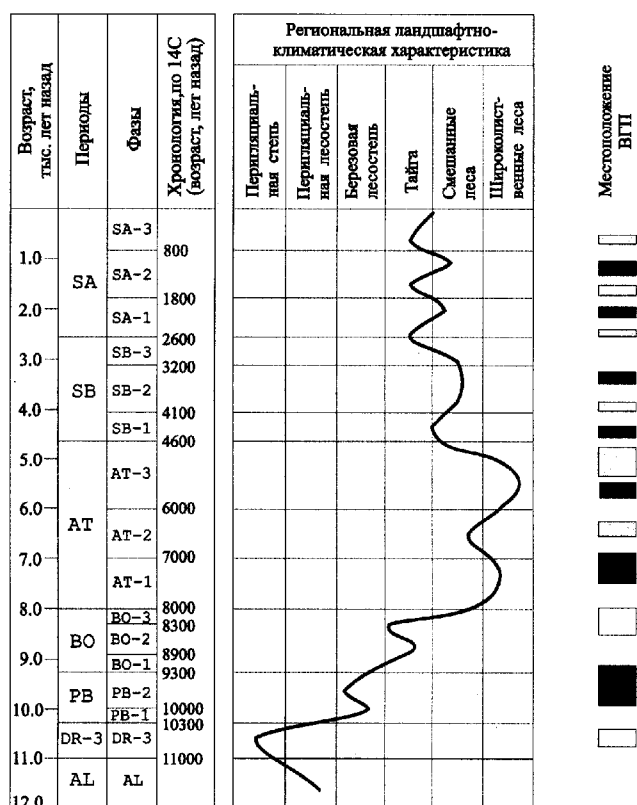


Рис. 1. Динамики ландшафтно-климатических условий в центре Русской равнины в позднеледниковье — голоцене. В правой части темными и светлыми прямоугольниками приведены периоды соответственно приближения и удаления ВГП относительно Европы

дом информационно-статистического анализа [5, 6], которая по существу отражает вариации палеотемператур.

В результаты палеомагнитных исследований осадочных толщ на территории северной — северо-восточной Европы (Карелия, Кольский п-ов, Прибалтика и т. д.) были построены сводные кривые вариаций склонения и наклонения геомагнитного поля за последние 13 тыс. лет [1]. Этот материал представляет для анализа особую ценность, поскольку:

а) он получен для высокоширотной области, где наиболее контрастно выражены долговременные изменения природной среды и климата, а влияние недипольных источников геомагнитного поля минимально, что позволяет получить информацию о характерных особенностях изменения главного диполя;

б) доказана его достоверность, поскольку изменение геомагнитного поля во времени изучалось по

разным осадкам — озерным, озерно-ледниковым, ледниково-морским и морским;

в) он является высокоинформативным и имеет хорошую возрастную привязку; шаг дискретизации не превышает первых десятков лет, а ориентировка образцов по магнитному склонению позволяет рассчитать координаты ВГП для большей части исследуемого временного интервала;

г) он снимает проблему корреляции палеоклиматических и палеомагнитных данных, поскольку фактический материал получен на одних и тех же объектах.

На рис. 2 представлена траектория дрейфа ВГП для разных эпох, цифры соответствуют определениям возраста (в тысячах лет). Здесь же более темными и более светлыми тонами схематически приведены эти же траектории дрейфа ВГП соответственно для холодных стадийальных и теплых интерстадийальных периодов (обозначены буквами); при этом чем теплее период, тем светлее тон. Для анализа дрейфа ВГП в позднем голоцене были привлечены результаты надежных археомагнитных определений по ближайшей к исследуемому району территории Украины, которые охватывают последние 5500 лет [4].

Если проанализировать траекторию дрейфа ВГП относительно изменений природных условий в позднеледниковье — раннем голоцене, которые отражены в региональной кривой изменения ландшафтно-климатических характеристик (рис. 1), то очевидна следующая закономерность. Как следует из рис. 2, при приближении траектории дрейфа ВГП к северной Европе холодные стадийальные периоды (темные тона) сменяются теплыми интерстадиалами (светлые тона), и наоборот, при удалении полюса с небольшой задержкой наступает похолодание. Так, в среднем (DR-2) и верхнем (DR-3) дриасе траектория дрейфа ВГП проходила существенно дальше от Европы, чем в интерстадиале аллеред (рис. 2, а). С началом пребореала (PB, около 10.3 тыс. лет назад) — переломного периода перед последующим всеобщим потеплением климата — траектория дрейфа ВГП проходит наиболее близко к территории северной Европы (рис. 2, б). В это время геомагнитный полюс пересекал территорию Кольского полуострова на рубеже 9.7—9.5 тыс. л. н. [13]). За весь последующий период ВГП никогда более близко к территории Европы не приближался. Направленное потепление продолжалось на фоне чередования теплых и холодных периодов. Траектория дрейфа ВГП в раннем голоцене представлена на рис. 2, в. После половецкого потепления (на границе позднеледниковья — голоцена) полюс смещается к северо-западу по направлению Шпиц-

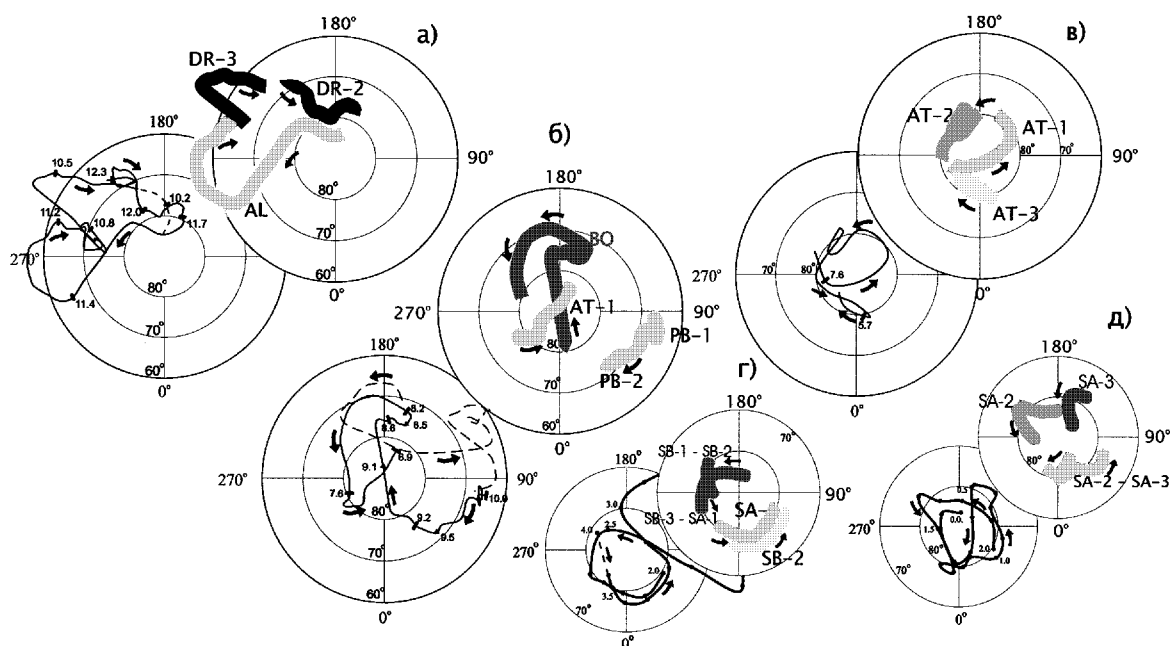


Рис. 2. Траектория дрейфа виртуальных геомагнитных полюсов (ВГП), рассчитанная для эпохи позднеледниковья (а), раннего (б), среднего (в, г) и позднего (д) голоцена. Представлено в равнопромежуточной полярной проекции, 0° соответствует меридиану Гринвича. Цифры у кривых — возраст в тыс. лет. Стрелками указано направление дрейфа ВГП. Схематически дрейф ВГП представлен относительно холодных стадийных (более темные) и теплых интерстадийных (более светлые) периодов. Буквенные обозначения соответствуют периодам и фазам на рис. 1

берген — северный географический полюс — Чукотка — Аляска, а в северо-восточной Европе во второй половине РВ-2 наступает переславское похолодание. Позднее, до 7.6 тыс. л. н., в целом относительно прохладно с наиболее низкими температурами вблизи границы бореала — атлантика; этот экстремум (8.3 тыс. л. н.) фиксируется на палеотемпературных кривых (рис. 1). В это же время траектория дрейфа ВГП проходит на максимальном удалении от северной Европы. Последующему наступлению наиболее теплого периода голоцена — атлантика — соответствует местоположение полюса в районе северной Гренландии (около 7.5 тыс. л. н.).

Анализируя траекторию дрейфа ВГП в атлантике (рис. 2, в), можно сделать вывод о том, что полюс дважды приближался к Европе (при этом более поздняя по времени петля проходила вблизи северо-восточного побережья Гренландии) и один раз удалялся на долготу 180°—240°. Атлантический период характеризуется двумя потеплениями (в АТ-1 и АТ-3, притом на последний приходится абсолютный температурный максимум голоцена) и более прохладным климатом в АТ-2. Соответственно траектория дрейфа ВГП (рис. 2, в) совпадает с периодом похолодания АТ-2 (удаление) и периода-

ми потепления АТ-1 и АТ-3 (приближение) с более близким расположением ВГП к Европейскому континенту в АТ-3. Аналогичную картину мы получим и при анализе траектории дрейфа ВГП в позднем голоцене.

Если теперь представить траекторию дрейфа ВГП относительно приближения либо удаления от Европейского континента (рис. 1), то определенная выше закономерность наиболее очевидна. Таким образом, местоположение геомагнитного полюса как центра аврорального овала через механизмы, изложенные в работах [1, 3, 14—16], может иметь определяющее значение для долговременных (100—1000 лет) климатических изменений в центральной и северной Европе, по крайней мере для последних 13 тыс. лет.

КОРОТКОПЕРИОДНЫЕ ВАРИАЦИИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВНЕШНИМИ ИСТОЧНИКАМИ

Если теперь перейти к рассмотрению процессов в масштабе нескольких дней — нескольких недель, то в первую очередь следует рассмотреть механизм влияния корпускулярного потока на метеорологические процессы. Одним из аргументов против

возможности влияния солнечной активности на атмосферную циркуляцию и связанную с ней погоду является указание на то, что лучистая энергия Солнца во много раз превышает энергию его ультрафиолетового и рентгеновского излучения, солнечного ветра, солнечных корпускулярных потоков магнитного поля Солнца. Общий поток энергии, достигающий магнитосферы, составляет $8.9 \cdot 10^{16}$ Вт. Полная энергия солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП), попадающих на верхнюю границу атмосферы в единицу времени с учетом того, что из-за экранирующего действия геомагнитного поля на Землю проникает менее 1 % энергии, оценивается как [17]

$$P_c = [\pi r_m^2 (0.5 \delta V_s^2 + B^2 / 2 \mu_0) V_s] / 100 = 5 \cdot 10^{10} \text{ Вт},$$

где r_m — радиус магнитосферы Земли, δ — плотность солнечного ветра, B — напряженность ММП, μ_0 — магнитная проницаемость вакуума.

Эта величина составляет менее одной миллионной доли в потоке солнечной энергии, достигающей Земли, что совершенно недостаточно для возмущения или преобразования атмосферной циркуляции после проникновения доли энергии в стратосферу или тропосферу. Однако с учетом влияния некоторых дополнительных факторов оказывается, что поток корпускулярного излучения может сыграть роль спускового механизма, который активизирует процессы в атмосфере. Этот спусковой механизм можно представить следующим образом.

Среднее годовое количество лучистой энергии, падающей на приполюсные области, равно только 0.4 такого же значения для экватора. Кроме того, на ночную сторону Земли, а также зимой на дневную сторону в области полярных шапок, где заряженные частицы могут легче всего проникать в верхнюю и среднюю атмосферу полярных широт через магнитосферный хвост, лучистая энергия не поступает. Здесь доля корпускулярной и магнитной энергии велика, особенно если учесть что она поступает в атмосферу через довольно узкую околополюсную широтную зону вблизи зоны полярных сияний (авроральный овал). Принимая ширину этого пояса, центрированного на широту 65° , равной 10° , его площадь на освещенной Солнцем стороне Земли будет равна $9.35 \cdot 10^6$ км². Именно на эту площадь следует умножить солнечную постоянную в формуле (1), а также на коэффициент 0.42 учитывая наклонное падение потока излучения. Принимая во внимание, что зимой снежный и облачный покров может увеличить альбедо Земли до 0.9, получаем, что при зенитном Солнце поток лучистой энергии для этой части земной поверхности в единицу времени составляет $5 \cdot 10^{14}$ Вт.

Во время интенсивной геомагнитной бури энергия, запасенная в хвосте магнитосферы и составляющая около 10^{18} Дж, переходит в верхние слои атмосферы примерно за 10^4 с, т. е. в верхней атмосфере в довольно узком поясе диссипируется мощность около 10^{14} Вт. Кроме того, на ночной стороне энергия солнечного ветра будет единственным внешним источником энергии. Этого вполне достаточно, чтобы поток сыграл роль спускового механизма, в частности для зимнего периода. Энергия типичного циклона составляет $5.3 \cdot 10^{17}$ Дж при угловой скорости $6 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹, что сравнимо с энергией магнитной бури. Таким образом, если поток энергии эффективно направлен, магнитосфера обладает ресурсами, которые, вероятно, могут влиять на образование вихрей в нижней атмосфере. Один из таких механизмов влияния корпускулярного потока на метеорологические процессы рассмотрен в цикле работ [3, 14, 16].

Общая циркуляция атмосферы в значительной степени контролируется центрами действия атмосферы — обширными квазистационарными областями высокого и низкого давления, распределенными вокруг Земли. Известно два основных типа атмосферной циркуляции: зональный и меридиональный. В северном полушарии, где площади, занятые океанами и континентами, сопоставимы, а контраст температур суша — океан значителен, есть благоприятные условия для меридионального типа циркуляции. Здесь в средних широтах в течение сезона неоднократно наблюдается смена типов циркуляции.

Изменение общей атмосферной циркуляции зависит не только от интенсивности и динамики центров действия атмосферы, но, в соответствии с вышеизложенным, вероятно связано с процессами в авроральном овале в периоды возрастания корпускулярного излучения (и связанной с ним геомагнитной активности). Связь между последней и воздушными течениями можно проследить, анализируя синоптическую ситуацию при разной геомагнитной активности.

Было установлено, что геомагнитная активность, характеризуемая K_p -индексом, коррелирует с динамикой планетарных высотных фронтальных зон. Этот результат был получен при анализе поля приземного давления и его поля геопотенциала на уровне 500 мбар для геомагнитной активности внутри каждого месяца года за период 1964—1999 гг. [2, 7].

На рис. 3 вверху приведен эталон барических полей у поверхности земли (рис. 3, а) и на среднем уровне тропосферы (500 мбар) (рис. 3, б) в период повышенной (вверху) и пониженной (внизу) геомагнитной активности. Очевидно, что меридио-

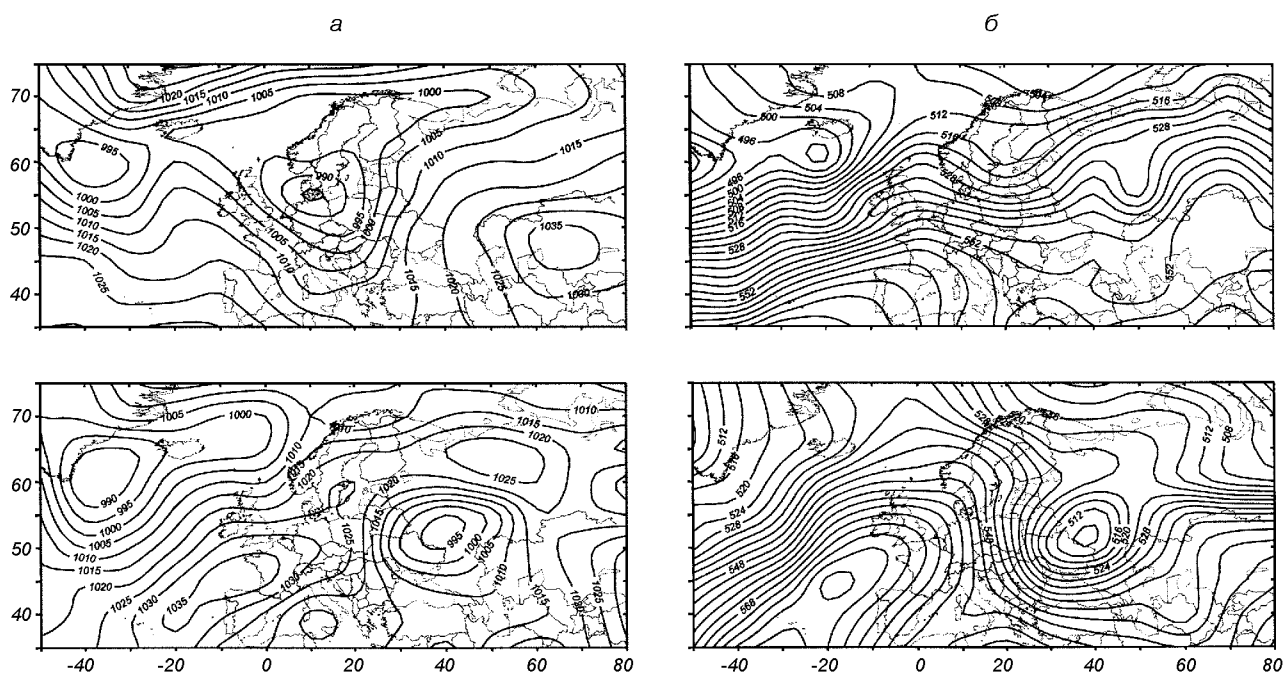


Рис. 3. Эталон барических полей у земли (а) и на среднем уровне тропосферы (500 мбар) (б) в период повышенной (вверху) и пониженной (внизу) геомагнитной активности

нальность атмосферной циркуляции с неблагоприятными погодными условиями усиливается в годы низкой геомагнитной активности. При высокой геомагнитной активности отмечаются более устойчивые барические образования и связанные с ними погодные условия, определяющиеся широтным положением высотно-фронтальной зоны на среднем уровне тропосферы. Атмосферные процессы преобразуются в сторону усиления циклоничности после максимумов геомагнитного индекса и в сторону усиления антициклоничности после его минимумов.

Этот вывод согласуется с ранее полученными результатами [12, 15], согласно которым в северном полушарии зимой практически после каждой сильной магнитной бури следует повышение температуры в области аврорального овала. Результатом внезапного значительного возрастания температуры на станциях, расположенных вдоль области аврорального овала, является повышение атмосферного давления вокруг внешней части аврорального овала. Возрастание температуры и давления фиксируются не только на высотах нескольких сотен километров, как показывают спутниковые данные, но и в стратосфере и тропосфере, а также на уровне моря. Такое возрастание температуры наблюдается в основном в зимнее время, в то время как летом интенсивность этого процесса на порядок

меньше, что следует из соотношения общего потока солнечной энергии в северном полушарии зимой ($6.0 \cdot 10^{15}$ Вт) и летом ($8.9 \cdot 10^{16}$ Вт). Результатом внезапного значительного возрастания температуры на станциях, расположенных вдоль области аврорального овала (см. рис. 1 работы [15]), является повышение атмосферного давления вокруг внешней части аврорального овала. Так, на уровне 500 мбар вдоль наружной части аврорального овала возрастание температуры на $2\text{--}10^\circ\text{C}$ и давления на $10\text{--}20$ мбар следует сразу после усиления геомагнитной активности. При этом в ближайшие несколько дней циклогенез усиливается у поверхности земли, высотно-фронтальная зона опускается к югу, усиливая циклоническую деятельность над северным полушарием.

Если рассматривать развитие этого процесса относительно квазистационарных областей высокого и низкого давления, то во время низкой геомагнитной активности, когда имеет место меридиональная циркуляция, по восточной периферии высотной ложбины низкого давления происходит адвекция теплого воздуха, который ведущим потоком поднимается в северные широты, в то время как холодный воздух по западной периферии этой ложбины опускается в более южные широты. С другой стороны, при возрастании геомагнитной активности наблюдается уменьшение меридионального гради-

ента (экватор — полюс), что приводит к зональной циркуляции атмосферных процессов в тропосфере. Таким образом, геомагнитная активность связана с глобальным характером атмосферных процессов, так как изменение одного типа циркуляции на другой имеет место во всем северном полушарии одновременно.

ВЫВОДЫ

Анализ траектории дрейфа ВГП относительно стадийных — интерстадийных периодов в эпоху позднеледниковья — голоцена очевидно свидетельствует о связи чередования холодных и теплых периодов в северной и центральной — восточной части европейского континента с местоположением геомагнитного полюса. А процессы в авроральном овале, обусловленные геомагнитной активностью, оказывают существенное влияние на атмосферную циркуляцию. Из этого следует, что местоположение геомагнитного полюса (как центра аврорального овала) может оказывать влияние на характер атмосферной циркуляции, и следовательно, на динамику долговременных климатических изменений в Европе. И если причиной долговременных климатических изменений в масштабе десятков — сотен тысяч лет являются астрономические факторы (изменение параметров орбиты Земли), то колебания климата в масштабе нескольких сотен — первых тысяч лет каким-то образом связаны с пространственно-временной структурой МПЗ.

Конечно, нет оснований предполагать, что колебания климата обусловлены вариациями геомагнитного поля, однако корреляция прослеживается. Вероятно, и те и другие являются следствием какого-либо третьего (внеземного) фактора. Тем не менее, выявленная закономерность подтверждается достаточно надежным фактическим материалом и, по мнению автора, может быть принята в качестве рабочей гипотезы с последующим ее развитием и всесторонним анализом как в области исследования солнечно-земных связей, так и в рамках накопления нового фактического материала по палеоклиматическим реконструкциям и вековым вариациям магнитного поля Земли.

1. Бахмутов В. Г. Связь вариации геомагнитного поля с палеоклиматическими изменениями в центральной и северной Европе за последние 12500 лет // Геофиз. журнал.— 1999.—21, № 4.—С. 40—58.
2. Бахмутов В. Г., Мартазинова В. Ф., Чулков И. С. Влияние возмущенности геомагнитного поля на процессы атмосферной циркуляции в северном полушарии // Гидрометеорологические исследования в Украине: Тр. УкрНИГМИ. — Киев: УкрНИГМИ, 2000.—Вып. 248.—С. 22—35.

3. Буха В. Причины оледенений и быстрых изменений климата и погоды // Четвертичные оледенения Западной Сибири и других областей северного полушария. — Новосибирск: Наука, 1981.—С. 14—24.
4. Загний Г. Ф., Русаков О. М. Археологические вариации геомагнитного поля Юго-Запада СССР. — Киев: Наук. думка, 1982.—128 с.
5. Изменение климата и ландшафтов за последние 65 млн. лет (кайнозой: от палеоцена до голоцена) / Под ред. А. А. Величко). — М.: ГЕОС, 1999.—260 с.
6. Климанов В. А. К методике восстановления количественных характеристик климата прошлого // Вестник МГУ. Сер. 5. География.—1976.—№ 2.—С. 92—98.
7. Мартазинова В. Ф., Бахмутов В. Г., Чулков И. С. Геомагнитная активность и атмосферная циркуляция // Геофиз. журнал.—2004.—26, № 1.—С. 96—108.
8. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. — Л.: Гидрометеоздат, 1979.—408 с.
9. Петрова Г. Н., Распопов О. М. Связь изменений магнитного момента Земли и палеоклимата за последние 12 тысяч лет // Геомагнетизм и аэрономия.—1998.—38, № 5.—С. 141—150.
10. Хотинский Н. А. Голоцен Северной Евразии. — М.: Наука, 1977.—159 с.
11. Хотинский Н. А. Дискуссионные проблемы реконструкции и корреляции палеоклиматов голоцена // Сб. Палеоклиматы позднеледниковья и голоцена. — М.: Наука, 1989.—С. 12—17.
12. Чернопруд В. Е., Мулюкова Н. Б., Мустель Э. Р. О возрастании неустойчивости зимней тропосферы в умеренных широтах северного и южного полушарий Земли после вхождения ее в солнечные корпускулярные потоки // Тр. ГМИ СССР.—1991.—Вып. 316.—С. 106—109.
13. Bakhmutov V., Yevzerov V., Kolka V. Geomagnetic secular variations of high-latitude glaciomarine sediments: data from Kola Peninsula, northwestern Russia // Phys. Earth and Planet Inter.—1994.—85.—P. 143—153.
14. Bucha V. Direct relations between solar activity and atmospheric circulation, its effect on changes of weather and climate // Studia geoph. et geod.—1983.—27.—P. 19—45.
15. Bucha V. Influence of corpuscular radiation on changes in the middle atmosphere and troposphere // Adv. Space Res.—1988.—8, N 2.—P. (7)205—(7)210.
16. Bucha V., Bucha V. Geomagnetic forcing of changes in climate and in the atmospheric circulation // J. Atm. and Solar-Terr. Phys.—1998.—60, N 2.—P. 145—169.
17. Dessler A. J. Some problems in coupling solar activity to meteorological phenomena // Symp. Possible relations between Solar Activity and Meteorological Phenomena, Nov. 1973, Aeronautics and Space Admin.—1974.—P. 299—318.

THE CONNECTION BETWEEN GEOMAGNETIC SECULAR VARIATIONS AND ATMOSPHERIC CIRCULATION AND CLIMATE CHANGES IN EUROPE

V. Bakhmutov

On the basis of new palaeomagnetic data from the NE Europe, the drift of virtual geomagnetic pole throughout the past 13 kyr is calculated. An analysis of the data with respect to palaeotemperature and palaeoclimate phases in N-NE Europe is carried out. The alternation of cold and warm stages as a function of approaching (receding) the virtual geomagnetic pole to Europe is established. The relationship between geomagnetic field disturbances caused by solar activity and atmospheric circulation is confirmed. We conclude that the position of the geomagnetic pole and corpuscular solar radiation have a significant effect on atmospheric circulation in the north hemisphere.