

ГЕОМАГНИТНЫЕ ЭКСКУРСЫ ХРОНА БРЮНЕС И ГЛОБАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ

©2000г. Г. А. Поспелова

Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Поступила в редакцию 10.01.99 г.

Проанализирован материал по геомагнитным экскурсам хрона Брюнес, а также по связи экскурсов с глобальными климатическими изменениями. По поведению геомагнитного поля и по длительности экскурсы делятся на два типа: короткие ($\sim 10^2$ – 10^3 лет) с неполным обращением геомагнитного поля и длительные ($\sim 10^4$ лет) с полным обращением поля. Экспериментально установлено, что экскурсии проходили в различных климатических условиях, начало и завершение экскурсов, независимо от их возраста и типа, приурочены к похолоданиям. Сопоставление шкалы экскурсов хрона Брюнес с кривой солнечной радиации, рассчитанной по теории М. Миланковича, показало, что экскурсии происходили во время максимумов солнечной радиации. На одном из объектов исследований получена четкая корреляция между изменением напряженности геомагнитного поля и изменением климата по палинологическим данным. Подобная корреляция прослежена между палеонапряженностью, записанной в глубоководных донных колонках экваториальной части Тихого океана, и изотопно-кислородными стадиями. Обсуждаются дискуссионные вопросы о связи изменений геомагнитного поля и глобальных климатических осцилляций. Выдвинуто предположение об общей причине, регулирующей эти изменения.

ВВЕДЕНИЕ

Существование экскурсов геомагнитного поля в настоящее время не вызывает сомнений. Однако, как ведет себя направление геомагнитного поля в течение разных экскурсов, при какой напряженности геомагнитного поля происходят экскурсии, имеют ли место корреляционные связи геомагнитных экскурсов с различными изменениями в геосфере и биосфере – эти вопросы остаются пока открытыми. Наибольшее внимание уделено выявлению корреляций между геомагнитными экскурсами и глобальными климатическими осцилляциями [Фотиади, Поспелова, 1982; Pospelova, 1990; Петрова и др., 1992 и др.]. И геомагнитные экскурсии и климатические изменения относятся к глобальным процессам, которые требуют рассмотрения всего земного шара в целом, а именно: его состава, строения, вращения, положения и движения в Солнечной системе. Вопросам связи между геомагнитным полем и климатическими изменениями неоднократно посвящались специальные симпозиумы Европейского Геофизического Союза в 1995–1997 гг. Поиски связей между геомагнитными экскурсами и глобальными климатическими изменениями продолжаются.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ЭКСКУРСЫ

Геомагнитные экскурсии представляют собой резкие колебания направления геомагнитного поля в виде импульсных выбросов, которые сме-

няются стационарным полем вековых вариаций. На данном этапе исследований принято следующее определение геомагнитного экскурса. Эккурс – это кратковременное (10^2 – 10^4 лет) изменение направления геомагнитного поля, амплитуда которого не менее, чем в три раза превышает уровень вековых вариаций, а если достигается обратная полярность, то она неустойчива (рис. 1а, 1б). Продолжительность экскурсов коротка – от сотен лет до первых тысяч лет, что меньше длительности одного-трех основных периодов геомагнитного динамо, период которого $\sim 9 \pm 1$ тыс. лет [Петрова и др., 1992].

По поведению геомагнитного поля в период экскурсов и по длительности экскурсов можно разделить, по крайней мере, на два типа, которые, возможно, имеют и различную природу [Фотиади, Поспелова, 1982; Pospelova, 1990, Петрова и др., 1992]. Первые – короткие экскурсии, длительностью от сотен лет до первых тысяч лет (рис. 1а). Характерной чертой экскурсов этого типа является неполное обращение геомагнитного поля. Ход виртуального геомагнитного полюса ВГП подобен движению бумеранга: наблюдается крупный выброс ВГП, иногда почти до полного обращения, с возвратом в исходное стационарное состояние. Причем таких выбросов может быть несколько. Обратное геомагнитное поле во время таких экскурсов отсутствует. Этот тип экскурсов полностью соответствует своему названию (рис. 1а). По-видимому, короткие экскурсии пока не все обнаружены в хроне Брюнес.

Для двух экскурсов первого типа Моно и Каргаполово автором было установлено, что ВГП имеет общие черты по местоположению и по движению, если места палеомагнитной записи экскурсов расположены близко или на одних широтах [Фотиади, Поспелова, 1982; Petrova, Pospelova, 1990], но положение ВГП и их ход у экскурсов,

зафиксированных в далеко отстоящих точках Земного шара, различаются.

Экскурсы второго типа – длительные, по продолжительности близки к основному периоду магнитного динамо или превышают его (рис. 1б). Длительные экскурсы, такие как Блейк, Эмперор, Елунино-VII, Лог Красный, Уреки-II подоб-

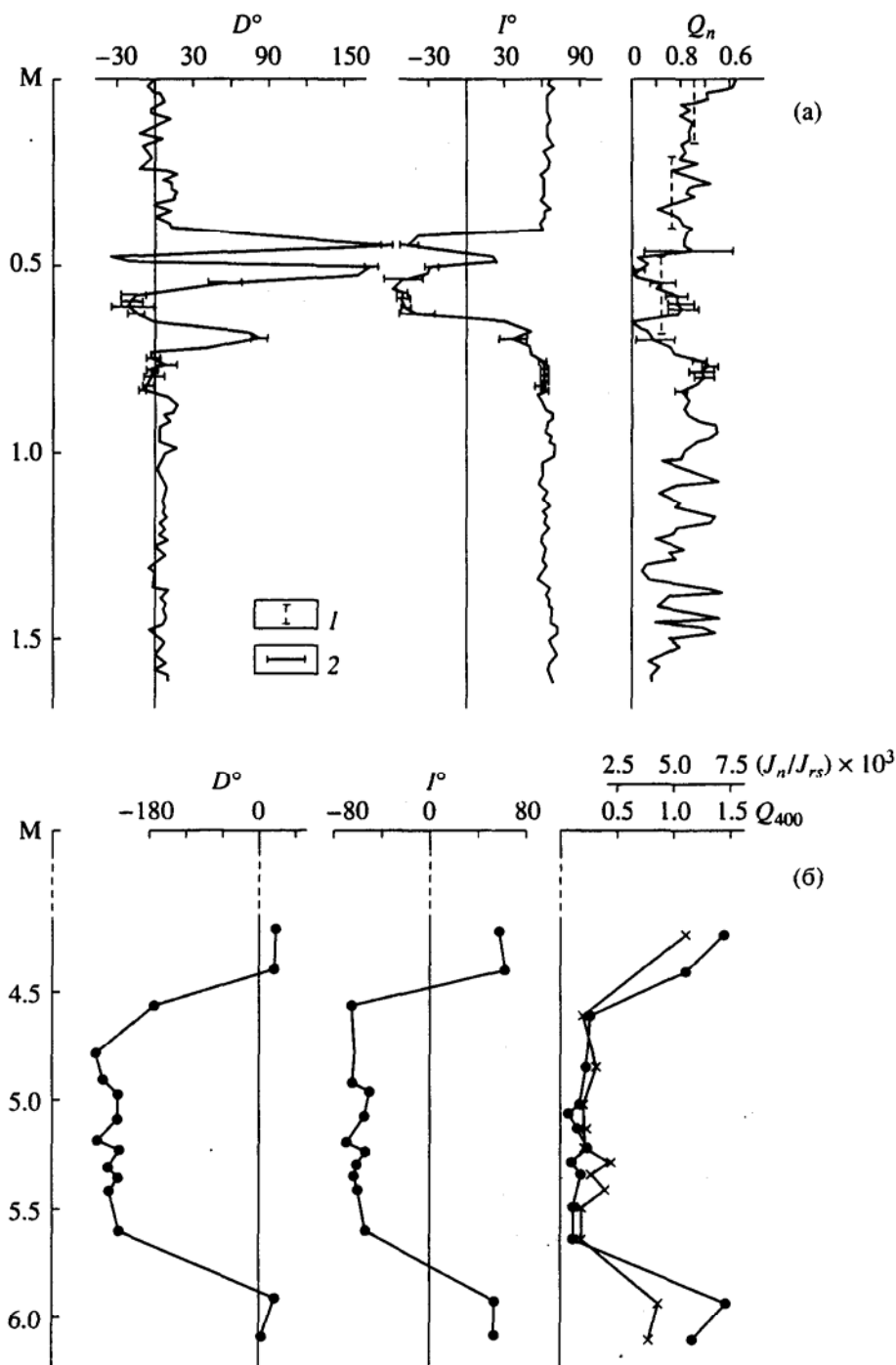


Рис. 1. Поведение векторных элементов геомагнитного поля – склонения D и наклонения I и Q_n , J_n/J_{rs} , отражающих напряженность геомагнитного поля во время и вблизи геомагнитных экскурсов: (а) – экскурс Каргаполово (юг Зап. Сибири); I – коэффициент лабораторного пересадения пород, 2 – дисперсия значений на уровне отбора; (б) – экскурс Лог Красный (бассейн Верхнего Дона).

ны по направлению поля субхронам, т.е. во время этих экскурсов направление геомагнитного поля преимущественно обратное (рис. 16). Разделение экскурсов первого и второго типа окончательно не выполнено, так как не всегда удается уверенно выделить первичный компонент намагниченности из-за частичного перемагничивания пород по современному полю.

Установлено, что экскурсы происходили, когда напряженность геомагнитного поля была пониженной (рис. 1а, 1б) [Поспелова, 1971; 1973; Петрова и др., 1992; Valet et al., 1993; Поспелова, Шаронова, 1999 и др.]. В некоторых работах с минимумами напряженности геомагнитного поля сопоставляют экскурсы геомагнитного поля и уточняют возраст экскурсов [Valet et al., 1993] (рис. 7).

Исследования связи между геомагнитными экскурсами и климатическими изменениями выполнены на частных разрезах, в которых прослежены записи экскурсов, как в донных океанических и морских колонках, так и на разрезах континентальных осадочных пород. Результаты этих исследований оказались противоречивыми. В донных колонках среднего и позднего плейстоцена, формировавшихся от 450-400 тыс. лет до современности, в северной части Тихого океана [Wollin et al., 1971], в глубоководном бассейне восточной части Средиземного и Карибского морей [Ryan, 1972; и другие] кривые изменений наклонения были сопоставлены с кривыми климатических изменений, построенными на основе изотопно-кислородных данных, а в Средиземном море и по фауне. В результате этой привязки было установлено, что геомагнитные экскурсы коррелируют с повышением температуры Мирового океана (рис. 2). Однако не всегда палеомагнитные и изотопные исследования выполнены на одних и тех же колонках. Кроме того, в донных колонках выявлены записи не всех экскурсов. С другой стороны, Х.-У. Ворм [Worm, 1997], анализируя возраст геомагнитных экскурсов и лучшую запись экскурсов в осадках Арктического океана [Novaczyk et al., 1994], приходит к выводу, что экскурсы происходили во время оледенений. В подтверждение этой точки зрения Х.-У. Ворм указывает, что в лессово-почвенных разрезах Китая записи геомагнитных экскурсов обнаружены в лессах, а не в почвах [Heller et al., 1996]. Думаю, что более полная запись экскурсов в Арктическом бассейне обусловлена лучшей сохранностью первичной остаточной намагниченности в породах в северных регионах земного шара, о чем свидетельствуют ранее выполненные палеомагнитные работы на юрских и нижнемеловых породах Сибири [Поспелова и др., 1967].

В работах Н.С. Болиховской доказано, что классическая точка зрения на формирование лес-

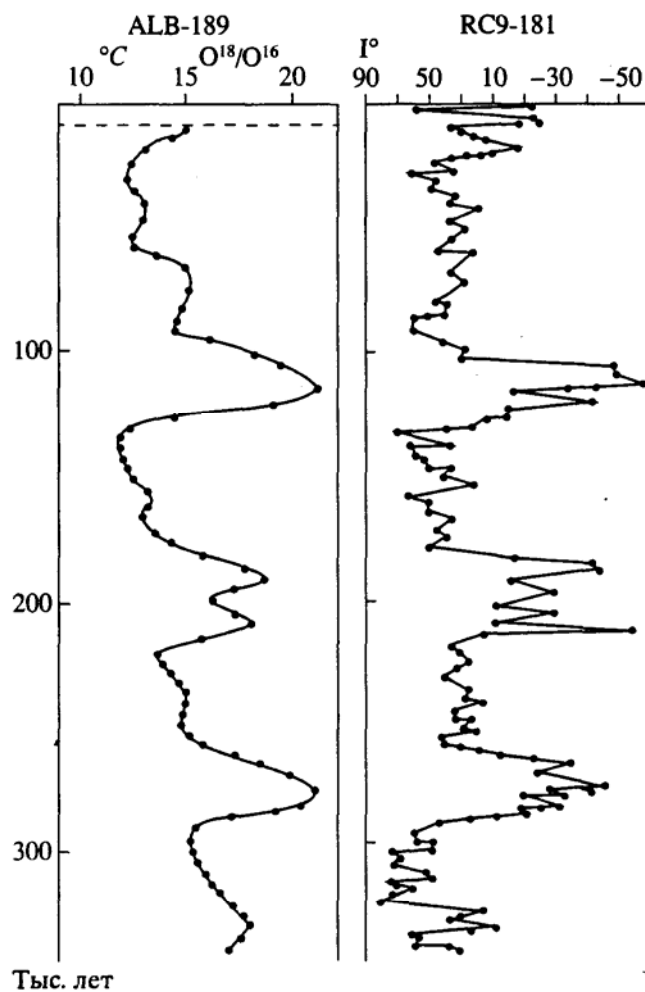


Рис. 2. Сопоставление изменений наклонения в донной колонке с изотопно-кислородной кривой [из статьи Wollin et al., 1971].

сово-почвенной формации в определенных климатических условиях не всегда справедлива. Погребенные почвы могут формироваться не только в периоды межледниковья, но и при похолодании, а лессы и лессовидные породы как во время максимумов похолодания, так и в климатических оптимумах межледниковья [Болиховская, 1995].

Колебание температуры от оптимума межледниковья до экстремума похолодания в четвертичный период на экваторе в Тихом океане составляло 3.5°, в Атлантическом океане – до 5.5°, в Карибском море – до 7.5° [Боуэн, 1981]. На континентах амплитуда колебаний среднегодовой температуры от климатических оптимумов межледниковья до экстремумов похолодания превышала 10°C [Боуэн, 1981], по В. Загвийну амплитуда колебаний в раннем плейстоцене составляла 15°C (рис. 3) [Zagwijn, 1985]. Амплитуда колебаний температуры на континентах превышает амплитуду в океанах на 10°C. Это позволяет более четко и деталь-

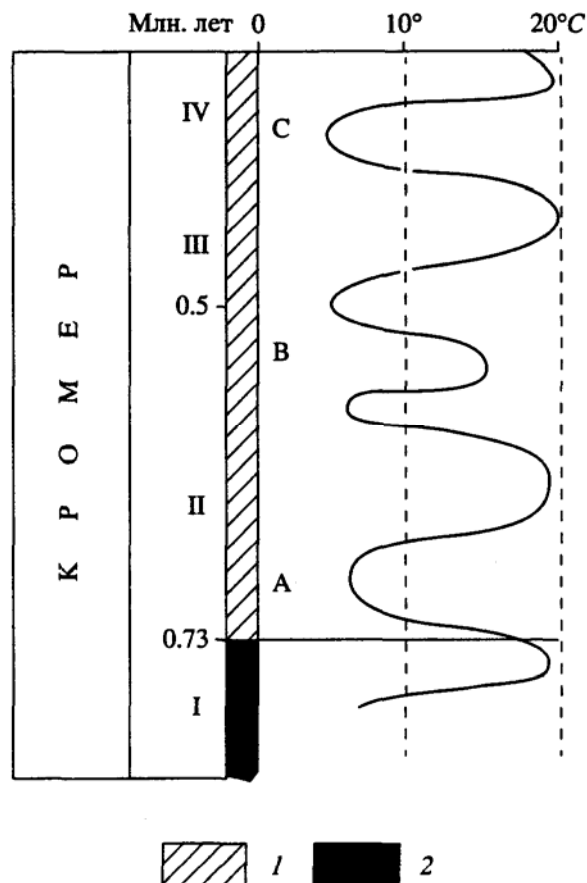


Рис. 3. Температурная кривая по палинологическим данным отложений кромера: 1 – прямая полярность, 2 – обратная полярность, I–IV – интергляциалы, А, В, С – гляциалы [Zagwijn, 1985].

но расчленить континентальные толщи на разные климатические стадии.

В разрезах четвертичных континентальных отложений, которые из-за большой скорости осадконакопления дают более полную информацию, чем океанические, в течение хрона Брюнес записи экскурсов обнаружены в горизонтах ископаемых почв, в толщах лессов и лессовидных пород и в ледниковых отложениях – моренах. Это указывает, что экскурсии, возможно, происходили в разных климатических условиях, как при потеплениях, так и при похолоданиях климата. Приведем пример трех случаев различной связи между геомагнитными экскурсами и климатическими изменениями, полученными в разрезах на континентах. Экскурс Уреки II, выявленный в подошве древнеэвксинских слоев Причерноморья, возраст которого сейчас считают равным ~620 тыс. лет, В.А. Зубаков коррелирует с холодной 16 изотопно-кислородной стадией [Зубаков и др., 1976; Зубаков и др., 1983]. Экскурс Каргаполово, записанный в отложениях лессово-почвенной формации Приобского плато (юг Западной Сибири),

происходил по данным спорово-пыльцевому анализу в более теплый климат, чем современный [Поспелова и др., 1986]. В разрезе Большая Речка спорово-пыльцевая диаграмма отложений, в которых обнаружена палеомагнитная запись экскурса Большая Речка, аналога экскурса Моно, свидетельствует о том, что климат во время экскурса был влажный, умеренно прохладный, сходный с теперешним или немного холоднее его. После завершения экскурса Большая Речка происходило максимальное зырянское оледенение [Архипов, 1971]. Оценка климатической обстановки во время геомагнитных экскурсов основывалась либо на литологии пород, либо на палинологических данных, выполненных независимо от палеомагнитных исследований. Отсутствие точной привязки палеомагнитных и палинологических данных может привести к неверным выводам. В связи с этим были поставлены специальные работы на лессово-почвенных и пещерных разрезах, в первых из которых возможна более полная запись экскурсов, во вторых наблюдается лучшая сохранность первичной остаточной намагниченности пород J_n .

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ И ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСКУРСОВ ХРОНА БРЮНЕС

Палеомагнитные исследования, выявляющие запись геомагнитных экскурсов, и спорово-пыльцевой анализ, позволяющий четко оценить климатические условия, в которых формировались породы, были проведены на одном и том же фактическом материале (штуф делится на две части, либо брался образец-дубль).

В опорном нижнеплейстоценовом разрезе Лог Красный в бассейне Верхнего Дона в трех расчленках ниже донской морены в нижней части терновской ископаемой почвы и в верхней части колешнянского лесса была обнаружена запись экскурса Лог Красный, происходившего ~620 тыс. лет тому назад. [Поспелова и др., 1997]. Направление геомагнитного поля в течение экскурса Лог Красный было обратным современному. Оценка относительных значений напряженности геомагнитного поля выполнена по фактору $Q_{n400} = J_{n400}/KH$, где J_{n400} после нагрева до 400°C в нулевом поле, K – магнитная восприимчивость, а $H = 40$ А/м, и по $R_{ns} = J_n/J_{rs}$, где J_{rs} остаточная намагниченность насыщения в постоянном магнитном поле 14×10^5 А/м. Получено, что напряженность поля во время экскурса была в 3–4 раза ниже, чем в период стационарного поля до экскурса и после его завершения.

В течение экскурса Лог Красный климатическая обстановка была неоднородной: наблюдалось два экстремума похолодания и два оптимума –

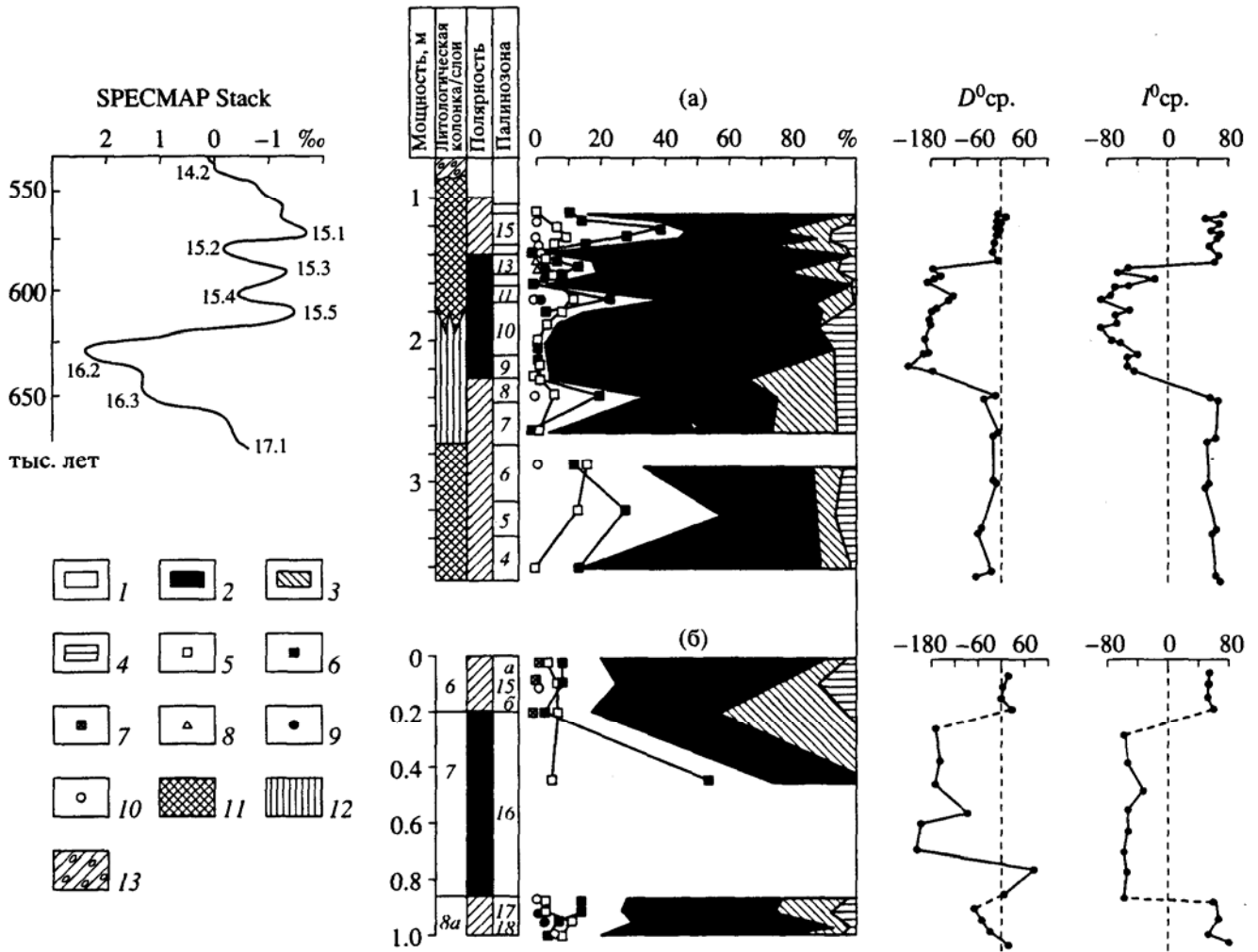


Рис. 4. Корреляция палеомагнитных и палинологических данных в разрезе Лог Красный с изотопно-кислородными стадиями (а); палеомагнитные и палинологические данные пород разреза в пещере Матузка (Сев. Кавказ) (б): 1 – пыльца древесных пород, 2 – пыльца мезофильных травяно-кустарничковых растений, 3 – пыльца ксерофильных травяно-кустарничковых растений, 4 – споры, 5 – пыльца ольхи, 6 – сумма пыльцы широколиственных древесных пород, 7 – пыльца ели, 8 – пыльца сосны, 9 – пыльца березы, 10 – пыльца ольховника, 11 – погребенная почва, 12 – лесс, 13 – суглинок моренный. Остальные условные обозначения см. на рис. 3.

межледниковья и межстадиала. Начало экскурса, записанное в лессе, происходило в течение длительного похолодания. Во второй половине экскурса, записанного в ископаемой почве, похолодание сменилось двумя оптимумами, разделенными кратковременным похолоданием. Такая сложная картина изменения климата во время геомагнитного экскурса получена впервые. Начало и завершение экскурса Лог Красный приурочены к похолоданиям. После экскурса экстремум похолодания сменяется четким межледниковьем, а до начала экскурса оптимум соответствует межстадиалу (рис. 4а) [Поспелова и др., 1998а; Красенков и др., 1999]. Можно предположить, что верхняя часть лесса, где фиксируется начало экскурса, перемагничена полем обратного направления, или погребенная почва формировалась по лессу

после геомагнитного экскурса. Однако, доказать эти предположения пока экспериментально не удалось.

В результате палеомагнитных исследований пород разреза пещеры Матузка (Сев. Кавказ) обнаружена в наиболее древнем культурном слое 7 запись геомагнитного экскурса. Геомагнитное поле в течение экскурса было обратным (рис. 4б). Лабораторные исследования показали, что породы, изученной части разреза с прямым и обратным направлением J_n , обладают одинаковым составом (в основном магнетит, следы гематита) и одинаковыми размерами магнитных зерен, что позволило оценить по Q_{nt} палеонапряженность геомагнитного поля во время экскурса и вблизи него. Напряженность поля во время экскурса Матузка была ниже, чем

напряженность до и после экскурса, записанная в слоях 8а и 6. Г.М. Левковской палинологически установлено, что верхняя часть нижнего культурного слоя 7, в котором записана вторая стадия экскурса, формировалась в период межледникова, когда климат напоминал современный тропический климат юго-восточной Азии. По данным Г.М. Левковской после завершения экскурса наблюдалось похолодание. Климат был значительно более холодным, чем сейчас, с суровой зимой и теплым летом, за которым следовал климат с влажным субтропическим климатом межледникового характера (рис. 46). Существование оптимума межледникова во время экскурса позволяет сопоставлять экскурс Матюзка с 5е изотопно-кислородной стадией. К этой стадии приурочен экскурс Блейк, начало которого оценивается в 128 тыс. лет [Harland et al., 1990]. Палеонтологические изучения костных остатков млекопитающих, выполненные Г.Ф. Барышниковым, и геоморфологические исследования С.А. Несмеянова подтвердили вышеназванный возраст экскурса. Следовательно, завершение экскурса Матюзка, идентифицируемого с экскурсом Блейк, сопровождалось резкой сменой климата - максимумом похолодания, та же закономерность, что и после экскурса Лог Красный.

В лессах Приташкентского района в обнажении и в разрезе-дудке обнаружена и изучена запись геомагнитных экскурсов Янгиюль, сопоставляемого с экскурсом Каргаполово, и Моно [Поспелова и др., 1992; Поспелова, Шаронова, 1991; Поспелова и др., 19986]. Начало экскурса Каргаполово оценено авторами приблизительно в 45 тыс. лет тому назад, а экскурса Моно - в 29 тыс. лет [Петрова и др., 1992; Поспелова и др., 19986; Поспелова и др., 1986]. В течение этих экскурсов направление геомагнитного поля было аномальным, выход на обратную полярность отсутствовал. Оценка напряженности геомагнитного поля по R_{na} для интервала времени, в течение которого происходило формирование пород разреза, была сопоставлена с мировыми данными VADM от 60 тыс. лет тому назад до современности, а значит, с напряженностью современного геомагнитного поля. Получено, что геомагнитные экскурсы Янгиюль-Каргаполово и Моно развивались на фоне минимума напряженности геомагнитного поля, который составлял -0.3 от напряженности современного поля. Длительность пониженной напряженности поля до экскурсов была в три раза короче (~900 и ~400 лет соответственно), чем после завершения экскурсов (~3400 и ~1300 лет) [Поспелова, Шаронова, 1999]. Спорово-пыльцевой анализ, выполненный Г.М. Левковской, показал, что средняя, основная часть экскурса проходила во время иссушения, видимо, при потеплении, а начало и завершение экскурса приурочены к периодам увеличения обледененнос-

ти - увлажнения и некоторого похолодания; после завершения экскурса зафиксирована вновь смена климата, длившаяся ~4 тыс. лет.

В разрезе-дудке между записанными изменениями напряженности геомагнитного поля и палеоклиматом получена четкая корреляция: магнитозонам с повышенной напряженностью геомагнитного поля соответствуют палинозоны с увеличением увлажненности и некоторым понижением температуры, магнитозонам с пониженной напряженностью поля - палинозоны с иссушением и повышением температуры (рис. 5) [Pospelova et al., 1999]. В подтверждение наличия связи между геомагнитным полем и климатом говорят также следующие результаты.

ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ R_{nst} , D , I , K , J_n И ВАРИАЦИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

В лессовом разрезе Янгиюль, вскрытом скважиной-дудкой в Приташкентском районе, спектральным анализом (методом максимальной энтропии - МЕМ) впервые установлено, что периоды спектра вариаций векторных элементов J_n склонения D и наклонения I практически совпадают с периодами изменений скалярных магнитных параметров магнитной восприимчивости K и остаточной намагниченности насыщения J_{rs} [Поспелова и др., 19986]. Близкие периоды вариаций получены для значений R_{nst} , отражающих изменения палеонапряженности геомагнитного поля (см. таблицу) [Поспелова, Шаронова, 1999]. Выделенные периоды вариаций R_{nst} хорошо согласуются с мировыми данными, полученными по донным колонкам, а также с периодами по археомагнитным исследованиям (таблица). Случайным такое совпадение считать нельзя, тем более, что подобный результат установлен недавно Г.З. Гурарием с соавторами. В разрезе Аджидере в Туркмении для позднего этапа хрона Матуюма и субхрона Харамильо получено частичное совпадение периодов вариаций угловых характеристик поля с периодами вариаций K и J_{rs} [Гурарий и др., 1997]. Важно не то, каковы значения периодов вариаций векторных и скалярных параметров пород, их значения могут отличаться от действительных периодов геомагнитного поля, так как определение периодов вариаций получаем по параметрам, записанным в осадочных породах, в которых возможны скрытые кратковременные перерывы, непостоянство скорости осадкообразования и разные изменения пород вдоль разреза, важно, что периоды вариаций векторных параметров, которые обусловлены изменением геомагнитного поля, и периоды вариаций скалярных характеристик, в которых отражаются климатические изменения, совпадают.

Периоды в годах вековых вариаций (T), записанных в разрезе-дудке Янгиюль

T_{Rnst}	T_I	T_D	T_K	$T_{арх}$	$T_{кл1}$	$T_{кл2}$
600*	600	600	600	600	600–500	700
800	800	800*	800*	900		900
1200	1250	1300	1250	1200	1300	1100
1600*	–	–	–	–	1500	1400–1500
1900*	1870	1860	1870	1800	1800	
2700*	2600	2600	2650	2700	>2400	
3600	3500	3400	3300	3600		3300
4300	5600	4700	5400			
6300	–	–	–			
8800	9800	9800	9300	8000		>7700 (~9000)**

* Периоды, амплитуды пиков которых низки, выделены неуверенно. T_{Rnst} – периоды вариаций палеонапряженности геомагнитного поля, T_I – то же наклонения поля, T_D – то же склонения поля, T_K – то же магнитной восприимчивости, отражающей климатические изменения, $T_{арх}$ – то же напряженности геомагнитного поля по археомагнитным данным [Бурлацкая, 1987], $T_{кл1}$ – то же палеоклиматических данных по разрезу Суминского займища (2400 лет) [Букреева и др., 1995], $T_{кл2}$ – то же палеоклиматических данных по разрезу Янтарный (10000 лет).

** См. рис. 12 в статье [Букреева и др., 1995].

До последнего времени палеомагнитологи считали, что, если периоды вариаций векторных элементов J_n склонения D и наклонения I не совпадают с периодами вариаций скалярных магнитных параметров пород, в частности, с вариациями магнитной восприимчивости, то это указывает на геофизическую природу периодов D и I . Величина магнитной восприимчивости пород не зависит от геомагнитного поля Земли, в котором формировались породы, а зависит от состава, величины и концентрации магнитных зерен пород, а также от изменений весьма различных факторов, определяющихся условиями осадкообразования [Большаков, 1997]. Причем, как было показано в работах [Поспелова, Левковская, 1994; Поспелова и др., 1996] и в других, в магнитной восприимчивости отражаются климатические изменения, в которых формировались осадочные породы. В разрезах с одинаковым составом и структурой магнитных зерен периоды вариаций K и J_n характеризуют в основном периоды климатических изменений.

Отметим еще один чрезвычайно интересный результат по количественной оценке элементов палеоклимата. Исследование периодичности в изменениях палеоклимата выполнено по климатическим характеристикам двух разрезов Западной Сибири Суминского займища с 6 ^{14}C датами (продолжительность ряда 2400 лет) и разреза у руч. Янтарный с 5 датами ^{14}C (продолжительность ряда 10000 лет). Спектральным анализом, выполненным по палеоклиматическим данным этих рядов, получены периоды климатических циклов [Букреева и др., 1995], которые близки к геомагнитным периодам (см. таблицу).

Подведем итог первым немногочисленным палеомагнитным и палинологическим результатам

выполненным синхронно при изучении разных геомагнитных экскурсов:

1. Подтвердилось, что одни экскурсы подобны субхронам, в течение которых геомагнитное поле имело обратную полярность (Лог Красный, Матузка). Во время других экскурсов (Янгиюль-Каргаполово, Моно) геомагнитное поле не достигало обратной полярности, виртуальные геомагнитные полюсы (ВГП) отклонялись от современного геомагнитного полюса, доходя почти до экватора.

2. Подтвердилось также, что геомагнитные экскурсы первого и второго типа происходили при пониженной в 3–4 раза напряженности поля по сравнению с напряженностью в стационарные периоды. Однако не всегда при низкой напряженности геомагнитного поля наблюдаются экскурсы [Петрова и др., 1992; Valet et al., 1993], возможно, некоторые экскурсы еще не открыты в хроне Брюнес.

3. Климатическая обстановка во время экскурсов была более сложная, чем считалось ранее, происходили потепления и иссушения, похолодания и увлажнения. Однако, начало и завершение экскурсов приходятся на периоды смены климата, в рассмотренных случаях на периоды похолодания.

4. По данным одного изученного разреза обнаружена четкая корреляция между изменениями напряженности геомагнитного поля и климата.

5. Установлено совпадение периодов вариаций склонения, наклонения и напряженности геомагнитного поля с периодами вариаций скалярных магнитных параметров, в которых отражаются климатические изменения. Геомагнитные периоды подобны периодам климатических циклов голоцена в Западной Сибири.

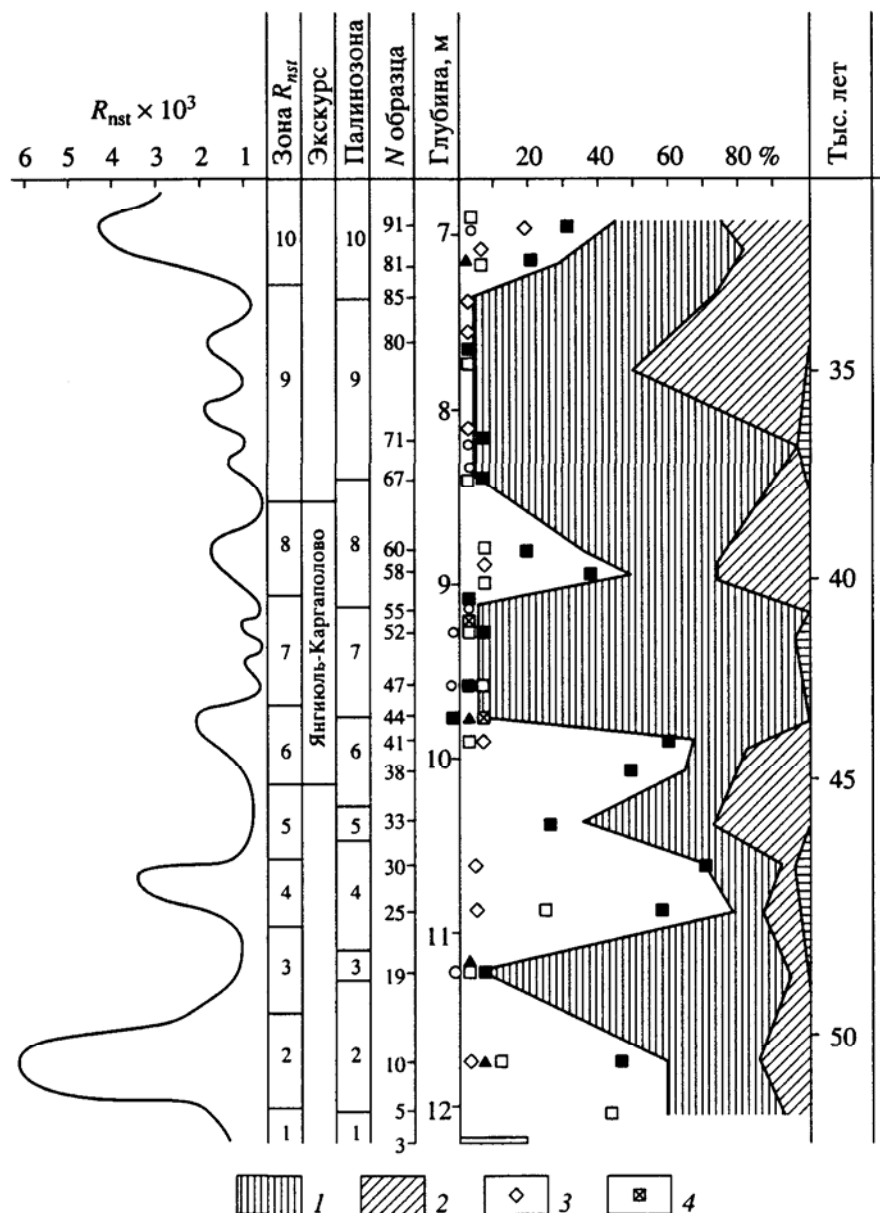


Рис. 5. Напряженность геомагнитного поля по R_{nst} во время и вблизи экскурса Янгиюль-Каргаполово и диаграмма спорово-пыльцевого анализа, построенная Г.М. Левковской. 1 – пыльца мезофильных травяно-кустарничковых растений, 2 – пыльца ксерофильных травяно-кустарничковых растений, 3 – пыльца кустарников, 4 – сумма пыльцы кустарников плюс ольховника. Остальные условные обозначения см. на рис. 4.

Все это свидетельствует о наличии связи между изменениями геомагнитного поля и климатическими осцилляциями.

ДИСКУССИЯ

Объяснить связь между геомагнитными и климатическими изменениями можно, по мнению автора, двумя причинами. Либо опосредованным влиянием геомагнитного поля на климат, либо какой-то общей причиной, влияющей как на из-

менение колебаний геомагнитного поля, так и на глобальные климатические осцилляции.

М.И. Будыко считает, что основными причинами глобальных климатических изменений являются: изменение концентрации углекислого газа CO_2 в атмосфере, астрономические факторы, влияющие на изменение положения поверхности Земли по отношению к Солнцу, и изменение прозрачности нижних слоев стратосферы за счет содержания аэрозольных частиц [Будыко, 1993]. Некоторые исследователи полагают, что изменения концентрации CO_2 связаны в свою очередь с

колебаниями положения Земли по отношению к Солнцу.

Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы дан в работе М.И. Пудовкина и О.М. Распопова [Пудовкин, Распопов, 1992]. Главной особенностью предлагаемого механизма является изменение прозрачности атмосферы под воздействием в основном галактических и солнечных космических лучей. А.В. Шнитников в качестве одной из причин изменения климата принимает ритм констелляций Земли, Солнца и Луны [Шнитников, 1969]. По представлению М.Ф. Веклича изменения климата обусловлены колебаниями солнечной активности, периоды которых близки периодам климатических изменений [Веклич, 1987].

В нашем случае, как кажется на первый взгляд, играет роль третья причина по М.И. Будыко и механизм, предложенный М.И. Пудовкиным и О.М. Распоповым об изменении прозрачности атмосферы. Изменение геомагнитного поля может влиять на прозрачность нижних слоев стратосферы. Во время экскурсов и геомагнитных инверсий, когда напряженность геомагнитного поля понижена, из космоса будут в большем количестве проникать в атмосферу корпускулярные частицы в виде галактических и солнечных космических лучей, что существенно может снизить ее прозрачность. Как считают климатологи, это должно привести к похолоданию. На самом деле, во время геомагнитных экскурсов, при спаде напряженности поля в 3–4 раза, фиксируется либо потепление, либо потепление и похолодание климата. Объяснить связь между экскурсами и климатом только на основании изменения прозрачности атмосферы не удастся.

Существенную роль в изменении климата, по мнению В. Бухи, играют положения геомагнитных полюсов. Оледенение Северной полусферы Земли наблюдалось в последний период оледенения приблизительно 12–18 тысяч лет тому назад. В этот временной интервал положения ВГП по данным из Чехословакии и Японии находились не

на Севере Канады, а в районе Тихого океана [Bucha, 1983]. Действительно, резкие смещения ВГП на границах геомагнитных экскурсов при переходе от прямой полярности к обратной и от обратной к прямой приходятся на похолодания. Однако, в течение экскурса Янгиюль-Каргаполово, когда ВГП находились близко к экватору, по палинологическим данным было иссушение и потепление. Правда, существенно, ВГП располагались не в Тихом, а в Атлантическом океане, что и должно привести к потеплению в Евразии. Наши данные с гипотезой В. Бухи согласуются.

В работе М. Рампино связь геомагнитных экскурсов с изменением климата выявлена через изменение эксцентриситета земной орбиты [Rampino, 1981]. Между изменением эксцентриситета орбиты Земли и изменением климата существует четкая связь: с максимумами колебания земной орбиты коррелируют потепления климата, а с минимумами – похолодания. М. Рампино предложил модель возникновения геомагнитных экскурсов. При достижении максимальной амплитуды колебаний эксцентриситета орбиты Земли появляются различия в скоростях и моментах прецессии ядра и мантии, что приводит к изменению процесса конвекции в жидком ядре Земли и вызывает возникновение геомагнитных экскурсов, т.е. экскурсы должны быть приурочены к максимумам кривой эксцентриситета. Обратим внимание, что в этой модели конвекция в жидком ядре Земли нарушается за счет влияния внешних процессов (теоретики считают, что внешней энергии недостаточно, чтобы оказать воздействие на конвекцию в жидком ядре [Jacobs, 1994]). На рис. 6 приведена кривая изменения эксцентриситета земной орбиты, стрелками показаны положения геомагнитных экскурсов. Несмотря на то, что пока точно возраст всех геомагнитных экскурсов не установлен, уже сейчас видно, что экскурсы, возраст которых подтвержден статистически, происходили не во время максимумов эксцентриситета. Так экскурс Каргаполово (~45 тыс. лет) попадает на минимум кривой, экскурс Блейк (128 тыс. лет) и другие экскурсы занимают про-

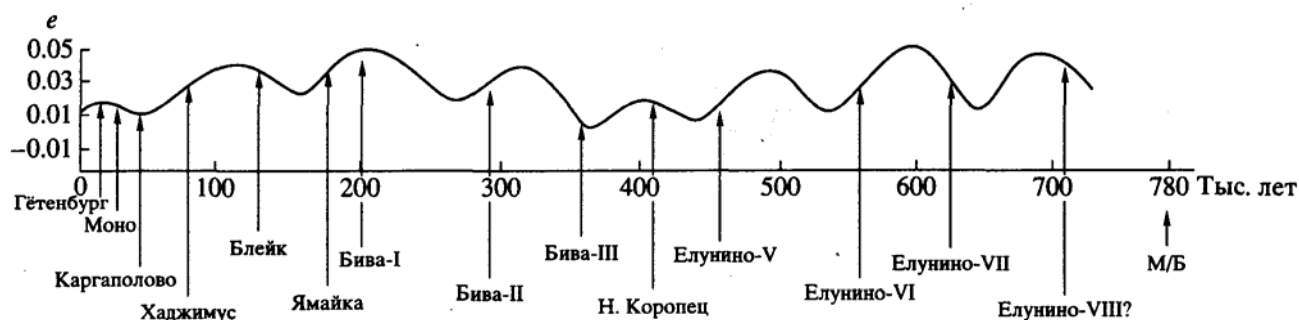


Рис. 6. Кривая изменения эксцентриситета земной орбиты за последние 730 тыс. лет [Rampino, 1981]. Стрелками показано положение геомагнитных экскурсов по шкале Г.А. Поспеловой.

межуточное положение между максимумом и минимумом кривой эксцентриситета. Только два экскурса Гётенбург и Бива-I приходятся на максимумы эксцентриситета. Следовательно, предложенная М. Рампино связь между геомагнитными экскурсами и климатическими осцилляциями также не подтвердилась. Однако из рис. 6 видно, что корреляция изменения эксцентриситета с экскурсами все-таки наблюдается, но несколько другая, чем полагал М. Рампино. Видимо, на конвекцию в жидком ядре, кроме изменений эксцентриситета, влияют и другие факторы, которые должны рассматриваться не отдельно [Worm, 1997], а комплексно.

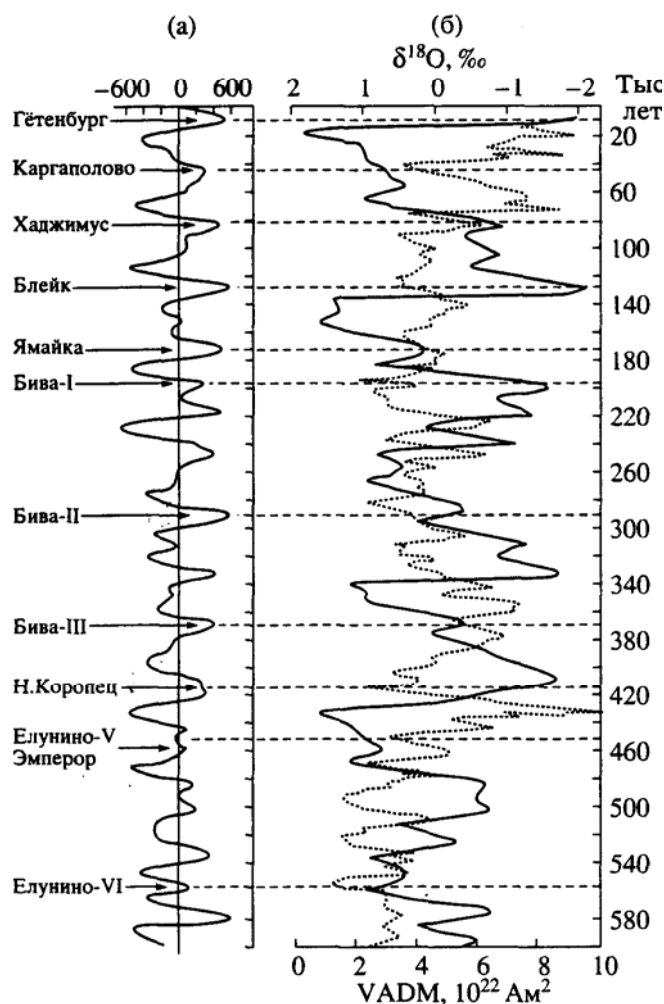


Рис. 7. Кривая изменения величины солнечной радиации на основе расчетов М. Миланковича [Боуэн, 1981] (а); кривая изменения напряженности геомагнитного поля (пунктирная), записанная в донной колонке экваториальной части Тихого океана, [Valet et al., 1993] и изотопно-кислородная кривая (сплошная) (б). Стрелками показано положение геомагнитных экскурсов по шкале Г.А. Поспеловой. Пунктирные прямые – линии корреляции.

Не менее интересно рассмотреть связь изменений величины солнечной радиации, рассчитанной на основе теории М. Миланковича, с геомагнитными экскурсами. На рис. 7 приведена кривая изменения величины солнечной радиации за последние 600 тысяч лет, заимствованная из книги Боуэна [Боуэн, 1981]. На этой кривой (а), как и на кривой изменения эксцентриситета орбиты Земли, стрелками показаны положения геомагнитных экскурсов. Все геомагнитные экскурсы, кроме экскурса Моно, ложатся близко к максимумам солнечной радиации. Правда, остаются вакантные максимумы, без геомагнитных экскурсов. Между кривой солнечной радиации и изотопно-кислородной кривой в целом наблюдается корреляция со значимым коэффициентом корреляции по 75 точкам (временной ряд 600 тыс. лет) равным 0.459. Наилучшая корреляция имеет место для участка кривых от 10 тыс. лет до 250 тыс. лет, где коэффициент корреляции высоко значим ($r = 0.556$ по 32 точкам). На оставшейся части кривых (260-600 тыс. лет) фиксируется сдвиг максимумов и минимумов, переходящие иногда в обратную корреляцию ($r = 0.344$ по 43 точкам). Приведенная количественная оценка корреляции между кривыми солнечной радиации по М. Миланковичу и изотопно-кислородными стадиями по Н. Шеклону видна визуально на рис. 7а, 7б: максимумы солнечной радиации совпадают то с максимумами изотопно-кислородной кривой (к примеру, экскурсы Блейк и Бива-I и др.), то с минимумами - экскурсы Елунино-V и Елунино-VI. Между изменением напряженности геомагнитного поля (б), полученной Дж. Вале при изучении пород скважины, пробуренной в южном полушарии в экваториальной части Тихого океана, и кривой изотопно-кислородных стадий наблюдается корреляция со значимым коэффициентом корреляции равным 0.5 (временной интервал 800 тыс. лет) [Worm, 1997]; за 600 тыс. лет коэффициент корреляции также значим, $r = 0.432$ по 82 точкам (рис. 7б). Корреляция подобна той, которая получена по разрезу-дудке Янгиюль (рис. 5).

Одной из причин, видимо основной, влияющей на изменение климата, являются астрофизические факторы. В теории гидромагнитного динамо генерацию геомагнитного поля не связывают с внешними причинами. Генерация поля обусловлена либо тепловой, либо гравитационной конвекцией в жидком ядре. В прецессионном динамо магнитное поле в ядре Земли и в планетах Солнечной системы генерируется за счет прецессии планет под действием внешнего солнечного и солнечно-лунного момента [Долгинов, 1976]. Однако механизм прецессионного динамо теоретически разработан недостаточно. Если предположить, что прецессионное динамо существует, то возможна общая причина, влияющая как на колеба-

ния геомагнитного поля, так и на глобальные климатические изменения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно отметить, что некоторые рассмотренные причины связи между геомагнитными экскурсами и климатическими изменениями не подтвердились экспериментальными результатами, другие нашли свое подтверждение. На основании полученных данных можно предположить, что геомагнитные колебания, в частности геомагнитные экскурсы, и глобальные климатические изменения регулируются общей причиной, которая представляет собой суперпозицию различных астрофизических факторов и наложенных на них опосредованных причин. Для выявления природы этой связи требуется продолжить совместные исследования изменений геомагнитного поля и палеоклимата и начать комплексные детальные исследования с привлечением специалистов из разных областей знаний.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность коллегам, соавторам опубликованных статей, принимавшим активное участие в работе над палеомагнитным и палинологическим изучением пород из разрезов Лог Красный, Янгиюль, пещер Матузка и Треугольная: Р.В. Красненкову, Г.М. Левковской, Т.В. Миронову, Г.Н. Петровой, В.В. Семенову и З.В. Шароновой, а также археологам Л.В. Головановой и В.Б. Дороничеву. Автор весьма признательна А.Л. Яншину за поддержку поднятой в статье проблемы и обсуждение полученных результатов, а также В.А. Зубакову, В.Ф. Салтыкову и А.Н. Храмову, которые ознакомились со статьей и сделали ценные критические замечания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 98-05-64691.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов С.А. Четвертичный период в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1971. 320 с.
- Болховская Н.С. Эволюция лессово-почвенной формации Северной Евразии. М.: МГУ, 1995. 270 с.
- Большаков В.А. Физические и палеогеографические аспекты исследования магнитной восприимчивости при изучении палеоклимата // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М., 1997. С. 10-15.
- Боуэн Д. Четвертичная геология. М.: Мир, 1981. 270 с.
- Будыко М.И. Изменение климата. Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993. С. 183-197.
- Букреева Г.Ф., Архипов С.А., Волкова В.С., Орлова Л. А. Климат Западной Сибири в прошлом и будущем // Геология и геофизика, 1995. Т. 36. № 11. С. 3-22.
- Бурлацкая С.П. Археомагнетизм. Изучение древнего геомагнитного поля. М.: ИФЗ АН СССР, 1987. 246 с.
- Веклич М.Ф. Проблемы палеоклиматологии. Киев: Наукова думка, 1987. 188 с.
- Гурарий Г.З., Вагин В.И., Гарбузенко А.В. и др. Стационарное геомагнитное поле поздней части хрона Матузья и субхрона Харамильо (предварительные данные) // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород. М., 1997. С. 38-39.
- Долгинов Ш.Ш. Магнетизм планет и проблема механизма динамо. Препринт № 15(158) М., 1976. 66 с.
- Зубаков В.А., Кочегура В.В. Об обратной намагниченности древнеэвксинских слоев Урекского разреза (Причерноморье) // Геология. XXVIII герценовские чтения. Л., 1976. С. 31-35.
- Зубаков В.А., Борзенкова И.И. Палеоклиматы позднего кайнозоя Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 133-139.
- Красненков Р.В., Семенов В.В., Поспелова Г.А. и др. Лог Красный - опорный разрез нижнеплейстоценовой лессово-почвенной формации бассейна Верхнего Дона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1999. Т. 7. № 4. С. 85-95.
- Петрова Г.Н., Нечаева Т.Е., Поспелова Г.А. Характерные изменения геомагнитного поля в прошлом. М.: Наука, 1992. 175 с.
- Поспелова Г.А., Ларионова Г.Я., Анучин А.В. Палеомагнитные исследования юрских и нижнемеловых осадочных пород Сибири // Геология и геофизика. 1967. №9. С. 3-15.
- Поспелова Г.А., Паньчев В.А., Шмырева З.Л. Палеомагнитное и радиометрическое доказательство экскурса Моно на осадочных породах юга Западной Сибири // Тонкая структура геомагнитного поля. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. С. 63-72.
- Поспелова Г.А., Шаронова З.В. Экскурсы Янгиюль // IV Всесоюзный съезд по геомагнетизму // Тез. докл. Владимир, Суздаль. 1991. Ч. 2. С. 45^*6.
- Поспелова Г.А., Левковская Г.М. Отражение климатических изменений в магнитной восприимчивости осадочных пород // Докл. РАН. 1994. Т. 334. №2. С. 222-227.
- Поспелова Г.А., Шаронова З.В., Миронов Т.В. и др. Отражение климатических изменений в магнитных параметрах осадочных пород пещеры Треугольная (Северный Кавказ) и палеомагнитные исследования этих пород // Физика Земли. 1996. № 9. С. 57-69.
- Поспелова Г.А., Семенов В.В., Шаронова З.В. и др. Раннеплейстоценовый экскурс геомагнитного поля в субэвксинских отложениях Верхнего Дона // Докл. РАН. 1997. Т. 335. № 1. С. 106-110.
- Поспелова Г.А., Левковская Г.М., Семенов В.В. и др. Магнитостратиграфия и палинология нижнеплейстоценовых лессово-почвенных толщ бассейна Верхнего Дона // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998а. Т. 6. № 2. С. 65-80.
- Поспелова Г.А., Петрова Г.Н., Шаронова З.В. Геомагнитное поле во время и вблизи экскурсов, записанных в разрезе Янгиюль (Узбекистан) // Физика Земли. 1998б. № 5. С. 65-79.

- Поспелова Г.Л., Шаронова З.В.* Напряженность геомагнитного поля 53-22 тысячи лет т.н. // Физика Земли. 1999. № 10. С. 74-83.
- Пудовкин М.И., Распопов ОМ.* Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры (обзор) // Геомагнетизм и аэрономия. 1992. Т. 32. № 5. С. 1-22.
- Фотиади Э.Э., Поспелова Г.Л.* О некоторых особенностях колебаний геомагнитного поля в последние 700000 лет // Докл. АН СССР. 1982. Т. 267. № 2. С. 322-326.
- Шнитников А.В.* Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. 1969. Л.: Наука, 245 с.
- Bucha V.* Direct relations between solar activity and atmospheric circulation, its effect on changes of weather and climate // Studia geoph. et geod. 1983. V. 27. P. 19-45.
- Harland W.B., Armstrong R.L., Cox A. et al.* Geological scale, Cambridge Univ. 1990. 264 p.
- Heller F., Liu T.-S.* Magnetostratigraphical dating of loess deposits in China // Nature. 1982. V. 300. P. 431-433.
- Jacobs J.A.* Reversals of Earth's Magnetic Field. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 1994. 346 p.
- Novaczyk N.R., Fredericks T.W., Eisenhauer A. et al.* Magnetostratigraphic data from late Quaternary sediments from the Yermak Plateau, Arctic Ocean: evidence for four geomagnetic polarity events within the last 170 Ka of the Brunhes chron // Geophys. J. Int. 1994. V. 117. № 2. P. 453-471.
- Petrova GJV., Pospelova G.L.* Excursions of the magnetic field during the Brunhes chron // Phys. Earth and Planet. Inter. 1990. V. 63. P. 135-143.
- Pospelova G.A.* Excursions of the Brunhes chron as the base of magnetostratigraphical scale for the Quaternary: (Review of soviet authors data) // Geomagnetic field in Quaternary. Potsdam. 1990. P. 49-80.
- Pospelova G.A., Levkovskaya G.V., Sharonova Z.V.* Geomagnetic intensity and climate as recorded in a loess section, Uzbekistan // European Geophysical society, Abstracts 24 General Assembly. 1999. V. 1. № i. p. 133.
- Rampino M.R.* Revised age estimates of Brunhes paleomagnetic events: support for a link between geomagnetism and eccentricity // Geophys. Res. Lett. 1981. V. 8. № 10. P. 1047-1050.
- Ryan W.E.* Stratigraphy of Late Quaternary sediments // The Mediterranean Sea/Ed. Stomley DJ. 1972. P. 149-169.
- Valet J-P., Meynadier L.* Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years // Nature. 1993. V. 366. № 6452. P. 234-238.
- Wollin E., Ericson D.B., Ryan W.B.F., Foster G.H.* Magnetism of the Earth and climatic changes // Earth and Planet. Sci. Lett. 1971. V. 12. № 2. P. 175-183.
- Worm H.-U.* A link between geomagnetic reversals and events and glaciations // Earth Plan. Sci. Lett. 1997. V. 147. P. 55-67.
- Zagwijn W.H.* An outline of the Quaternary stratigraphy of the Netherlands // Geol. Mijnbou. 1985. V. 64. P. 17-24.