

*Всем хорошо известно, что наука – это, прежде всего, инакомыслие.
Но регулярная стрижка газонов дала то, что, мы пожинаем сегодня.
С.Г. Инге-Вечтомов (Санкт-Петербург).*

ВЛИЯНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ВЕКОВЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КЛИМАТ И ЭВОЛЮЦИЮ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

В. В. Кузнецов, Н. Д. Кузнецова

ИКИР ДВО РАН (с. Паратунка, Каматская. обл.)

Показано, что вековые вариации геомагнитного поля (инверсии поля и экскурсы, т.е. явления, когда величина модуля геомагнитного поля значительно уменьшается относительно стандартного уровня), «управляют» временем появления периодов резкого потепления климата, а так же этапами резких изменений хода биологической эволюции Земли и, в частности, эволюции человека. В эти периоды, когда поле перестает выполнять защитные функции, в атмосферу Земли устремляется поток заряженных частиц, что приводит к резкому увеличению радиационного фона Земли. Повышенная радиация разрушает слой стратосферного аэрозоля, экранирующего Землю от солнечного излучения, что ведет к резкому потеплению и таянию ледников. Увеличение уровня радиации на Земле в периоды инверсий и экскурсов вызывает генетические мутации животного и растительного мира. Так, например, в момент инверсии Гаусс-Матуяма, произошедшей примерно 2.3 млн. лет тому назад, произошла генетическая мутация человекоподобной обезьяны. В результате возник новый вид (гомо эректус), особи которого подверглись нескольким импульсным радиационным воздействиям, произошедшим в периоды экскурсов, и превратились, в конечном счете, в современного человека. Наиболее сильное воздействие радиации на предка человека произошло в период экскурсов Блейк и Ямайка (130-110 и 250-230 тыс. лет тому назад). Как было определено недавно, возраст прародительницы современного человечества - «африканской Евы» 230 тыс. лет, а возраст самой древней Y-хромосомы составляет 100 тыс. лет. Зарождение современного человечества, как известно, произошло в Африке. Этот факт находит простое объяснение в контексте принципиально новой модели генерации геомагнитного поля «горячей» Земли и теории дрейфа магнитных полюсов Земли в моменты инверсий и экскурсов.

Climate abrupt warming periods occurrence and biologic evolution sharp changes stages, human evolution in particular, alike are shown to be governed by secular variations of geomagnetic field, namely, field inversions and excursions, while the geomagnetic field decreases a lot in its module value relative to standard and consequently in its protective characteristics, making solar protons with energy, less than the geomagnetic cut off energy of galactic cosmic rays (GCR), penetration into the Earth atmosphere possible. The resulting density of proton flow is about two-three orders higher than GCR flow density. The ordinary GCR flow is taken to be a half of the terrestrial radioactive background. Inversions and excursions initiate a strengthening of the latter, that is causing a climate abrupt warming and glacier thawing on the one hand, and fauna genetic mutations on the other. Hominid genetic mutations, such as in Gauss-Matuyama inversion (2,3 Myr), conditioned on distinctly new species, Homo erectus, origin. Later pulsing radiation attacks of homo species, occurring during excursions, result in Modern Homo Sapiens emerge. The strongest radiation attacks of homo species were proceeding throughout Yamaica and Blake excursions (230000 and 130000 years ago) agreeing with the recent estimates of ages of human ancients: 230 kyr from mtDNK and 100 kyr from Y-chromosome, both having African roots. The facts appear explicable on the context of the fundamentally new model of the geomagnetic field generation, based on the “hot” Earth hypothesis, and the theory of the Earth magnetic poles drift throughout inversions and excursions theory.

Введение

Возможная связь между изменениями климата и вековыми вариациями геомагнитного поля обсуждается уже много лет [Jacobs, 1994; Wollin et al., 1971; Wollin et al., 1978; Chave, Denham, 1979; Doake, 1977; Doake, 1978; Bassinot et al., 2002]. В работах

[*Rampino, 1979; Imbrie, Imbrie, 1980; Монин, Шишков, 2000; Bassinot, et al., 1994*] отмечалась взаимосвязь между температурой поверхности Земли и изменением величины её магнитного момента. Теоретической основой такой связи принято считать теорию Дж. Кролла и Миланковича, согласно которой климатические изменения на Земле являются откликом на вариации в её орбите. Причина вариаций, происходящих с основными периодами 19, 23 и 41 тыс. лет, связана с возмущениями орбиты Земли за счет её эксцентриситета (периоды: 95, 136 и 413 тыс. лет), прецессии (19 и 23 тыс. лет) и наклона плоскости эклиптики. Из теории Миланковича следует, что изменения климата на Земле должны происходить в её северном и южном полушариях – в противофазе, в то время как анализ данных, полученных в Антарктиде и Гренландии, показал практически их полное совпадение.

Авторы [*Монин, Шишков, 2000*] задачу климата разбивают на две части. Одна из них состоит в определении глобальных горизонтальных неоднородностей полей температуры, создаваемых разностью инсоляций в экваториальных и полярных зонах. Другая половина задачи состоит в определении вертикальных неоднородностей температурного поля, включая парниковый эффект, создаваемых на Земле нагревом её поверхности солнечным излучением. В настоящей работе рассматривается вопрос, имеющий отношение ко второй половине задачи, в частности, к проблеме вертикального переноса солнечного излучения, прямо связанного с образованием парникового и антипарникового эффектов.

Принято рассматривать корреляцию между изменениями климата и вековыми вариациями магнитного поля Земли, при которых происходит либо полная (инверсии), либо почти полная перемена полярности (экскурсы) магнитного поля. При экскурсах, в отличие от инверсий, после смены полярности, геомагнитное поле вскоре возвращается в свое прежнее состояние. Протяженность экскурсов меняется от 100 лет до 10 тыс. лет.

Автор [*Uffen, 1963*] высказал предположение, что жизнь на Земле могла бы быть совершенно иной, если бы отсутствовало геомагнитное поле, т.е. отсутствовало его экранирующее от радиации космоса влияние. Согласно мнению Паркинсона (1986), жизнь на Земле могла бы зародиться лишь после того, как возникло геомагнитное поле. Одно из следствий таких предположений состоит в том, что в моменты инверсий и экскурсов, когда напряженность геомагнитного поля близка к нулю, отклоняющее влияние его на космические лучи в течение периода этих вариаций существенно меньше. Считалось, что увеличение потока космических лучей приводит к росту мутаций. Можно было бы ожидать, что этот эффект должен проявляться и в виде аномально высокой скорости вымирания видов, которую можно оценить по смене видов ископаемых остатков. Действительно, авторы [*Opdyke et al., 1973; Watkins, Goodel, 1967*] утверждали, что им удалось обнаружить свидетельства связи между инверсиями геомагнитного поля и границами распространения фауны. Однако, по мнению большинства ученых, связь между мутациями и вымиранием видов крайне сомнительна. До настоящего времени общее мнение состояло в том, что достаточное экранирование обеспечивает атмосфера, и, если бы даже вся Земля подверглась воздействию того же потока космических лучей, как её высокоширотная область, биологический эффект был бы незначительным. Позволим себе не согласиться с этим мнением и попытаемся это аргументировать. Новые подходы к проблемам мутации и вымирания видов необходимы, тем более что успехи, достигнутые в последние годы в области антропологии и молекулярной генетики, оказываются не совместимыми с общепринятой трактовкой хода эволюции.

Земля в потоке космических лучей

По космическим масштабам Земля расположена очень близко к Солнцу. Многие специалисты считают, что она вообще находится в области солнечной короны. Потоки

заряженных частиц солнечного ветра с энергий от 1 эВ до 100 и более МэВ не попадают на Землю, т.к. отклоняются её магнитосферой (см. рис. 1). В атмосферу Земли способны проникнуть только галактические космические лучи (ГКЛ), обладающие энергией большей, т.н. «энергии обрезания». Для различных широт эта энергия различается, оставаясь в целом по Земле на уровне ~ 10 ГэВ. Частицы (протоны и мезоны) обладающие столь большой энергией, тем не менее, поверхности Земли не достигают, тормозя в её атмосфере, рассеиваясь на ядрах атомов воздуха, генерируя жесткое излучение и приводя к рождению элементарных частиц, в основном, π -мезонов. Мезоны распадаются с образованием мюонной и нейтринной компонент. Образующиеся при этих процессах мюоны и медленные нейтроны регистрируются на Земле нейтронными мониторами ГКЛ.

Не вызывает сомнения, что поток солнечных космических лучей достигая Земли вызывал бы несовместимую с жизнью радиационную обстановку. К счастью для Земли, она защищена от солнечного ветра своеобразным магнитосферным «зонтом». Представим себе, что по какой-то причине этот «зонт» порвался. На Землю, при этом, обрушится вся сила «дождя» солнечного ветра. Мало того, при этом произойдет разрушение радиационных поясов Земли, и на Землю, дополнительно к «дождю», попадут ещё и «брызги» от разрушенных радиационных поясов, своеобразных «резервуаров» - накопителей того же «дождя».

Потоки частиц в окрестности Земли. Поток протонов (ионов) солнечного ветра (СВ), обладающих энергией $E = 1 - 100$ эВ, на подходе к магнитосфере Земли равен $j_o \sim (10 - 100) 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Поток ионов с энергией 100 эВ: $j = 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Суммарный поток протонов СКЛ ($E > 10$ МэВ) в течение 19 цикла (1954-64) составил $7.2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Плотность потока протонов СВ (на орбите Земли) - $2.4 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Плотность потока кинетической энергии - $0.3 \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Плотность потока КЛ : 1 частица $\text{см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, средняя плотность энергии частиц - 1 эВ/см^3 .

Геомагнитное обрезание: вертикально на экваторе $E \geq 1.5 \cdot 10^{10}$ эВ, на геомагнитную широту 51° $E \geq 2.5 \cdot 10^9$ эВ. Интенсивность ГКЛ на экваторе меньше, чем в полярных широтах – широтный эффект. В радиационных поясах: для $E > 30$ МэВ поток $10^3 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$; для частиц $E > 1$ МэВ, поток $10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Радиация. Основные понятия. Дозы.

Поглощенная доза – количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы облученного тела. В системе СИ поглощенная доза измеряется в греях (Гр), 1 Гр = 1 Дж/кг. Неодинаковая биологическая активность различных видов излучений учитывается вводом безразмерного коэффициента и специальной единицы – зиверт (Зв), 1зв = 1Гр•к. При одинаковой поглощенной дозе α - излучение гораздо опаснее β - или γ - излучений. При поглощенной дозе $D = 0.01$ Гр происходит нарушение жизнедеятельности клеток. Принято рассматривать D_o как дозу, снижающую число выживших клеток в e раз. Для большинства делящихся клеток $D_o = (1.2 - 2)$ Гр. 1 Гр = 10^4 эрг/г. Удельные энергии одного зиверта и одного грея – равны.

В состав первичного космического излучения входят протоны высоких энергий и ядра некоторых легких элементов. Их взаимодействие с ядрами атомов, присутствующих в атмосфере Земли, приводит к образованию ядер новых легких элементов, мюонов, нейтронов, рентгеновского и γ – излучения. Это так называемое вторичное космическое излучение достигает поверхности Земли.

- Космическое излучение составляет - 410 мкЗв;
- γ - излучение ^{40}K – 150 мкЗв;
- радионуклиды ториевого и уранового рядов – 160 и 100 мкЗв;
- космогенные нуклиды: ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na – 15 мкЗв.

Эффекты воздействия ионизирующего излучения на живой организм разделяют на две категории: соматические, которые возникают в организме человека, непосредственно подвергнувшегося облучению, и генетические, проявляющиеся у его потомков. Получающиеся в процессе радиолитиза воды свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению жизнедеятельности организма в целом. Генетические последствия облучения человека ионизирующей радиацией проявляются в виде хромосомных повреждений, генных мутаций, приводя к изменениям в фенотипе человека. Степень изменений зависит от важности вовлеченных в мутагенез генов, масштабов нарушений и характера наследования возникших мутаций. Авторы [Forster L. et al. 2002], исследуя мтДНК людей, проживающих в условиях природного повышенного радиационного фона, показали, что воздействие ионизирующей радиации ускоряет механизм эволюционных мтДНК мутаций.

Согласно принятым в нашей стране нормам, предельно-допустимая доза для жителей России равна 5 мЗв/год [Бердоносков, Сапожников, 2001].

Доза, которая приводит к гибели половины пораженного населения в течение 60 дней, именуется дозой ЛД50 (летальная доза, 50-процентное поражение). Для взрослого человека доза составляет ~ 4 Зв [Самнер и др., 1999].

Для млекопитающих и, в частности, человека, есть данные, что удвоение частоты самопроизвольных, спонтанных мутаций находится в диапазоне 0,5-2,5 Зв [Гуськов, 2003].

Статистически достоверные риски для лейкемии и сулидных опухолей, установленные у людей, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, обнаружены с уровня доз выше 60 мЗв. [Герасимова и др., 2001].

Геомагнитное поле: структура, вековые вариации, дрейф полюсов

Структура поля, глобальные магнитные аномалии

Одно из свойств Земли состоит в том, что она обладает собственным магнитным полем, называемое геомагнитным. Оно сложным образом изменяется во времени и в пространстве. Геомагнитное поле связано с другими геофизическими явлениями [Паркинсон, 1986].

Рисунок 1 дает общее представление о морфологии геомагнитного поля. Можно видеть, что поле имеет довольно сложный характер, - это не просто дипольное поле. Кроме северного и южного магнитных полюсов хорошо различимы четыре аномальных участка – два в северном и два в южном полушариях. Очевидно, что модель генерации геомагнитного поля должна находить объяснение этим особенностям. Ниже будет показано, что магнитному полю Земли присущи не только пространственные аномалии, но и особенности его поведения во времени в течение всего периода эволюции Земли.

Геомагнитное поле, в контексте модели горячей Земли [Кузнецов, 1990], можно представить в виде аддитивной суммы источников поля. Во-первых, это основной источник геомагнитного поля. Он имеет дипольный характер и расположен на границе внутреннего ядра Земли – в F-слое. Его можно представить в виде двойного токового кольца, слегка наклоненного относительно плоскости, нормальной оси вращения Земли. Токи в кольцах «текут» в противоположных направлениях. Этот источник меняет свой знак в моменты инверсий и экскурсов поля. При этом изменяются направления дрейфа токов. На поверхности внутреннего ядра, кроме токов дипольного источника, существуют долговременные гидродинамические вихри, которые в проводящей среде и в магнитном поле основного, дипольного источника тока, становятся сами квазиста-

ционарными источниками геомагнитного поля – глобальными магнитными аномалиями (ГМА). В моменты инверсий и экскурсов поле ГМА меняется не сразу, оставаясь какое-то время неизменным. Геомагнитное поле можно представить как сумму полей двух источников: основного, дипольного и четырех магнитных аномалий (рис. 1).

Обратим внимание на деталь, достаточно важную при изложении основной идеи работы. На рис. 1 можно видеть, что в некоторых местах на представленных картах геомагнитное поле незначительно отличается по модулю от поля, полученного путем расчетов дипольного поля без учета поля ГМА. В основном это относится к северной части Африки, южной Европы и Австралии. Этот момент в последующем изложении будет играть важную роль.

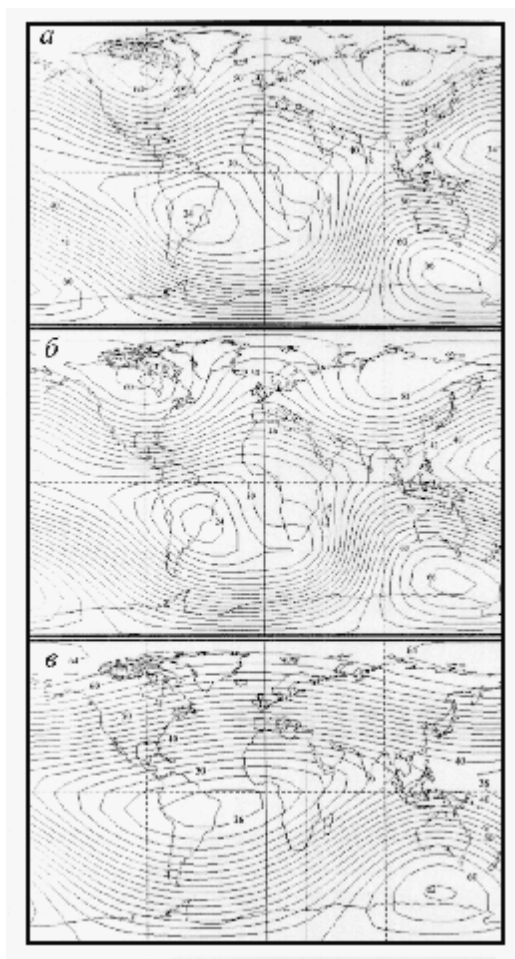


Рис.1. Модуль интенсивности (в нТл) геомагнитного поля (а), компьютерная модель геомагнитного поля как суммы источников: дипольного поля (двойное токовое кольцо) и 4-х глобальных магнитных аномалий (радиальные диполи) – (б). Дипольное поле без источников аномалий – (в).

Рассмотрим некоторые особенности геомагнитного поля, которые понадобятся нам в дальнейшем при построении модели изменений климата и жизни. Ограничимся кратким обзором таких явлений как пространственная структура поля, длиннопериодные вариации и дрейф магнитных полюсов. Ещё раз подчеркнем, что это далеко не полный перечень его особенностей. Речь пойдет о влиянии глобальных магнитных аномалий (ГМА) на структуру магнитосферы, проявляющегося в том, что отражение частиц солнечного ветра неравномерно по её поверхности. В районах ГМА плотность потока частиц заметно превышает среднюю. Кроме этого, рассмотрим одну из самых загадочных особенностей геомагнитного поля, так и не получившую объяснения в общепринятой динамо модели. Эти быстрые и нерегулярные смены

полярности поля называются инверсиями и экскурсами. Во время инверсий и экскурсов магнитные полюса меняются местами, причем трассы дрейфа полюсов, «проложенные» по поверхности Земли, остаются очень близкими друг к другу.

На рис. 1 можно выделить четыре ГМА: Канадскую, Сибирскую, Бразильскую и Антарктическую. Антарктическую аномалию иногда совмещают с аномальным полем южного магнитного полюса, что принципиально не верно. Одно из наиболее интересных свойств ГМА состоит в том, что в момент инверсий и экскурсов они остаются источниками магнитного поля. Например, известно, что в момент инверсии виртуальные магнитные полюса совпадали с положением Сибирской глобальной магнитной аномалии [Petrova, 1990].

Глобальные магнитные аномалии находят своё «отражение» в магнитосфере. Оказывается, что интенсивность высыпания космических частиц в районах аномалий заметно превышает среднюю по Земле. Первые спутниковые наблюдения показали, что в пяти районах Земли наблюдаются заметные отличия в интенсивности высыпания по

сравнению с другими областями земной магнитосферы [Вернов, 1961]. Интенсивность выпадения и энергетический спектр частиц резко менялся в Восточной Сибири (1), на Севере Америки (2), Юге Тихого Океана (3), Юге Индийского Океана (4) и Центральной части Атлантики (5). Как выяснили авторы этой работы, 4-я зона является не самостоятельным образованием магнитосферы, а магнитосопряжена с 1-ой. Таким образом, авторы фактически выделили четыре самостоятельные зоны, в которых наблюдаются особенности поведения высыпающих в магнитосферу высокоэнергичных частиц. Выделенные зоны пространственно совпадают с рассматриваемыми нами четырьмя ГМА. Эти данные подтверждаются работой [Марков, Мустель, 1983], в которой показано, что высыпание заряженных частиц высоких энергий из земной магнитосферы в нижнюю ионосферу происходит преимущественно в областях магнитных аномалий. Это явление – проникновение высокоэнергетических частиц солнечного ветра в области магнитных аномалий, было признано в России открытием.

Наиболее изучена в этом плане Бразильская магнитная аномалия, в эпицентре которой величина модуля магнитного поля почти в 2 раза ниже, чем в её окрестности. Анализ материалов, полученных на японском спутнике EXOS-A [Oyama, Schlegel, 1984] и на космической станции с телескопом Хаббл [Pinto et al., 1992], показывает, что Бразильская аномалия "проявляется", по крайней мере, до высот 600 км. Плотность потока заряженных частиц в районе Бразильской аномалии на несколько порядков превышает плотность частиц в других районах, удаленных от аномалии (рис. 2). Этот факт подтверждает, что в момент экскурса или инверсии, когда модуль поля заметно уменьшается, на Землю обрушивается поток частиц солнечного ветра и ГКЛ, который может не только разрушить пылевой слой, но и повысить уровень радиации и оказать влияние на живую природу, в том числе и на человечество.

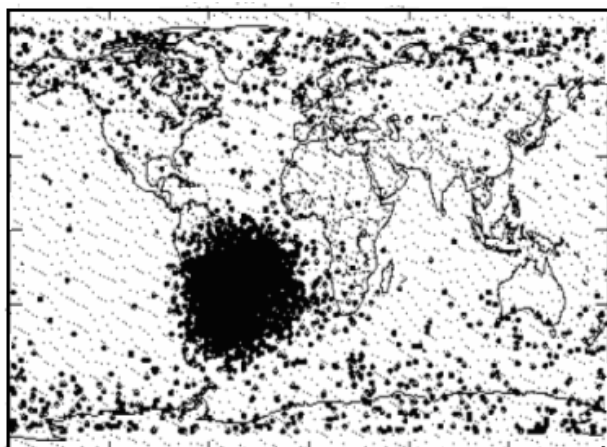


Рис.2. Распределение интенсивности космических лучей, полученное с помощью космического аппарата UoSAT в период с 09.1988 по 05.1992 [Glassmeier et al., 2002].

Заметим, что Бразильская магнитная аномалия изучалась археомагнитными методами [Pinto et al., 1992]. В течение последних 4-х тыс. лет она практически не меняла своего положения, ее эпицентр всегда находился там же где сейчас, на восточном побережье Брази-

лии. Интенсивность БМА за 4 тыс. лет была непостоянной: она дважды возросла относительно современной примерно в 1.5 раза.

Инверсии и экскурсы. Инверсия геомагнитного поля была впервые обнаружена в 1906 году Брюнесом при палеомагнитных исследованиях в лаве из Центрального массива во Франции. С тех пор подобные образцы горных пород были найдены во всех частях света. Известно, что в течение последних 76 миллионов лет произошла 171 инверсия. Установлено, что примерно половина всех измеренных образцов пород обладает нормальной намагниченностью, а остальные – обратной. Долгие годы продолжался спор, изменяла ли Земля полярность магнитного поля, или обратная намагниченность является результатом воздействия на вещество тех или иных физических или химических процессов. В наше время считается доказанным, что Земля периодически меняет полярность своего поля. Более того, доказана корреляция между частотой смены полярности поля и тектонической активностью планеты.

Таблица 1

Инверсии и экскурсы [*Petrova, Pospelova, 1990; McDougall et al., 1992; Worm, 1997*].

Эпоха	Экскурсы: время (тыс. лет), название	№
Brunhes 0 - 780	- 2.5 Etrussia	1
	- 15 – 20 Gothenburg	2
	- 25 – 30 Mono Lake	3
	- 35 – 45 Laschamp	4
	- 60 – 70 Kargopolovo	5
	- 110 – 130 Blake	6
	- 180 – 200 Biwa I	7
	- 230- 250 Jamaica	8
	- 280 – 300 Biwa II	9
	- 360 – 390 Biwa III	10
	- 469 Emperor	11
	- 550 Big Lost	12
	Brunhes-Matuyama 780	- 660 Delta
Matuyama	- 931 Kamikatsara	14
	- 990 - 1.060 Jaramillo	15
	- 1.190 – 1.215 Cobb Mountain	16
	- 1370 - 1440 Ontong Java	17
	- 1675 Gitsa	18
	- 1.780 – 1.960 Olduvai	19
Matuyama-Gauss 2.600	- 2.110 – 2.270 Reunion	20
Gauss	- 3.020 – 3.090 Kaena	21
Gauss-Gilbert 3.570	- 3.210 – 3.290 Mammoth	22
Gilbert	- 3.800 Cochiti	23
	- 4.200 Nunivak	24
	- 4.400 Sidufjall	25
Gilbert boundary, 5.000	- 4.800 Thverta	26
Эпоха 5 boundary, 6.000	- 5.100 – 5.300	27
	- 5.700 – 6.000	28
Эпоха 6 boundary, 7.300	- 7.300	29

Обнаружено, что в момент инверсии величина поля значительно понижается, но никогда не бывает равной нулю. Величина остаточного поля неравномерна по земной поверхности: она заметно выше в областях магнитных аномалий [*Петрова, Сперантова, 1986*]. Важным параметром является длительность инверсии, или, что то же самое, средняя скорость дрейфа магнитного полюса, т.к. длина его пути известна. Общепринято, что время обращения составляет в среднем от 1000 до 10000 лет, хотя есть оценки и в сто тысяч лет [*Паркинсон, 1986*]. Однако есть и совсем другие оценки. Например, обратимся к работе [*Вадковский и др., 1980*], где тщательно изучалось поведение магнитного поля во временных переходных зонах между эпохами Гаусс-Матуяма, Матуяма-Хурамильо, а также верхнекембрийской инверсии N→R на ряде разрезов Средней Азии и Восточной Сибири. Авторы выделили несколько кратковременных переполусовок в течение инверсии. Средняя длительность смены полярности, когда можно говорить об устойчивом состоянии поля, составляет примерно от сотни до тысячи лет. Инверсия включает в себя до десятка и более состояний той или иной полярности поля и промежуточных состояний, когда дипольного поля (и магнитных полюсов) попросту нет.

Периоды палеомагнитной шкалы современной (положительной) полярности поля (N) и периоды отрицательной полярности (R) прерываются короткими изменениями

поля, называемыми экскурсами. Это разделение в значительной степени условно. По всей видимости, природа этих явлений едина. Например, в течение хрона Брюнес были обнаружены экскурсы: Этрusia, Гетеборг, Моно Лайк и др. (см. Табл. 1).

Отметим три важных момента, касающихся экскурсов [Петрова, Поспелова, 1992]: 1) теории динамо не могут объяснить таких резких и кратковременных изменений геомагнитного поля как экскурсы;

2) экскурс, как и инверсия, это глобальное явление;

3) экскурсы развиваются во время цикла понижения магнитного момента Земли.

Последнее заключение подтверждается недавно опубликованными данными о поведении магнитного поля Земли в течение последних 800 тыс. лет [Guyodo, Valet, 1999]. Эти авторы показали, что экскурсы возникают в ситуации, когда дипольный момент опускается ниже критической отметки в 4×10^{22} А м².

Дрейф магнитных полюсов. В работе [Kuznetsov, 1999] было показано, что магнитные полюсы в момент инверсии дрейфуют по строго определенным траекториям, проходящим вблизи четырех глобальных магнитных аномалий (ГМА). Аномалии «принимают участие» в механизме смены полярности геомагнитного поля. Авторы работы [Вадковский и др., 1980] обнаружили, что в некоторых случаях в течение инверсии магнитное поле меняло свою полярность неоднократно, причем за очень небольшое время, не более 100 лет, при общей длительности инверсии порядка 1 – 10 тыс. лет. Сравнивая скорости перемены полярности поля в момент инверсии и экскурса, можно привести данные работы [Архипов и др., 2000], в которой показано, что при самом последнем экскурсе «Этрusia», произошедшем 2.8 тыс. лет тому назад, время смены полярности так же не превышало 100 лет. По-видимому, 100 лет – это минимальное время смены полярности геомагнитного поля. Отсюда следует, что скорость дрейфа магнитного полюса в момент инверсии может достигать (20 000 км/100 лет) 200 и более км/год.

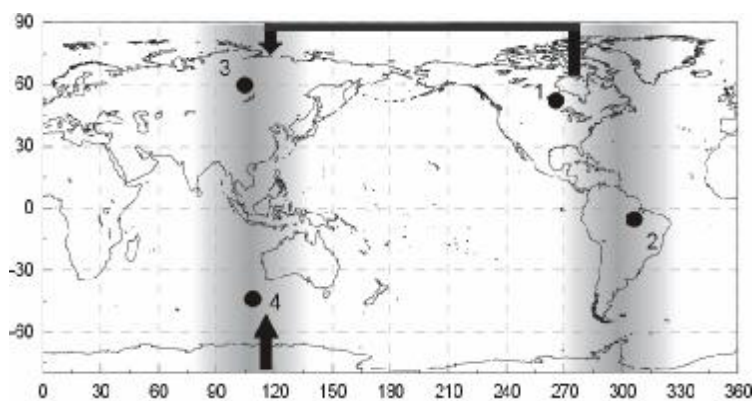


Рис.3. Трассы дрейфа магнитных полюсов в периоды инверсий. Цифры – глобальные магнитные аномалии [Kuznetsov, 1999].

Как известно по палеомагнитным данным, средняя скорость дрейфа геомагнитных полюсов составляет несколько см/год, а направление дрейфа имеет явно случайный (броуновский) характер. Траектории дрейфа палеомагнитных полюсов «тяготеют» к географическим полюсам. Магнитные полюсы дрейфуют совсем по-другому в момент инверсий и экскурсов. В этом случае они всегда движутся с севера на юг или наоборот, и всегда по выделенным одним и тем же траекториям – «коридорам» (рис. 3).

Климат и жизнь на Земле в неогене

Связь с геомагнитным полем. Сравнение палентологической шкалы со шкалой магнитных инверсий показывает совпадение ряда временных границ. Так, например, начало четвертичного периода (2.6 млн. лет назад) совпадает со сменой полярности Гаусс-Матуяма. Смена плиоцена на плейстоцен (1.8 млн. лет назад), – происходит в период хрона Олдувай, смена миоцена плейстоценом (5.3 млн. лет назад), – соответствует началу периода Гильберта и т.д. Эти совпадения означают, что смена режимов геомаг-

нитного поля оказывает немалое влияние на ход биологической эволюции. Возможно так же, что существует одна причина этих совпадений.

В качестве иллюстрации сказанному рассмотрим одно из наиболее изученных (из доступных опубликованных данных) событий, произошедших на Земле, на смене геологических эпох [Мернер, 1986]. Мернер исследовал несколько подобных катастрофических событий, произошедших на Земле на рубеже эоцена и олигоцена, миоцена и плистоцена, а так же событий, произошедших «совсем недавно», в течение последних примерно 350 тыс. лет. Как правило, все они приурочены к смене полярности геомагнитного поля. В таблице палеомагнитной шкалы приведены данные, согласно которым, в современную магнитную эпоху Брюнес произошло всего три эпизода, каждый длительностью около 10 тыс. лет, соответственно, 330, 115 и 20 тыс. лет тому назад. В действительности, как следует из Таблицы 1, таких событий было больше. В каждом из этих событий наблюдался ряд последовательных операций: регрессия и трансгрессия, похолодание и наступление ледников, понижение уровня моря и следующий за ним, его резкий подъем, уменьшение разнообразия форм фауны, усиление вулканической деятельности и т.п. [Мернер, 1986]. Самое последнее катастрофическое событие, которое случилось на Земле, и которое нашло отражение в палеомагнитологии – Gothenburg. Оно состоялось от 20 до 12 тыс. лет тому назад, причем, вероятно, именно это событие вошло в память человечества как Библейский Всемирный потоп [Головков, 1978].

Наиболее полно исследовано событие, которое произошло при смене магнитной эпохи 5 на эпоху Гильберт. При этом полярность геомагнитного поля менялась от современной полярности к противоположной (рис. 4). Это событие Мернер связывает с изменениями, происходящими в области перехода между ядром и мантией [Мернер, 1986] и приводящими к изменению высоты геоида.

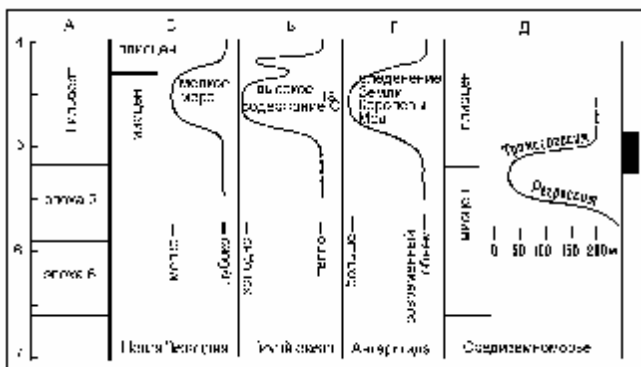


Рис.4. Событие на границе миоцена и плистоцена [Мернер, 1986].

Климат. В течение эволюции Земли её климат менялся. На начальном этапе, в раннем докембрии, температура поверхности достигала 100 °С. Затем температура постепенно уменьшалась до современной, определяемой инсоляцией и альбедо поверхности Земли. В течение прак-

тически всего периода эволюции Земли на её поверхности происходили кратковременные похолодания и оледенения. За последние 500 млн. лет (рис. 5) температура Земли уменьшилась примерно на 10°. Средняя скорость охлаждения Земли за этот период составляет примерно: $dT/dt = - 2 \cdot 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$. Как видно из этого рисунка, постепенное охлаждение поверхности Земли прерывалось резкими сбросами температуры, связанными с похолоданиями и оледенениями. Очевидно, что здесь мы имеем два независимых друг от друга процесса. С точки зрения термодинамики необратимых процессов, наблюдаемая на рис. 5 цикличность, должна быть связана с охлаждением системы таким образом, что после цикла охлаждения температура должна быть ниже предшествующей началу цикла. Однако в обсуждаемом графике имеет место возвращение системы к температуре, практически равной температуре до похолодания.

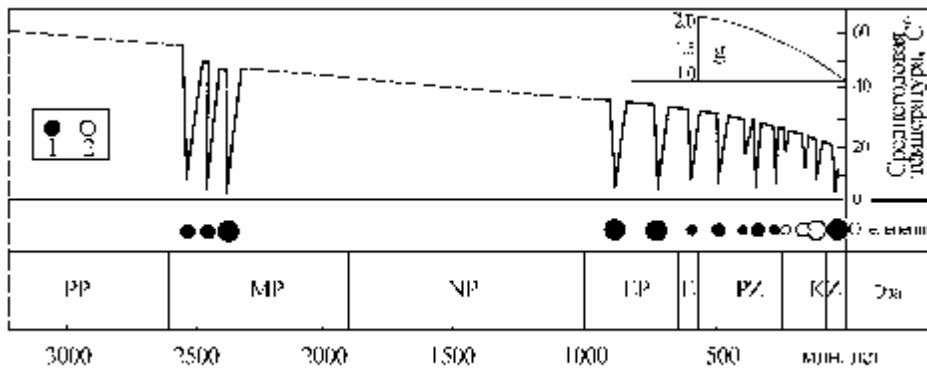


Рис.5. Оледенения (1) и температурные минимумы (2) в геологической истории Земли [Салон, 1982]. В правом верхнем углу - зависимость силы тяжести g от времени [Кузнецов, 1990].

Интересные результаты были получены при бурении ледника Антарктиды в районе станции Восток. Авторы [Petit et al., 1999]. При анализе керна льда обнаружили, а в работе [Vimeux et al., 2002] уточнили, что в течение «последних» 420 тыс. лет произошло четыре цикла: температура поверхности Земли четырежды сначала плавно, в течение примерно 100 тыс. лет, уменьшалась, а затем довольно резко возрастала. Синхронно возрастал и уменьшался объем льда. Максимальная концентрация примеси в виде пылевых частиц наблюдалась, соответственно, в периоды, предшествующие: 20, 120, 250 и 330 тыс. лет тому назад. Эти периоды совпадают с экскурсами геомагнитного поля. Подобных данных, показывающих связь между периодами потепления и экскурсами довольно много. В качестве примера приведем результаты изучения самого последнего экскурса «Этрусия» 2.8 тыс. лет назад. Авторы (Архипов и др., 2000) зафиксировали смену фазы похолодания на потепление климата во время этого экскурса. Период времени, начавшийся после уменьшения концентрации пыли и характеризующийся подъемом температуры (левее пунктирной линии на правой части рис. 9), особо выделен в палеонтологии, - он получил название голоцен. В течение этого периода, начавшегося 12 – 15 тыс. лет тому назад, человечество развивалось наиболее интенсивно.

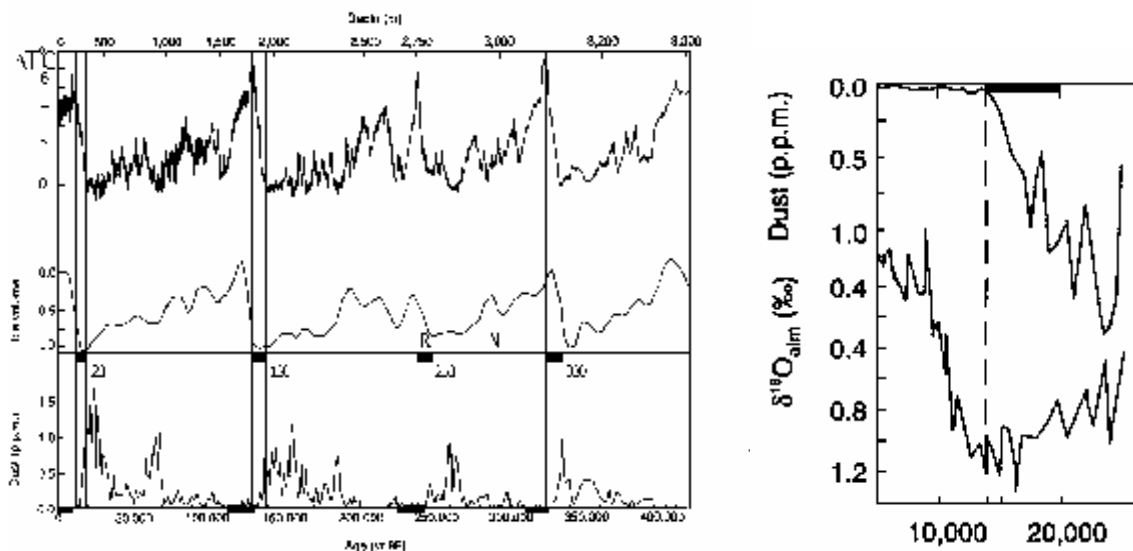


Рис.6. Слева: Верхняя строка – относительное изменение температуры поверхности Земли. Средняя строка – относительный объем льда на Земле. Нижняя – относительная концентрация пыли [Petit et al., 1999]. Вертикальные столбцы – экскурсы (R): Gothenburg (20); Blake (120); Jamaica (250); Biwa – II (330). Справа: Изменение концентрации пыли и относительная концентрация изотопа кислорода за 20 – 5 тыс. лет тому назад. Черная строчка сверху – экскурс Gothenburg. Температура поверхности ледника оценивается по изотопному составу кислорода $\delta^{18}O$. Убывание величины этого параметра соответствует возрастанию температуры.

Понижение температуры примерно на 10 градусов после его «быстрого» подъема происходит в течение 100 тыс. лет, откуда скорость охлаждения: $dT/dt = - 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$. Увеличение температуры на 10 градусов, приуроченное к геомагнитным экскурсам, происходит примерно за 10 тыс. лет: $dT/dt = + 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$. На рис. 9 видно, что и похолодание, и следующее за ним потепление, сопровождается быстрыми изменениями (вариациями) температуры. За 10 тыс. лет потепления происходит не менее 10 колебаний, при которых температура изменяется примерно на $\pm (1 - 2)$ градуса за 100 – 200 лет.

Совпадение периодов потепления с периодами уменьшения концентрации пыли может говорить о том, что пыль в керне льда – это остатки атмосферного аэрозоля, который, находясь в атмосфере Земли, экранировал солнечное излучение. Если допустить, что по какой-либо причине пылевой слой был быстро разрушен, легко объяснить быстрое потепление, таяние ледников, быстрый подъем уровня океана (Великий потоп) и т.д. Корреляция периодов потепления с экскурсами геомагнитного поля позволяет найти причину в том, что во время экскурса, когда магнитное поле Земли значительно понижается, космические лучи попадают в атмосферу, что и вызывает разрушение пылевых аэрозолей. Доказательством такой схемы служило бы наличие повышенной концентрации космических частиц в периоды прохождения экскурсов.

Обратимся к данным по изучению временного распределения концентраций изотопа ^{10}Be в осадочных породах. Рисунок 7 [Aldahan, Possnert, 2003] демонстрирует связь между геомагнитными экскурсами и концентрацией изотопа ^{10}Be . В работах [Robinson, et al., 1995; Frank, et al., 1997; Aldahan, Possnert, 2003] показано, что изотоп ^{10}Be является индикатором интенсивности галактических космических лучей, достигших поверхности Земли и оставивших характерные «следы» в осадках. Использование изотопа ^{10}Be связано с тем, что его концентрация в породах земной коры значительно ниже, чем в космических лучах. Поэтому принято считать, что наличие этого изотопа однозначно обязано попаданию космических лучей на поверхность Земли.

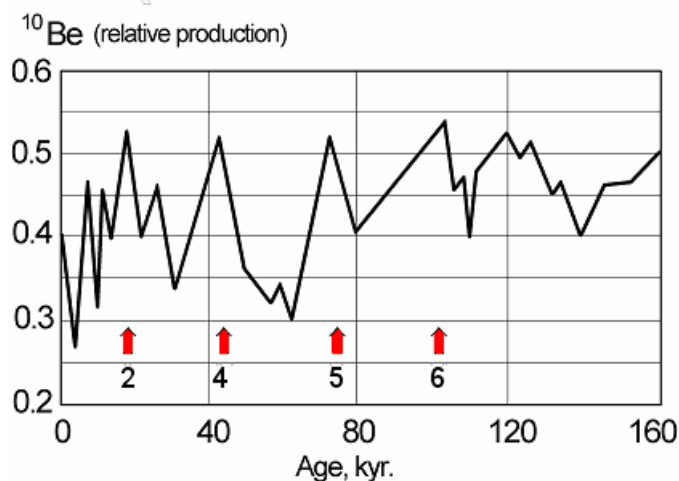


Рис.7. Изменение концентрации изотопа ^{10}Be в осадочных породах в течение последних 160 тыс. лет. Стрелками показаны экскурсы (цифры соответствуют номерам экскурсов в Таблице 1)

Возможность галактических космических лучей (ГКЛ) достигнуть земной поверхности зависит от их энергии, величины геомагнитного поля Земли и широты «точки приема ГКЛ», т.к. вектор модуля поля изменяется в зависимости от географической (магнитной) широты места, в котором регистрируются «следы» ГКЛ. Например, для современного значения величины геомагнитного поля, в области экватора энергия частиц должна быть порядка (и более) 14 ГэВ, на широте 40° энергия частиц, попадающих на Землю, снижается до 4 ГэВ, а на широте 60° - 0.5 ГэВ и т. д. (эффект геомагнитного обрезания). Очевидно, что интенсивность ГКЛ, достигнувших поверхности Земли, может возрасти неоднократно, если на некотором пространстве земной поверхности вели-

чина геомагнитного поля окажется практически равной нулю. Известно, что в состав ГКЛ, кроме очевидных элементов: водорода и гелия, входит изотоп ^{10}Be (редко встречающийся в природе). Его содержание в ГКЛ остается постоянным в течение времени порядка 10^6 лет. Принято считать, что «время жизни» ГКЛ, т.е. время, необходимое для того, чтобы от источника ГКЛ «добраться до Земли», составляет примерно 10^7 лет. При этом отношение изотопов $[^{10}\text{Be}]/[^7\text{Be} + ^9\text{Be} + ^{10}\text{Be}] = 0.028$. ГКЛ проходят толщину вещества атмосферы 5 г/см^2 , после чего средняя концентрация частиц ГКЛ составляет 0.2 см^{-3} . Таким образом, наличие повышенной концентрации ^{10}Be может быть индикатором факта, показывающего, что в определенное время, в определенном регионе Земли геомагнитное поле имело существенно меньшую величину, чем обычно. Как следует из ряда работ [Robinson, et al., 1995; Frank, et al., 1997; Aldahan, Possnert, 2003], периоды увеличения концентрации изотопа ^{10}Be во временной «летописи» осадочных пород (см. рис. 10), совпадают по времени с экскурсами.

Влияние космического излучения, инверсий и экскурсов геомагнитного поля на эволюцию человека

Эволюция человека. Известно довольно большое количество схем эволюции человека. Каждая из таких схем, несколько отличаясь в деталях от других, аналогичных, имеет некую общность. Она состоит в том, что все схемы, в той или иной степени, представляют собой генетическое, эволюционное «дерево». Такой подход к проблеме эволюции берет начало с работ Ч.Дарвина. Согласно общепринятым представлениям, один вид, эволюционируя, развивается и замещает собой другой, – родительский. Именно поэтому на большинстве схем их авторы проводят соединительные межвидовые линии, как правило, сопровождаемые вопросами. Возникновение вопросов вызвано тем, что антропологи не находят устойчивых данных, подтверждающих конкретные связи предков человека – гоминид с человеком современным.

Единого мнения по поводу временной схемы развития гоминид и человека, а также взаимосвязи видов, не существует [Wood, 2002]. Антропологи и генетики согласны лишь в том, что и те, и другие произошли в Африке. Антропологи [Wood, 2002] аргументируют этот вывод тем, что возраст неафриканских находок ископаемых останков гоминид не превышает 2 млн. лет. Тогда как в Африке найдены останки, имеющие возраст около 6 - 7 млн. лет [Brunet, et al., 2002]. Генетические исследования эволюционной истории человечества так же указывают на Африку [Jorde, et al., 1998; Satta, Takahata, 2004; Cann, et al., 1987; Horai, et al., 1995; Foley, 1998; Huelsenbeck, Imennov, 2002], как на место зарождения современного человека.

Генетическими исследованиями событий эволюционной истории человека выявлены следующие точки на временной шкале. Известно, что люди и человекообразные обезьяны имели общих предков, но не горилла, и не орангутанг оказались нашими ближайшими родственниками, - а шимпанзе. Расхождение филогенетических ветвей человека и шимпанзе произошло около 5 млн. лет назад (Табл. 2): [Takahata, Satta, 1997] = 4.5; [Gagneux, et al., 1999] = 4.7; [Takahata, et al., 1995] = 4.6; [Horai, et al., 1995] = 4.9; [Chou, et al., 2002] = 5.3; [Glazko, Nei, 2003] = 6.3. Дата ~ 5 млн. лет назад соответствует инверсии геомагнитного поля и является пограничной точкой эпох Миоцена и Плиоцена (рис. 6).

Интересный вопрос состоит в том, как была оценена дата расхождения линий человека и шимпанзе? Известно, что для реконструкции истории человечества используется метод «молекулярных часов». Наиболее информативными в настоящее время объектами исследований являются митохондриальная ДНК и У-хромосома. Первая (мтДНК) передается только по материнской линии, в то время как У-хромосома, – только по мужской. Мутации, которые в них появляются, маркируют потомство. Анализируя древние мутации в современных людях, можно понять, как шла эволюция человека.

Так как скорость накопления мутаций – величина постоянная, то можно установить, когда жил последний общий предок данных видов. В настоящее время генетики оценивают датировку этих мутаций, анализируя ДНК современных людей, так как биополимерные молекулы, выделенные из останков старше 100 тыс. лет [Chou, et al., 2002], теряют исходные свойства, и требуют специальных операций при работе с ними.

Методом “молекулярных часов” была получена дата отшеления линии гориллы (млн. лет): [Takahata et al., 1995] = 7.2; [Glazko, Nei, 2003] = 7.0. Эта дата совпадает с нижней границей Мессенианского этапа миоценового периода и времени инверсии на палеомагнитной шкале (рис. 4).

Граница этапов эпохи Плиоцена (возраст 2,6 млн. лет) является датой мутаций, обнаруженных у всех современных людей. Эти мутации предшествуют времени возникновения принципиально нового вида *Homo erectus* [Wood, 2002]. Этот вид отличается от всех ранее живущих гоминид резким возрастанием объема головного мозга и считается предком современного человека [Hawks, et al., 2000]. Мутация, в результате которой был инактивирован ген, кодирующий наработку сахарозы на поверхности клетки, имеет возраст ~ 2,8 млн. лет [Chou, et al., 2002]. Примерно этот же возраст (~ 2,4 млн. лет) имеет мутация гена миозина, в результате которой произошло значительное уменьшение объема и силы мощных жевательных мускулов, характерных для человекообразных обезьян и, по словам авторов [Stedman, et al., 2004], были ликвидированы анатомические ограничения роста объема черепной коробки, и, как следствие, увеличения объема головного мозга.

К событиям этого времени (2,60 +/- 0,94 млн. лет) следует отнести недавно обнаруженное разделение африканских слонов на два вида [Roca, et al., 2001]. Заметим, что предшествующее этому разделение слонов на азиатских и африканских, по времени совпадает с расхождением генетических линий человека и шимпанзе (~ 5 млн. лет) [Roca, et al., 2001].

Сравнение мтДНК современных людей и мтДНК, выделенной из останков неандертальцев, до недавнего времени считавшихся нашими предками [Rozzi, Castro, 2004] показало, что их линии являются параллельными, а не последовательными [Serre, et al., 2004]. Разъединение между линиями человека и неандертальца произошло около 500 тыс. лет назад [Takahata N., Lee S. and Satta Y. 2001], что также находит отражение в палеомагнитной шкале.

Возраст общего предка современных людей и место его возникновения оценивались различными авторами [Cann, et al., 1987; Vigilant, et al., 1991; Horai, et al., 1995; Takahata, et al., 2001]. По последним оценкам средний возраст самой древней обнаруженной мтДНК составляет 230 тыс. лет, и 100 тыс. лет – для У-хромосомы, причем, оба имеют африканские корни [Cavalli-Sforza L., Feldman M., 2003]. Однако это совсем не означает, что в эти периоды существовало по одной женщине, или по одному мужчине, или не было линий-современников мтДНК и У-хромосомы. Считается, что к нашему времени сохранились потомки только этих линий. Дата возникновения этих мтДНК и У-хромосомы соответствует событиям, отраженным на палеомагнитной шкале, а именно моментам экскурсов геомагнитного поля.

Филогенетическая схема, составленная антропологами исходя из найденных останков, дает представление о временных отрезках существования разных видов гоминид. По этой схеме можно видеть, что этап от 5 до 2 млн. лет соответствует гоминидам с маленьким объемом головного мозга [Takahata, et al., 2001], не менявшимся в течение этого периода. Обнаружено, что увеличение размеров мозга у представителей семейства [Wood, 2002] произошло в эпоху Плейстоцена. Последние находки новых видов гоминидов заставляют авторов [Wood, 2002] отойти от названия представленной схемы «деревом», согласно которой представленные виды связывались в последовательные цепочки «предок-потомок». Целесообразность нового подхода подтверждается антро-

пологическими характеристиками последних находок останков гоминид, схожих с представителями более позднего времени [Leakey, et al., 2001; Brunet, et al., 2002]. Антропологи [Wood, 2002] склонны представлять эволюцию гоминид сродни разрастанию куста, когда в течение данного периода появляется сразу несколько видов гоминид, причем причина такого разрастания не называется.

Таблица 2

Этапы эволюции человека, палеонтологическая и палеомагнитная шкалы.

0.015 – раса европейцев и североафриканцев	£	- 0.015	Gothenburg
0.046 – раса жителей северной Азии	¥	- 0.045	Laschamp
0.1 - общий предок современного человека (по Y-хромосоме)	¥	- 0.11 - 0.13	Blake
0.23 - общий предок современного человека (по мт ДНК)	¥	- 0.23 - 0.25	Jamaica
....	¥	- 0.47 - 0.55	Emperor
0.5 – разветвление генетических линий современного человека и Неандертальца	¥	- 2.110 - 2.270	Reunion
<u>2.1-2.2 - возникновение Homo erectus</u>	¥/F	- 2.6	Matuyama-Gauss boundary
2.4 -2.8 – мутации, обеспечившие возникновение Homo erectus	F		
2.6 +/-0,94 – разделение Африканских слонов на две группы	F	- 5.0	Gilbert boundary
<u>5 (4.5; 4.7; 4.9; 4.93; 5.2) – расхождение человека и шимпанзе</u>	F/€	- 6.0 - инверсия	
5 – разделение слонов на Африканских и Азиатских	€	- 7.3 - инверсия	
6-7 – останки гоминид	€		
7.2 – отделение линии гориллы			

£ - Holocene; ¥ - Pleistocene; F - Pliocene; € - Miocene

Возникновение рас (географических популяций) и схема расселения. Определение расы звучит примерно так: «раса – это большая популяция индивидов, у которых значительная часть генов общая и которую можно отличить от других рас по общему для нее генофонду». На основании числа аллелей, свойственных той или иной группе организмов, возможно определение генетического расстояния между ними. Оказалось, что для больших рас эта величина выражается числом 0,03. Это гораздо ниже значений, характеризующих подвиды (0,17–0,22) и тем более виды животных (0,5–0,6 и более). В животном мире генетическое расстояние, равное 0,03, соответствует отличиям местных популяций друг от друга.

Различия между расами объясняется естественным отбором. Принято считать, что естественный отбор является главным фактором эволюции внешних признаков (фенотипов). Он обуславливает приспособление к различным условиям окружающей среды. Однако чтобы действие отбора закрепилось, необходимо наличие репродуктивной изоляции. Существовал ли исторический период, когда все человечество было разделено на три более или менее изолированные группы?

На протяжении большей части последнего ледникового периода (около 100 тыс. лет назад) громадная площадь Земли была покрыта льдом. Гималаи и Алтайские горы с расположенными на них ледниками разделили Евроазиатский континент на три области, создавая тем самым условия для раздельной эволюции белых на западе, монголоидов на востоке и негроидов на юге. Современные области расселения трех больших рас не совпадают с теми областями, в которых они формировались, но это можно объяснить более поздними миграциями. По каким же признакам шел отбор? Скорее всего, это были приспособления к конкретным природно-климатическим условиям.

Традиционно выделяют три основные расы: европеоиды (или евразийская раса), негроиды (экваториалы) и монголоиды (азиатско-американская раса). Но многие антропологи считают, что с биологической точки зрения рас значительно больше – как

минимум 8 или 10. В частности, можно назвать южноафриканскую (бушмены и готтентоты), австралоидную, айноидную, американоидную расу и ряд других. Их представители отличаются по некоторым существенным морфологическим признакам, таким как цвет кожи, глаз и волос, особенности строения лица и т.д. Существуют чисто биологические механизмы разделения на расы. Принято считать, (во-первых) для того, чтобы образовалась группа со своеобразным генофондом, необходима изоляция – тогда в силу принципа случайности мутаций (как по конкретному гену, так и по времени возникновения) группа начинает автоматически дивергировать, чему способствует также вероятностный характер закрепления новых мутаций. Считается так же (во-вторых), что в различных климатогеографических зонах в ходе адаптации и естественного отбора возникают признаки, способствующие выживаемости в данной области. Рассмотрим этот вопрос в контексте нашей модели, для чего обратимся к схеме возникновения человеческих рас (рис. 8).

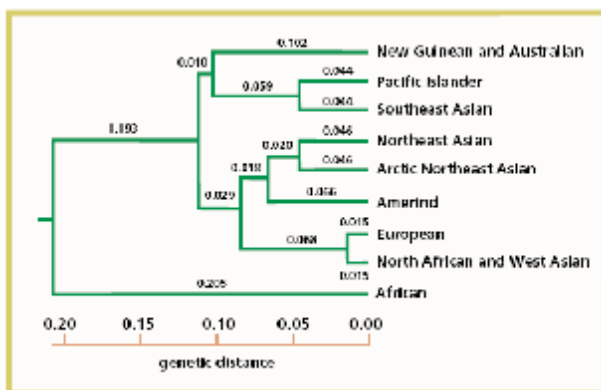


Рис.8. Схема возникновения человеческих рас [Cavalli-Sforza, Feldman, 2003].

На схеме показано расхождение между расами в генетических расстояниях. Видно, что африканская раса не изменялась на дистанции 0.205, в то время как европейцы и североафриканцы подверглись трем бифуркациям. Последняя бифуркация соответствует дистанции

0.015. Генетические расстояния (ГР) определяются по частоте рекомбинаций между генетическими маркерами. Это количественная характеристика сравниваемых объектов (популяций, видов и т.п.), определяющая среднее число замен нуклеотидов в каждом локусе, которые произошли за время раздельной эволюции двух групп организмов; в настоящее время наиболее широко применяется метод расчета ГР по Нэю (*Nei genetic distance*). Иногда ГР указывается в морганидах (сантиморганидах, сМ), иногда, – во временных интервалах (в млн. лет) между бифуркациями. На схеме выделены ГР: ~ 200 тыс. лет, ~100 тыс. лет, 46 и 15 тыс. лет. Эти даты – периоды прохождения соответствующих экскурсов эпохи Брунес. Если совпадения не случайны и ГР действительно выражены во временных интервалах (в млн. лет), то разделение человечества на расы так же связано с повышением радиационного фона на Земле в периоды экскурсов (см. Табл. 2).



Рис.9. Карта расселений [Cavalli-Sforza, Feldman, 2003].

Карта расселений, непосредственно связанных с возникновением рас, показана на рис. 9. Человечество начало расселяться по материкам из Африки примерно 100 тыс. лет тому назад. Анализируя пути и сроки миграций, отметим две интересные детали. Первая касается заселения Австралии примерно 50-60 тыс. лет тому назад. Как следует из модели горячей Земли [Кузнецов, 1990], в это время в Австралию можно было перебраться практически по суше. Вторая деталь, аналогичная первой, относится к переселению наших предков

Австралии примерно 50-60 тыс. лет тому назад. Как следует из модели горячей Земли [Кузнецов, 1990], в это время в Австралию можно было перебраться практически по суше. Вторая деталь, аналогичная первой, относится к переселению наших предков

через Берингов пролив, который, как сейчас известно, образовался сравнительно недавно, во время т.н. «Великого потопа», в момент таяния ледников сразу после экскурса Гетеборг, 15 тыс. лет тому назад. Именно поэтому последний срок переселения предков на Американский материк датируется временем этого экскурса.

Почему Африка? Один из принципиальных вопросов из области проблем эволюции человека заключается в том, почему местом рождения современного человека является Африка? Почему все попытки найти следы возникновения (но не миграции) го-мо сапиенс на других континентах оканчивались безрезультатно? Почему первобытные люди стали расселяться из Африки? Почему именно в Африке находят следы генетических мутаций многих других биологических видов?

Ответом на эти вопросы было бы доказательство того, что именно в Африке радиационный фон в период инверсий и экскурсов был наибольшим, значительно превышающим фон на других континентах. Обратимся к опубликованным данным по поведению геомагнитного поля в периоды одних и тех же инверсий и экскурсов, записанных в осадках или вулканических извержениях, произошедших в различных регионах Земли.

Авторы [*Hartl, Tauхе, 1996*] показали, что уменьшение модуля поля в момент инверсии Брюнес-Матуяма и предшествующего инверсии экскурса Хурамильо, было различным для различных регионов. Пробы брались в районах расположения базальтов, излившихся на дно океанов вблизи Индонезии (0°, 160°E) и западного берега Африки (0°, 20°W). В первом случае уменьшение модуля поля не превышало 1/10 от его нормальной величины, во втором, - понижение модуля было большим, не менее 1/30 от нормального значения. Эти данные подтверждаются другими аналогичными наблюдениями. Так, например, в [*Oda, et al., 2000*] показано, что в момент этой инверсии в базальтах, излившихся в районе острова Барнео (7° N, 122°E), модуль поля уменьшился примерно в 5-7 раз от его нормальной величины. Аналогичное по величине уменьшение было зафиксировано вблизи побережья Калифорнии [*Heider, et al., 2000*]. Значительное понижение модуля было зарегистрировано вблизи западного побережья Африки [*Yamazaki, Oda, 2001*]. Авторы зарегистрировали уменьшение модуля геомагнитного поля в периоды инверсии Брюнес-Матуяма и экскурса Хурамильо, не менее чем в сто раз.

Приведенные данные по поведению модуля поля в моменты инверсий можно считать подтверждением теории дрейфа магнитных полюсов в моменты инверсий и экскурсов. Согласно этой теории дрейф полюсов происходит по вполне определенным траекториям, на которых располагаются глобальные магнитные аномалии [*Kuznetsov, 1999*]. В момент времени инверсии (экскурса), когда поле дипольного источника становится близким к нулю, собственное поле глобальных магнитных аномалий ещё сохраняет свое прежнее значение. Поле дипольного источника возрастает от нулевого значения со знаком, обратным предыдущему. Это приводит к аннигиляции поля дипольного источника и поля аномалии. Так происходит смена полярности поля на выделенных трассах. В тех районах, где влияние аномалий не сказывается, например, в Африке, модуль поля во время инверсий и экскурсов становится практически равным нулю. Таким образом, палеомагнитные данные однозначно показывают, что в момент инверсии, - модуль геомагнитного поля в Африке уменьшается значительно больше (в 100 и более раз), по сравнению с другими регионами (Азией, Австралией, Америкой), в которых модуль поля уменьшается не более чем в 10 раз (рис. 10, 11).

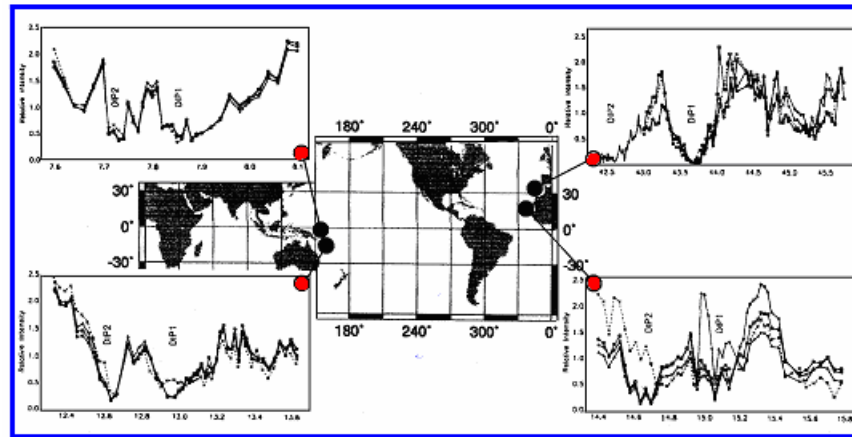


Рис.10. Уменьшение интенсивности геомагнитного поля в период инверсии Брюнес-Матуяма (DIP 2) и предшествующего инверсии экскурса Хурамильо (DIP 1) [Hartl, Tauxe, 1996]. Черными точками и линиями показаны места взятия проб.

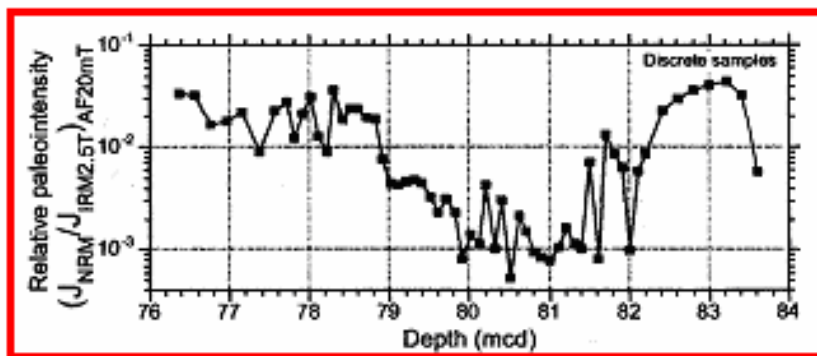


Рис.11. Изменение относительной палеоинтенсивности геомагнитного поля в период инверсии Брюнес-Матуяма, по данным образцов [Yamazaki, Oda, 2001], взятых на западном побережье Африки (20° S, 10° E).

Рост уровня радиации при уменьшении модуля геомагнитного поля

Построим ориентировочную, феноменологическую зависимость радиационной дозы D от величины модуля геомагнитного поля B . Очевидно, что в момент инверсии (экскурса), когда модуль поля значительно уменьшается, величина корпускулярного потока, попадающего на Землю, возрастает, иначе, увеличивается уровень радиации Земли. В целях упрощения оценок, будем полагать, что приходящая на Землю радиация (в зивертах) биологическими объектами, обитающими на Земле, полностью поглощается, при этом поглощенная доза (в греях) точно равна уровню радиации (в зивертах). Такое допущение, в частности, означает, что радиационный фон ГКЛ* (равный на поверхности Земли $\sim 0.5 \cdot 10^{-3}$ Зв) эквивалентен дозе ($\sim 0.5 \cdot 10^{-3}$ Гр). Основанием к такому допущению служит то обстоятельство, что один зиверт, и один грей, – оба равны 10^4 эрг/г.

При построении зависимости: «радиационная доза – модуль геомагнитного поля» учтем величины общепринятых значений дозы. Будем считать, приближенно, что при уменьшении модуля геомагнитного поля в 100 раз, радиационная доза возрастает, по крайней мере, не менее чем в 100 раз. В действительности, увеличение дозы может быть даже больше. Докажем это утверждение. Энергия частиц, отклоняемых геомагнитным полем E примерно пропорциональна величине геомагнитного поля B : $E \sim B$. На заряженную частицу, попадающую в магнитное поле, как известно, действует сила Лоренца $F = Z evB$, равная центробежной силе mv^2/R , иначе: $mv = Z evR$. Переходя к более удобным единицам, получаем: $E = 300 ZBR$, где: E – энергия частицы в МэВ, Z – заряд частицы, B – индукция магнитного поля в Тл, R – радиус кривизны траектории частицы в м, e – заряд электрона, v – скорость частицы, m – её масса.

Принято считать поток космических лучей (КЛ) величиной фрактальной. Это означает, что число частиц потока КЛ N , обладающих энергией E : $N_{(E)} \sim E^{-d}$, где $1 < d < 2$, d – фрактальная размерность. Учет этого обстоятельства позволяет ориентировочно оценить, как будет возрастать радиационная доза, при уменьшении модуля геомагнитного поля. Например, если модуль поля уменьшится в период инверсии в 100 раз, то доза может увеличиться даже больше чем в 100 раз, в пределе, в 10 000 раз. Докажем возможность такой оценки. Как было показано, чем меньше величина магнитной индукции, тем частицы меньшей энергии способны преодолевать защитную магнитную оболочку Земли: $E \sim B$. Это соответствует тому, что плотность потока КЛ, попадающего на Землю, возрастает. Доза ионизирующего излучения на поверхности Земли D определяется плотностью потока частиц P , коэффициентом передачи энергии L и временем действия ионизирующего излучения t : $D = PLt$. Очевидно, что если параметры Lt не меняются, то плотность потока $P \sim N_{(E)}$, следовательно, и $D \sim N_{(E)}$. Учитывая принятое нами ранее $N_{(E)} \sim E^{-d}$, где $1 < d < 2$, то и доза $D \sim B^{-d}$. Т.о. мы получили зависимость, показывающую, что уменьшение величины геомагнитного поля приводит к росту дозы ионизирующего излучения. Речь идет пока только об эффекте уменьшения отклонения заряженных частиц при уменьшении величины магнитной индукции Земли. Если учесть, что при этом будут разрушаться радиационные пояса, то поток заряженных частиц на Землю возрастет ещё больше, что приведет к ещё большему возрастанию дозы ионизирующего излучения.

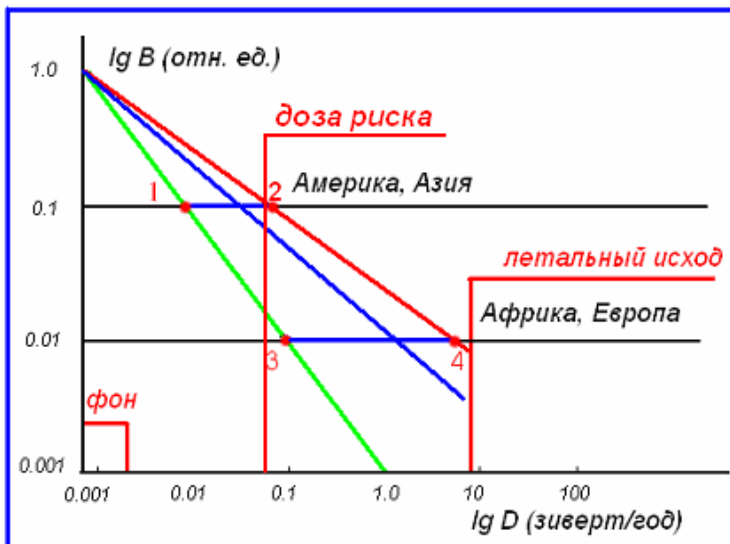


Рис.12. Зависимость радиационной дозы (D) от величины модуля геомагнитного поля (B).

Фрактальная размерность d , согласно нашей модели, может меняться от 1 до 2. При этом радиационная доза D , в зависимости от величины B , может меняться от $D \sim B$ (линия 1 – 3 на рис. 16) до $D \sim B^{-2}$ (линия 2 – 4). На этом рисунке, на шкале $\lg D$ (в зивертах/год) отмечены три характерных значения дозы:

фон $\approx 2 - 3$ мЗв; доза риска ≈ 60 мЗв; доза летального исхода $\approx 6 - 8$ зиверт/год.

Сравним величину дозы, приходящейся на два различных региона, в одном из которых модуль геомагнитного поля в период инверсии уменьшился в 10 раз (Америка, Азия), с другим, в котором поле уменьшилось в 100 раз. Предположим, что величина фрактальной размерности $d \approx 1.4$. Надо сказать, что такое значение величины d характерно для природных процессов, имеющих фрактальный характер (синяя линия на рис. 12). Будем рассматривать область значений, при которых радиационная доза больше дозы риска. При этом оказывается, что в Америке и Европе доза риска (начало генетических мутаций) вообще не будет достигнута, в то время как в Африке доза может быть порядка зиверт/год. Известно, что при дозе, большей, чем 200 мЗв/год, преобладает массовая гибель клеток. Приведенные оценки показывают, что радиационная доза может сильно отличаться для различных регионов мира при едином, общем для Земли, явлении инверсии или экскурса.

Заключение

В течение последних 10 – 20 лет учеными получены новые данные по изменениям климата и эволюции животного мира и, в значительной степени, – эволюции человека, происходивших на протяжении сотен тысяч и миллионов лет, предшествующих современному периоду. Полученные новые данные, как правило, находились в противоречии старым, привычным и устоявшимся догмам.

Повторяемость оледенений на Земле с примерной периодичностью в 100 тыс. лет стимулировала, в своё время, создание теории вариаций климата Миланковича, согласно которой климатические изменения на Земле являются откликом на вариации в её орбите. Причина вариаций, происходящих с основными периодами 19, 23 и 41 тыс. лет, связана с возмущениями орбиты Земли за счет её эксцентриситета (периоды: 95, 136 и 413 тыс. лет), прецессии (19 и 23 тыс. лет) и наклона плоскости эклиптики. Из теории Миланковича следует, в частности, что изменения климата на Земле должны происходить в её северном и южном полушариях – в противофазе. При изучении кернов льда, извлеченных в Антарктиде и Гренландии, показано практически полное совпадение данных по синхронному изменению климата в обоих полушариях. Имеется достаточно много других данных, противоречащих теории Миланковича [Большаков, 2001].

Результаты, достигнутые в антропологии и генетике, так же как и в случае с климатом, оказываются несовместимыми с представлениями об эволюции жизни на Земле вообще и эволюции человека, в частности. Генетики имеют веские доказательства того, что не существует единого генетического «дерева», на котором можно было бы найти «ветку», ответственную за современного человека и, более того, определить другую «ветку», на которой выросла наша, человеческая. Сенсационными оказались открытия генетиков по поводу обнаружения «Африканской Евы» – нашей прародительницы. в то же время такой вопрос, как разделение человечества на расы, всё ещё объясняется замкнутостью популяции. Хотя каждому и так очевидно, что, сколь долго не изолируй европейцев в Африке, они всё равно не станут неграми.

В настоящей работе показано, что экскурсы геомагнитного поля совпадают с периодами резкого потепления климата и исчезновения пылевой компоненты в антарктическом и гренландском льдах. Как было показано в работе, эти совпадения не случайны. Наличие экскурсов является причиной изменений, происходящих на поверхности Земли. Можно предположить, что в периоды, соответствующие увеличенной концентрации пыли, на Земле было не только холодно, но и не видно Солнца, и жизнь на Земле, надо думать, не была комфортной. Радиационный фон на поверхности Земли в периоды оледенений был низким и, по-видимому, не было причины для генетических мутаций. Эволюция биоты происходила крайне медленно. Но вот, в ядре Земли происходит смена режима работы фазового перехода. С изменением направления фазового перехода меняется полярность геомагнитного поля. Земля на некоторое время теряет свою защитную оболочку, радиация достигает её поверхности, вызывая, с одной стороны, потепление климата и, с другой, - повышение радиационного фона. Как следует из нашей модели, потепление климата связано с разрушением пылевого аэрозольного стратосферного слоя, а проникновение ионизирующего излучения в атмосферу Земли может значительно (в сотню раз) увеличить её радиационный фон.

Литература

- *Архипов С.А., Волкова В.С., Гнибиденко З.Н., Орлова Л.А.* Палинология, хронологи и тонкая структура геомагнитного поля голоценовых отложений юга Западной Сибири // ДАН 2000. Т. 372. С. 204-207.
- *Бердоносков С.С., Сапожников Ю.С.* Ионизирующее излучение и окружающая среда // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 2. С. 40-46.

- *Большаков В.А.* Новая концепция астрономической теории палеоклимата: шаг вперед после двух шагов назад // *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 50-61.
- *Вадковский В.Н., Гурарий Г.З., Мамиконьян М.Р.* Анализ процесса смены знака геомагнитного поля // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1980. № 7. С. 55-69.
- *Вернов С.Н., Савенко И.А., Шеврин И.И. и др.* Внешний радиационный пояс Земли на высоте 320 км // *ДАН СССР*. 1961. Т. 140, № 4. С. 787-790.
- *Герасимова Н. В., Блинов Б. К., Марченко Т. А. и др.* Чернобыльская катастрофа. Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России 1986-2001. 2001.
- *Головков В.П.* Память о катастрофах // *Земля и Вселенная*. 1978. №5. С. 52-56.
- *Гуськов Е.П.* Генетика, радиация и здоровье -<http://www.eco-pravda.km.ru/science/iar15s3.htm>
- *Физика Земли и Солнечной системы / Кузнецов В.В.* Новосибирск. 1990.
- *Физика земных катастрофических явлений / Кузнецов В.В.* Новосибирск. Наука. 1992.
- *Марков М.Н., Мустель Е.П.* Пространственно-временные эффекты солнечно - земных связей в тропосфере и термосфере // *Астрономический журнал*. 1983. Т. 60. С. 417-421.
- *Мернер Н.А.* Обмеление моря. Засухи и вымирание млекопитающих. С. 388-393; Эвстазия, изменение геоида и взаимодействия многих геофизических факторов. С. 394-412. *Катастрофы и история Земли*. Под ред. У.Берггрена и Дж. Ван Кауверинга. М.: Мир. 1986.
- *Монин А.С., Шишков Ю.А.* Климат, как проблема физики // *УФН* 2000. т. 170. с. 419-445.
- *Введение в геомагнетизм / Паркинсон У.* М.: Мир. 1986. 527 с.
- *Петрова Г.Н., Сперантова И.Б.* Напряженность поля во время инверсии // В сб. *Тонкая структура геомагнитного поля*. М. ИЗМИРАН. 1986. С. 33-44.
- *Петрова Г.Н., Поспелова Г.А.* Экскурсы геомагнитного поля // *Земля и Вселенная*. 1992. № 3. С. 3-7.
- *Геологическое развитие Земли в докембрии / Салон Л.И.* Л.: Недра. 1982. 460 с.
- *Самнер Д., Ху Х., Вудворд А.* Медицинские последствия ионизирующей радиации // Бюллетень “Гражданская инициатива”. 1999. № 3(4) - www.CSGI.ru/gi/gi4/06.htm
- *Aldahan A., Possnert G.* Geomagnetic and climatic variability reflected by ¹⁰Be during the Quaternary and late Pliocene // *Geophys. Res. Lett.* 2003. V. 30. doi: 10.1029/2002GL016077.
- *Bassinot F., Labeyrie L., Vincent E., et al.* The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1994. V. 126. P. 91-108.
- *Brunet M, Guy F., Pealbeam D., et al.* A new hominid from upper Miocene of Chad, Central Africa // *Nature*. 2002. V. 418 P.145-151.
- *Cann R.L., Stoneking M., Wilson A.C.* Mitochondrial DNA and human evolution // *Nature*. 1987. V. 325. P. 31-36.
- *Cavalli-Sforza L.L., Feldman M.W.* The application of molecular genetic approaches to the study of human evolution // *Nature Genetics*. 2003. V. 33. P. 266-275.
- *Chave A.D., Denham C.R.* Climatic changes, magnetic intensity variations and fluctuations of the eccentricity of the Earth’s orbit during the past 2,000,000 years and a mechanism which may be responsible for the relationship – a discussion // *Earth planet. Sci. lett.* 1979. v. 44. p. 150-152.
- *Chou H.H., Hayakawa T., Diaz S., et al.* Inactivation of CMP-N-acetylneuraminic acid hydroxylase occurred prior to brain expansion during human evolution // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2002. V. 99, № 18. P. 11736-11741.
- *Doake C.S.M.* A possible effect of ice ages on the Earth’s magnetic field // *Nature*. 1977. V. 267 P. 415-417.
- *Doake C.S.M.* Climatic change and geomagnetic field reversals: a statistical correlation // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. V. 38. P. 313-318.
- *Foley R.* The context of human genetic evolution // *Genome Res.* 1998. V. 8, № 4. P. 339-347.
- *Forster L., Forster P. et al.* Natural radioactivity and human mitochondrial DNA mutations // *PNAS*. 2002. V. 99, № 21. P. 13950-13954.
- *Frank M., Schwarz B., Baumann S., et al.* A 200 kyr record of cosmogenic radionuclide production rate and geomagnetic field intensity from ¹⁰Be in globally stacked deep-sea sediments // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1997. V. 149. P. 121-129.
- *Gagneux P., Wills C, Gerloff U., et al.* Mitochondrial sequences show diverse evolutionary histories of African hominoids // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1999. V. 96, №9. P. 5077-5082.

- *Glassmeier K.-H., Neuhaus A., Vogt J.* Space Climatology. Invited presentation. Alpach Summer School 2002.
- *Glazko G.V., Nei M.* Estimation of Divergence Times for Major Lineages of Primate Species // *Mol. Biol. Evol.* 2003. V. 20, № 3. P. 424-434.
- *Hartl P., Tauxe L.* A precursor to the Matuyama/Brunhes transition-field instability as recorded in pelagic sediments // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1996. V. 138. P. 121-135.
- *Hawks J., Hunley K., Lee S-H., Wolpoff M.* Population Bottlenecks and Pleistocene Human Evolution. // *Molecular Biology and Evolution.* 2000. V. 17. P. 2-22.
- *Horai S., Hayasaka K., Kondo R., et al.* Recent African Origin of modern humans revealed by complete sequences of hominoid mitochondrial DNAs // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1995. V. 92. P. 532-536.
- *Huelsenbeck J.P., Imennov N.S.* Geographic origin of human mitochondrial DNA: accommodating phylogenetic uncertainty and model comparison // *Syst. Biol.* 2002. V. 51, № 1. P. 155-165.
- *Imbrie J., Imbrie J.Z.* Modeling the climatic response to orbital variations // *Science.* 1980. V. 207. P. 943-953.
- Reversals of the Earth's magnetic field / *Jacobs J.A.* Second Edition. Cambridge Univ. Press 1994.
- *Jorde L.B., Bamshad M., Rogers A.R.* Using mitochondrial and nuclear DNA markers to reconstruct human evolution // *Bio Essays.* 1998. V. 20, № 2. P. 126-136.
- *Kuznetsov V.V.* A model of virtual geomagnetic pole motion during reversals // *Phys. Earth Plan. Inter.* 1999. V. 115. P. 173-179.
- *McDougall, I.; Brown, F. H.; Cerling, T. E.; Hillhouse, J. W.* A reappraisal of the geomagnetic polarity time scale to 4 Ma using data from the Turkana Basin, East Africa // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19, № 23. P. 2349-2352.
- *Oda H., Shibuya H., Hsu V.* Palaeomagnetic records of the Matuyama/Brunhes polarity transition from ODP Leg 124 (Celebes and Sulu seas) // *Geophys. J. Int.* 2000. V. 142. P. 319-338.
- *Opdyke N.D., Kent D.V., Lowrie W.* Details of magnetic polarity transitions recorded in a high deposition rate deep sea core // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1973. V. 20. P. 315-324.
- *Oyama K.J., Schlegel K.* Anomalous electron temperatures above the South American magnetic field anomaly // *Planet Space Sci.* 1984. V. 32. P. 1513-1522.
- *Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., et al.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature.* 1999. V. 399. P. 429-436.
- *Petrova G.N.* Displacement of VGP during reversals // *Geomagnetic field in Quaternary.* Potsdam. 1990. P. 37-42.
- *Petrova G.N., Pospelova G.A.* Excursions of the magnetic field during the Brunhes chron // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1990. V. 63. P. 135-143.
- *Pinto O. Jr., Gonzalez W.D., Pinto I.R.C., Gonzalez I.L.C., Mendes Jr. O.* The South Atlantic magnetic anomaly: three decades of research // *Journ. Atmos. Terr. Phys.* 1992. V. 54. P. 1129-1134.
- *Rampino M.R.* Possible relationships between changes in global ice volume, geomagnetic excursions, and the eccentricity of the Earth's orbit // *Geology.* 1979. V. 7, № 12. P. 584-587.
- *Roca A.L., Georgiadis N., Pecon-Slattery J., O'Brien S.J.* Genetic evidence for two species of Elephant in Africa // *Science.* 2001. V. 293. P. 1473-1477.
- *Robinson C., Raisbeck G.M., Yiou F., et al.* The relationship between ¹⁰Be and geomagnetic field strength records in central North Atlantic sediments during the last 80 ka. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1995. V. 136. P. 551-557.
- *Rozzi F.V., Castro J.B.* Surprisingly rapid growth in Neanderthals // *Nature.* 2004. V. 428. P. 936-939.
- *Satta Y., Takahata N.* Ancestral haplotype distribution in finite stepping-stone models // *Molecular ecology.* 2004. V. 13. P. 877-886.
- *Serre D., Langaney A., Chech M., et al.* No evidence of Neandertail mtDNA contribution to Early Modern Humans // *PLoS Biology.* 2004. V. 2(3). http://www.plosbiology.org/archive/1545-7885/2/3/pdf/10.1371_journal.pbio.0020057-S.pdf

- *Stedman H.H., Kozyak B.W. et al.* Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage // *Nature*. 2004. V. 428. P. 415-418.
- *Takahata N, Satta Y., Klein J.* Divergence time and population size in the Lineage leading to modern Humans // *Theoretical population biology*. 1995. V. 48, № 2. P.198-221.
- *Takahata N., Satta Y.* Evolution of the primate lineage leading to modern humans: Phylogenetic and demographic inferences from DNA sequences // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1997. V. 94, № 9. P. 4811-4815.
- *Takahata N., Lee S., Satta Y.* Testing Multiregionality of Modern Human Origins // *Molecular Biology and Evolution*. 2001. V. 18. P. 172-183.
- *Ufflen R.J.* Influence of the Earth's core on origin of life // *Nature*. 1963. V. 198. P. 143-144.
- *Vigilant L., Stoneking M, Harpehding H, et al.* African populations and the evolution of human mitochondrial DNA // *Science*. 1991. V. 253. P. 1503-1507.
- *Vimeux F., Cuffey K. M., Jouzel J.* New insights into Southern hemisphere temperature changes from Vostok ice cores using deuterium excess correction // *Earth Plan. Sci. Lett.* 2002. V. 203. P. 829-843.
- *Watkins N.D., Goodel H.G.* Geomagnetic polarity change and faunal extinction in the southern ocean // *Science*. 1967. V. 156. P. 1083-1087.
- *Wollin G., Ericson D.B., Ryan B.E.* Magnetism of the Earth and climatic changes // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1971. V. 12. P. 175-183.
- *Wollin G., Ryan W.B.F., Ericson D.B.* Climatic changes, magnetic intensity variations and fluctuations of the eccentricity of the Earth's orbit during the past 2,000,000 years and a mechanism which may be responsible for the relationship // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. V. 41. P. 395-397.
- *Wood B.* Palaeoanthropology: Hominid revelation from Chad // *Nature*. 2002. V. 418. P. 133-135.
- *Worm H.-U.* A link between geomagnetic reversals and events and glaciations // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1997. V. 147. P. 55-67.
- *Yamazaki T., Oda H.* A Brunhes- Matuyama polarity transition record from anoxic sediments in the South Atlantic (Ocean Drilling Program Hole 1082C) // *Earth Planets Space*. 2001. V. 53. P. 817-827.