



Геомагнитное поле и эволюция жизни на Земле

Д.М. ПЕЧЕРСКИЙ,
доктор геолого-минералогических наук
Институт физики Земли РАН

Г.З. ГУРАРИЙ,
доктор физико-математических наук
Геологический институт РАН

В.П. ЩЕРБАКОВ,
доктор физико-математических наук
Геофизическая обсерватория “Борок” РАН

Авторы рассматривают факты, демонстрирующие невозможность падения величины геомагнитного поля до нуля, незаметное влияние изменения направления геомагнитного

поля на противоположное (инверсий) на живую природу. В то же время отмечается согласованность частоты инверсий и смен биозон в течение фанерозоя. Такое кажущееся про-

тиворечие они объясняют связью процессов на поверхности Земли (жизнь) и в ее ядре (инверсии поля) с изменениями вращения Земли, ее скорости и угла наклона оси вращения.

ПРОБЛЕМА СВЯЗИ ЖИЗНИ
НА ЗЕМЛЕ
С ГЕОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Научный мир и все человечество давно интересуется вероятная зависимость жизни на Земле от ее магнитного поля. Этот интерес возрос после открытия *инверсий*, то есть изменения направления поля вплоть до смены его знака (смены полярности), которая происходит на фоне значительного понижения его величины,

с чем ряд исследователей связывают возможность катастрофических последствий для жизни на Земле. В изменениях современного магнитного поля даже находят предпосылки возможного приближения следующей инверсии. Говорят по радио, телевидению, пишут в газетах и даже в научных публикациях об ожидающем нас ужасе в связи со скорой сменой полярности геомаг-

нитного поля. Особенно пугают нас тем, что при этом величина магнитного поля может упасть до нуля (Земля и Вселенная, 2006, № 1).

Мы попытаемся показать более объективную картину возможного влияния магнитного поля Земли на состояние биосферы сегодня и в далеком прошлом. Рассмотрим проблему в двух аспектах. Во-первых, сильно ли воздействуют





резкие изменения величины и направления геомагнитного поля (инверсии) на состояние живой природы. Во-вторых, насколько связана эволюция живой природы с геомагнитным полем.

Мы не останавливаемся на влиянии магнитного поля непосредственно на конкретные живые существа, оно, несомненно, есть, и этим занимаются, например, биологи и биофизики. Мы же рассмотрим проблему **глобальной** связи земной жизни и геомагнитного поля сегодня и в течение последних 540 млн лет. Это время главного развития жизни на Земле называется *фанерозоем*.

Что бывает, когда происходят камнепады в горах, выпадают обломки при извержении вулканов и от множества метеоритов, бушуют молнии или, как в нашем случае, “ударяют” магнитные бури? Все эти катаклизмы убивают многие тысячи живых существ! Но это не значит, что на Земле погибли все представители данной популяции и даже заметная их часть. Такие удары могут стать причиной мутационных изменений целых родов.

МОЖЕТ ЛИ ИСЧЕЗНУТЬ
ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Существование геомагнитного поля обязано, прежде всего, двум факторам – *вращению* Земли и конвекции в *жидком*

проводящем ядре. Поэтому для полного исчезновения геомагнитного поля должно прекратиться вращение Земли и/или полностью затвердеть земное ядро. Судя по относительно небольшим изменениям общего состояния геомагнитного поля, темпам потери тепла планетой, замедления вращения (сутки за весь фанерозой удлиннились примерно на три часа), это произойдет через 2–2,5 млрд лет.

Согласно данным палеомагнитных измерений, нет ни одного примера понижения величины геомагнитного поля до нуля, хотя число абсолютных (по магматическим и обожженным породам) и относительных (по разрезам осадочных отложений) измерений величины геомагнитного поля составляет не одну тысячу, причем много определений и во время инверсий. Значительное падение величины поля (примерно на порядок) в это время отмечается всеми исследователями. Оно затрагивает главным образом дипольную часть геомагнитного поля, то есть его основную часть, которая прекрасно описывается диполем, помещенным примерно в центр Земли. При этом недипольные (квадрупольная, октупольная и т.д.) составляющие поля имеют приблизительно ту же величину, что и до инверсии. Продолжительность даже

одной и той же инверсии, изученной в разных местах на поверхности Земли, составляет от первых тысяч лет до 10 тыс. лет. Это может быть связано главным образом с тем, что изменения поля происходят в разных частях поверхности Земли не одновременно.

Таким образом, исходя из фактов и представлений о геомагнитном поле, его полное исчезновение не грозит миру в ближайшие миллиарды лет.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ НА ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ

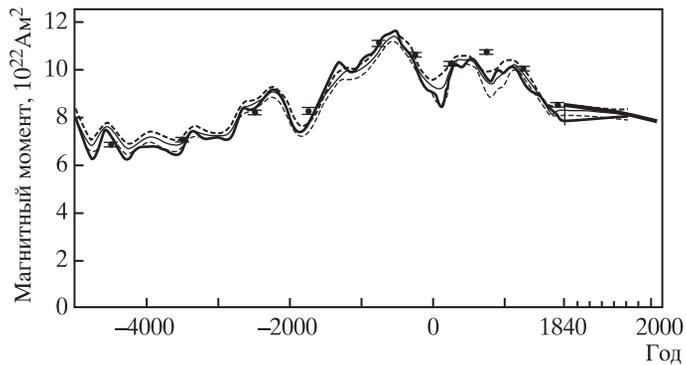
Во время спокойного Солнца поток солнечной плазмы в магнитосферу невысок. Даже в региональном масштабе (без инверсий) ничего катастрофического не происходит (например, нарушения радиосвязи во время магнитных бурь). В данные периоды вне магнитосферы нет влияния геомагнитного поля на полеты искусственных спутников Земли и других космических аппаратов. Люди побывали на Луне и... ничего.

Как повлияют **крупные** изменения магнитного поля на земную жизнь? Прежде всего, следует сказать несколько слов о возможном приближении следующей инверсии. Ее “предсказание” в основном базируется на данных о смещении магнитных полюсов и понижении магнитного мо-





Поведение магнитного момента, по археомагнитным данным (обобщенные результаты). Сплошные линии – два способа обработки результатов (сплайн и сферический гармонический анализ), штриховые линии – стандартные погрешности, точки – средние для пятисотлетних интервалов величины магнитных моментов. По данным Е. Констэбль и М. Кортэ, 2006 г.



мента за последние две тысячи лет. Зафиксировано падение величины магнитного поля за последние 200–400 лет. Из статистических оценок следует, что вероятность наступления инверсии в ближайшее (по геологическим масштабам) время отнюдь не мала. Но это не значит, что наблюдающееся сейчас понижение интенсивности поля и смещение магнитного полюса непременно закончится инверсией – это вполне может просто отражать вековые вариации.

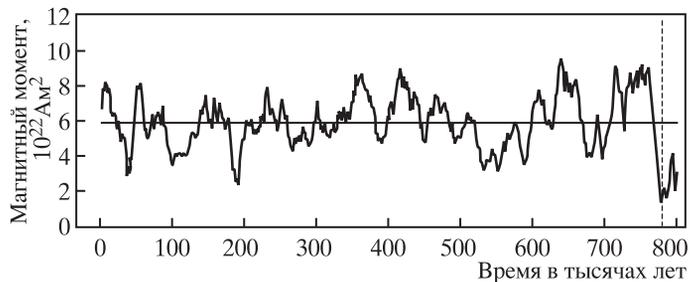
Прежде всего, рассмотрим понижение магнитного момента (величины дипольного поля). В истории геомагнитного поля изменения магнит-

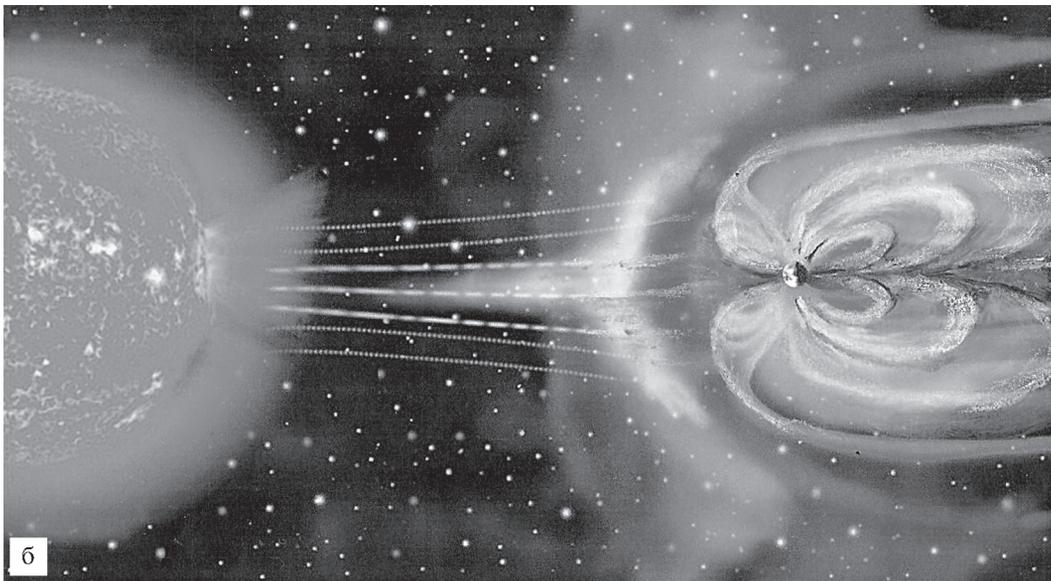
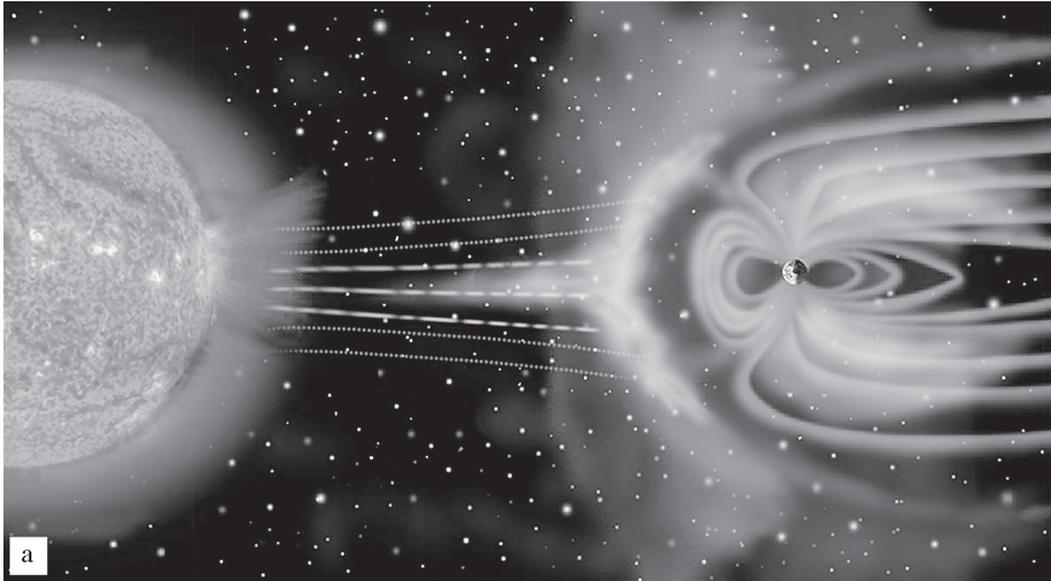
ного момента (вековые вариации), в частности понижения в два раза и более, зафиксированы неоднократно многими исследователями. Они сопровождаются значительными изменениями его направления, называемыми *экскурсами*, но бывает и без существенных отклонений направления поля от дипольного. Например, по археомагнитным данным, величина поля за последние 7 тыс. лет заметно колебалась. Соотношение величины поля в максимумах и минимумах различается более чем в два раза. На этом фоне совершенно незначительным выглядит “столь пугающее” падение величины магнитного поля за последние 200

лет по данным наблюдений обсерваторий.

Детальные палеомагнитные измерения гавайских лав за последние 400 тыс. лет (К. Кисель и К. Лаж; 2004) и морских осадков за последние 800 тыс. лет (Е. Констэбль и М. Кортэ; 2006) показали, что соотношение максимумов и минимумов колебаний величины магнитного поля достигает 2,6 раза, не считая падений напряженности во время экскурсов. Более того, согласно Г.З. Гурарию и М.В. Алексютину (2009), в разных частях на поверхности Земли отмеченные колебания напряженности поля происходят не одновременно, то есть можно говорить о колебаниях именно местного магнитного

Запись колебаний магнитного момента в морских осадках. Вертикальной штриховой линией отмечена инверсия Матуяма – Брюнес, произошедшая 780 тыс. лет назад. По данным И. Гайодо и Ж.П. Вале, 1999 г.





Магнитосфера в нормальном состоянии (а), во время инверсии геомагнитного поля (б).

поля, а не магнитного момента.

Эффект падения напряженности геомагнит-

ного поля на биосферу может быть связан с соответствующим уменьшением размера магнитосферы. Напомним, что в настоящее время в спокойном состоянии подсолнечная точка границы магнитосферы находится на расстоянии $R_m \approx 10R_E$,

где R_E – радиус Земли. Однако даже при падении интенсивности поля на порядок граница магнитосферы приблизится к Земле далеко не в той же степени. Давление магнитного поля Земли пропорционально квадрату напряженности поля





в данном месте околоземного пространства, а напряженность поля диполя, в свою очередь, обратно пропорциональна кубу расстояния. Таким образом, положение границы R_m пропорционально напряженности поля в степени $1/6$, то есть рост R_m с напряженностью идет очень медленно и при падении напряженности поля на порядок граница магнитосферы приблизится к Земле только до расстояния около $7R_E$. Это обстоятельство может заметно изменить радиационную обстановку в околоземном пространстве за счет увеличения интенсивности магнитных бурь. Последнее никак не приведет к немедленной катастрофе, но может повлиять на эволюцию биоты косвенным образом, через увеличение мутагенности. Такие изменения совсем не обязательно ведут к вымиранию, с не меньшим успехом они могут привести и к расцвету различных форм жизни.

Теперь рассмотрим *“смещение” магнитных полюсов*. Оно происходит постоянно, это *глобальные вековые вариации направления геомагнитного поля*. Обычно их величина составляет $10\text{--}20^\circ$, они периодичны, периоды вековых вариаций от десятков до сотен тысяч лет.

Эти смещения происходят вокруг географических полюсов. Если осреднить данные о по-

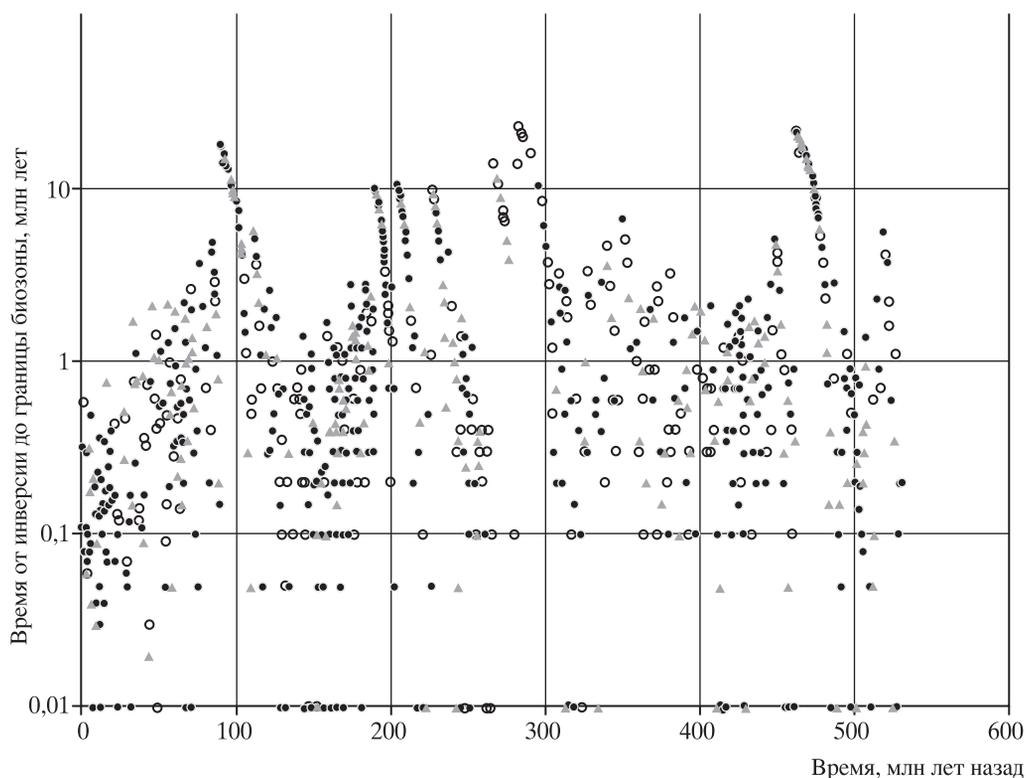
ложении магнитного полюса за сотни тысяч лет, мы “избавимся” от таких вековых вариаций и среднее положение магнитного полюса совпадет с географическим. Так палеомагнитологи восстанавливают положение географического полюса в прошлом для решения различных задач палеогеографии, тектоники и др. Вековые вариации направления поля, то есть смещение магнитного полюса, не являются признаком геомагнитных инверсий. Во время же инверсии, как отмечено выше, уничтожается в основном дипольная часть поля. У недипольного поля может быть не два, а несколько полюсов, которые могут оказаться где угодно, в том числе вблизи экватора. Напомним, что в районе полюсов находится *магнитосферный касп*, то есть воронкообразная область, через которую частицы солнечной плазмы проникают в магнитосферу. В “нормальной магнитосфере” касп расположен в зоне полярного овала, где поток солнечного ветра обходит магнитосферу. Но в период инверсии или экскурса, когда один из полюсов попадает в подсолнечную точку, солнечный ветер “дует” непосредственно в касп. В результате будет происходить гигантская накачка магнитосферы частицами высоких энергий,

особенно во время мощных выбросов солнечной плазмы в сторону Земли (Земля и Вселенная, 1997, № 3). Такое бывает не так уж часто, и нужно, чтобы мощный выброс в сторону Земли произошел именно во время смены знака поля. В современной магнитосфере отношение плотности кинетической энергии плазмы в радиационных поясах к энергии магнитного поля не более 0,01. Во время же инверсии можно ожидать, что это отношение станет порядка единицы. Соответственно возмущения геомагнитного поля в это время (магнитные бури) будут сравнимы с величиной самого поля. Можно ожидать также резкого возрастания электрического потенциала ионосферы – Земля с развитием высокой грозовой активности. Резко возросший поток энергии через магнитосферу может существенно повлиять и на климат Земли. Все перечисленные явления, как отмечено выше, могут сказаться на мутагенности биоты, в большей мере на наземных животных и растениях и в заметно меньшей степени на морских организмах.

ГЕОМАГНИТНЫЕ ИНВЕРСИИ И РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В ФАНОРОЗОЕ

Прямую зависимость состояния тех или иных популяций и биосферы в целом





Сопоставление геомагнитных инверсий с границами биозон. Черные кружки – средний возраст границ биозон глобального распространения; треугольники – граница биозон, возможно, глобального или регионального распространения; полые кружки – граница биозон регионального распространения.

от геомагнитного поля можно увидеть при прямом сопоставлении данных о геомагнитных инверсиях с изменениями в органическом мире. Для такого анализа использована шкала геомагнитных инверсий фанерозоя, построенная Э.А. Молостовским с соавторами на базе шкалы геологического времени Ф.М. Градштейна с соавторами (2008). Она включает 640 инверсий, не считая экскурсов. Для характеристики измене-

ний в органическом мире использованы смены биозон. *Биозона* – биостратиграфическое понятие, это интервал отложений, соответствующий вертикальному распространению какой-либо систематической группы ископаемых организмов от момента их появления до расцвета и вымирания. Биозоны – наименьшие по продолжительности биостратиграфические единицы, имеющие близкое к глобальному распространение. Это отно-

сится, в первую очередь, к живности, обитающей в океане, она быстро размножалась и очень быстро распространялась. Биозоны развития и распространения наземных животных и растений имели в большей степени региональный характер.

Литература о био зонах обширна, построены многочисленные стратиграфические колонки по разным группам ископаемых организмов, преимущественно обитателям





океана – фораминиферам, радиоляриям, конодонтам, аммонитам, граптолитам, трилобитам и другим. Этими данными мы и воспользовались, выбирая те, в которых биозоны привязаны ко времени. За весь фанерозой набралась общая “колонка” из 831 границы групп синхронных биозон, построенных по разным группам ископаемых организмов. Из сопоставления возрастов инверсий и биозон видно, что за весь фанерозой границы биозон с инверсиями совпадают только в 60 случаях. Подчеркнем, что возраст границ синхронных биозон определяется с точностью ± 200 тыс. лет. Значит и “совпадение” определяется с той же точностью. Следовательно, действительных совпадений гораздо меньше, чем 60 случаев.

Отсутствие связи границ биозон с инверсиями поля ярче подчеркивается данными в пределах интервалов относительно редкими геомагнитными инверсиями. В таких интервалах резко возрастает разница во времени между границами биозон и инверсиями, достигая многих миллионов лет. Внутри таких интервалов видны полосы “следов полета ракет”, каждая длиной более 10 млн лет. Эти “полеты ракет” – серия смен биозон, находящихся внутри интервала одной полярности. Так, например, внут-

56

Таблица 1

СОПОСТАВЛЕНИЕ МАКСИМУМОВ МАССОВЫХ ВЫМИРАНИЙ ОРГАНИЗМОВ С ВОЗРАСТОМ БЛИЖАЙШИХ ИНВЕРСИЙ ПОЛЯ

Максимум	Полярность	Инверсия
33,9	R	34,3
65,5*	R	65,7
145,5	R	145,8
199,6*	N	202,3
251*	NR	251
323,5	R	323,9
374,5*	R	374,8
416	NR	416
443,7*	R	445,5
518,7	N	518,9

Примечание: максимум – возраст максимума массового вымирания организмов, в миллионах лет; полярность – полярность геомагнитного поля во время максимума массового вымирания организмов (N – прямая полярность, R – обратная полярность, NR – инверсия геомагнитного поля); инверсия – возраст инверсии геомагнитного поля, предшествующей максимуму вымирания организмов; звездочкой отмечено пять наиболее крупных массовых вымираний организмов.

ри интервала прямой полярности 89–106 млн лет назад было 26 смен биозон, внутри интервала обратной полярности 462–484 млн лет назад – 37 смен биозон. Таким образом, **совпадения границ биозон с инверсиями геомагнитного поля – скорее случайность, а не закономерность.**

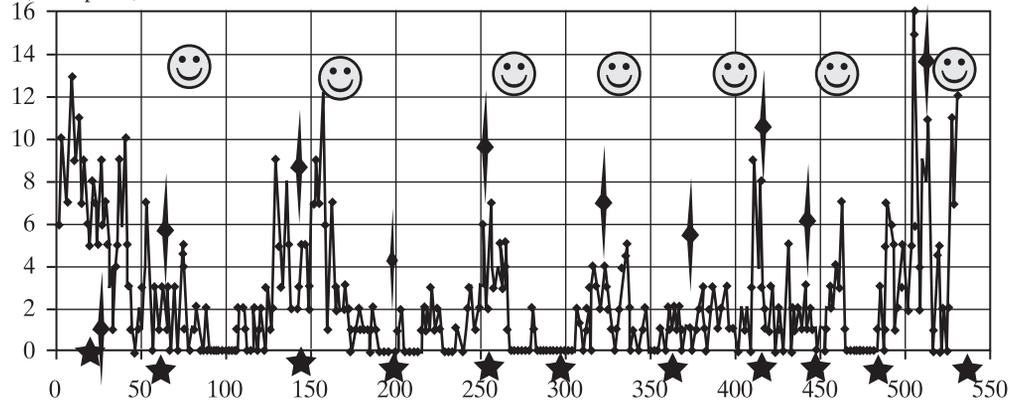
Подобным образом сопоставим времена таких крупных событий, как массовые вымирания биоты (по Р.А. Роде и Р.А. Мюллеру, 2005), с инверсиями геомагнитного поля. Из сопоставления видно, что из 10 макси-

мумов массовых вымираний только два совпали с геомагнитными инверсиями, в остальных случаях разница варьирует в пределах 0,2–2,7 млн лет. Например, граница мезозойской и кайнозойской эр находится примерно **в середине интервала одной полярности**, продолжительность которого – 0,88 млн лет. Следовательно, граница геологических эр отстоит от ближайшей инверсии на 0,4–0,5 млн лет. Мы это подчеркиваем, так как ныне очень модно рассуждать о причинах гибели динозавров на границе мезозойской и

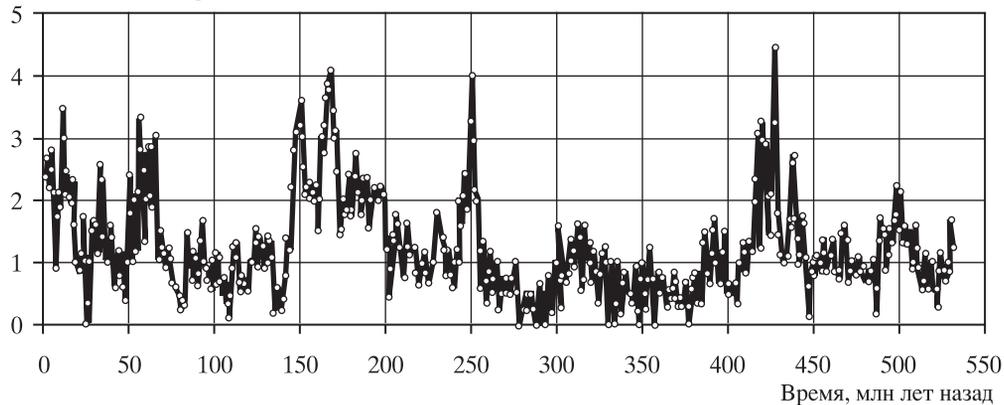




N, инверсии, число за 1 млн лет



N, биозоны, число границ за 1 млн лет



Геоманнитные инверсии (вверху) и смены границ биозон (внизу), произошедшие за последние 540 млн лет. Звездочки – границы геологических периодов, копия – максимумы вымираний организмов, солнышки - максимумы разнообразия (расцвет) жизни.

кайнозойской эр (Земля и Вселенная, 2010, № 3). Инверсия геомагнитного поля не имеет к этому никакого отношения. Кстати, расцвет жизни динозавров (юрский период) пришелся на время наиболее частых инверсий поля за весь фанерозой, но тогда динозавры почему-то не вымирали, а, наоборот, интенсивно размножались. Следовательно, **отсутствует**

связь земной жизни с геомагнитными инверсиями как на уровне биозон, так и на уровне катастрофических массовых вымираний органического мира.

Если связь между процессами в ядре и на поверхности Земли должна существовать, ее следует искать в *темпах* изменений событий в ядре и на поверхности Земли. Поэтому сопоставим тем-

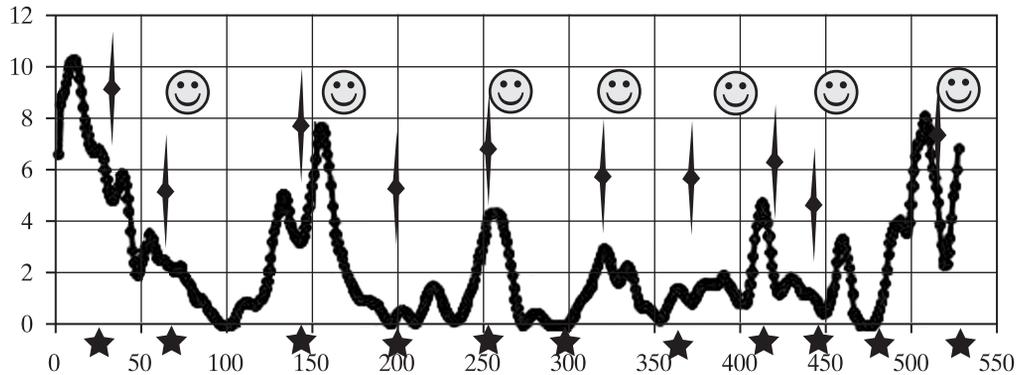
пы изменений, а именно частоту инверсий геомагнитного поля и частоту смен биозон, то есть число случаев тех и других за миллион лет.

В общих чертах картина распределения частот геомагнитных инверсий и биозон очень сходна. Явная согласованность этих процессов особенно заметна на больших временных интервалах. Причиной такой согласо-

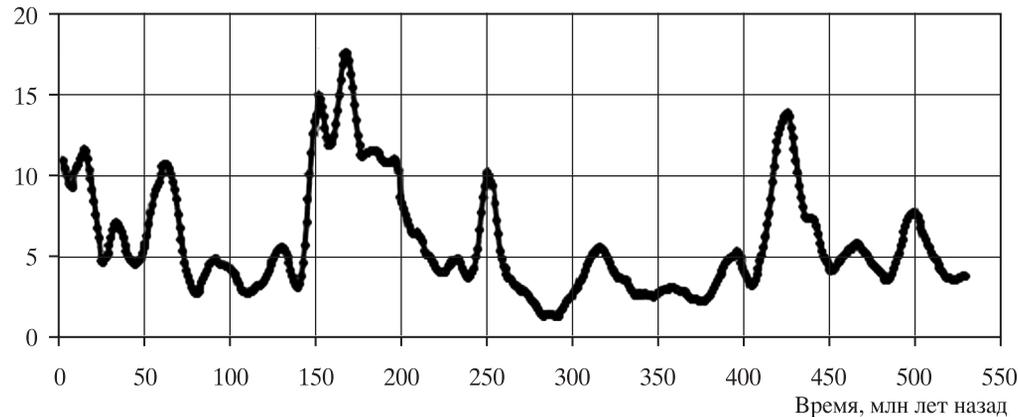




N, инверсии, число за 1 млн лет



N, биозоны, число границ за 1 млн лет



Геоманнитные инверсии (вверху) и смены границ биозон (внизу), произошедшие за последние 540 млн лет, число инверсий за 9 млн лет (шаг – 1 млн лет). Звездочки – границы геологических периодов, копыта – максимумы вымираний организмов, солнышки – максимумы разнообразия (расцвет) жизни.

ванности может быть высокая мутагенность биоты во время экскурсов и инверсий. Поскольку мутации имеют свойство накапливаться, в эпохи частых инверсий эволюция биоты может резко ускориться, что отразится на более частой смене биозон. Однако заметные мутации должны сказаться главным образом на наземных животных и растениях и в гораздо меньшей степени – на морской

фауне. Мы уже показали, что непосредственно между этими событиями связи нет, особенно ярко это видно на примерах многочисленных смен биозон в пределах длительных интервалов одной полярности Земли. Более того, ряд наиболее крупных массовых вымираний организмов в фанерозое, максимумы разнообразия жизни, границы геологических периодов приходится на различные

состояния магнитного поля и биозон.

Подчеркнем ритмичность картины: бурные процессы в ядре и на поверхности Земли, вызывающие частые смены полярности геомагнитного поля и частые смены биозон, закономерно почти синхронно чередуются со спокойным состоянием, когда редки геомагнитные инверсии и существенно возрастает продолжительность био-





зон. Особенно характерны большое сходство и синхронность длительных интервалов редких инверсий и редких смен биозон. При этом времена максимальных вымираний, максимального расцвета (разнообразия) жизни, границы геологических периодов попадают на самые разные состояния геомагнитного поля – то на максимумы, то на минимумы, то на спад, то на подъем частоты геомагнитных инверсий.

Таким образом, с одной стороны, между инверсиями и биозонами связи нет, с другой стороны, между теми и другими фиксируется согласованность, близкая к синхронной.

Это кажущееся противоречие легко устраняется, если связать согласованность процессов в ядре (инверсии) и на поверхности Земли (биосфера) с особенностями вращения Земли. Глобальные изменения органического мира вполне могут быть связаны с длительными изменениями скорости вращения Земли и в еще большей степени – с изменениями угла наклона оси ее вращения, что ведет к существенным климатическим изменениям, а магнитное поле напрямую зависит от вращения Земли.

ПОДВЕДЕМ ОБЩИЕ ИТОГИ

Из приведенных нами данных о геомагнитных

инверсиях и биозонах в фанерозое следует, что непосредственная связь между ними отсутствует, границы геологических эр, периодов и биозон, как правило, не фиксируются сменой полярности геомагнитного поля. В то же время отмечается согласованная, близкая к синхронной ритмичность в общей картине темпов изменений в органическом мире и частоты геомагнитных инверсий. Закономерную согласованность смен геомагнитной полярности и границ биозон логично связать с длительными изменениями скорости вращения мантии Земли и угла наклона оси ее вращения относительно внутреннего ее ядра. Изменения скорости вращения Земли и угла наклона оси ее вращения могут быть связаны с процессами в системах Луна – Земля и Земля – Солнце и даже в общей эволюции Галактики.

Очевидно, главное – не переполюсовка магнитного поля Земли, а “уничтожение” дипольной части ее магнитного поля. Чтобы испытать смену полярности магнитного поля, достаточно сделать стойку на голове или на руках, что проделывают многие представители земной фауны. Значительное же уменьшение величины магнитного поля происходит не только во время инверсий, так что их ждать для этого не нужно.

Более важный фактор – смещение полюсов во время инверсии в подсолнечную точку, и это обстоятельство важнее непосредственного уменьшения интенсивности поля. Однако, судя по картине смен биозон, мутагенность биоты, вызванная инверсиями, не играет заметной роли в картине развития жизни на Земле.

Добавим пару примеров, демонстрирующих несущественную связь (или ее отсутствие) мутаций наземной биоты с инверсиями геомагнитного поля. Так, в мезозое на Земле царствовали динозавры на фоне редких инверсий в меловом (85–125 млн лет назад) и триасовом (200–245 млн лет назад) периодах и на фоне самых частых инверсий за весь фанерозой в юрском периоде (145–200 млн лет назад), при этом климат в юрском и меловом периодах был сходным и заметно отличался от климата в триасе. Другой пример – девонское время, когда шло активное распространение наземной растительности, появились первые наземные позвоночные. Девон – век рыб, большого их разнообразия. И все это происходит на фоне низкой частоты инверсий и очень низкой интенсивности геомагнитного поля, в среднем в семь раз ниже современного поля. Мутации биоты как





следствие инверсий и существенного понижения поля, несомненно, имеющие место, очевидно, ведут к возможному ее угасанию или процветанию, но не вымиранию.

Гораздо страшнее для живой природы вообще и для человечества в частности стихийные бедствия, такие как извержение вулканов, тайфуны, землетрясения, уносящие десятки и сотни тысяч человеческих жизней, не говоря уж о войнах, революциях, террористических актах, авариях.

Насколько связана эволюция живой природы с геомагнитным полем? Отсутствие прямой связи смен биозон в течение фанерозоя с инверсиями геомагнитного поля, очевидно, свидетельствует

и об отсутствии влияния геомагнитного поля на *эволюцию* жизни на Земле. Это следует и из того, что жизнь на Земле закономерно развивалась от примитивных одноклеточных форм до млекопитающих на фоне довольно однообразного состояния геомагнитного поля в течение 2,5 млрд лет и явно независимо от многократных инверсий поля. Более того, эволюция жизни шла закономерно, несмотря на крупные катастрофические события в истории Земли. В ходе эволюции четко работали и работают биологические часы: отдельные особи и их группы рождались, жили и умирали. Это относится и к появлению и вымиранию динозавров. Существуют бабочки-одноднев-

ки, однолетние растения, а также деревья и животные, живущие многие сотни лет. И это никак не связано с катастрофическими событиями, которые не нарушают четко заведенного механизма эволюции жизни.

Каков же наш главный вывод? **Эволюционное развитие жизни на Земле не зависит от крупных изменений геомагнитного поля и от других экстремальных катастрофических событий, ведущих к массовым вымираниям биоты.** Следовательно, ожидаемая или предсказываемая в “скором времени” инверсия геомагнитного поля не более опасна для человечества и всей живой природы в целом, чем привычные сильные магнитные бури.

* Окончание. Начало см. стр. 41.

Некоторые из звезд, например HD 293815, окружены пылевыми коконами. Ученые отмечают, что в данном регионе в настоящее время идет процесс интенсивного звездообразования. Анализ снимков позволил установить, что значительное влияние на формирование туманности оказали близлежащие скопления из массивных звезд. Именно они способствовали появлению характерной и необычной формы туманности.

Пресс-релиз ESO
№ 1009,
3 марта 2010 г.



Отражающая туманность NGC 1788 “Летучая мышь” в Орионе. Мощные звездные ветры от изолированных массивных звезд наиболее сильно воздействуют на туманность. Снимок сделан в феврале 2010 г. с помощью 2,2-м телескопа обсерватории Ла-Силья (Атакама, Чили). Фото ESO.

