ФИЗИКА

УДК 550.383

Научная статья

Об особенностях очередной инверсии геомагнитного поля

В. В. Кузнецов

Институт космических исследований и распространения радиоволн
ДВО РАН, 684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7
E-mail: vvkuz38@mail.ru

В статье обсуждаются возможность проявления очередной инверсии геомагнитного поля (ГМП) и его некоторые особенности. Дипольное поле (ДП) приблизится к нулевой отметке, которую достигнет примерно в 3500 году. С 1500 года, на фоне понижения ДП происходит рост октупольного и квадрупольного компонент ГМП и их суммы (О+К). ДП, согласно нашей модели геомагнетизма, после прохождения нулевой отметки начнет расти с обратным знаком и противодействовать (О+К) полю, понижая его уровень до нуля. В этот момент (≈ 6000 год) поле (N) будет иметь минимальную величину. Затем начнется рост ДП обратного значения (R). Инверсия закончится при достижении этим полем устойчивой величины.

Ключевые слова: геомагнитное поле, инверсия, прогноз.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-131-140

Поступила в редакцию: 27.07.2021

В окончательном варианте: 04.12.2021

Для цитирования. Кузнецов В. В. Об особенностях очередной инверсии геомагнитного поля // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2021. Т. 37. № 4. С. 131-140. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-131-140

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Кузнецов В. В., 2021

Введение

Статья вскрывает важную в геомагнетизме тему: что такое инверсия ГМП, почему она происходит, что происходит с Землей в момент инверсии и, самое главное, если она возможна, то когда это событие произойдет на Земле. Эта статья является продолжением темы «Новая квантовая модель магнитного поля горячей Земли», доложенной автором на семинаре Геологического и Географического факультетов МГУ: «Система Планета Земли», (06.02.2021) и опубликованную в статье [1]. Тема будущей инверсии недавно обсуждалась в статье, опубликованной в журнале УФН

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Физические процессы в системе ближнего космоса и геосфер при солнечных и литосферных воздействиях», рег. № АААА-А21-121011290003-0.

[2]. В этой статье авторы экстраполировали ход дипольной компоненты, которая, как известно, стремится к нулю. Авторы полагают, что в этот момент, который должен произойти, по их оценке, в 3600 году, произойдет инверсия. Они обсуждают, к каким неприятностям для человечества это приведет. Этот вопрос занимал и нас, правда, наши исследования больше касались не инверсий, а экскурсов [3]. К аналогичному выводу по срокам начала инверсии пришли авторы [4], из которой следует совпадение по времени с [2]. В двух работах автора, в рамках модели горячей Земли [5, 6], рассмотрено, что должно было бы произойти на Земле в момент изменения полярности ГМП: окончание хрона Брюнес и начало хрона, который был обозначен как «новая Матуяма».

Согласно развиваемой автором квантовой модели геомагнетизма [1, 6], во время нового хрона Земля должна продолжить этап расширения за счет того, что в веществе внутреннего ядра, находящегося в состоянии квантовой сцепленности (КС), начнется декогеренция, и оно будет переходить из твердого в жидкое состояние внешнего ядра, а излишки плотности будут кристаллизоваться в базальт на поверхности ядра и пополнят вещество мантии. При этом радиус Земли должен увеличиться примерно на 10 км, и должен вырасти объем мирового океана [5]. Но все это должно происходить лишь в том случае, если исходное состояние G-ядра принципиально не изменилось с момента образования Земли, а ядро только уменьшилось в размере. Согласно нашей модели [1, 7], внутреннее ядро – это переуплотненный, перегретый выше критической температуры ионизованный пар SiO_2 , состоящий из ионов $\text{Si}(+)$ и $\text{O}(-)$. Эти ионы, попадая в область фазового перехода, происходящего в F-слое, разделяются за счет тепло- и массо-переноса в слое и образуют двойной электрический слой (ДЭС), обладающий радиальным электрическим полем E_R . Суточное вращение ДЭС приводит к появлению слабого дипольного магнитного поля B_0 , а взаимодействие этих магнитного и электрического полей вызывает холловский ток I_H . Направление тока I_H совпадает с направлением «тока», вызываемого вращением ДЭС, иначе, определяется зарядом ионов внутреннего слоя ДЭС.

Что такое инверсия ГМП

Инверсия геомагнитного поля была 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. Установлено, что примерно половина всех измеренных образцов пород обладает нормальной намагниченностью (N), а другая половина – обратной (R). 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 этот вопрос снят: считается доказанным, что Земля периодически меняет полярность своего поля. Более того, показана корреляция между частотой смены полярности поля и тектонической активностью планеты. Есть свидетельства тому, что величина температурного градиента (по-видимому, и теплового потока) различна при прямой и обратной полярности поля. Оказывается, что величина температурного градиента пород с обратной полярностью геомагнитного поля несколько выше, чем этот градиент у пород с прямой полярностью.

Обнаружено, что при инверсии величина поля значительно понижается, но почти никогда не бывает равной нулю. Величина остаточного поля не равномерна по земной поверхности: она заметно выше в областях магнитных аномалий. Важным параметром является длительность инверсии, или иначе, – 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 [7]. Однако есть и совсем другие оценки, где тщательно изучалось поведение магнитного поля во временных переходных зонах между эпохами Гаусс-Матуяма и Матуяма-Брюнес, а также верхнекембрийской инверсии $N \rightarrow R$ на ряде разрезов Средней Азии и Восточной Сибири. Авторы выделили несколько кратковременных переполюсовок в течение периода инверсии. Среднее время 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. В работе Клемента [8] показано, что время переполюсовки Матуяма-Брюнес тем больше, чем дальше точка взятия пробы от экватора. Это явление чем-то напоминает известный факт, что время смены дня и ночи (терминатор) тем короче, чем ближе к экватору.

Принято считать, что полное время инверсии занимает примерно 10 тыс. лет, в то время как реальное время, по-видимому, значительно меньше. Экскурсы – явления ещё более «быстрые», чем инверсии. Весь период смены полярности Матуяма–Брюнес (788 – 795 тыс. лет) составляет 7 тыс. лет. Некоторые оценки позволяют грубо оценить характерное (минимальное) время смены полярности. Это время оказывается существенно меньше 1000 лет. (Что меньше минимального времени, следующего из модели динамо, примерно в 100 раз). Все эти данные показывают, что, разрабатывая модель инверсий и экскурсов, необходимо учитывать отмеченные временные особенности этих явлений. Кроме этого, известно, что в момент инверсии в районе Южной Атлантики модуль поля уменьшается в значительно большее число раз (почти в 100 раз), чем в других регионах, но все же остается немалым, не равным нулю.

Оценка величины холловского тока

Определим электрические характеристики нашей системы генерации геомагнитного поля. Амплитуда холловского тока I_H и напряжение E_R могут быть оценены, исходя из ограничения на величину мощности поддержания (диссипации) геомагнитного поля $P_H = 10^{12}$ Вт. Оценим величину I_H , полагая, что величина индукции в районе экватора (≈ 30 мкТл) равна: $B = \mu_0 I (1/h - 1/(h + \Delta R)) \approx \mu_0 I \Delta R / h^2$. Отсюда $I_H \approx 10^{10}$ ампер. Этого тока вполне достаточно для генерации геомагнитного поля. Пройдя через внешнее ядро и мантию и попадая на поверхность Земли он, скорее всего, «смывается» в космос токами спокойных дождей. Источником тока такой величины может быть только внутреннее ядро (состоящее, по модели, из ионов кремния и кислорода), следовательно, усиливается только тот ток, возникающий при вращении зарядов, который протекает в непосредственной близости от внутреннего ядра. По-видимому, некоторая часть тока I_H переносится магнитными аномалиями поперек F-слоя.

Квантовая сцепленность

Каким образом G-ядро может находиться в таком состоянии, и почему его вещество не рекомбинировало за все эти 4.5 млрд. лет? Ответ на этот и подобные ему вопросы заключается в том, что вещество внутреннего ядра находится в квантово сцепленном (КС) состоянии, возникшем при образовании Земли и всей Солнечной системы. Во внутренних ядрах больших планет, таких как Юпитер, до сих пор (по модели автора) находится вещество в КС-состоянии. В других планетах типа Марс и таких спутниках, как Луна, вещество в таком состоянии находилось на ранней стадии их эволюции, но исчезло (было отработано) к настоящему моменту.

Квантовая сцепленность (запутанность) как новое перспективное научное направление журналом «Наука в фокусе» (по материалам BBC Science Focus, №2, 2014) включено в список «20 ВЕЛИКИХ ИДЕЙ». Наука не может существовать без потрясений и исследовательского азарта. В любое время её питают Великие Идеи. Часть из них ошибочны, другие приводят к новым прорывам. Разработка таких идей и попытки их опровергнуть двигают науку вперед. Побочным результатом становятся достижения в технике и появление новых отраслей наук. Среди этих 20-ти, идея №6 – квантовая запутанность.

О том, что это совсем новое веяние в физике, говорит хотя бы то, что у него нет устоявшегося русского названия. По-английски все однозначно: Quantum Entanglement. А вот по-русски... Квантовая нелокальность, квантовая сцепленность, запутанные квантовые состояния... Кажется, постепенно побеждает термин квантовая сцепленность (КС).

Возникнет ли очередная инверсия, и как долго будет существовать ГМП

Модель горячей расширяющейся Земли позволяет не только найти объяснения явлений, произошедших на Земле с самого раннего времени – времени её образования, но и предсказать, что будет происходить с Землей в будущем, в течение нескольких миллионов лет её существования. Из модели [7] следует, что после окончания периода Брюнес (нормальная полярность ГМП – N), в течение которого Земля сжималась, может начаться период расширения, аналогичный периоду Матуяма [5, 6]. Длительность периодов, предшествующих периоду Матуяма (обратная полярность ГМП – R) превышает 1 млн. лет, а Матуяма продолжалась почти 2 млн. В периоде Брюнес Земля находится около 800 тыс. лет, следовательно, этот период может продолжаться ещё 200 тыс. лет. Означает ли это, что ни о какой скорой инверсии геомагнитного поля (ГМП), а этот вопрос активно обсуждается в связи с увеличением скорости дрейфа северного магнитного полюса (СМП), речи идти не может? Ответ на этот вопрос может быть получен после 3500 года, когда станет ясно, продолжится ли изменение дипольной компоненты в сторону увеличения её с обратным знаком? Если да, то инверсия произойдет, и на Земле должен начаться период расширения.

Если начнется период расширения Земли, согласно модели геомагнитного поля горячей расширяющейся Земли, процессы конденсации вещества внутреннего ядра будут преобладать над процессами испарения вещества G- ядра. При этом переуплотненное и пересжатое вещество внутреннего ядра будет превращаться в

жидкую фазу внешнего Е- ядра, расширяясь при этом разуплотнении. Радиус внутреннего G- ядра будет уменьшаться, а образовавшийся «излишек» вещества (SiO_2 – в виде базальта) будет кристаллизоваться на границе мантии с ядром, увеличивая её толщину и, соответственно, радиус Земли.

Выше мы отмечали, что внутреннее G-ядро обеспечивает своими ионами холловский ток $I_H \approx 10^{10}$ А. Согласно нашей модели [7], ядро в момент образования Земли (4.5 млрд. лет тому назад) вмещало всё вещество Земли в виде пара с плотностью 35 г/см^3 , нагретого до $30\,000 \text{ К}$ и находящегося в состоянии КС (когерентности), - иначе, в твердом состоянии. Большая часть этого вещества претерпела многочисленные декогеренции и превратилась в жидкость, которая остывая, кристаллизовалась, формируя мантию. Оставшаяся после декогеренций часть вещества сформировала внутреннее G-ядро. Вещество G-ядра состоит, по модели, из ионов кремния и кислорода. Именно эти ионы принимали участие в формировании холловских токов на протяжении всего времени эволюции Земли. Очевидно, что со временем заметная часть ионов была использована, а само вещество остыло.

Согласно нашей модели, на Земле может произойти одна или несколько инверсий. Эти явления сопровождаются сменой полярности геомагнитного поля и расширением или сжатием Земли. В работе [5] показано, что вещество G-ядра может при его декогеренции (плавлении) привести к росту радиуса Земли за счет увеличения мантии на $10\text{-}15 \text{ км}$. Но в этой работе автор не учитывал, что ядро могло за прошедшие 4.5 млрд. лет остыть и потерять энергию, необходимую для расширения. Оценим, сколько энергии (в виде количества ионов) потеряло ядро, и когда могла бы начаться инверсия.

Начнем со второго вопроса. Для этого обратимся к работе [4], в которой авторы дают прогноз изменения параметров геомагнитного поля на ближайшее время до 3500 года. На рис. 1 приведено поведение дипольного, квадрупольного и октупольного, а также суммарного геомагнитного поля от наших дней до 3500 года. Дипольное поле должно пройти нулевой уровень. Наша модель объясняет этот рисунок следующим образом.

Рис. 1. Поведение компонент геомагнитного поля до 3500 года из работы [4] (данные в рамке). Прогноз дальнейшего изменения величин компонент следует из нашей модели.

Дипольное поле (ДП) проходит нулевой уровень в тот момент, когда $K = J$ (K – скорость конденсации, J – скорость испарения, см. рис. 2), и когда в F-слое происходит смена полярности ($J = K$) и $E_R = 0$.

Рис. 2. Скорости испарения J и конденсации K [7]

Однако, как следует из рис. 1, приведенного в работе [4], ДП падает до нуля (на отметке 3500), но это не приводит к уменьшению холловского тока, а даже наоборот – к увеличению квадрупольной и октупольной компонент, т.е. (TF). За рост этих компонент, согласно нашей модели, «отвечает» поле ГМА и, собственно, само внутреннее ядро, которое участвует в генерации холловского тока. Наша модель этого не предусматривала. В точке 3500 ДП достигнет нуля и, согласно модели, будет возрастать с обратным знаком и вызвать холловский ток другого направления.

Рис. 3. Токи магнитной аномалии. B_A – магнитное поле аномалии. Красная и синяя линии со стрелками обозначают токи вращения ДЭС. Зеленые стрелки – холловский ток I_H

На рис. 3 показаны распределение зарядов ионов и направления токов: за счет суточного вращения ДЭС (приводящих к формированию дипольного поля B_0), холловский ток I_H (зеленые стрелки) протекает вдоль поверхности G-ядра и ответвляется в аномалии (спираль), двигаясь вдоль радиуса и формируя магнитное поле ГМА, как сумму квадрупольного и октупольного полей (рис. 1). Здесь же показано направление радиального электрического поля E_R . В действительности, поле B_0 и напряжение E_R располагаются под прямым углом друг к другу, формируя I_H нормальным к плоскости B_0 и E_R .

Анализируя рис. 1 и рис. 3, напрашивается вывод: холловский ток из G-ядра не только является «усилителем» токов вращающихся зарядов ДЭС, но и напрямую генерируется за счет B_0 и E_R . Сможет ли произойти усиление тока вращающихся зарядов другого знака и минимального обратного поля B_0 , а также обратного напряжения E_R , и может ли возникнуть поле B обратного знака, чтобы компенсировать квадрупольное плюс октупольное поле на отметке 3500? Необходимо учесть, что в момент инверсии, длительность которой составляет несколько тысяч лет, магнитное поле удерживается в районах магнитных аномалий (рис. 3). Обратная компонента ГМП может появиться и в 6000 году, и в промежутке 3.5 – 6 тыс. лет. Возможно, на инверсию может не хватить запасенной в G-ядре электрической энергии?

В принципе, можно оценить, способно ли внутреннее ядро генерировать такой ток (10^{10} А), например, в течение всего хрона Брюнес. Длительность хрона Брюнес ≈ 1 млн. лет, что соответствует времени $\approx 3 \times 10^{13}$ сек. Количество зарядов, потерянных G-ядром за это время $\approx 10^{10} \times 3 \cdot 10^{10} \approx 3 \cdot 10^{23}$ кулон. Один заряд $\approx 10^{-19}$ кулона, это означает, что потеряно $3 \cdot 10^{42}$. G-ядро состоит из SiO_2 , один моль составляет 60 г. Масса G-ядра примерно 1% от массы Земли ($6 \cdot 10^{27}$ г), или $6 \cdot 10^{25}$ г, что в молях $\approx 10^{24}$. Число Авогардо $6 \cdot 10^{23}$, следовательно, в G-ядре должно находиться $\approx 6 \cdot 10^{47}$ зарядов. Сколько же может потерять G-ядро за время эволюции 4.5 млрд. лет? В 4500 раз больше, чем за время хрона Брюнес. Или примерно, 10^{46} , что составляет $\approx 1/60$ часть зарядов G-ядра.

Таким образом, наши весьма приближенные оценки показывают, что G-ядро практически растеряло значительную часть той электрической энергии, которая содержалась в ней в момент образования Земли, но кое-что ещё осталось. В подтверждение сказанному заметим, что во всех справочниках по физике Земли утверждается, что в настоящее время плотность вещества G-ядра практически не выше, чем плотность внешнего ядра. Это означает, что если инверсия на Земле и произойдет, то расширения её уже не будет. В перспективе: у вещества G-ядра постепенный переход из твердого состояния КС в жидкое, т.е. плавление. В конце этого процесса исчезнет F-слой, и геомагнитное поле исчезнет. Оценить, сколько потребуется на это времени, и сколько может произойти таких «пустых» инверсий – пока невозможно. Человечество после 3500 года может наблюдать примерно такую картину (рис. 4b,c). Дождаться момента 4с вероятно не стоит.

Рис. 4. Эволюция внутреннего ядра: а – раньше современного периода, б – современный, с – конец эволюции G-ядра.

В принципе, этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока все вещество G-ядра не превратится в вещество внешнего ядра (рис. 4с). При этом исчезнут

источник энергии Земли и источник генерации её магнитного поля, которое в этот момент прекратит свое существование. Прекратится раздвижение материков, т. е., собственно, геодинамика, значительно уменьшится тепловой поток, ослабнут сейсмичность и вулканизм. Исчезнет естественная защита Земли от космического излучения и т.п. Земля превратится в современный Марс. Остается неясным лишь один момент: все сказанное может произойти в период будущего периода расширения, или он закончится до того момента, когда G-ядро исчезнет полностью? Если нет, то последует ещё один период типа Брюнес (сжатие), который после его окончания перейдет в очередную Матуяму (последнее расширение).

Заключение

По нашим оценкам, инверсия начнется примерно в 3500 г. и окончится в 6000 г. В настоящее время уровень понимания процесса инверсии геомагнитного поля не достаточен для того, чтобы прогнозировать, в какое время поле будет минимальным, а в какое – нет.

Похоже на то, что вопрос, который долго не находил у авторов решения, и который заключался в том, каким же образом G-ядро, находясь в состоянии КС (а этот факт отрицать невозможно), обеспечивало холловский ток? Казалось бы, что это не соответствует нашим представлениям о роли квантовой механики. Однако, как следует из интернета (<https://lana-artifex.livejournal.com/10511.html>), находятся некоторые пояснения, проливающие свет на этот вопрос.

Когда квантовая теория обогатилась пониманием того, что КС - это обычная физическая величина, и с ней можно работать, как с другими физическими величинами, такими как энергия, масса и т. д., то возникла необходимость в ее количественном описании. Сцепленные состояния нужно было охарактеризовать по величине (степени) сцепленности.

Последнее замечание. Палеомагнитологи обратили внимание на то, что количество N-хронов и R-хронов примерно равны, а потоки тепла во время R больше, чем во время N. Это прямо следует из нашей модели.

Благодарности

Автор выражает благодарность С. Ю. Хомутову за помощь в оформлении статьи.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Автор участвовал в написании статьи и полностью несет ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

Список литературы/References

1. Кузнецов В. В. Об одной особенности распространения скоростей Р и S- волн во внутреннем G-ядре Земли // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*, 2021. Т. 35, № 2, С. 61–71. [Kuznetsov V. V. Ob odnoy osobennosti rasprostraneniya skorostey R i S- voln vo vnutrennem G-yadre Zemli // *Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat. nauki*, 2021. vol. 35, no. 2, pp. 61–71 (In Russian)].
2. Царева О. О., Зеленый Л. М. и др. Что ожидает человечество при инверсии магнитного поля Земли: угрозы мнимые и подлинные // *Успехи физ. наук*, 2018. Т. 188, № 2, С. 207–220. [Tsareva O. O., Zelenyy L. M. i dr. Chto ozhidayet chelovechestvo pri inversii magnitnogo polya Zemli: ugrozy mrimyye i podlinnyye // *Uspekhi fiz. nauk*, 2018. vol. 188, no. 2, pp. 207–220 (In Russian)].

3. Kuznetsov V. V., Kuznetsova N. D. The Earth palaeoclimate response to cosmic rays exposure during geomagnetic field excursions / *Proceedings of the 6th International conference Problems of geocosmos, St. Petersburg, Petrodvorets, May 23-27, 2006*. Saint-Petersburg, 2006, pp. 112–115, ISBN 5-9651-0235-6.
4. Glassmeier Y. K.-H., Neuhaus A., Vogt J. Space Climatology. Invited presentation // , 2002 / Alpach Summer School "Space Weather: Physics, Impacts and Predictions".
5. Кузнецов В. В. Модель горячей расширяющейся Земли // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири*, 2014. № 3(19), С. 89–98. [Kuznetsov V. V. Model' goryachey rasshiryayushcheysya Zemli // *Geologiya i mineral'no-syr'yevyye resursy Sibiri*, 2014. no. 3(19), pp. 89–98 (In Russian)].
6. Kuznetsov V. V. Quantum model of the magnetic field of the Hot Expanding Earth // *E3S Web of Conferences*, 2020. vol. 196, no. 02024, pp. 1–15, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019602024>.
7. Кузнецов В. В. *Введение в физику горячей Земли*. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. В.Беринга, 2008. 367 с. [Kuznetsov V. V. *Vvedeniye v fiziku goryachey Zemli*. Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamGU im. V.Beringa, 2008. 367 pp. (In Russian)]
8. Clement B. M. Geographical distribution of transitional VGPs: evidence for non-zonal equatorial symmetry during the Matuyama-Brunhes geomagnetic reversal // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991. vol. 104, no. 1, pp. 48-58, [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90236-B](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90236-B).

PHYSICS

MSC 86A25

Research Article

Features of the next reversal of the geomagnetic field

V. V. Kuznetsov

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation
Far-Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 684034, Kamchatskiy Kray,
Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia
E-mail: vvkuz38@mail.ru

The possibility of a new reversal of the geomagnetic field (GMF) and some of its features are discussed. In 3500 the dipole field (DF) will become near zero. Since 1500, along with the decrease of DF, there has been an increase of the octupole and quadrupole components of the GMF as well as their sum (O+Q). According to our model of geomagnetism, after passing the zero the reversing DF will start its rise counteracting the (O+Q) field and lowering its value to zero. In about 6000 the total field DF+O+Q (N) will be minimum. After DF reaches a stable value the reversal will complete.

Keywords: quantum entanglement, geomagnetic field, reversal, forecast.

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-131-140

Original article submitted: 27.07.2021

Revision submitted: 04.12.2021

For citation. Kuznetsov V. V. Features of the next reversal of the geomagnetic field. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **37**: 4, 131-140. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-37-4-131-140

Competing interests. The author declares that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. The author contributed to this article. The author is solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by the author.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Kuznetsov V. V., 2021

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment on the topic “Physical processes in the system of near space and geospheres under solar and lithospheric influences”, reg. No. AAAA-A21-121011290003-0.