

УДК 550.383

ВАРИАЦИИ НАПРЯЖЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ХАРАКТЕРНЫМИ ВРЕМЕНАМИ ~5 И 1 МЛН ЛЕТ

© 2019 г. А. Ю. Куражковский¹, *, Н. А. Куражковская¹, **, Б. И. Клайн¹, ***

¹Геофизическая обсерватория Борок филиал Института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН, п. Борок (Ярославская обл.), Россия

*e-mail: ksasha@borok.yar.ru

**e-mail: knady@borok.yar.ru

***e-mail: klain@borok.yar.ru

Поступила в редакцию 10.05.2018 г.

После доработки 10.05.2018 г.

Принята к публикации 27.09.2018 г.

Исследовано поведение палеонапряженности геомагнитного поля на интервале средняя юра–палеоген (167–20 млн лет). Обнаружено, что амплитуды вариаций палеонапряженности циклически изменялись. Сделаны оценки характерных времен этих изменений, которые составили ~5 и 1 млн лет. Проведено сопоставление циклов, обнаруженных в поведении палеонапряженности, с циклами изменений уровня мирового океана. Показано, что характерные времена циклических изменений амплитуд вариаций палеонапряженности (~5 и 1 млн лет) совпадают со средней длительностью циклов трансгрессии – регрессии (Т–Р циклы) второго и третьего порядка из геохронологической шкалы (Geologic Time Scale 2008 – GTS 08). Возрастания амплитуд вариаций палеонапряженности, в основном, происходили при регрессиях мирового океана. Одинаковые характерные времена и существование корреляционной связи между Т–Р циклами и изменениями палеонапряженности свидетельствует о том, что они являются отражением единого общепланетарного процесса.

DOI: 10.1134/S001679401902010X

1. ВВЕДЕНИЕ

Результаты реконструкций поведения характеристик древнего геомагнитного поля являются одним из ключевых элементов в исследовании процессов, происходящих в жидком ядре, и разработках теории геомагнитного динамо. В этой связи особый интерес представляют данные о вариациях палеонапряженности, поскольку они позволяют обсуждать как характерные времена (квазипериодичности), так и энергетику геомагнитных процессов. Вариации палеонапряженности подробно исследованы на интервале 5 млн лет – современность, их характерные времена составляли от 60 до 100 000 лет [Valet and Meynadier, 1993; Петрова и др., 2000; Петрова, 2002]. Кроме того, существуют данные об изменениях характеристик геомагнитного поля с квазипериодичностью около 200 млн лет [Храмов и др., 1982]. При этом в сведениях о поведении палеонапряженности имеется значительный пробел, ее вариации с характерными временами порядка нескольких миллионов лет еще не исследовались.

Поведение геомагнитного поля зависит от многих факторов, определяющих физические условия в жидком земном ядре и мантии, напри-

мер, температуры, вязкости, скорости осевого вращения [Соколов, 2004]. В связи с этим делать заключение о механизме, управляющем поведением геомагнитного поля только на основе анализа палеомагнитных данных, крайне сложно. По нашему мнению, к решению этой задачи можно приблизиться в случае привлечения дополнительных сведений о процессах, которые также связаны с геофизическими условиями во внутренних геосферах. Например, существует обоснованное предположение, о том, что тепловые процессы в ядре и мантии оказывают влияние на динамику как геомагнитных [Соколов, 2004; Решетняк, 2015; Решетняк и Павлов, 2016], так и геотектонических (литосферных) процессов [Милановский, 1996; Селиверстов 2001, Трифонов и Соколов, 2018]. В связи с этим, совместный анализ палеомагнитных и геотектонических данных позволяет получить более полную информацию о глубинных тепловых процессах и дает надежду на прогресс в изучении механизмов, которые этими процессами управляют.

Поведение циклов трансгрессии–регрессии уровня мирового океана (Т–Р циклов), является отражением динамики ряда взаимосвязанных геотектонических процессов, таких как рифтинг –

складчатость, активизации магматизма [Селиверстов, 2001; Милановский, 1996]. Данные о Т–Р циклах имеются для всего фанерозоя, при этом их характерные времена составляют от миллионов до сотен миллионов лет [Gradstein et al., 2008]. Сведения о палеонапряженности в фанерозое имеют значительные пробелы и пока не позволяют получить подробную картину поведения геомагнитного поля. В связи с этим возможность совместного исследования геомагнитных и геотектонических процессов ограничивается продолжительностью и подробностью имеющихся рядов палеомагнитных данных. Продолжительные ряды данных палеонапряженности, которые выполнены с необходимым разрешением, могут быть получены в ходе ее исследований, проводимым по древним осадочным толщам.

В последние годы были получены новые определения палеонапряженности по осадочным породам средней юры – палеогена [Ohneiser et al., 2013; Yamazaki et al., 2013; Yamamoto et al., 2014; Куражковский и др., 2015, 2018]. Это позволило на основе синтеза полученных данных строить кривые, характеризующие поведение палеонапряженности, на больших (более 100 млн лет) интервалах геологического времени. Кроме того, появилась возможность проверять внешней схожимостью корректность некоторых, ранее полученных фрагментов ее поведения. Подробность новых данных позволяет исследовать вариации палеонапряженности с характерными временами менее миллиона лет.

В настоящей работе проводится исследование поведения палеонапряженности и ее связи с ритмами тектонических (эвстатических) процессов на интервале средняя юра–палеоген (167–23 млн лет).

2. АНАЛИЗИРУЕМЫЙ МАТЕРИАЛ

В связи с появлением новых данных синтезированные кривые, характеризующие поведение палеонапряженности, могут несколько различаться. Кривая поведения палеонапряженности в средней юре–палеогене, которая будет анализироваться в настоящей работе, обладает следующим рядом особенностей. Для ее получения использовались только отложения Русской плиты и прилегающих территорий. Эта кривая является компиляцией данных, опубликованных в работах [Куражковский и др., 2011, 2015, 2018]. Кроме того, в нее внесены уточнения возраста отложений турона – коньяка (93–85 млн лет) из работ [Суринский и Гужиков, 2017; Первушов и др., 2017а, 2017б]. На этой кривой сведены к минимуму пропуски палеомагнитных данных. Следует заметить, что в отличие от предыдущих исследований [Куражковский и др., 2015, 2018] здесь мы не использовали данные палеонапряженности [Cronin

et al., 2001; Ohneiser et al., 2013; Yamazaki et al., 2013; Yamamoto et al., 2014], полученные по осадочным породам из других регионов Земли.

Определения палеонапряженности проводились по коллекциям образцов, отобранных сотрудниками Саратовского университета для получения магнитостратиграфических данных. Это позволило на основе обнаруженных в работах [Молостовский и Богачкин, 2000; Гужиков и др., 2007; Пименов и Ямпольская, 2008; Барабошкин и др., 2015; Гужиков и др., 2017; Суринский и Гужиков, 2017] стратиграфических реперов, осуществлять привязку данных палеонапряженности к магнитостратиграфическим и хроностратиграфическим шкалам, например, [Gradstein et al., 2008]. На данный момент стратиграфический возраст отложений, по которым исследовалась палеонапряженность, определен с точностью до их принадлежности к хронам геомагнитной полярности и биозонам. Таким образом, погрешность привязки палеомагнитных данных, полученных в ходе исследования этих отложений к геохронологической шкале [Gradstein et al., 2008], по-видимому, не должна превышать несколько сотен тысяч лет. Такая точность определения возраста может считаться вполне достаточной для разрешения геомагнитных процессов, происходящих с характерными временами несколько миллионов лет.

Поскольку отложения отбирались в пределах одного региона (Русской плиты), мы сочли целесообразным анализировать только поведение палеонапряженности и не обсуждать изменения виртуального дипольного момента. Значения палеонапряженности приведены в относительных единицах H/H_0 , где H – величина напряженности древнего геомагнитного поля, H_0 – среднее значение напряженности современного геомагнитного поля (40 мкТл).

Цикличность тектонических процессов отождествлялась нами с цикличностью изменений уровня мирового океана (циклами трансгрессии – регрессии или Т–Р циклами). Такое допущение базируется на результатах работ [Милановский, 1996; Селиверстов, 2001]. В этих работах было показано, что изменения деформаций (расширение – сжатие) земной коры [Милановский, 1996] и интенсивности эксплозивного магматизма [Селиверстов, 2001] с хорошей точностью совпадают с изменениями уровня мирового океана. При этом фазам усиления деформаций сжатия и активизации эксплозивного магматизма соответствуют минимумы уровня мирового океана. Это позволяет в качестве обобщенной характеристики геотектонических процессов анализировать данные об эвстатических циклах. Данные об изменении уровня мирового океана с характерными временами порядка нескольких миллионов лет постро-

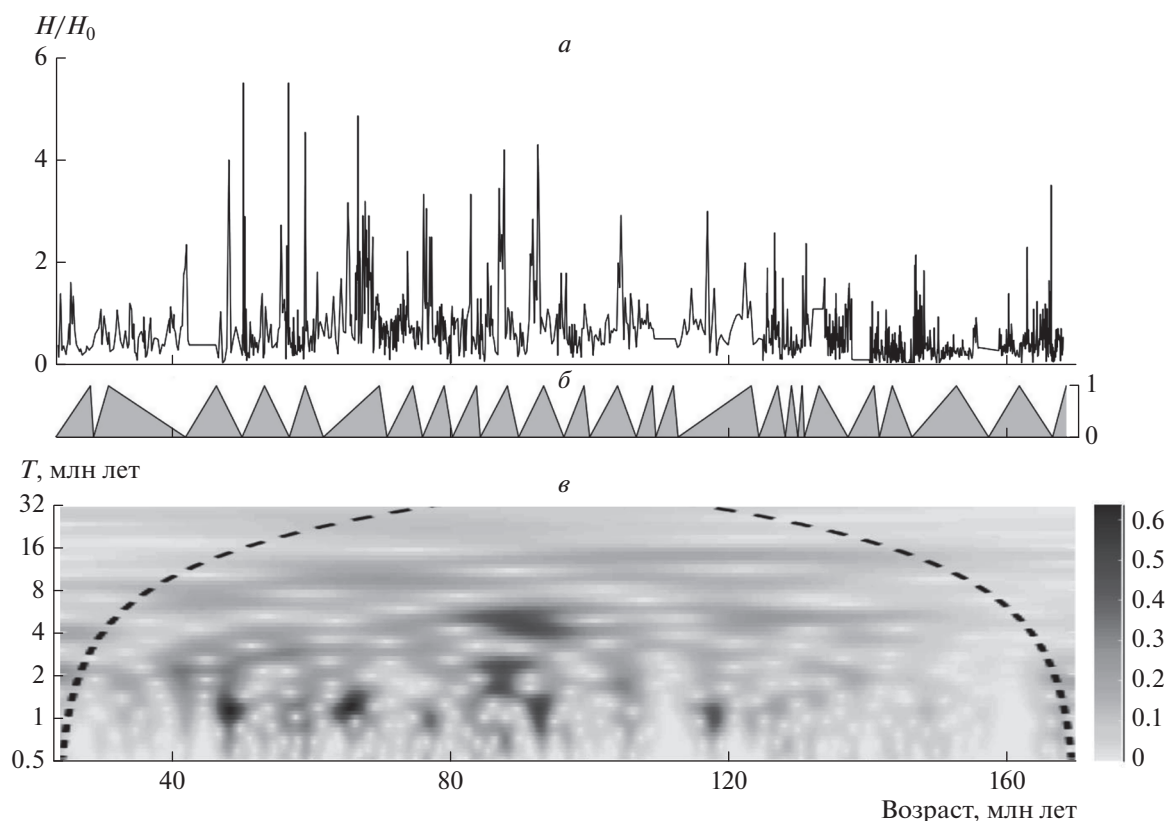


Рис. 1. (а) — Поведение палеонапряженности (H/H_0) в средней юре—палеогене. (б) — Серыми треугольниками обозначены циклы трансгрессии—регрессии согласно геохронологической шкале [Gradstein et al., 2008]. (в) — Вейвлет — диаграмма вариаций палеонапряженности в интервале 167–23 млн лет.

ены в соответствии с геохронологической шкалой (Geologic Time Scale 2008 — GTS 08) [Gradstein et al., 2008].

3. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПАЛЕОНАПРЯЖЕННОСТИ С ДАННЫМИ О Т–Р ЦИКЛАХ

На рисунке 1а приведена кривая, характеризующая поведение палеонапряженности верхней юры—палеогена. На исследованном временном интервале среднее значение и дисперсия (σ) палеонапряженности составляли $0.65H_0$ и $0.6H_0$, соответственно. Видно, что кривая палеонапряженности очень изменчива, ее вариации имеют хаотичный характер. Причем для поведения палеонапряженности характерно случайное чередование всплесков (вариации палеонапряженности с амплитудами $>2\sigma$) и интервалов относительно спокойного геомагнитного поля (вариации с амплитудами $<\sigma$). Структуры, состоящие из всплеска и вариаций с малой амплитудой, повторяются на всем исследованном интервале. Повторяемость подобных структур можно рассматривать как циклы изменений палеонапряженности. Согласно рис. 1а, интервалы между всплесками

палеонапряженности различаются. Следовательно, процесс изменения амплитуд вариаций палеонапряженности не является периодическим. Тем не менее, среднюю продолжительность циклов изменения амплитуд вариаций палеонапряженности, которая отождествлялась нами с длительностью вышеназванных структур, можно оценить. Так, на интервале ранний мел—палеоген (135–47 млн лет) (этот интервал хорошо обеспечен палеомагнитными данными) обнаружено 16 фрагментов, в которых амплитуды вариаций палеонапряженности возрастали (до $2H_0$). В соответствии с этим средняя длительность геомагнитных циклов, в ходе которых изменялись амплитуды вариаций палеонапряженности, на этом временном интервале составляла порядка 5 млн лет.

Поскольку кривая палеонапряженности имеет сложный характер (локальные квазипериодические события перемежаются с хаосом), более точную оценку продолжительности циклов изменений амплитуд палеонапряженности можно провести с использованием вейвлет анализа [Астафьева, 1999]. Кроме того, вейвлет анализ позволяет анализировать когерентность нестационарных временных рядов [Grinsted, 2004]. Для проведения вейвлет анализа мы использовали пакет про-

грамм MATLAB. На рисунке 1*в* приведена вейвлет — диаграмма вариаций, свойственных поведению палеонапряженности. Как видно из этого рисунка, в поведении палеонапряженности действительно присутствуют вариации с характерными временами 5 млн лет. В то же время следует отметить, что спектр вариаций палеонапряженности достаточно широкий (от 1 до более, чем 10 млн лет), и, кроме того, он изменяется с течением геологического времени. Так, например, вариации с характерными временами порядка 1 млн лет в нем обнаруживаются через интервалы порядка 20 млн лет.

Чтобы понять, с чем связан спектр квазипериодичностей, обнаруженных нами в поведении палеонапряженности (с процессами, происходящими только в земном ядре, или с общепланетарными процессами), мы провели их сопоставление с данными (шкалы GTS 08) о трансгрессиях — регрессиях мирового океана. На этой шкале в интервале 135—47 млн лет обозначено 16 Т—Р циклов второго порядка и 88 циклов третьего порядка. В соответствии с данными GTS 08 средние длительности Т—Р циклов второго и третьего порядков составляли около 5 и 1 млн лет. Таким образом, в спектре изменений геомагнитного поля и процессов в литосфере присутствуют одинаковые ритмы. Такое совпадение ритмов (процессов в ядре Земли и на ее поверхности) можно рассматривать, как одно из свидетельств в пользу существования общепланетарного процесса, в соответствии с которым изменялось состояние, как литосферы, так и внутренних оболочек (жидкого ядра и мантии).

Изменения уровня океана можно условно разделить на две фазы — фазу трансгрессии и фазу регрессии. Данные о Т—Р циклах второго порядка из шкалы [Gradstein et al., 2008] представлены на рис. 1*б*. Мы предприняли попытку поиска соответствия поведения палеонапряженности определенным фазам Т—Р циклов. Датировки минимумов и максимумов уровня океана, приведенные в шкале GTS 08, позволяют определять средние значения палеонапряженности во время фаз трансгрессий и регрессий мирового океана. В соответствии с имеющимися материалами средние значения палеонапряженности во время фаз трансгрессий и регрессий значительно различались и составили соответственно $0.54 H_0$ и $0.85 H_0$ при $\alpha_{95\%} = 0.105$ и $0.062 H_0$ ($\alpha_{95\%}$ — 95% доверительный интервал оценки среднего значения). Таким образом, на исследованном интервале геологического времени средние значения палеонапряженности во время регрессий мирового океана были выше, чем во время трансгрессий. Данные (рис. 1*б*) также могут свидетельствовать о том, что в большинстве случаев всплески палеонапряженности происходили во время понижений уровня океана. Наиболее отчетливо это обнару-

живается при сопоставлении палеонапряженности с наиболее продолжительными фазами Т—Р циклов. Например, при продолжительной регрессии 70—61.45 млн лет (конец мела—начало палеогена) имело место явное возрастание амплитуд вариаций палеонапряженности. В ходе продолжительной трансгрессии (42—31 млн лет) всплесков палеонапряженности не обнаружено. При этом как видно из рис. 1*а*, 1*б*, длительности геомагнитных и эвстатических циклов изменяются в широких пределах.

На рисунке 2 приведена кривая изменения уровня мирового океана (из шкалы GTS 08, рис. 2*а*) и ее вейвлет диаграмма (б). Как видно из рис. 2, в изменениях уровня океана можно обнаружить широкий спектр вариаций различной длительности. Их спектральная плотность значительно изменяется в течение геологического времени. В то же время между геомагнитными и эвстатическими процессами, происходящими с характерными временами порядка (5 и более чем 5 млн лет), обнаруживается хорошая корреляция. Это видно из диаграммы когерентности между изменением уровня океана и поведением палеонапряженности (рис. 3). Коэффициент корреляции между данными кривыми составлял более 0.5. Некоторые изменения фазового соответствия между геомагнитными и эвстатическими циклами, которые произошли в течение мелового периода (показанные стрелками), не изменяют общего вывода о корреляции между ними. Корреляция между непериодическими процессами, происходящими в ядре Земли и литосфере, свидетельствует о синхронности геомагнитных и эвстатических циклов, а также о существовании единого общепланетарного механизма, который этими процессами управляет. Нарушение корреляции между геомагнитными и геотектоническими процессами вблизи отметок 160, 140 и 110 млн лет (рис. 3), вероятно, связано с пропусками данных палеонапряженности.

Длительности Т—Р циклов изменяются в течение геологического времени. Согласно шкале GTS 08, характерные времена этих циклов в меловом периоде несколько меньше, чем в ранней юре и палеогене. Так, средние длительности Т—Р циклов в начале юры составляли ~10 млн лет, в мелу—раннем палеогене около 5.5 млн лет, в конце палеогена—неогене ~8 млн лет. Максимальные значения амплитуд вариаций палеонапряженности обнаружены в мелу—начале палеогена. Таким образом, можно предположить, что между средней продолжительностью Т—Р циклов и интенсивностью всплесков палеонапряженности существует обратная зависимость.

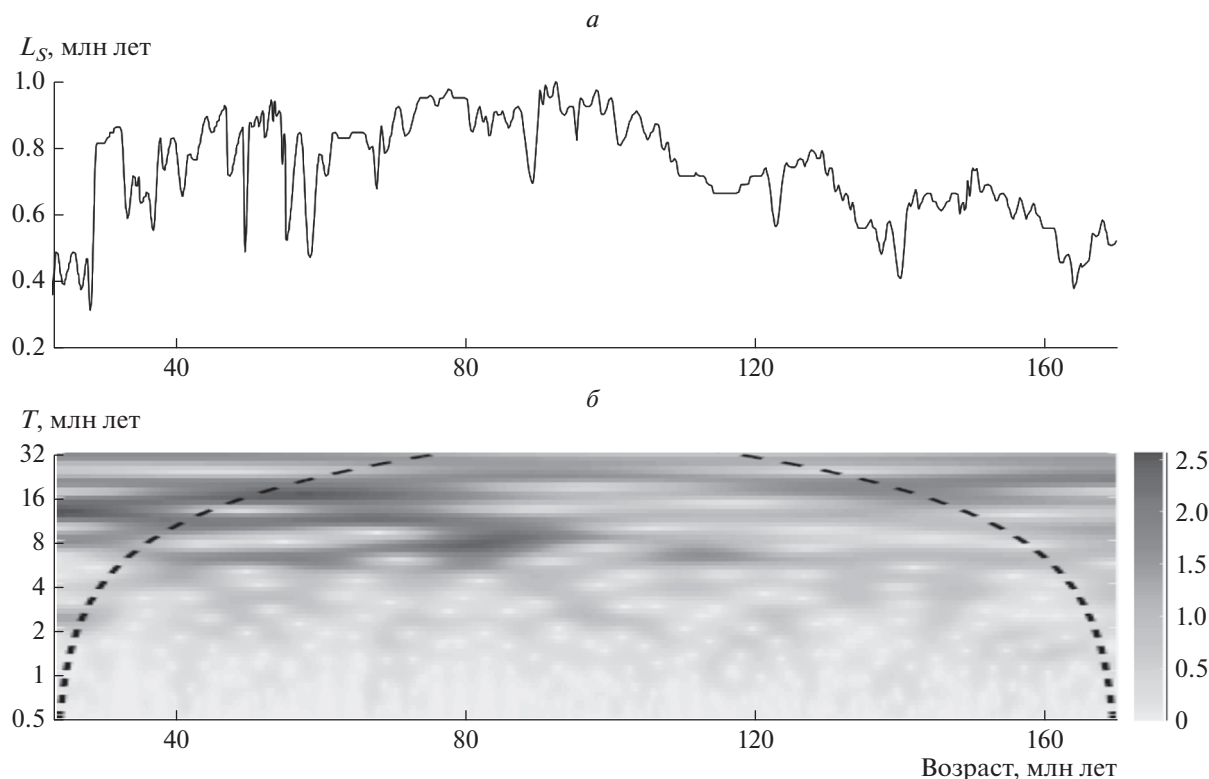


Рис. 2. (а) — Кривая изменения уровня мирового океана (L_s) согласно [Gradstein et al., 2008]; (б) — вейвлет — диаграмма изменений уровня мирового океана.

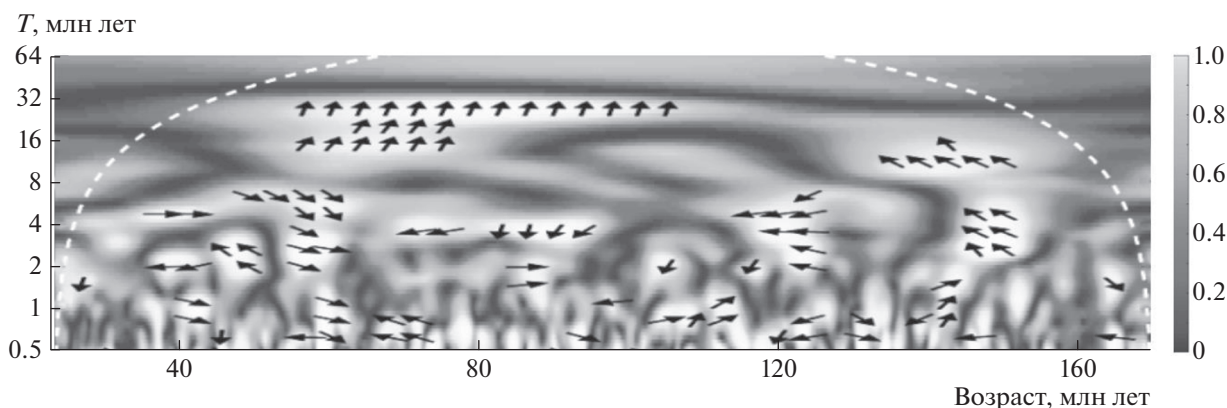


Рис. 3. Диаграмма когерентности между поведением палеонапряженности и уровнем мирового океана.

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Из обобщения результатов настоящего исследования и данных, приведенных в серии публикаций [Милановский, 1996; Диденко, 1999; Трифонов и Соколов, 2018], следует, что в спектре активизаций геомагнитного поля и геотектонических процессов имеются одинаковые квазипериодичности. В работах [Милановский, 1996; Диденко, 1999] исследованы вариации с характерными временами порядка 200 и 100 млн лет. В настоящей

работе обнаружены вариации с характерными временами порядка 5 и 1 млн лет. Таким образом, в диапазоне от миллионов до сотен миллионов лет спектры квазипериодичностей, свойственных поведению геомагнитного поля и геотектонических процессов, совпадают между собой. Более того, между геомагнитными и геотектоническими процессами имеется корреляционная связь (рис. 3). Это свидетельствует в пользу существования единого механизма, влияющего на процес-

сы, происходящие в жидком ядре Земли и на ее поверхности.

Возможный механизм связи поведения геомагнитного поля (частоты геомагнитных инверсий) с динамикой геотектонических процессов обсуждался в работе [Милановский, 1996]. В этой работе предложена схема (модель), согласно которой тепловое расширение ядра Земли вызывало усиление деформаций растяжения в литосфере, повышение уровня мирового океана и сопровождалось уменьшением частоты геомагнитных инверсий. Затем тепловое расширение сменялось гравитационным сжатием, при котором частота геомагнитных инверсий возрастала. В этой схеме Земля рассматривалась как колебательная система. Надо отметить, что аналогичный механизм, объясняющий пульсирующий характер геотектонических процессов, был предложен в работе [Ромашов, 2003].

В рамках модели [Милановский, 1996] находит логичное объяснение совпадение минимумов уровня мирового океана с максимальными возрастаниями частоты геомагнитных инверсий или синхронность процессов, происходящих в ядре Земли и на ее поверхности. Следует отметить, что характерные времена процессов, которые могли корректно анализироваться в этой работе, значительно превышали 5 млн лет. При рассмотрении процессов, с характерными временами 5 млн лет, синхронность между геомагнитными и геотектоническими циклами имеет несколько иной вид, чем в модели Е.Е. Милановского. Так из рис. 1а, 1б видно, что всплески палеонапряженности могли происходить как вблизи минимумов (в юре — начале мела), так и вблизи максимумов (в конце мела — палеогене) уровня океана. Иными словами возрастания амплитуд вариаций палеонапряженности могли иметь место, как в начале, так и в конце фаз трансгрессий. Это не противоречит модели Е.Е. Милановского, но требует ее некоторой коррекции. В течение исследованного нами временного интервала всплески палеонапряженности могли обнаруживаться как в начале, так и в конце фаз трансгрессий. Так, в конце юры и начале мела всплески палеонапряженности, в основном, имели место в конце трансгрессий. В конце мела и начале палеогена всплески палеонапряженности происходили в начале трансгрессий. Подобные изменения фазового соответствия геомагнитных и геотектонических процессов значительно превышают длительности Т—Р циклов. Изменения фазового соответствия между геомагнитными и геотектоническими процессами, обнаруженные на интервале 150—65 млн лет, возможно, являются следствием эволюционных изменений, происходящих во внутренних геосферных оболочках.

В соответствии с поведением амплитуд вариаций палеонапряженности можно условно выделить два режима генерации геомагнитного поля — спокойный и всплесковый. О том, что эти режимы генерации геомагнитного поля качественно различаются, свидетельствует различный (соответственно экспоненциальный, либо степенной) характер распределения значений палеонапряженности [Куражковский и др., 2015]. Таким образом, режим генерации геомагнитного поля в течение каждого (~5 млн лет) геомагнитного цикла (и совпадающего с ним Т—Р цикла) нестационарен и изменяется в соответствии с фазами этих циклов. Если следовать [Милановский, 1996], то нестационарность процессов в жидком ядре является следствием чередования разогрева — охлаждения, связанных с ними расширения — сжатия внутренних геосфер, а также замедления — ускорения осевого вращения планеты. Таким образом, продолжительность существования квазистационарных режимов генерации геомагнитного поля не может значительно отличаться от длительности отдельных фаз Т—Р циклов. В то же время конвекционные процессы в жидком ядре, вероятно, обладают определенной инерционностью, и для их перестройки требуется некоторое время. В связи с этим смены режимов генерации геомагнитного поля могут не иметь точного совпадения с границами фаз Т—Р циклов. В работе [Куражковский и др., 2015] на основе статистического анализа данных палеонапряженности, предполагалось, что рост амплитуд вариаций палеонапряженности и появление ее всплесков являются отражением активизаций турбулентных процессов в жидком ядре Земли.

Как видно из рисунка 1 наиболее значительные изменения палеонапряженности происходят в рамках (~5 млн лет) циклов. В соответствии с этими циклами амплитуды вариаций палеонапряженности изменяются в несколько раз, а ее мгновенные значения могут различаться в десятки раз. Изменения палеонапряженности, происходящие с характерными временами порядка миллиона лет, либо десятков миллионов лет менее значительны (рис. 1в и рис. 3). Об изменениях палеонапряженности с такими характерными временами свидетельствуют результаты спектрального анализа. На кривой, характеризующей поведение палеонапряженности, вариации с характерными временами 1 и 30 млн лет трудно обнаружить визуально.

5. ВЫВОДЫ

На интервале средняя юра—палеоген обнаружены циклические изменения амплитуд вариаций палеонапряженности (с характерными временами около 5 и 1 млн лет), которые совпадают с циклами изменений уровня мирового океана.

Возрастания амплитуд вариаций палеонапряженности, в основном, происходили при понижении уровня мирового океана. Режим генерации геомагнитного поля в ходе циклов трансгрессия—регрессия существенно нестационарен. Продолжительность существования квазистационарных режимов генерации геомагнитного поля обычно не превышает продолжительность отдельных фаз Т—Р цикла. Одинаковые характерные времена и существование корреляционной связи между Т—Р циклами и изменениями палеонапряженности свидетельствует о том, что они являются отражением единого общепланетарного процесса.

Авторы выражают признательность сотрудникам Саратовского Национального исследовательского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского А.А. Гужиковой, А.Ю. Гужикову, М.В. Пименову, А.М. Суринскому, В.А. Фомину за предоставленные коллекции образцов и результаты магнитостратиграфических и петромагнитных определений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // УФН. Т. 166. № 11. С. 1145—1170. 1999.
- Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Беньямовский В.Н., Александрова Г.Н., Барабошкин Е.Е., Суринский А.М. Новые данные о стратиграфии и условиях формирования эоценовых отложений на плато Актолагай (Западный Казахстан) // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. № 2. С. 67—77. 2015.
- Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Фомин В.А. Магнитостратиграфическая шкала меловой системы: современное состояние, проблемы построения и перспективы развития / Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Ред. Первушов Е.М. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 308 с. 2007.
- Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Беньямовский В.Н., Вишневская В.С., Копаевич Л.Ф., Первушов Е.М., Гужикова А.А. Новые био- и магнитостратиграфические данные по кампанским-маастрихтским отложениям классического разреза Нижняя Банновка (юг Саратовского Правобережья) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. Т. 25. № 1. С. 24—61. 2017.
- Диденко А.Н. О временной связи процессов в ядре и литосфере. // Российский журнал наук о Земле. Т. 1. № 3. С. 189—198. 1999.
- Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. Напряженность геомагнитного поля в средней-поздней юре / Научные материалы Четвертого Всероссийского совещания “Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии”. Санкт-Петербург, 26—30 сентября 2011 г. Ред. Захаров В.А. СПб: ООО “Издательство ЛЕМА”. С. 124—125. 2011.
- Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. Стохастическое поведение геомагнитного поля в средней юре—палеогене // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 55. № 2. С. 235—246. 2015.
- Куражковский А.Ю., Куражковская Н.А., Клайн Б.И. Поведение палеонапряженности и интервалов между инверсиями геомагнитного поля в последние 167 млн лет // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 58. № 1. С. 39—45. 2018.
- Милановский Е.Е. О корреляции фаз учащения инверсий геомагнитного поля, понижений уровня Мирового океана и фаз усиления деформаций сжатия земной коры в мезозое и кайнозое // Геотектоника. № 1. С. 3—11. 1996.
- Молостовский Э.А., Богачкин А.Б. Магнитостратиграфия палеогеновых отложений юга Европейской России / Тезисы докладов “Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент”. Борок, 25—29 сентября 2000 г. Ред. Щербаков В.П. М.: ГЕОС. С. 47—48. 2000.
- Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов “Озерки” (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 1. Характеристика разрезов, результаты петромагнитных и магнитоминералогических исследований // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. Т. 17. Вып. 2. С. 105—116. 2017а. doi 10.18500/1819-7663-2017-17-2-105-116
- Первушов Е.М., Сельцер В.Б., Калякин Е.А., Фомин В.А., Рябов И.П., Ильинский Е.И., Гужикова А.А., Бирюков А.В., Суринский А.М. Комплексное био- и магнитостратиграфическое изучение разрезов “Озерки” (верхний мел, Саратовское правобережье). Статья 2. Характеристика ориктокомплексов и биостратиграфия // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. Т. 17. Вып. 3. С. 182—199. 2017б. doi 10.18500/1819-7663-2017-17-3-182-199
- Петрова Г.Н., Печерский Д.М., Храмов А.Н. Палеомагнитология — наука, созданная в XX в. // Физика Земли. № 9. С. 80—102. 2000.
- Петрова Г.Н. Циклические изменения магнитного поля Земли // Физика Земли. № 5. С. 5—14. 2002.
- Пименов М.В., Ямпольская О.Б. Сводный магнитостратиграфический разрез средней-верхней юры Русской плиты / Очерки по региональной геологии: к 70-летию кафедры общей геологии и полезных ископаемых геологического факультета и 100-летию Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. Ред. В.Н. Староверов. Саратов: Нука, 116 с. 2008.
- Решетняк М.Ю. Пространственные спектры геомагнитного поля в наблюдениях и моделях геодинамо // Физика Земли. № 3. С. 39—46. 2015.
- Решетняк М.Ю., Павлов В.Э. Эволюция дипольного геомагнитного поля. Наблюдения и модели // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 56. № 1. С. 117—132. 2016.
- Ромашов А.Н. Планета Земля: Тектонофизика и эволюция. М: УРСС. 364 с. 2003.
- Селиверстов Н.И. Глобальные изменения уровня океана и четвертичный вулканизм // Вулканология и сейсмология. № 5. С. 22—31. 2001.
- Соколов Д.Д. Геодинамо и модели генерации геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 44. № 5. С. 579—589. 2004.
- Суринский А.М., Гужиков А.Ю. Опыт циклостратиграфического анализа петромагнитных данных по раз-

- результата турона–маастрихта “Нижняя Банновка” (юг Саратовского Правобережья) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. Т. 17. Вып. 2. С. 117–124. 2017.
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю. Сопоставление тектонических фаз и инверсий магнитного поля в позднем мезозое и кайнозое // Вестн. РАН. Т. 88. № 1. С. 33–39. 2018.
- Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.А. Палеомагнитология. Ред. Храмов А.Н. Л.: Недра. 312 с. 1982.
- Cronin M., Tauxe L., Constable C., Selkin P., Pick T. Noise in the quiet zone // Earth Planet. Sci. Lett. V. 190. P. 13–30. 2001.
- Gradstein F.M., Ogg G.J., van Kranendonk M. On the Geologic Time Scale 2008 // Newsl. stratigr. V. 43/1. P. 5–13. 2008.
- Grinsted A., Moore J. C., Jevrejeva S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series // Nonlinear Processes in Geophysics. V. 11. P. 561–566. 2004.
- Ohneiser C., Acton G., Channell J.E.T., Wilson G.S., Yamamoto Y., Yamazaki T. A middle Miocene relative paleointensity record from the Equatorial Pacific // Earth Planet. Sci. Lett. V. 374. P. 227–238. 2013.
- Valet J.-P., Meynadier L. Geomagnetic field in intensity and reversals during the past four million years // Nature. V. 366. P. 234–238. 1993.
- Yamamoto Y., Yamazaki T., Acton G.D., Richter C., Guidry E.P., Ohneiser C. Palaeomagnetic study of IODP Sites U1331 and U1332 in the equatorial Pacific-extending relative geomagnetic palaeointensity observations through the Oligocene and into the Eocene // Geophys. J. Int. V. 196(2). P. 694–711. 2014.
- Yamazaki T., Yamamoto Y., Acton G., Guidry E., Richter C. Rock-magnetic artifacts on long-term relative paleointensity variations in sediments // Geochem. Geophys. Geosyst. V. 14. № 1. P. 23–42. 2013.