

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЗОН МАГНИТНОЙ ПОЛЯРНОСТИ В ОТЛОЖЕНИЯХ КАТАВСКОЙ СВИТЫ (ВЕРХНИЙ РИФЕЙ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2019 г. И. В. Голованова, Р. Ю. Сальманова, К. Н. Данукалов, Н. Д. Сергеева

Реферат. В работе представлены предварительные результаты циклостратиграфического изучения трех разрезов катавской свиты на Южном Урале, проводимого параллельно с детальным построением шкалы геомагнитной полярности, что позволило оценить среднюю скорость осадконакопления и количество инверсий геомагнитного поля за достаточно достоверно определенный интервал времени. Спектральный анализ изменений магнитной восприимчивости по разрезу позволяет выделить на периодограмме отчетливые пики, которые сопоставляются с орбитальными циклами. На основе выявленных циклов Миланковича дана оценка длительности накопления изученной части разреза катавской свиты и средней продолжительности одной магнитозоны. Анализ спектров вариаций магнитной восприимчивости выполнен методом «multi-target», выявлены пики на частотах, близких к предсказанным для орбитальных циклов на границе докембрия и палеозоя. Согласно полученным результатам средняя скорость осадконакопления пород катавской свиты в изученных разрезах составляет 0.04–0.05 м/тыс. лет, а максимальная длительность накопления отложений мощностью 200 м — около 5 млн лет. Если учесть, что в отложениях катавской свиты известно несколько десятков зон прямой и обратной магнитной полярности, то средняя длительность одной магнитозоны оценивается в 51.5 тыс. лет, что сопоставимо с данными по зиганской свите верхнего венда, отложения которой считаются уникальными по частоте инверсий. Полученные результаты еще раз указывают на возможное существование аномального (гиперактивного) состояния геомагнитного поля в позднем докембрии и на границе докембрия и палеозоя. По результатам исследований рекомендуется более детальное магнитостратиграфическое и циклостратиграфическое изучение разрезов катавской свиты для более обоснованной оценки скорости осадконакопления и длительности магнитозон с целью проверки гипотезы о сверхвысокой частоте инверсий.

Ключевые слова: палеомагнетизм, циклостратиграфия, магнитостратиграфия, Южный Урал, верхний рифей, катавская свита

ON THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF CYCLOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS IN STUDY OF THE DURATION OF MAGNETIC POLARITY ZONES IN THE SEDIMENTS OF THE KATAV FORMATION (UPPER RIPHEAN, SOUTHERN URALS)

I. V. Golovanova, R. Yu. Sal'manova, K. N. Danukalov, N. D. Sergeeva

Abstract. The paper presents the preliminary results of a cyclostratigraphic study of three sections of the Katav Formation in the Southern Urals, conducted in parallel with the detailed construction of the geomagnetic polarity scale, which made it possible to estimate the average sedimentation rate and the number

Для цитирования: Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Данукалов К.Н., Сергеева Н.Д. О возможности применения циклостратиграфического анализа при изучении продолжительности зон магнитной полярности в отложениях катавской свиты (верхний рифей, Южный Урал) // Геологический вестник. 2019. № 2. С. 102–110. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-2-8>.

For citation: Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu., Danukalov K.N., Sergeeva N.D. On the possibility of application of cyclostratigraphic analysis in study of the duration of magnetic polarity zones in the sediments of the Katav Formation (Upper Riphean, Southern Urals) // Geologicheskii vestnik. 2019. No.2. P. 102–110. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-2-8>.

of geomagnetic field inversions for a fairly certain time interval. The spectral analysis of changes in the magnetic susceptibility along the section makes it possible to distinguish distinct peaks on the periodogram, which are compared with orbital cycles. Based on the identified Milankovitch cycles, the accumulation duration of the studied part of the section of the Katav Formation and the average duration of one magnetozone are estimated. The analysis of the spectra of variations in magnetic susceptibility was performed using the “multi-taper” method; peaks were detected at frequencies close to those predicted for orbital cycles at the Precambrian/Paleozoic boundary. According to the results obtained, the average sedimentation rate of rocks of the Katav Formation in the studied sections is 0.04–0.05 m/kyr, and the maximum duration of accumulation of sediments with a thickness of 200 m is about 5 million years. If we take into account that several tens of magnetic zones of direct and reverse magnetic polarity are known in the deposits of the Katav Formation, the average duration of a single magnetic zone is estimated at 51.5 kyr, which is comparable to the data of the Zigan Formation of the Upper Vendian, the deposits of which are considered unique in terms of inversion frequency. The results obtained indicate once again the possible existence of the anomalous (hyperactive) state of the geomagnetic field in the Late Precambrian and at the Precambrian/Paleozoic boundary. According to the results of research, a more detailed magnetostratigraphic and cyclostratigraphic study of the sections of the Katav Formation is recommended for a more reasonable estimate of the sedimentation rate and duration of the magnetozone in order to test the hypothesis of ultrahigh frequency of inversions.

Keywords: paleomagnetism, cyclostratigraphy, magnetostratigraphy, Southern Urals, Upper Riphean, Katav Formation

Введение

Изучение эволюции геомагнитного поля Земли является ключевым для разработки физической теории геомагнетизма и для изучения процессов, проходящих во внутренних оболочках планеты. На сегодняшний день частота геомагнитных инверсий более или менее достоверно известна для последних 100–130 млн лет, для которых она определяется по полосовым магнитным аномалиям. Для более раннего времени степень достоверности шкалы геомагнитного поля заметно падает, причем, чем дальше в прошлое, тем менее детальной и достоверной является эта шкала. Для докембрия же существуют лишь отдельные фрагменты шкалы геомагнитного поля, полученные путем изучения отдельных разрезов. Данная работа направлена на изучение характера изменений геомагнитной полярности в отложениях катавской свиты верхнего докембрия.

Отложения верхнерифейской катавской свиты на Южном Урале изучались неоднократно [Комиссарова, 1970; Шипунов, 1991, 1993; Комиссарова, Иосифиди, Храмов, 1997; Павлов, Галле, 2009]. В результате наиболее детальных магнитостратиграфических исследований [Павлов, Галле, 2009] не только был получен палеомагнитный полюс с возрастом около 800–900 млн лет, но также выявлены десятки зон прямой и обратной полярности. Это позволило авторам говорить об очень высокой частоте инверсий в изученном интервале, однако возможности количественно оценить эту частоту авторы не имели.

Еще большая частота магнитных инверсий зафиксирована в красноцветных отложениях верхневендской зиганской свиты на Южном Урале [Levashova et al., 2013; Vazhenov et al., 2016] и в разновозрастных породах Зимнего Берега Белого моря [Popov et al., 2002; Popov, Khramov, Vachtadse, 2005; Llanos, Tait, Popov, 2005] и лопатинской свиты в Сибири [Шацилло и др., 2015]. На основании полученных данных была сформулирована гипотеза гиперактивности геомагнитного поля в позднем докембрии, которая повлияла на ход эволюции Жизни (вымирание эдиакарской биоты — кембрийский взрыв) [Vazhenov et al., 2016; Meert, Levashova, Landingd, 2016].

К сожалению, и для палеозойских, и тем более для докембрийских разрезов оценка длительности изученного интервала если и производится, то из самых общих соображений, базирующихся на знаниях о скорости накопления различных типов пород. Соответственно, частота инверсий определяется с крайне низкой достоверностью. Для более точной оценки длительности формирования толщи с целью оценки частоты инверсий геомагнитного поля предлагается построение детальных магнитостратиграфических колонок для отдельных разрезов параллельно с циклостратиграфическим изучением этих разрезов. Такой подход позволяет оценить количество инверсий геомагнитного поля за достаточно достоверно определенный интервал времени, то есть в разы точнее, чем ранее, определить частоту геомагнитных инверсий. В данной работе рассмотрена возможность применения

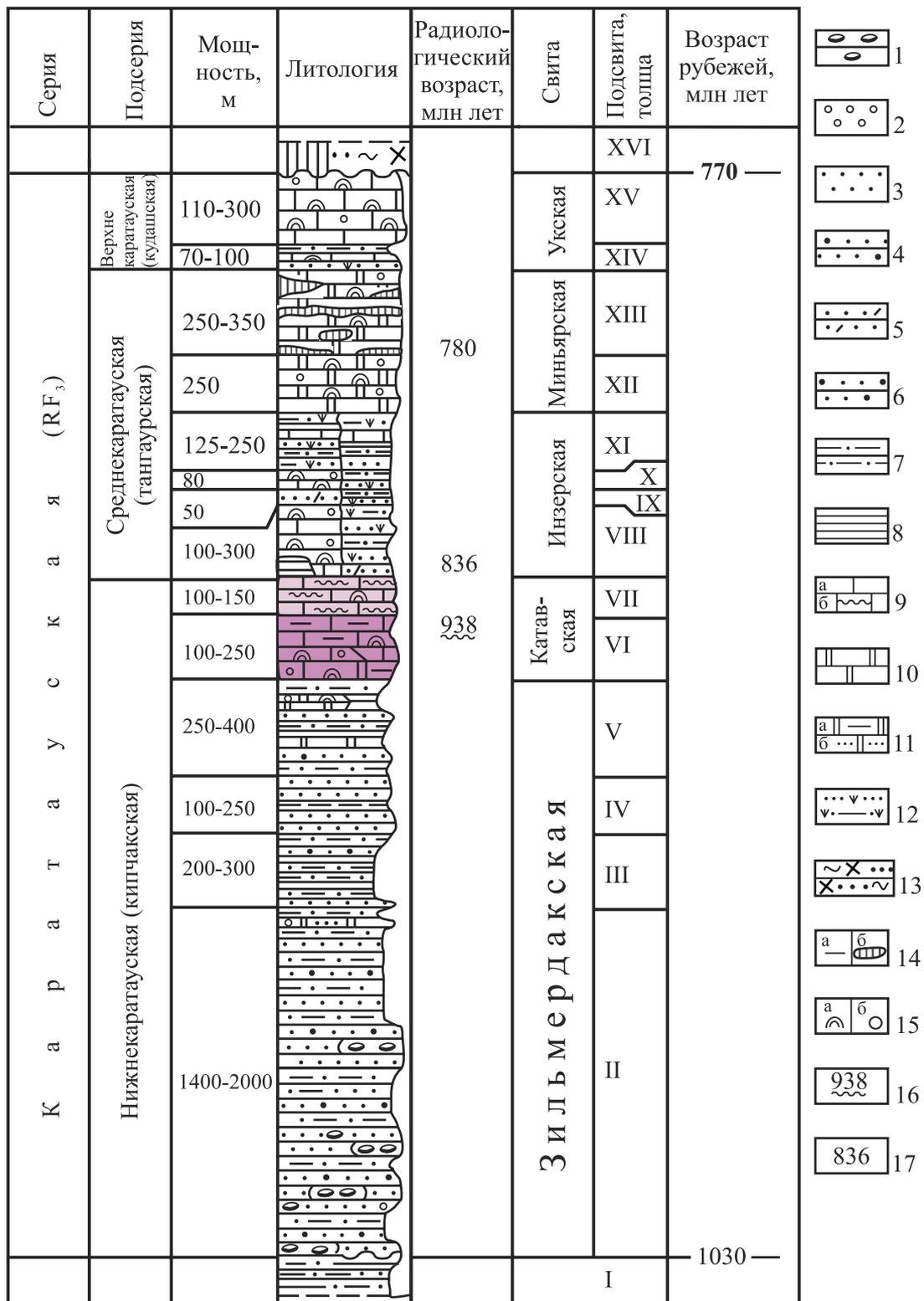


Рис. 1. Сводная стратиграфическая колонка каратауской серии верхнего рифея Южного Урала. По [Пучков, Сергеева, Краснобаев, 2017]

Fig. 1. Generalized stratigraphic column of the Karatau series of the Upper Riphean of the Southern Urals. According to [Puchkov et al., 2017]

Условные обозначения к рис. 1: 1 — конгломераты; 2 — гравелиты; 3–6 — песчаники (3 — кварцевые, 4 — полевошпат-кварцевые, 5 — полимиктовые, 6 — аркозовые); 7 — алевролиты; 8 — аргиллиты; 9 — известняки массивные (а) и струйчатые (б); 10 — доломиты; 11 — доломиты глинистые (а) и песчанистые (б); 12 — песчаники и алевролиты с глауконитом; 13 — серицит-хлорит-кварцевые сланцы; 14 — характеристика породы: а — глинистость, б — линзы кремней; 15 — органические остатки: а — строматолиты, б — микрофитолиты; 16–17 — изотопный возраст (млн лет): 16 — глауконита, К-Аг метод; 17 — породы, Pb-Pb метод. *Стратиграфические подразделения:* I — авзянская свита юрматинской серии среднего рифея; II–XV — свиты: II–V — зильмердакская, подсвиты: II — бирьянская, III — нугушская, IV — лемезинская, V — бедерышинская; VI, VII — катавская, подсвиты: VI — нижняя, VII — верхняя; VIII–XI — инзерская, подсвиты: VIII — нижняя (подинзерские слои), IX–XI — верхняя, толщи: IX — нижняя, X — средняя, XI — верхняя; подсвиты в Инзерском синклинии: нижняя и верхняя. XII–XIII — миньярская, подсвиты: XII — нижняя, XIII — верхняя; XIV, XV — укская, подсвиты: XIV — нижняя, XV — верхняя; XVI — байнасская свита аршинской серии завершающего рифея.

Legend to fig. 1: 1 — conglomerates; 2 — gravelstones; 3–6 — sandstones (3 — quartz, 4 — feldspar-quartz, 5 — polymictic, 6 — arkozic); 7 — siltstones; 8 — shales; 9 — massive limestones (a) and laminar limestones (b); 10 — dolomites; 11 — dolomites clay (a) and sandy (b); 12 — sandstones and siltstones with glauconite; 13 — sericite-chlorite-quartz schists; 14 — Breed characteristic: a — argillaceous, b — lenses of flint; 15 — organic residues: a — stromatolites, b — microfotolites; 16–17 — isotope age (million years): 16 — glauconite, K-Ar method; 17 — rocks, Pb-Pb method. *Stratigraphic subdivisions:* I — Avzyan Formation of the Yurmata Series, Middle Riphean; II–XV — Formations: II–V — Zilmerdak, subformations: II — Biryana, III — Nugush, IV — Lemeza, V — Bederysh; VI, VII — Katav, subformations: VI — lower, VII — upper; VIII–XI — Inzer, subformations: VIII — lower (sub-Inzer layers), IX–XI — upper, thicknesses: IX — lower, X — medium, XI — upper; Inzer synclinorium: lower and upper; XII–XIII — Minyar, subformations: XII — lower, XIII — upper; XIV, XV — Uk, subformations: XIV — lower, XV — upper; XVI — Baynas Formation of the Arsha series of the final Riphean.

циклостратиграфического метода при изучении отложений катавской свиты верхнего рифея.

Геологическая характеристика

Отложения верхнего рифея (каратавия) имеют наибольшее распространение на Южном Урале в сравнении с подстилающими эратемами. В последние годы с выделением нового стратона — аршиния [Козлов и др., 2011] были уточнены временные границы каратавия ($1030 \pm 30 - 770$ млн лет [Стратиграфический кодекс..., 2006; Козлов и др., 2011]), стратиграфический объем и мощность (от 2600 до 4700–5680 м) его отложений. С учетом новых данных, в состав каратавской серии включены (снизу): зильмердакская, катавская, инзерская, миньярская и укская свиты (рис. 1), а криволукская свита, которая ранее завершала каратавскую серию [Стратиграфические..., 1993], отнесена к аршинской серии завершающего рифея [Пучков, Сергеева, Краснобаев, 2014].

В составе каратавия одним из лучших маркирующих горизонтов рифея Южного Урала является катавская свита благодаря особенностям литологического состава и биостратиграфической характеристике. Свита сложена известняками, часто содержащими строматолиты и микрофитолиты III (верхнерифейского) комплекса, их глинистыми разностями и мергелями и по особенностям состава и текстурным признакам расчленена на нижнюю и верхнюю подсвиты с подразделением нижней на две толщи: нижнюю, представленную строматолитовыми известняками, мощностью до 80 м, и верхнюю, сложенную ленточнослоистыми пестроцветными известняками, мощностью от 150 до

200 м. Верхняя подсвита представлена «струйчатыми» известняками, обнажена недостаточно и имеет мощность около 50 м. Общая мощность отложений катавской свиты колеблется от 200 до 400 м и достигает 620 м в параметрической скважине 1 Кулгунинская, пробуренной в 1976–1983 гг. на северной окраине с. Кулгунино [Козлов и др., 2011].

К сожалению, возрастные пределы, внутри которых формировалась свита, определены недостаточно хорошо. По глаукониту из пород катавской свиты К-Аг методом получена датировка 938 млн лет [Стратотип..., 1983]. Для перекрывающих карбонатных пород инзерской (подинзерские слои) и миньярской свит получены Pb-Pb изохронные датировки 836 ± 25 млн лет [Ovchinnikova et al., 1998] и 780 ± 85 млн лет [Ovchinnikova et al., 2000] соответственно. Нижняя возрастная граница не определена, но в целом возраст свиты приблизительно оценивается как 800–900 млн лет.

Накопление осадков катавской свиты происходило в мелководном морском бассейне в условиях относительно стабильного тектонического режима. Согласно многочисленным исследованиям (см. напр. [Уилсон, 1980] и др.) средняя скорость накопления таких пород составляет 10–30 м за 1 млн лет.

Методика исследования

Калибровка био-, хемо-, магнитостратиграфических шкал во времени путем их увязки с астрономическими циклами (циклостратиграфический метод) является главной тенденцией развития международной шкалы геологического времени [The Geologic..., 2012]. Циклостратиграфическое

изучение кернов морских осадков успешно применялось при выполнении международных программ глубоководного бурения для шкалы геологического времени от настоящего времени до олигоцена. Дальше вглубь времени калибровка не является непрерывной, но для мезозойского времени такие исследования многочисленны, а для палеозоя уже достаточно редки. Имеются и примеры, когда связь ритмов и астрономических циклов была установлена в докембрийских толщах. Используемый нами подход циклостратиграфической калибровки магнитостратиграфической шкалы имеет достаточно хорошо разработанную методическую базу (см. напр. [Kodama, Hinnov, 2015]).

Спектральный анализ изменений магнитной восприимчивости по разрезу позволяет выделить на периодограмме отчетливые пики, которые сопоставляются с орбитальными циклами. На основе выявленных циклов Миланковича можно оценить длительность накопления изученной толщи и среднюю продолжительность одной магнитозоны.

Авторы попытались оценить возможность применения циклостратиграфического метода на примере изучения трех разрезов катавской свиты на Южном Урале, расположенных на значительном удалении друг от друга: по р. Нугуш в районе д. Галиакберово, р. Зилим в районе д. Толпарово и р. Юрюзань у г. Юрюзань (рис. 2). Разрезы были опробованы во время полевого сезона 2018 г. для палеомагнитного изучения. Так как разрезы выби- рались достаточно протяженные, без значительных перерывов, позже было принято решение оценить на них возможность применения циклостратиграфического анализа магнитной восприимчивости. Измерения выполнены на измерителе магнитной восприимчивости KLY-2. Для анализа были выбраны участки разрезов, на которых отбор образцов был достаточно детальным. В разрезе «Галиакберово» изученная мощность отложений составила 38 м, «Толпарово» — 92 м, «Юрюзани» — 121.2 м. Так как образцы для палеомагнитных исследований отбирались по разрезам с неравномерным шагом, данные были приведены методом линейной интерполяции к равномерной сетке. Для разреза «Юрюзань» шаг составил 0.4 м, для «Толпарово» — 1 м, для «Галиакберово» — 0.2 м.

Для спектрального анализа данных использовалась программа Acycle (<https://github.com/mingsongli/acycle>). Для устранения экстремальных выбросов значений применено осреднение данных скользящим средним по трем точкам. Влияние изменений с длинами волн, сравнимых с длиной

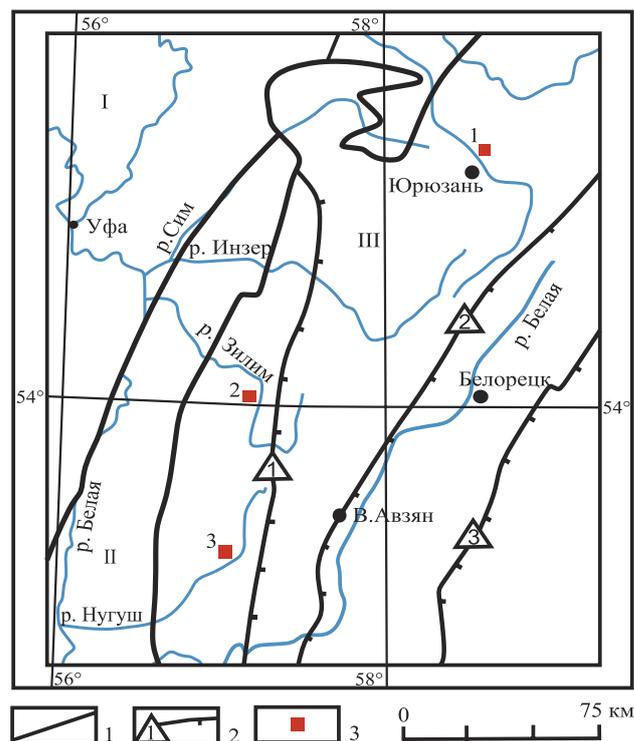


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Башкирского мегантиклинория Южного Урала и смежных районов с указанием опробованных разрезов

Условные обозначения: 1 — границы структурно-тектонических подразделений первого порядка; 2 — главные разломы: 1 — Зильмердакский, 2 — Зюраткульский, 3 — Главный Уральский; 3 — опробованные разрезы: 1 — «Юрюзань», 2 — «Толпарово», 3 — «Галиакберово». *Структурно-тектонические подразделения:* I — Восточно-Европейская платформа, II — Предуральский краевой прогиб, III — Уральская складчатая система.

Fig. 2. Structural-tectonic scheme of the Bashkir meganticlinorium of the Southern Urals and adjacent areas with indication of the tested sections

Legend: 1 — boundaries of the first-order structures; 2 — main tectonic faults: 1 — Zilmerdak, 2 — Zuratkul, 3 — Main Uralian; 3 — tested sections: 1 — «Yuryuzan», 2 — «Tolparovo», 3 — «Galyakberovo». *Structural-tectonic divisions:* I — East European foredeep, III — Uralian foldbelt.

разреза, устраняется применением процедуры детрендinга методом LOESS с окном длиной в $\frac{2}{3}$ изучаемой последовательности. Для временного ряда, полученного вычитанием тренда из каждого значения, выполнен спектральный анализ методом MTM (MultiTaper Method).

Обсуждение результатов

По результатам спектрального анализа магнитная восприимчивость пород всех изученных объектов обнаруживает циклические изменения

по разрезу. Получены периодограммы с четко проявленными пиками, отношения между которыми хорошо соответствует таковым для циклов Миланковича (рис. 3). На всех трех кривых выделяются пики, периоды для которых соотносятся между собой в пропорции, близкой к таковой для орбитальных циклов эксцентриситета (405 и ~100 тыс. лет). То, что некоторые из этих пиков не поднимаются выше 95% доверительного уровня, объясняется или недостаточной длиной изученного разреза («Галиакберово», пик большого эксцентриситета), или недостаточной детальностью отбора («Толпарово», пик короткого эксцентриситета). Циклы наклона земной оси к плоскости эклиптики (36–27 тыс. лет) выявляются на разрезах «Галиакберово» и «Юрюзань», но они не достигают до необходимого уровня статистической значимости из-за недостаточной детальности отбора.

Однако даже такой предварительный циклостратиграфический анализ позволяет приблизительно оценить среднюю скорость осадконакопления в изученных разрезах. Наиболее стабильному циклу большого эксцентриситета соответствуют периоды от 14.9 до 19.6 м в разных разрезах. Исходя из этого, среднюю скорость осадконакопления можно оценить как 0.04–0.05 м/тыс. лет. Тогда максимальная длительность накопления отложений мощностью 200 м составляет около 5 млн лет.

В верхних 70 м разреза катавской свиты «Юрюзань» выявлена частая смена полярности геомагнитного поля. Этот разрез можно сопоставить с опорным разрезом вблизи г. Миньяр [Павлов, Галле, 2009], который был изучен более детально, и в котором в верхних 70 м выявлено 34 интервала магнитной полярности. Если принять полученную скорость осадконакопления для этого интервала с частой сменой полярности, то максимальное время накопления этого интервала можно оценить как 1750 тыс. лет, а среднюю длительность одной магнитозоны — около 51.5 тыс. лет, что сопоставимо с данными по зиганской свите верхнего венда [Levashova et al., 2013; Bazhenov et al., 2016], которая считается уникальной по частоте инверсий, тогда как максимальная частота инверсий в фанерозое составляет, предположительно, 8–10 инверсий за 1 млн лет [Biggin et al., 2012].

Выводы

1. Выполнен предварительный анализ спектра вариаций магнитной восприимчивости методом «multi-target» для трех значительно удаленных друг

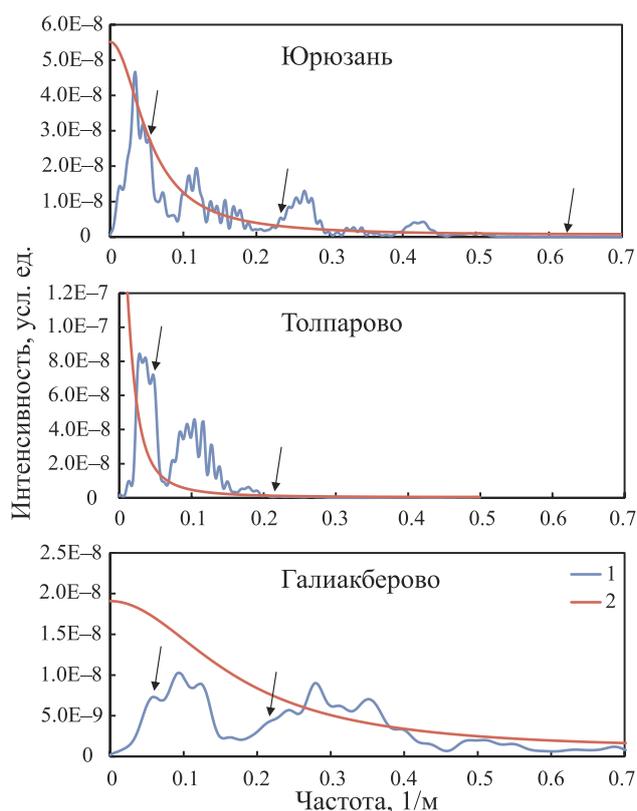


Рис. 3. Предварительные результаты циклостратиграфического изучения катавской свиты

Условные обозначения: 1 — периодограмма; 2 — 95% доверительный интервал.

Fig. 3. Preliminary results of the cyclostratigraphic study of the Katav Formation

Legend: 1 — periodogram; 2 — 95% confidence interval.

от друга разрезов верхнерифейской катавской свиты на Южном Урале, выявлены пики на частотах, близких к предсказанным для орбитальных циклов на границе докембрия и палеозоя. Показана возможность применения циклостратиграфического анализа для отложений катавской свиты.

2. Оценка средней скорости осадконакопления пород катавской свиты в изученных разрезах согласно полученным результатам составляет примерно 0.04–0.05 м/тыс. лет, а максимальная длительность накопления отложений мощностью 200 м составляет около 5 млн лет.

3. Верхняя часть катавской свиты характеризуется частой сменой магнитной полярности. Учитывая полученные результаты, средняя длительность одной магнитозоны оценивается в 51.5 тыс. лет, что сопоставимо с данными по зиганской свите верхнего венда, которая считается уникальной по частоте инверсий. Таким образом, полученные

предварительные данные о скорости накопления отложений катавской свиты позволяют сделать предположение о необычно высокой частоте магнитных инверсий не только вблизи границы докембрия и фанерозоя (в зиганской свите верхнего венда), но и о присутствии таких зон частых магнитных инверсий в разрезе позднего докембрия (катавская свита).

4. Полученные результаты еще раз указывают на возможное существование аномального (гиперактивного) состояния геомагнитного поля в позднем докембрии и на границе докембрия и палеозоя.

5. По результатам исследований рекомендуется более детальное магнитостратиграфическое и циклостратиграфическое изучение разреза «Юрюзань», а также других достаточно протяженных и хорошо обнаженных разрезов катавской свиты для более обоснованной оценки скорости осадконакопления и длительности магнитозон с целью проверки гипотезы о сверхвысокой частоте инверсий.

Благодарности: Авторы признательны С.В. Рудько и Д.В. Рудько за полезные консультации и поддержку при проведении циклостратиграфического анализа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-00631.

Список литературы:

Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В. Аршиний — новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. — С. 3–8.

Комиссарова Р.А. Исследование древней намагниченности некоторых осадочных пород Южного Урала в связи с проблемой метакристаллического перемагничивания: Дис. ... канд. физ.-мат. наук / ИФЗ. — М., 1970. — 140 с.

Комиссарова Р.А., Иосифиди А.Г., Храмов А.Н. Геомагнитные инверсии, записанные в разрезе позднерифейской катавской свиты Южного Урала // Физика Земли. — 1997. — № 2. — С. 60–68.

Павлов В.Э., Галле И. Известняки катавской свиты: уникальный пример перемагничивания или идеальный регистратор неопротерозойского геомагнитного поля? // Физика Земли. — 2009. — № 1. — С. 33–43.

Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Пограничные стратоны рифея и венда на Южном Урале. Дополнения и изменения в региональную стратиграфическую схему // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Матер. 10-й Межрег. науч.-практ. конф. — Уфа: ДизайнПресс, 2014. — С. 77–87.

Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геоло-

гия. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. — 2017. — № 23. — С. 3–26.

Стратиграфические схемы Урала (Докембрий, палеозой), 1993. — Екатеринбург, 1993. — 151 схема, 152 с.

Стратиграфический кодекс России. 3-е изд. — СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. — 96 с.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. — М.: Наука, 1983. — 183 с. — (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 377).

Уилсон Дж.Л. Карбонатные фашии в геологической истории. Пер с англ. — М.: Недра, 1980. — 463 с.

Шаццлло А.В., Кузнецов Н.Б., Павлов В.Э., Федонкин М.А., Прияткина Н.С., Серов С.Г., Рудько С.В. Первые магнитостратиграфические данные о стратотипе лопатинской свиты (северо-восток Енисейского кряжа): проблемы ее возраста и палеогеографии Сибирской платформы на рубеже протерозоя и фанерозоя // Докл. РАН. — 2015. — Т. 465, № 4. — С. 464–468. — DOI: 10.7868/S0869565215340228.

Шушунов С.В. Палеомагнетизм катавской свиты, Южный Урал // Физика Земли. — 1991. — № 5. — С. 38–50.

Шушунов С.В. Основы палеомагнитного анализа: Теория и практика. — М.: Наука, 1993. — 160 с. — (Труды ГИН РАН; Вып. 487).

Bazhenov M.L., Levashova N.M., Meert J.G., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Late Ediacaran magnetostratigraphy of Baltica: Evidence for Magnetic Field Hyperactivity? // Earth and Planetary Science Letters. — 2016. — V. 435. — P. 124–135. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.12.015>

Biggin A.J., Steinberger B., Aubert J., Suttie N., Holme R., Torsvik T.H., van der Meer D.G., van Hinsbergen D.J.J. Possible links between long-term geomagnetic variations and whole-mantle convection processes // Nat. Geosci. — 2012. V. 5. — P. 526–533.

Kodama K.P., Hinnov L.A. Rock magnetic cyclostratigraphy. — John Wiley & Sons, 2015. — 165 p.

Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. — 2013. — V. 236. — P. 16–30.

Llanos M.P.I., Tait J.A., Popov V.V. Palaeomagnetic data from Ediacaran (Vendian) sediments of the Arkhangelsk region, NW Russia: An alternative apparent polar wander path of Baltica for the Late Proterozoic–Early Palaeozoic // Earth Planet. Sci. Lett. — 2005. — V. 240. — P. 732–747.

Meert J.G., Levashova N.M., Landing E. Rapid changes of magnetic field polarity in the late Ediacaran: Linking the Cambrian evolutionary radiation and increased UV-B radiation // Gondwana Research. — 2016. — V. 34. — P. 149–157. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2016.01.001>

Ovchinnikova G., Vasil'eva I., Semikhatov M., Gorokhov I., Kuznetsov A., Gorokhovskii B., Levskii L. The Pb–Pb trail dating of carbonates with open U–Pb systems: the Min'yar Formation the Upper Riphean stratotype, Southern Urals // Stratigr. Geol., Correl. — 2000. — No. 8. — P. 529–543.

Ovchinnikova G., Vasil'eva I., Semikhatov M., Kuznetsov A., Gorokhov I., Gorokhovskii B., Levskii L. U–Pb systematics of Proterozoic carbonate rocks: The Inzer Formation of the Upper Riphean stratotype (Southern Urals) // Stratigr. Geol., Correl. — 1998. — No. 6. — P. 336–347.

Popov V.V., Khramov A.N., Bachtadse V. Palaeomagnetism, magnetic stratigraphy, and petromagnetism of the Upper Vendian sedimentary rocks in the sections of the Zolotitsa River and in the Verkhotina Hole, Winter Coast of the White Sea, Russia // Russian Journal of Earth Sciences. — 2005. — V. 7, № 2. — P. 1–29.

Popov V.V., Iosifidi A.G., Khramov A.N., Tait J., Bachtadse V. Paleomagnetism of Upper Vendian sediments from the Winter Coast, White Sea region, Russia: implications for the paleogeography of Baltica during Neoproterozoic times. // Journal of Geophysical Research. 2002. — V. 107, No. 11. — doi: 10.1029/2001JB001607.

The Geologic Time Scale 2012 / F. Gradstein, J. Ogg, M. Schmitz, G. Ogg (eds.). — Elsevier, 2012. — 1176 p.

References:

Bazhenov M.L., Levashova N.M., Meert J.G., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Late Ediacaran magnetostratigraphy of Baltica: Evidence for Magnetic Field Hyperactivity? // Earth and Planetary Science Letters. 2016. V. 435. P. 124–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.12.015>

Biggin A.J., Steinberger B., Aubert J., Suttie N., Holme R., Torsvik T.H., van der Meer D.G., van Hinsbergen D.J.J. Possible links between long-term geomagnetic variations and whole-mantle convection processes // Nat. Geosci. 2012. V. 5. P. 526–533.

Kodama K.P., Hinnov L.A. Rock magnetic cyclostratigraphy. — John Wiley & Sons, 2015. 165 p.

Komissarova R.A. Issledovanie drevnei namagnichenosti nekotorykh osadochnykh porod Yuzhnogo Urala v svyazi s problemoi metakhronnogo peremagnichivaniya: Dis. cand. fiz.-mat. nauk [Study of the ancient magnetization of some sedimentary rocks of the Southern Urals in connection with the problem of metachronous magnetization reversal. Cand. phys.-mat. sci. dis.] / IFZ. Moscow, 1970. 140 p. (In Russian).

Komissarova R.A., Iosifidi A.G., Khramov A.N. Geomagnetnyye inversii, zapisannyye v razreze pozdnerifeiskoi katavskoi svity Yuzhnogo Urala [Geomagnetic reversals recorded in the Late Riphean Katav Formation, South Urals] // Fizika Zemli [Izvestiya. Physics of the Solid Earth]. 1997. No. 2. P. 60–68 (In Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorosheva A.G., Busharina S.V. Arshinii — novyi straton rifeya v stratotipicheskikh razrezakh Yuzhnogo Urala [Arshinian — new stratigraphic unit of Riphean in stratotypic sequences of the Southern Urals] // Geologicheskii sbornik No. 9 / IG UNC RAN. Ufa: DizainPoligrafServis, 2011. P. 3–8 (In Russian).

Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals // Precambrian Research. 2013. V. 236. P. 16–30.

Llanos M.P.I., Tait J.A., Popov V.V. Palaeomagnetic data from Ediacaran (Vendian) sediments of the Arkhangelsk region, NW Russia: An alternative apparent polar wander path of Baltica for the Late Proterozoic–Early Palaeozoic // Earth Planet. Sci. Lett. 2005. V. 240. P. 732–747.

Meert J.G., Levashova N.M., Landing E. Rapid changes of magnetic Field polarity in the late Ediacaran: Linking the

Cambrian evolutionary radiation and increased UV-B radiation // Gondwana Research. 2016. V. 34. P. 149–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2016.01.001>

Ovchinnikova G., Vasil'eva I., Semikhatov M., Gorokhov I., Kuznetsov A., Gorokhovskii B., Levskii L. The Pb–Pb trail dating of carbonates with open U–Pb systems: the Min'yar Formation of the Upper Riphean stratotype, Southern Urals // Stratigr. Geol. Correl. 2000. No. 8. P. 529–543.

Ovchinnikova G., Vasil'eva I., Semikhatov M., Kuznetsov A., Gorokhov I., Gorokhovskii B., Levskii L. U–Pb sistematics of Proterozoic carbonate rocks: The Inzer Formation of the Upper Riphean stratotype (Southern Urals) // Stratigr. Geol. Correl. 1998. No. 6. P. 336–347.

Pavlov V.E., Galle I. Izvestnyaki katavskoi svity: unikal'nyi primer peremagnichivaniya ili ideal'nyi registrator neoproterozoiskogo geomagnitnogo polya? [Katav limestones: a unique example of remagnetization or an ideal recorder of the Neoproterozoic geomagnetic field?] // Fizika Zemli. [Izvestiya. Physics of the Solid Earth]. 2009. No. 1. P. 33–43 (In Russian).

Popov V.V., Khramov A.N., Bachtadse V. Palaeomagnetism, magnetic stratigraphy, and petromagnetism of the Upper Vendian sedimentary rocks in the sections of the Zolotitsa River and in the Verkhotina Hole, Winter Coast of the White Sea, Russia // Russian Journal of Earth Sciences. 2005. V. 7, No. 2. P. 1–29.

Popov V.V., Iosifidi A.G., Khramov A.N., Tait J., Bachtadse V. Paleomagnetism of Upper Vendian sediments from the Winter Coast, White Sea region, Russia: implications for the paleogeography of Baltica during Neoproterozoic times. // Journal of Geophysical Research. 2002. V. 107, No. 11. doi: 10.1029/2001JB001607.

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. Pogranichnye straton rifeya i venda na Yuzhnom Urale. Dopolneniya i izmeneniya v regional'nyu stratigraficheskuyu skhemu [The boundary straton of the Riphean and Vendian in the Southern Urals. Supplements and changes in the regional stratigraphic scheme] // Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii: Materialy 10-th Mezhtsebnogo nauchno-prakticheskoi konferentsii [Geology, mineral deposits and problems of geoecology of Bashkortostan, Urals and adjacent territories: Materials 10-th of the interregional scientific-practical conference]. Ufa: DizainPress, 2014. P. 77–87 (In Russian).

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. Stratigraficheskaya skhema stratotipa rifeya Yuzhnogo Urala [Stratigraphic scheme of the Riphean standard of the Southern Urals] // Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov. AN RB. 2017. No. 23. P. 3–26 (In Russian).

Shatsillo A.V., Kuznetsov N.B., Pavlov V.E., Fedonkin M.A., Priyatkina N.S., Serov S.G., Rud'ko S.V. Pervye magnitostatigraficheskie dannye o stratotipe lopatinskoi svity (severo-vostok Yeniseyskogo kryazha): problemy ee vozrasta i paleogeografii Cibirskoy platformy na rubezhe proterozoya i fanerozoya [The First Magnetostratigraphic Data on the Stratotype of the Lopata Formation, Northeastern Yenisei Ridge: Problems of Its Age and Paleogeography of the Siberian Platform at the Proterozoic–Phanerozoic Boundary] // DAN [Doklady Earth Sciences]. 2015. V. 465, No. 4. P. 464–468. DOI: 10.7868/S0869565215340228. (In Russian).

Shipunov S.V. Paleomagnetizm katavskoi svity, Yuzhnyi Ural [Paleomagnetism Katav Formation, Southern Urals] // Fizika Zemli [Izvestiya. Physics of the Solid Earth]. 1991. No. 5. P. 38–50 (In Russian).

Shipunov S.V. Osnovy paleomagnitnogo analiza: Teoriya i praktika [Basics of paleomagnetic analysis: Theory and practice]. M.: Nauka, 1993. 160 p. (Tr. GIN RAN; Is. 487) (In Russian).

Stratigraficheskie skhemy Urala (Dokembrii, paleozoi) [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, 1993. 151 schema, 152 p. (In Russian).

Stratigraficheskiy kodeks Rossii [Stratigraphic Code of Russia]. 3-e izd. SPb.: VSEGEI, 2006. 96 p. (In Russian).

Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya [Stratotype of the Riphean. Stratigraphy. Geochronology]. M.: Nauka, 1983. 183 p. (Trudy GIN AN USSR; Is. 377) (In Russian).

Wilson Dzh.L. Karbonatnye fatsii v geologicheskoi istorii [Carbonate facies in geologic history] // M.: Nedra, 1980. 463 p. (In Russian).

The Geologic Time Scale 2012 / *F. Gradstein, J. Ogg, M. Schmitz, G. Ogg (eds.)*. Elsevier, 2012. 1176 p.

Сведения об авторах:

Голованова Инесса Владимировна, д-р физ.-мат. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: golovanova@ufaras.ru

Сальманова Раушания Юрисовна, канд. физ.-мат. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: vrushana@mail.ru

Данукалов Константин Николаевич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: danukalov@mail.ru

Сергеева Нина Дмитриевна, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: riphey@ufaras.ru

About the authors:

Golovanova Inessa Vladimirovna, doctor of physical and mathematical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). E-mail: golovanova@ufaras.ru

Sal'manova Raushaniya Yuriso vna, candidate of physical and mathematical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). E-mail: vrushana@mail.ru

Danukalov Konstantin Nikolaevich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). E-mail: danukalov@mail.ru

Sergeeva Nina Dmitrievna, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). E-mail: riphey@ufaras.ru