

УДК 550.384.5

DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-5

## ВЕРХНЕВЕНДСКИЙ ПЕРИОД ГИПЕРАКТИВНОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО ЗИГАНСКОЙ СВИТЕ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

И. В. Голованова<sup>1</sup>, К. Н. Данукалов<sup>1</sup>, Р. Ю. Сальманова<sup>1</sup>, Н. П. Парфирьев<sup>1</sup>,  
Н. М. Левашова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: golovanova@ufaras.ru*

<sup>2</sup> *Геологический институт Российской академии наук, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 1, E-mail: namile2007@rambler.ru*

Для проверки предположения о существовании эпизода «гиперактивности» магнитного поля на рубеже докембрия и фанерозоя выполнено повторное, более детальное палеомагнитное опробование наиболее полного непрерывного разреза красноцветов зиганской свиты венда из изученных ранее на Южном Урале, расположенного вдоль новой дороги Макарово–Кулгунино. Палеомагнитные исследования позволили значительно детализировать полученные ранее результаты. Новые палеомагнитные данные по зиганской свите подтвердили справедливость полученного ранее палеополюса и выявили в разрезе красноцветов зиганской свиты мощностью 74 м более 30 смен магнитной полярности. Выполненный ранее циклостратиграфический анализ вариаций магнитной восприимчивости пород оценивает длительность накопления опробованной толщи в 1.6 млн лет. Средняя частота инверсий составляет 18–20 инверсий за миллион лет, а на отдельных участках разреза частота может достигать 30 и более инверсий за миллион лет. Такая частота инверсий считается аномально высокой, и вывод о том, что в конце эдиакария, 548.2±7.6 млн лет назад, существовал период «гиперактивности» магнитного поля, можно считать подтвержденным.

*Ключевые слова:* палеомагнетизм, магнитостратиграфия, Южный Урал, верхний венд, зиганская свита

## LATE EDIACARAN HYPERACTIVITY PERIOD: NEW PALEOMAGNETIC DATA ON THE ZIGAN FORMATION IN THE SOUTHERN URALS

I. V. Golovanova<sup>1</sup>, K. N. Danukalov<sup>1</sup>, R. Yu. Sal'manova<sup>1</sup>,  
N. P. Parfir'ev<sup>1</sup>, N. M. Levashova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, E-mail: golovanova@ufaras.ru*

<sup>2</sup> *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, 7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russia, E-mail: namile2007@rambler.ru*

To test the assumption that an episode of magnetic field “hyperactivity” existed near the Precambrian–Fanozoic boundary, a repeated, more detailed, paleomagnetic sampling of the longest continuous section of the Ediacaran Zygan Formation studied previously in the Southern Urals, located along the new Makarovo–Kulgunino road, was performed. In general, paleomagnetic studies have confirmed and made it possible

---

*Для цитирования:* Голованова И.В., Данукалов К.Н., Сальманова Р.Ю., Парфирьев Н.П., Левашова Н.М. Верхневендский период гиперактивности магнитного поля: новые палеомагнитные данные по зиганской свите на Южном Урале // Геологический вестник. 2021. № 1. С. 46–54. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-5.

**For citation:** Golovanova I.V., Danukalov K.N., Sal'manova R.Yu., Parfir'ev N.P., Levashova N.M. (2021) Late Ediacaran hyperactivity period: new paleomagnetic data on the Zigan formation in the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*. No. 1. P. 46–54. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-5.

---

to substantially detail the results obtained earlier. The new data on the Zigan Formation validate the previously obtained paleopole. New results from a 74-m thick section of the red-rock Zigan Formation revealed more than 30 magnetic polarity reversals. Previous cyclostratigraphic analysis gave an estimate of 1.6 Ma for rock mass accumulation. The average reversal frequency is 18–20 R/Ma, and in some parts of the section, the frequency can reach 30 R/Ma or more. This reversal frequency is considered abnormally high, and the conclusion that there was a period of ‘hyperactivity’ of the magnetic field at the end of the Ediacaran,  $548.2 \pm 7.6$  Ma, can be considered as confirmed.

*Keywords:* paleomagnetism, magnetostratigraphy, Southern Urals, Ediacaran, Zigan Formation

## Введение

Палеомагнитные исследования отложений ашинской серии верхнего венда на Южном Урале могут уточнить представления о палеогеографии Земли в позднем докембрии, а также представления об истории магнитного поля Земли и его природе. Надежно установлено, что западный склон Уральского складчатого пояса представляет собой восточную деформированную окраину Восточно-Европейского континента [Пучков, 2010; Козлов и др., 2011]. Из этого вытекает, что сколь-либо значительных перемещений Башкирского мегантиклинория относительно платформы не было. Специально проведенные палеомагнитные исследования показали, что не обнаружено ни общего поворота изученной части Урала относительно Восточно-Европейской платформы (ВЕП), ни локальных поворотов отдельных тектонических блоков по отношению друг к другу [Голованова и др., 2017]. Следовательно, полученные в этом регионе палеомагнитные данные можно экстраполировать на всю ВЕП. Различными исследователями, в том числе и авторами данной работы, такие исследования уже проводились [Голованова и др., 2011; Levashova et al., 2013, 2015], и полученные палеомагнитные результаты выглядят вполне убедительно. Однако при их интерпретации остается ряд вопросов. Для этого интервала времени известно очень мало палеомагнитных данных, а имеющиеся весьма противоречивы. Найдется всего несколько наиболее надежно определенных полюсов для позднего докембрия – раннего ордовика Восточно-Европейской платформы. Имеющиеся полюса, полученные как непосредственно на Восточно-Европейской платформе, так и на ее деформированной окраине, заставляют предполагать весьма высокую скорость движения ВЕП в интервале 616–480 млн лет [Levashova et al., 2015]. При этом оказывается, что платформа с высокой скоростью (от 7 до 9 см/год) двигалась по «петле», а также изменяла направление вращения. Такой сценарий возможен с точки зрения тектоники плит, но кажется несколько странным,

особенно если сравнивать с перемещениями ВЕП от раннего ордовика до настоящего времени, где траектория кажущейся миграции полюса (ТКМП) определена гораздо достовернее.

Существует еще одна проблема, требующая разрешения. В вендских отложениях на Южном Урале (зиганская свита) [Vazhenov et al., 2016], Белом море (ергинская свита) [Popov et al., 2005] и Енисейском кряже (лопатинская свита) [Шацилло и др., 2015] обнаружено необычно большое количество зон магнитной полярности. В связи с этим было выдвинуто предположение, что вблизи границы докембрия и фанерозоя существовал эпизод «гиперактивности» магнитного поля, характеризовавшийся повышенной частотой инверсий геомагнитного поля [Meert et al., 2016]. Достоверность предположений о частоте инверсий полностью зависит от достоверности определения длительности изученного интервала времени. По оценкам, выполненным из самых общих соображений [Vazhenov et al., 2016], частота инверсий на Южном Урале составляет 20–30 инверсий за миллион лет, что примерно в два-три раза больше, чем самая высокая частота инверсий, обнаруженная в фанерозое. Гипотеза о гиперактивности поля в конце эдиакария вызывает большой интерес, поэтому было заново проведено детальное палеомагнитное опробование наиболее полного непрерывного разреза красноцветов зиганской свиты из изученных ранее на Южном Урале [Vazhenov et al., 2016] параллельно с циклостратиграфическими исследованиями. В настоящей работе мы приводим новые результаты палеомагнитных исследований, подтверждающие полученные ранее данные о положении палеомагнитного полюса и детализирующие сведения о режиме смены полярности магнитного поля.

## Геологическое описание

На западном склоне Южного Урала отложения вендской системы представлены ашинской серией, в которой выделено пять свит с постепенными переходами между ними [Беккер, 1988; Стратотип...,

1983]. Породы серии в разных районах со стратиграфическим несогласием залегают на различных отложениях рифея. На большей части территории западного склона Урала серия с разрывом перекрывается разновозрастными палеозойскими отложениями. Ашинская серия рассматривается как моласса [Беккер, 1988], но специфическая черта моласс — полимиктовость — выражена только в ее верхней части (басинская, куккараукская и зиганская свиты). Две нижние свиты (бакеевская и урюкская) имеют преимущественно аркозовый состав песчаников и алевролитов. Эти отложения имеют широкое распространение на западном крыле Башкирского мегантиклинория в бассейнах рек Аша, Инзер, Басу, Зилим, Нугуш, Урюк, Кукраук, Зиган и др., к долинам которых приурочены стратотипические и опорные разрезы перечисленных выше свит.

Самым верхним подразделением ашинской серии является зиганская свита. По простиранию свита испытывает значительные фациальные изменения. Хотя соотношение пород (песчаники, алевролиты и аргиллиты) в переслаивании, по латерали значительно меняется, но общий петрографический состав, структурно-текстурные особенности и внешний облик их остаются практически неизменными. В изученном разрезе в составе пород преобладают алевролиты и аргиллиты, количественное соотношение которых приблизительно равное, песчаники имеют подчиненное значение. Отложения свиты с постепенным переходом залегают на подстилающих образованиях куккараукской свиты, красноцветные полимиктовые конгломераты в средней части которой являются маркирующим горизонтом, позволяющим отделять комплексы зиганской свиты от комплексов нижележащей басинской свиты. Литологически эти две свиты очень похожи и в обнажениях, где конгломераты куккараукской свиты отсутствуют, различить их не представляется возможным. Возраст зиганской свиты определен по цирконам из туфового прослоя (район г. Усть-Катав) как  $548.2 \pm 7.6$  млн лет [Гражданкин и др., 2011] или  $547.6 \pm 3.8$  млн лет [Levashova et al., 2013]. Для басинской свиты по циркону из пепловых туфов разреза на участке автодороги с. Макарово–с. Кулгунино получен возраст  $573.0 \pm 2.3$  млн лет U-Pb методом (SHRIMP-II) [Разумовский и др., 2020].

### Методика палеомагнитных исследований

Детально изученный фрагмент разреза (мощностью 74 м) красноцветов зиганской свиты верхнего венда расположен вдоль участка автодороги

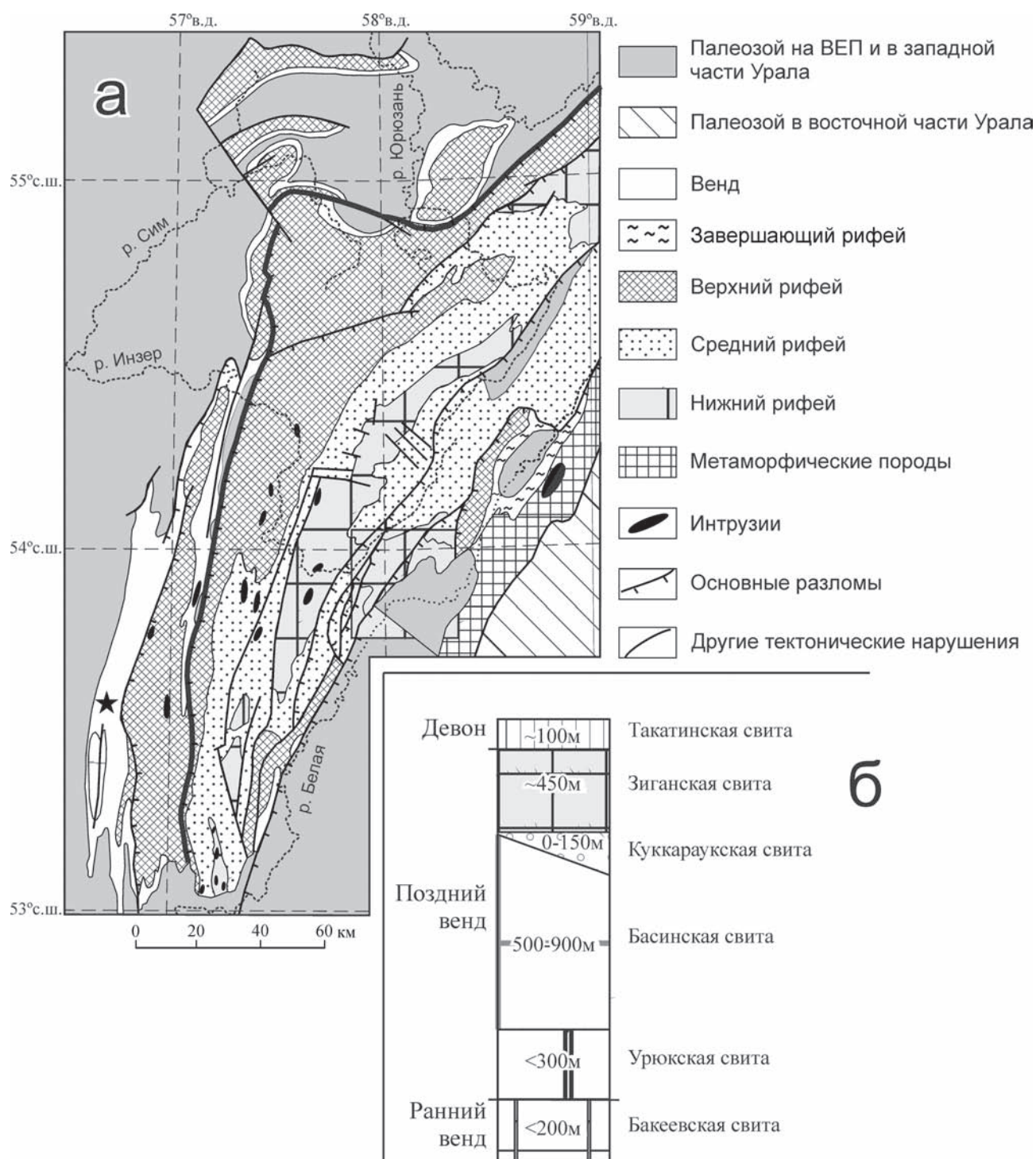
дороги с. Макарово–с. Кулгунино (N  $53^{\circ}34'20''$  и E  $056^{\circ}40'40''$ ) (рис. 1). Первый раз опробование проводилось в 2011 г. для палеомагнитного изучения [Levashova et al., 2013], отбор образцов был неравномерным по разрезу и недостаточным для построения детальной магнитостратиграфической колонки. В 2018 г. образцы для изучения режима полярности были отобраны, по возможности, через каждые 20 см. Лабораторные измерения, обработка и интерпретация результатов проводились в соответствии со стандартной современной методикой [Zijderveld, 1967; Храмов и др., 1982; McFadden, McElhinny, 1990]. Все образцы подвергались детальному ступенчатому чисткам температурой для надежного разделения компонент намагниченности (до 20 нагревов каждого образца) с последующим компонентным анализом результатов размагничивания. Измерения остаточной намагниченности проведены на спинмагнитометре JR-6 компании AGICO. Температурное размагничивание осуществлялось с использованием термоустановки ASC Model TD48 фирмы ASC Scientific, США, для ступенчатого терморазмагничивания до  $800^{\circ}\text{C}$ . Обработка результатов измерений остаточной намагниченности проведена с помощью комплекса программ Enkin [Enkin, 1994] и PaleoMac для Macintosh [Cogne, 2003], использующих при выделении компонент намагниченности метод компонентного анализа [Kirschvink, 1980]. Такая методика отвечает современным требованиям к проведению палеомагнитных исследований и позволила получить данные высокой надежности.

### Результаты

Результаты предыдущих исследований зиганской свиты [Levashova et al., 2013] можно сформулировать следующим образом: 1) При температуре выше  $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$  в большинстве образцов серо-бурых и бурых пород выделяется единственная высокотемпературная компонента намагниченности (ВТК), которая спадает в начало координат. 2) Большинство единичных векторов ВТК попадают в отдельные группы полярностей со склонениями восток-юго-восток или запад-северо-запад и, скорее всего, являются первичными. 3) Не выявлено заметного занижения наклона. Кроме того, отмечено наличие довольно большого количества инверсий магнитного поля.

В целом результаты, полученные по образцам отбора 2018 г., хорошо согласуются с прежними. Низкотемпературная компонента намагниченности разрушается при нагреве до  $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$ , и ее среднее





**Рис. 1.** Схематическая геологическая карта Южного Урала (а) (по [Геологическая..., 2002] с изменениями) и упрощенная стратиграфическая колонка венда Южного Урала (б)

*Примечания:* Самая толстая линия обозначает зильмердакский разлом, к западу от которого вендские породы перекрыты палеозойскими без углового несогласия. Звездочкой обозначен изученный разрез зиганской свиты.

**Fig. 1.** Schematic map of the Southern Urals (a) (simplified after [Kozlov, 2002]) and simplified stratigraphic column of the Ediacaran sequence of the Southern Urals (b)

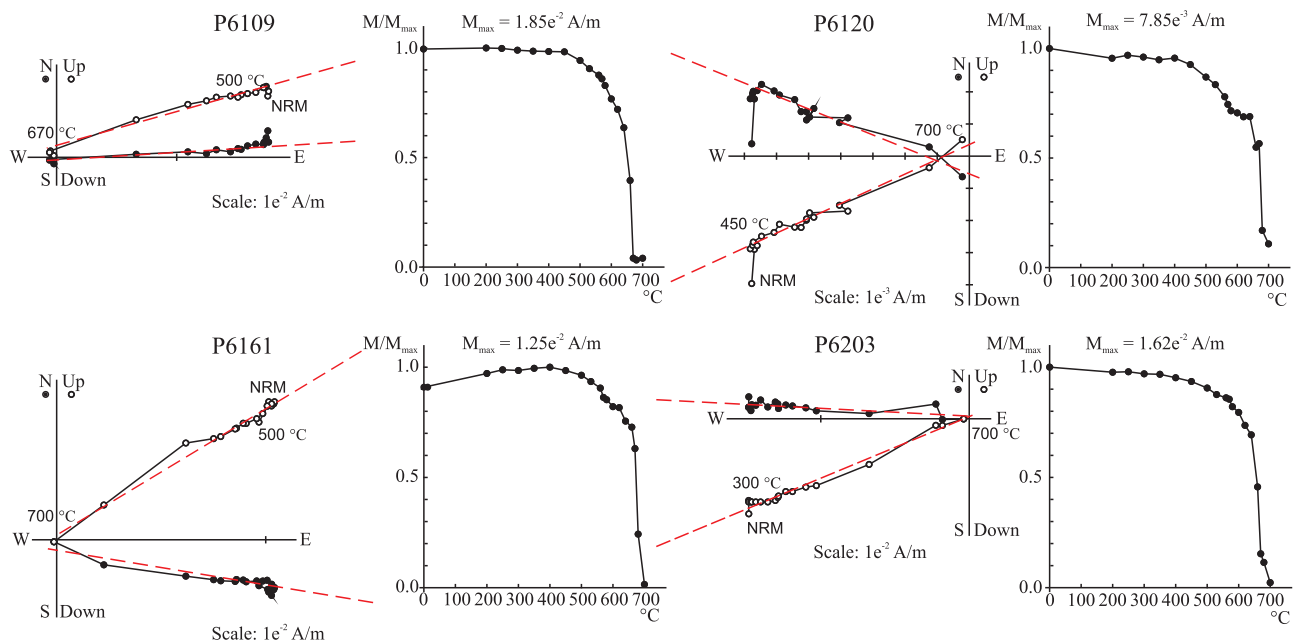
*Notes:* The thickest line denotes the Zilmerdak Fault, to the west of which Ediacaran rocks are overlain by Paleozoic rocks without angular unconformity. Star denotes the locality, where the Upper Ediacaran Zigan Formation was sampled.

направление соответствует направлению современного магнитного поля. В серо-бурых и бурых породах удается выделить высокотемпературную компоненту намагниченности (рис. 2), которая спадает в начало координат при 650–700 °С, но в некоторых образцах это происходит при 580 °С. Из этого следует, что основной носитель намагниченности — гематит, реже — магнетит.

Анализ новой коллекции показал следующее. Вариации залеганий слишком малы, поэтому тест складки для ВТК неинформативен. В коллекции выделяются направления как прямой, так и обратной полярностей, также присутствует ряд аномальных данных. Для исключения аномальных данных все направления были пересчитаны в виртуальные геомагнитные полюса (ВГП) и был рассчитан общий средний геомагнитный полюс. Полюсы, отличающиеся от общего среднего более чем на 45°, рассматривались как аномальные и были отбракованы. Часть из них находится между образцами с различными направлениями намагниченности и, скорее всего, соответствует переходным зонам при смене полярности магнитного поля. Остальные

являются либо экскурсами или переходами между пропущенными магнитозонами, либо результатом каких-либо ошибок. Аномальные направления составляют 10–12% от общего числа. Рассчитанное среднее направление для оставшихся 180 образцов составляет в стратиграфической системе координат  $D_s = 285.8^\circ$ ,  $I_s = 20.4^\circ$ ,  $k = 12.6$ ,  $\alpha_{95} = 3.1^\circ$  (рис. 3).

Угол  $\gamma = 3.4^\circ$  между средними векторами для двух групп из 112 и 68 векторов в стратиграфической системе координат меньше критического угла,  $\gamma_{crit} = 6.3^\circ$ . Поэтому тест обращения [McFadden, McElhinny, 1990] на уровне выборки положительный (класс В). Отметим, что тест обращения также положителен и для всей коллекции, включающей и «аномальные» образцы, однако в этом случае при определении общего среднего направления получается довольно большой разброс и малая кучность. Положительный тест обращения является довольно сильным аргументом в пользу первичности выделенной намагниченности. На это же указывает и положительный тест (критерий) внешней сходимости. Вычисленный палеомагнитный полюс

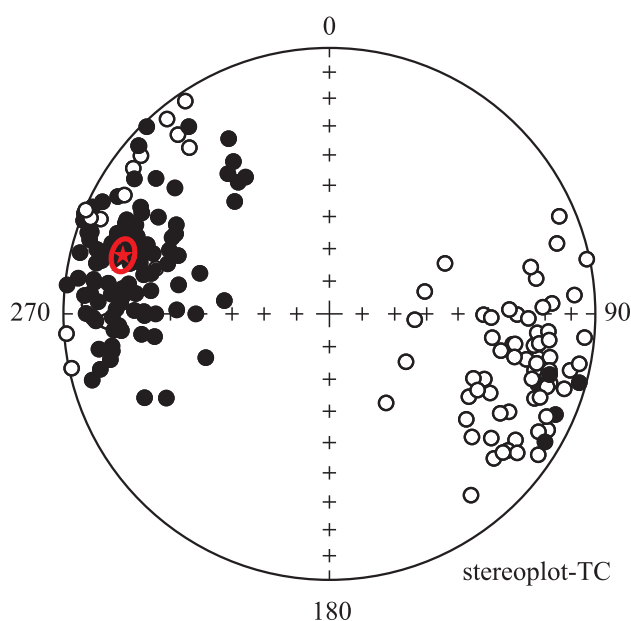


**Рис. 2. Примеры диаграмм Зийдверельда и кривых терморазмагничивания естественной остаточной намагниченности красноцветных песчаников зиганской свиты в стратиграфической системе координат**

*Примечания:* Выделенные высокотемпературные компоненты обозначены красными пунктирными линиями. Температура приведена в градусах Цельсия. Залитые (пустые) кружки представляют собой проекции на горизонтальную (вертикальную) плоскость.

**Fig. 2. Representative thermal demagnetization plots of brown-gray and maroon sandstones of the Ediacaran Zigan Formation, in stratigraphic coordinates**

*Notes:* Isolated high-temperature components are denoted by red dashed lines. Temperature steps are in degrees Celsius. Full (open) circles represent vector endpoints projected onto the horizontal (vertical) plane.



**Рис. 3. Стереограмма высокотемпературной составляющей намагниченности красноцветных песчаников зиганской свиты в стратиграфической системе координат**

*Примечания:* Общее среднее направление показано звездочкой с соответствующим кругом доверия. Залитые (полые) кружки проецируются на нижнюю (верхнюю) полусферу.

**Fig. 3. Stereoplot of high-temperature component of magnetization (HTC) of red-colored sandstones of the Zigan Formation in the stratigraphic coordinate system**

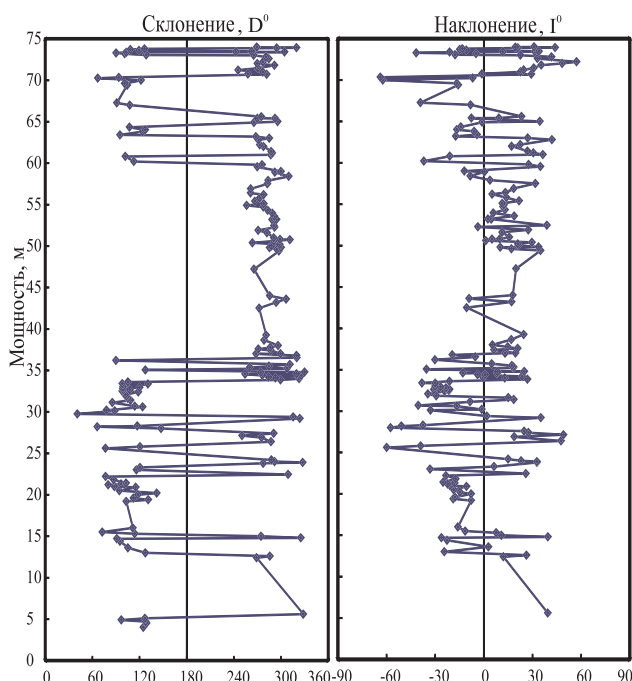
*Notes:* Star is overall mean direction with associated confidence circle. Full (open) circles are projected onto the lower (upper) hemisphere.

имеет координаты  $17.8^\circ$  с.ш.,  $320.2^\circ$  в.д., полуоси эллипса доверия возле полюса  $dp = 1.7^\circ$ ,  $dm = 3.3^\circ$ , что неплохо согласуется с опубликованными ранее результатами. Палеополус, определенный по породам зиганской свиты находится далеко от кривой кажущейся миграции полюса для фанерозоя Балтики [Torsvik et al., 2012], но согласуется с данными по одновозрастным породам юго-восточного побережья Белого моря [Роров et al., 2005]. Таким образом, новые данные по зиганской свите подтверждают справедливость полученного ранее палеополюса и вопрос о первичности намагниченности и о палеопозиции кратона на данном этапе исследований можно считать решенным.

Ранее в изученном разрезе было выделено 20 различных магнитозон [Vazhenov et al., 2016]. Полученные новые результаты существенно дополнили имевшиеся данные по разрезу и позволили построить довольно детальную магнитостратиграфическую колонку. Несмотря на то, что остались отдельные интервалы, по которым не удалось

получить палеомагнитные данные, в целом в разрезе красноцветов зиганской свиты мощностью 74 м на автодороге Стерлитамак – Магнитогорск наблюдается более 30 смен магнитной полярности (рис. 4).

Недавно выполненный циклостратиграфический анализ вариаций магнитной восприимчивости образцов из коллекции 2018 г. [Левашова и др., 2021] показал, что в изученном разрезе наблюдаются циклические вариации этого параметра с различными периодами, и их можно сопоставить с циклами Миланковича. Рассчитанная на основе выявленных циклов Миланковича длительность накопления опробованной толщи мощностью 74 м составила около 1.6 млн лет. По новым данным средняя частота инверсий геомагнитного поля за то время, когда накапливался изученный разрез, составляет 18–20 инверсий за миллион лет, что в два-три раза больше, чем максимальная известная ранее в фанерозое частота инверсий. Частота инверсий распределена по разрезу неравномерно. В верхней половине разреза, начиная примерно от середины, имеется участок мощностью 22 м, на котором наблюдается только одна полярность. На оставшейся части разреза обнаруживается довольно частая смена полярности. На отдельных участках разреза частота



**Рис. 4. Палеомагнитный разрез красноцветной части зиганской свиты**

**Fig. 4. Paleomagnetic section of redstones of the Zigan Formation**



может достигать 30 и более инверсий за миллион лет. Такая частота инверсий оказывается намного выше порога гиперактивности. Таким образом, вывод о том, что в конце эдиакария, 548.2±7.6 млн лет назад, был период с аномально высокой частотой инверсий можно считать подтвержденным.

### Заключение

1. Для проверки предположения о существовании эпизода «гиперактивности» магнитного поля вблизи границы докембрия и фанерозоя получены новые достаточно надежные палеомагнитные данные по красноцветным породам зиганской свиты венда на Южном Урале. Палеомагнитные исследования позволили значительно детализировать полученные ранее результаты. Новые данные по зиганской свите подтверждают справедливость полученного ранее палеополюса, и вопрос о первичности намагниченности на данном этапе исследований можно считать решенным.

2. Новые результаты выявили в разрезе красноцветов зиганской свиты мощностью 74 м более 30 смен магнитной полярности. Выполненный ранее циклостратиграфический анализ вариаций магнитной восприимчивости образцов оценивает длительность накопления опробованной толщи в 1.6 млн лет. Средняя частота инверсий геомагнитного поля составляет 18–20 инверсий за миллион лет, а на отдельных участках разреза частота может достигать 30 и более инверсий за миллион лет. Такая частота инверсий считается аномально высокой, и вывод о том, что в конце эдиакария, 548.2±7.6 млн лет назад, существовал период «гиперактивности» магнитного поля, можно считать подтвержденным.

*Работы выполнялись при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-05-0063. Окончательная обработка результатов и подготовка к печати выполнены в рамках темы государственного задания № 0246-2019-0087.*

### Список литературы:

Беккер Ю.Р. Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 289 с.

Геологическая карта Российской Федерации и сопредельной территории республики Казахстан. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист №-40(41) Уфа / Отв. ред. В.И. Козлов. СПб: ВСЕГЕИ. 2002.

Голованова И.В., Данукалов К.Н., Козлов В.И., Пучков В.Н., Павлов В.Э., Галле И., Левашова Н.М., Сирота Г.С., Хайруллин Р.Р., Баженов М.Л. Палеомагнетизм верхневендской басинской свиты Башкирского меганти-

клинория: результаты повторного исследования // Физика Земли. 2011. № 7. С. 67–79.

Голованова И.В., Данукалов К.Н., Кадыров А.Ф., Хидиятов М.М., Сальманова Р.Ю., Шакуров Р.К., Левашова Н.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм осадочных толщ и происхождение структур западного склона Южного Урала // Физика Земли. 2017. № 2. С. 148–156. DOI: 10.7868/S0002333717010057.

Гражданкин Д.В., Марусин В.В., Меерт Дж., Крупнин М.Т., Маслов А.В. Котлинский горизонт на Южном Урале // Докл. РАН. 2011. Т. 440, № 2. С. 201–206.

Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. Новая схема расчленения параметрической скавины 1 Кулгунинская (Южный Урал). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. 60 с.

Левашова Н.М., Голованова И.В., Рудько Д.В., Данукалов К.Н., Рудько С.В., Сальманова Р.Ю., Сергеева Н.Д. Период гиперактивности магнитного поля в конце эдиакария: оценка частоты инверсий циклостратиграфическим методом // Физика Земли. 2021. № 2. С. 119–129.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

Разумовский А.А., Новиков И.А., Рудько С.В., Кузнецов Н.Б., Яшуцкий Ю.В. U-Pb изотопный возраст пепловых туфов поздневендской басинской свиты (ашинская серия, Южный Урал) // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики: Матер. 51-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. Т. 2. С. 219–224.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Под ред. Б.М. Келлера, Н.М. Чумакова. М.: Наука, 1983. 183 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 377).

Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Писаревский С.А., Погарская И.А., Ржевский Ю.С., Родионов В.П., Слауцитайс И.П. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 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.

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. Vol. 435. P. 124–135. DOI: 10.1016/j.epsl.2015.12.015.

Cogné J.P. PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2003. Vol. 4, No. 1. article No. 1007. DOI: 10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 1994. 16 p.

Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1980. Vol. 62. P. 699–718.

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. Vol. 236. P. 16–30. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.06.006.

Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Danukalov K.N., Golovanova I.V., Kuznetsov N.B., Fedorova N.M. Paleomagnetism of upper Ediacaran clastics from the South Urals: Implications to paleogeography of Baltica and the opening of the Iapetus Ocean // *Gondwana Research*. 2015. Vol. 28, Is. 1. P. 191–208. doi: 10.1016/j.gr.2014.04.012

McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. Vol. 103. P. 725–729.

Meert J.G., Levashova N.M., Bazhenov M.L., 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. Vol. 34. P. 149–157. DOI: 10.1016/j.gr.2016.01.001.

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. Vol. 7, Is. 2. P. 115–143. DOI: 10.2205/2005es000167.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocail C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // *Earth Science Reviews*. 2012. Vol. 114, Is. 3–4. P. 325–368. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.06.007.

Zijderveld J.D.A. A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. // *Methods in Palaeomagnetism / D.W. Collinson (Ed.)*. Amsterdam, Elsevier. 1967. P. 254–286.

#### References:

Bazhenov M.L., Levashova N.M., Meert J.G., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. (2016) Late Ediacaran magnetostratigraphy of Baltica: Evidence for Magnetic Field Hyperactivity? *Earth and Planetary Science Letters*, **435**, 124–135. DOI: 10.1016/j.epsl.2015.12.015.

Becker Yu.R. (1988) *Molassy dokembriya* [Precambrian molasses]. Leningrad, Nedra Publ., 289 p. (In Russian).

Cogné J.P. (2003) PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **4**(1), article No. 1007. DOI: 10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. (1994) A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 16 p.

Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Pavlov V.E., Galle I., Levashova N.M., Sirota G.S., Khayrullin R.R., Bazhenov M.L. (2011) Paleomagnetism of the Upper Vendian Basin Formation of the Bashkir meganticlinorium: results of a repeated study, *Fizika Zemli – Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, (7), 67–79. (In Russian).

Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kadyrov A.F., Khidiyatov M.M., Sal'manova R.YU., Shakurov R.K., Levashova N.M., Bazhenov M.L. (2017) Paleomagnetism of sedimentary strata and the origin of structures on the western slope of the Southern Urals. *Fizika Zemli – Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, (2), 148–156. DOI: 10.7868/S0002333717010057. (In Russian).

Grazhdankin D.V., Marusin V.V., Meert J., Krupenin M.T., Maslov A.V. (2011) The Kotlinsky horizon in the Southern Urals. *Dokl. Earth Sciences*, **440**(2), 201–206. (In Russian).

Keller B.M., Chumakov N.M. (Eds.) (1983) *Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya* [Stratotype of the Riphean. Stratigraphy. Geochronology]. Moscow: Nauka Publ., 183 p. (Tr. GIN AN USSR; Is. 377). (In Russian).

Khramov A.N., Goncharov G.I., Komissarova R.A., Pisarevskii S.A., Pogarskaia I.A., Rzhetskii Iu.S., Rodionov V.P., Slautsitsai I.P. (1982) *Paleomagnetologiya*. [Paleomagnetology]. Leningrad, Nedra Publ., 312 p. (In Russian).

Kirschvink J.L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **62**, 699–718.

Kozlov V.I. (Ed.) (2002) *Geologicheskaya karta Rossiiskoi Federacii i sopredel'noi territorii respubliki Kazahstan. Masshtab 1:1 000 000 (novaya seriya). List №-40(41) Ufa* [Geological Map of the Russian Federation and Adjacent Territory of the Republic of Kazakhstan. Scale: 1:1 000 000 (New Series). Sheet N-40(41)-Ufa]. St. Petersburg, VSEGEI Publ. (In Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. (2011) *Novaya skhema raschleneniya parametricheskoy skvazhiny 1 Kulguninskaya (Yuzhnyy Ural)* [New partitioning scheme for parametric well 1 Kulguninskaya (Southern Urals)]. Ufa, DizaynPoligrafServis, 60 p. (In Russian).

Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Kuznetsov N.B., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Fedorova N.M. (2013) Paleogeography of Baltica in the Ediacaran: Paleomagnetic and geochronological data from the clastic Zigan Formation, South Urals. *Precambrian Research*, **236**, 16–30. DOI: 10.1016/j.precamres.2013.06.006

Levashova N.M., Bazhenov M.L., Meert J.G., Danukalov K.N., Golovanova I.V., Kuznetsov N.B., Fedorova N.M. (2015) Paleomagnetism of upper Ediacaran clastics from the South Urals: Implications to paleogeography of Baltica and the opening of the Iapetus Ocean. *Gondwana Research*, **28**(1), 191–208. DOI: 10.1016/j.gr.2014.04.012

Levashova N.M., Golovanova I.V., Rud'ko D.V., Danukalov K.N., Rud'ko S.V., Sal'manova R.YU., Sergeeva N.D. (2021) Late Ediacaran hyperactivity period: quantifying the reversal frequency. *Fizika Zemli – Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, (2), 119–129. (In Russian).

McFadden P.L., McElhinny M.W. (1990) Classification of reversal test in palaeomagnetism. *Geophys. J. Int.*, **103**, 725–729.

Meert J.G., Levashova N.M., Bazhenov M.L., Landing E. (2016) Rapid changes of magnetic Field polarity in the late Ediacaran: Linking the Cambrian evolutionary radiation and increased UV-B radiation. *Gondwana Research*, **34**, 149–157. DOI: 10.1016/j.gr.2016.01.001.



Popov V.V., Khramov A.N., Bachtadse V. (2005) 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*, **7**(2), 115-143. DOI: 10.2205/2005es000167.

Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nyye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Fore-Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DizaynPoligrafServis, 280 p. (In Russian).

Razumovskiy A.A., Novikov I.A., Rud'ko S.V., Kuznetsov N.B., Yashunskiy Yu.V. (2020) U-Pb isotope age of ash tuffs of the Late Vendian Basin suite (Asha series, South Urals). *Fundamental'nyye problemy tektoniki i geodinamiki. Mater. LI Tektonicheskogo soveshchaniya. T. 2* [Fundamental problems of tectonics and geodynamics. Materials of the

LI Tectonic meeting. Vol. 2]. Moscow: GEOS Publ., P. 219-224. (In Russian).

Shatsillo A.V., Kuznetsov N.B., Pavlov V.E., Fedonkin M.A., Priyatkina N.S., Serov S.G., Rudko S.V. (2015) 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. *Doklady Earth Sciences*, **465**(2), 1211-1214. DOI: 10.1134/S1028334X15120065.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocail C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks R.M. (2012) Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth Science Reviews*, **114**(3-4), 325-368. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.06.007.

Zijderveld J.D.A. (1967) A.C. demagnetization of rocks: analysis of results. *Methods in Palaeomagnetism. D.W Collinson (Ed.)*. Amsterdam, Elsevier. P. 254-286.

#### *Сведения об авторах:*

**Голованова Инесса Владимировна**, доктор 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

**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

**Сальманова Раушания Юрисовна**, кандидат 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

**Парфирьев Никита Петрович**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ИГ УФИЦ РАН, E-mail: Parfirjev.nikita@yandex.ru

**Левашова Наталья Михайловна**, кандидат геол.-мин. наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук, ГИН РАН, E-mail: namile2007@rambler.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

**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

**Sal'manovna Raushaniya Yurisoovna**, 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

**Parfir'ev Nikita Petrovich**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, IG UFRC RAS, E-mail: Parfirjev.nikita@yandex.ru

**Levashova Natalia Mikhailovna**, candidate of geological and mineralogical sciences, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, GIN RAS, E-mail: namile2007@rambler.ru