

МЕЗОМЕХАНИЧЕСКИЙ СЦЕНАРИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАССИВА ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В МАГНИТНЫХ И МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОРОД

Мартышко П.С., Пьянков В.А., Рублев А.Л. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. Представлена трехмерная интерпретация магнитного поля. Массив Денежкин Камень представляет собой агломерат блоков с различными магнитными характеристиками (магнитная восприимчивость χ , остаточная намагниченность I_n , и коэрцитивная сила H_c). Массив сформирован из трех основных блоков. Первый блок – дуниты, которые характеризуются высокой остаточной намагниченностью. Второй блок представлен пироксенитами. Третий блок (габбро) характеризуется высокой индуктивной намагниченностью. Исследуется динамическая модель представленного массива.

Магнитное поле, мезомеханика, динамические процессы.

MESOMECHANICAL SCENARIO OF THE DENEZHKIN KAMEN MASSIF DYNAMIC PROCESSES AND ITS MANIFESTATION IN MAGNETIC AND MAGNETOACOUSTIC CHARACTERISTICS OF ROCKS

Martyshko P.S., Pyankov V.A., Rublev A.L. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. The three dimensional interpretation of profile curves of magnetic field is presented. The Denezhkin Kamen massif is represented by agglomerates of blocks with different magnetic characteristics (susceptibility χ and remanent magnetization I_n , coercive force H_c). They consist of three general blocks. The first one is the dunite block, which is characterized by high ancient remanent magnetization. The second block comprises pyroxenite. The third block comprises gabbro, which is characterized with inductive magnetization. The dynamic model of this massif is investigating.

Magnetic field, mesomechanic, dynamic processes.

Введение

Петрогенетическая трактовка Платиноносного пояса Урала неоднократно видоизменялась по мере открытия новых фундаментальных фактов и смены геологических парадигм. Габбро-ультрамафитовые тела Пояса имеют сложную историю деформаций и метаморфизма. Традиционное представление о гипербазитовых массивах как о монолитных магматических «отливках» *in situ* не отвечает сумме накопленных данных, в том числе и геофизических. Ранее представление об уральских платиноносных массивах как о дунитовых «ядрах», окруженных концентрическими оболочками пироксенитов и габбро, по крайней мере, упрощено. Обращает на себя внимание тот факт, что дунитовые тела располагаются преимущественно на западной границе Пояса. И если в морфологии гравитационного поля мы находим соответствие дунитовым телам, то в магнитном

поле нет аномалий, которые можно было бы соотнести им. Исследование особенностей Платиноносного пояса начато с его Североуральского сегмента.

Методика построения и особенности трехмерной магнитной модели

Для определения вклада в поле каждого из блоков, слагающих массив Денежкин Камень, применен аппарат факторного анализа. Роль переменных в факторном анализе играет набор данных на профилях, формирующих n -мерное пространство. В результате анализа происходит разделение наблюдаемого поля на составляющие. Распределение этих составляющих не зависит от априорных предположений интерпретатора и позволяет получить первое приближение, необходимое для построения объемной модели земной коры. В расчетах участвует матрица парных коэффициентов корреляции R , которая является положи-

тельно полуопределенной симметрической матрицей Грама ранга m . Любое свойство параметров, связанных с рангом исходной прямоугольной матрицы, может быть установлено с помощью матрицы коэффициентов корреляции. Так, n параметров могут быть выражены как линейные комбинации не менее чем m факторов, где m – ранг корреляционной матрицы параметров. В нашем примере число факторов равно пяти и соответствует числу источников поля, а сами факторы представляют собой поле локального источника на профиле, проходящем через его максимум.

Наиболее интересные результаты получены при разделении магнитного поля. Расчеты модели велись по методике, учитывающей эффект размагничивания, т. е. при взаимовлиянии всех магнитных блоков. Так, например, в пачке горных пород переменного наклона выделен блок, на-

правление намагниченности которого изменяется от субгоризонтального в верхней части земной коры до современного в низах разреза (Пьянков и др., 2006). Пространственное распределение магнитного поля этого блока приведено на рис. 1.

У этого блока магнитная восприимчивость $\chi = 0,02$ ед. СИ, а остаточная намагниченность I_n составляет около 10^{-4} мА/м. Такие свойства характерны для дунитов. Пироксениты характеризуются $\chi = 0,05$ ед. СИ, а у верхнего слоя габбро магнитная восприимчивость может достигать 0,15 ед. СИ. Таким образом, пироксениты как по величине χ , так и пространственно располагаются между дунитами и тылаитами (габбро Дюпарка). Анализ распределения по разрезу вектора намагниченности I_n дунитов позволяет сделать предположение о деформировании западного крыла всей пачки горных пород в процессе эволюции

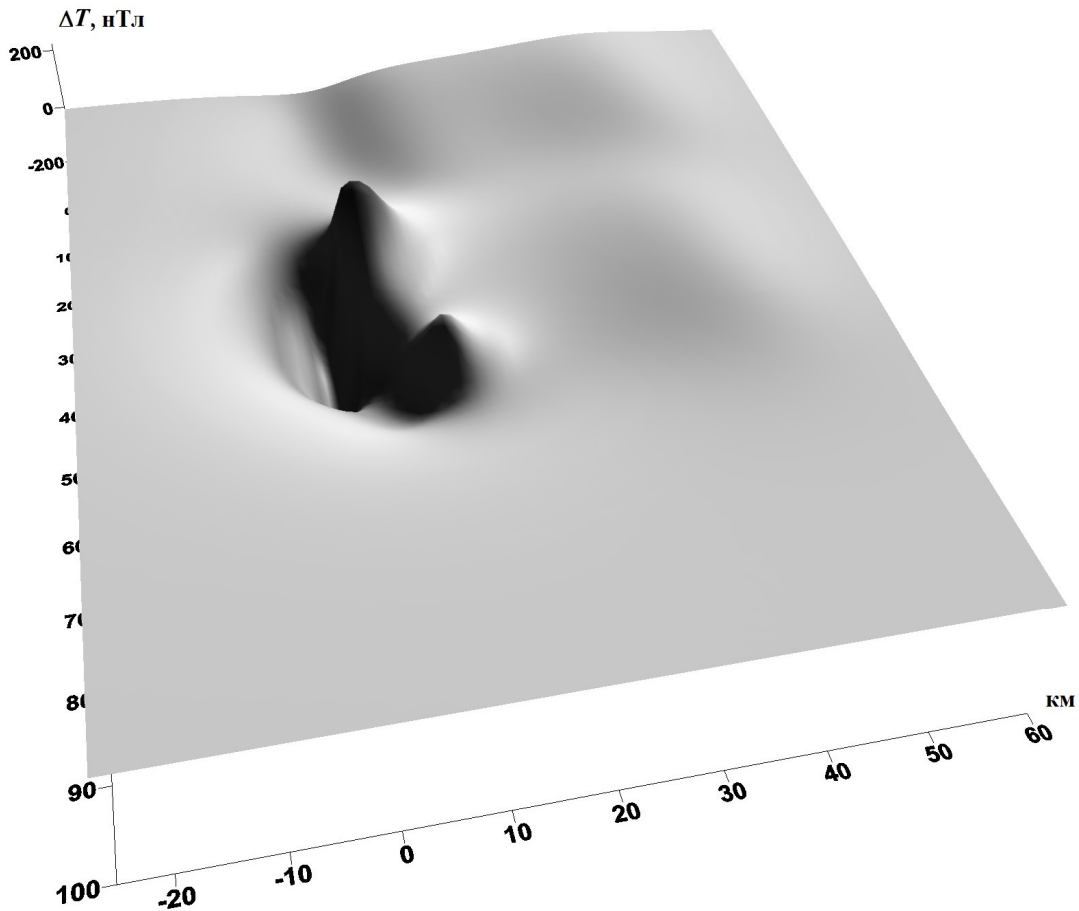


Рис. 1. Магнитное поле дунитового пласта

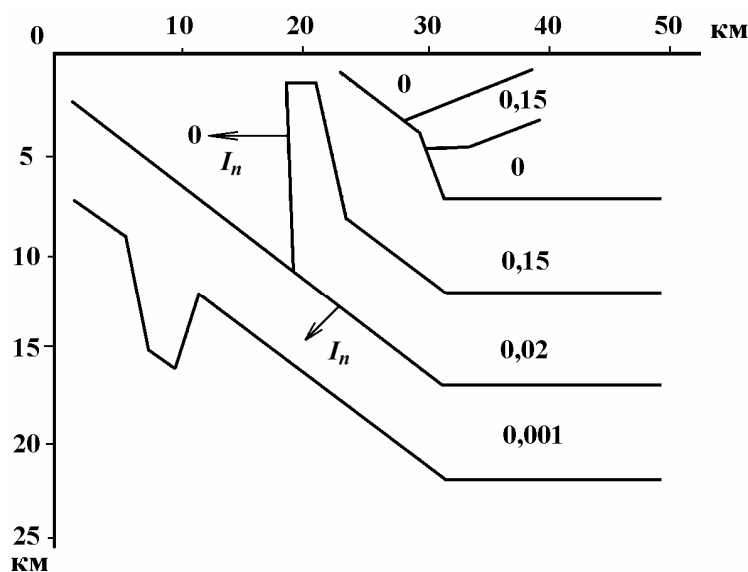


Рис. 2. Магнитный разрез земной коры

складчатой системы из первоначально горизонтального положения в субвертикальное (рис. 2).

Наибольший интерес для изучения представляет участок так называемого «горячего шва» – зоны механического контакта дунит-пироксенитовой пачки горных пород с габбро (рис. 3).

Мезомеханические процессы в зоне «горячего шва»

Предполагается, что породы деформированы в твердопластичном состоянии. Пироксениты существенно прочнее дунитов и габбро. Следовательно, эта контактирующая пачка горных пород (дуниты, пироксениты и габбро) деформируется несовместно. Что же должно происходить в системе дунит-пироксенит-габбро в процессе деформации, и каким образом реликты деформационных процессов могут проявляться в физических свойствах горных пород и, следовательно, в физических полях? Из мезомеханических парадигм следует, что деформируемые блоки земной коры являются открытой сильнонеравновесной системой. Самоорганизация этой системы в заданных граничных условиях нагружения обуславливает формирование диссипативных структур, эволюция которых определяет характер пластического течения дунитов и разрушения пироксенитового кольца на контакте с габбро. В слое пироксенитов деформация на мезоуровне проявляется в возникновении системы квазипериодических трещин. В объеме дунитов развиваются системы квазипериодических диссипативных мезополос локализованной деформации, четко коррелирующих с микротрещинами в пироксенитовом слое (Панин, 1998). Частота расположения

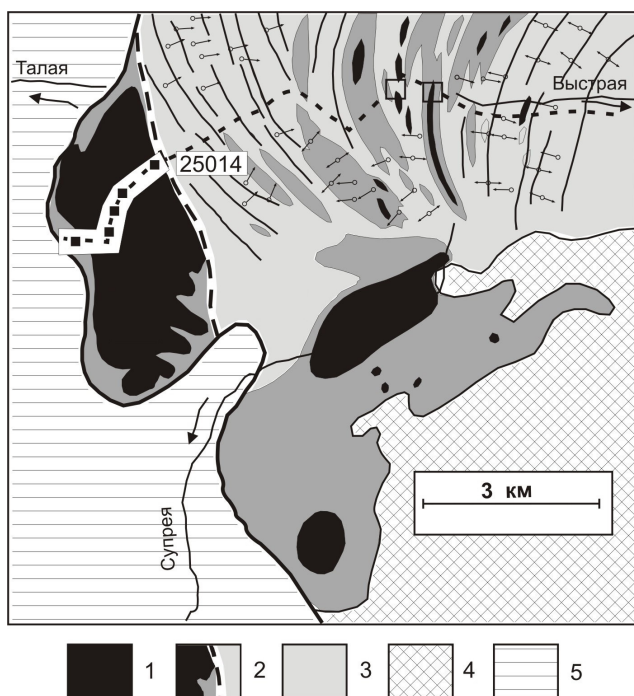


Рис. 3. Схема геологического строения массива Денежкин Камень (по данным А.А. Ефимова): 1 – дуниты; 2 – «горячий шов»; 3 – габбро; 4 – границы; 5 – вмещающие породы

этих микротрещин зависит от соотношения механических характеристик пироксенитового слоя и дунитов, толщины пироксенитового слоя (в единицах мощности дунитов), характера переходной зоны и других факторов. В области сформировавшейся мезоструктуры наблюдается движение отдельных мезообъемов как целого по схеме «сдвиг + поворот». Далее происходит процесс вдавливания в породу поверхностных мезообъемов в виде трехгранных призм. Экструзия основного материала между вдавливаемыми призмами образует стационарную поверхностную волну (Киселев, Долгих, 2004). Локализация этого процесса в одном из сечений сопровождается сильным поворотом трехгранной призмы и образованием трещины на ее границе.

Реликты окатанных трехгранных пироксенитовых призм оказываются внедренными в экструдированную ферримагнитную матрицу габбро. Процессы экструзии находят свое отражение в прогрессивном уменьшении в направлении «горячего шва» размеров зерен матрицы габбро (рис. 4). Ферримагнитные домены магнети-

та как матрицы габбро, так и реликтов пироксенитовых призм сами по себе являются мезоструктурными носителями магнетизма и представляют собой объект изучения метода магнитоакустической эмиссии Баркгаузена. Известно, что при наложении внешнего магнитного поля ферримагнетик будет намагничиваться, причем на первой стадии намагничивание будет осуществляться за счет смещения междоменных границ. Пусть при изменении намагниченности от I_1 до I_2 при смещении границы от x_1 до x_2 происходит n скачков Баркгаузена. Так как каждый скачок Баркгаузена происходит на некотором немагнитном включении или локальном узле внутренних напряжений, то при обратном движении от x_2 до x_1 должно произойти такое же количество скачков обратного направления. Максимуму на кривой скачков Баркгаузена соответствует значение коэрцитивной силы H_c . Исследования магнитоакустического эффекта Баркгаузена на образцах, отобранных на субширотном профиле, пересекающем зону «горячего шва» массива Денежкин Камень, показали, что для подавляющего большинства образцов характерна

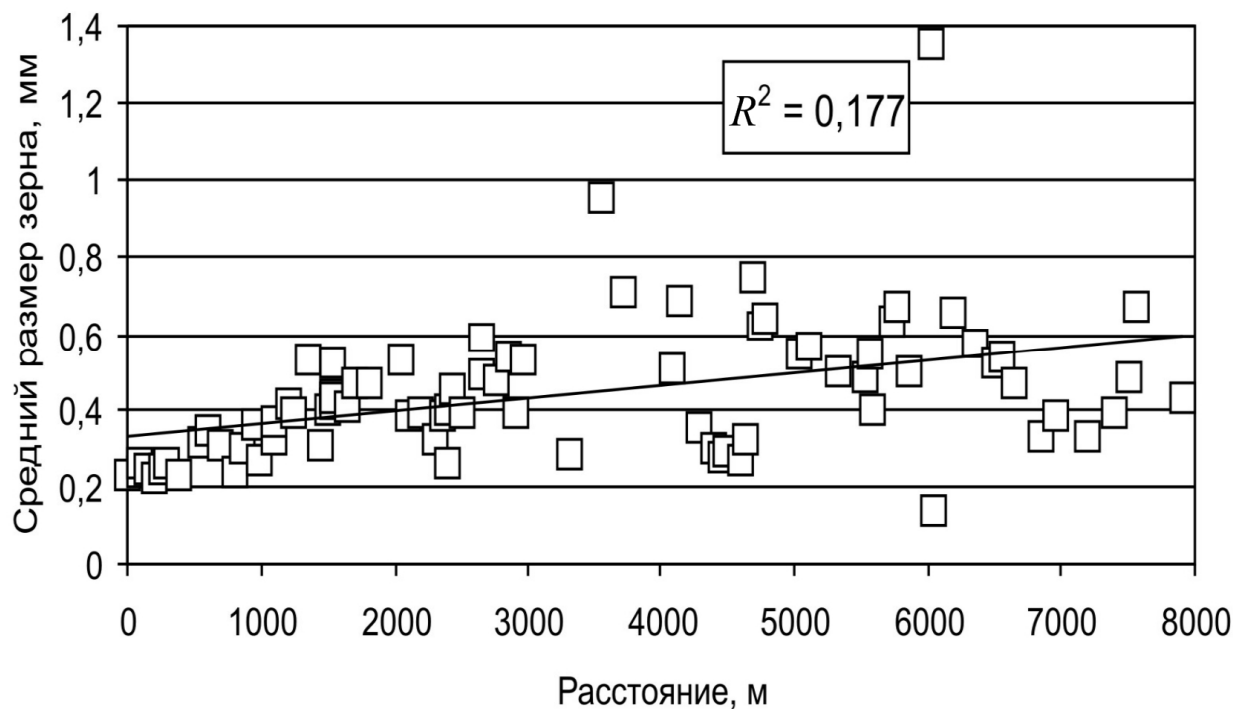


Рис. 4. Пространственное распределение размеров зерен матрицы

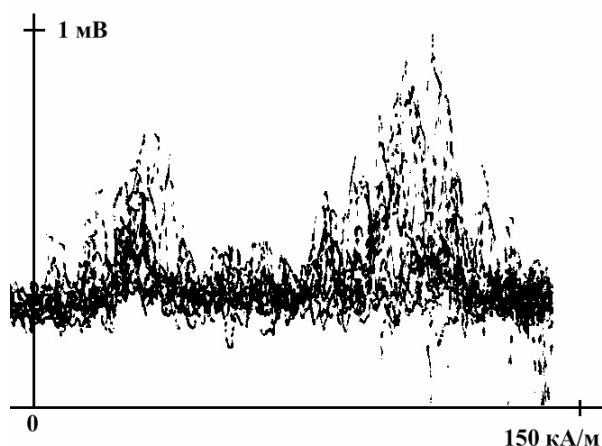


Рис. 5. Магнитоакустическая эмиссия образца 25014

моноэкстремальная кривая магнитоакустической эмиссии. Лишь для пород западного контактного блока (образец 25014, например, см. рис. 3) зарегистрировано бимодальное распределение магнитоакустической эмиссии (рис. 5). Таким образом, эти породы представляют собой механическую смесь, составленную из двух ингредиентов, магнитные включения которых характеризуются различными значениями коэрцитивной силы H_c . Отмеченный факт находится в полном соответствии с принципом аддитивности, доказанном для магнитоакустической эмиссии (Глухих и др., 2000). Следовательно, к матрице габбро добавлены обломки пироксенитов с ферримагнитными включениями, обладающими высокой коэрцитивной силой. Существенно западнее «горячего шва» наблюдается зона расслоения, что также является элементом предложенного мезомеханического сценария. Зона расслоения отчетливо проявляется в распределении виртуальных палеомагнитных полюсов на поверхности единичной сферы. Известно, что направления деформационной намагниченности в общем случае не дают кучных распределений, но «размазаны» вдоль дуги большого круга, ориентировка которого в пределах ошибки совпадает с ориентировкой поверхности деформации (поверхности расщепления, параллельного кливажа и т. д.). В идеальном случае направление деформационной намагниченности совпадает

с направлением деформации сдвига. Более того, анализ материалов регистрации магнитоакустического эффекта на ориентированных образцах габбро показал, что существует анизотропия эффекта Баркгаузена (по данным В.А. Пьянкова). Причем, максимальная величина эффекта зарегистрирована в вертикальной плоскости, ориентированной в меридиональном направлении.

Заключение

В результате решения обратной задачи магнитометрии построена магнитная модель земной коры массива Денежкин Камень. Выдвинуто предположение о том, что блоки земной коры подвергнуты деформированию, в результате чего вектор статочной намагниченности дунитов изменил свое направление с вертикального на горизонтальное (Martyshko et al., 2016). Для подтверждения этой гипотезы проанализированы структурные, магнитные и магнитоакустические характеристики горных пород по широтному профилю, включающему в себя зону контакта пироксенитов и габбро («горячий шов»). Результаты исследований не противоречат выдвинутой гипотезе (Pyankov, Rublev, 2016). Таким образом, материалы исследования структурно чувствительных магнитных характеристик горных пород дополняют основную концепцию комплексной геофизической модели строения и развития массива Денежкин Камень – составного элемента североуральского сегмента Платиноносного пояса.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта №14-27-00059 Российского научного фонда.

Литература

- Глухих И.И., Иванченко В.С., Угрюмова И.С. Экспериментальные исследования МАЭ природных ферромагнетиков // Уральский геофизический вестник. 2000. № 1. С. 40–46.
- Киселев В.В., Долгих Д.В. Солитоны поперечной гофрировки в трехслойной нелинейно-упругой среде // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. Ч. 1. С. 173–177.
- Панин В.Е. Основы физической мезомеха-

ники // Физическая мезомеханика. 1998. Т. 1. № 1. С. 5–22.

Пьянков В.А., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Полянина Т.В., Ефимов А.А. Трехмерная гравимагнитная модель земной коры Североуральского сегмента Платиноносного пояса // Геофизический вестник. 2006. № 2. С. 31–36.

Martyshko P.S., Pyankov V.A., Rublev A.L. Manifestation of plastic deformation waves in the rocks structural changes // XVth International Conference – Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2016. Kiev.

Pyankov V., Rublev A. Mesomechanical scenario of the Denezhkin Kamen massif processes of hardening and its manifestation in magnetic and magnetoacoustic characteristics of rocks // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings. 2016, Albena. Bulgaria. Book1.