

ной и, возможно, субмеридиональной (север-северо-западной) ориентировки. Эти же процессы способствовали кристаллизации платиноидов в форме арсенидов, антимонидов, висмутидов и, возможно, их накоплению в зонах субширотной ориентировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котельников В.Г., Романова Н.В. Новый тип медного платино-золото-палладиевого оруденения на восточном склоне Полярного Урала // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 40-42.
2. Терешко В.В., Шлома А.А., Карчевский А.Ф., Онищенко С.А. Медно-благороднометальное проявление Озерное на восточном склоне Полярного Урала // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 221-223.
3. Шлома А.А., Генералов В.И., Пыстин А.М., Потапов И.Л. Геологическая позиция медно-благороднометального оруденения в Дзелятышорском клинопироксенитовом массиве на Полярном Урале // Проблемы освоения минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых на Полярном Урале. Салехард, 2007. С. 163-169.

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

Пьянков В.А.*, Ефимов А.А.**

**Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
e-mail: v_pyankov@mail.ru*

***Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
e-mail: efimov@igg.uran.ru*

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

Pyankov V.A.*, Efimov A.A.**

**Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia
e-mail: v_pyankov@mail.ru*

***Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia
e-mail: efimov@igg.uran.ru*

The three dimensional interpretation of profile curves of gravitational and magnetic fields 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 hardening of rocks.

В современных физических полях содержится интегральная информация о тектонических процессах прошлого, в результате которых сформировались закономерно распределенные физические неоднородности земной коры. Анализ пространственной структуры неоднородностей позволяет восстанавливать закономерности их образования. Так, например, в магнитном поле отражается как распределение ферромагнетиков в горной породе, так и их состояние. Состояние данного ферромагнетика зависит от его предыстории, то есть от испытанных им тектонических воздействий. Кроме того, безусловно, на его состояние влияет динамика современных тектонических напряжений, что может проявляться в аномальных вариациях геомагнитного поля.

Для определения магнитных параметров геофизической модели земной коры необходимо пройти два этапа решения обратной задачи магнитометрии. На первом этапе решения этой задачи по заданному магнитному полю определяется пространственное распределение набора эквивалентных источников, адекватно описывающих это поле. Второй этап обратной задачи магнитометрии заключается в изучении магнитного состояния горной породы с целью определения возможных причин, обусловивших это состояние. Из хода дальнейших рассуждений становится понятно, что эти два этапа решения обратной задачи должны взаимно дополнять друг друга. То есть, выбор одного из эквивалентных решений может зависеть от состояния ферромагнетика, слагающего этот источник. Связующим звеном между этими двумя этапами может стать изучение физических характеристик горных пород, отражающих их исторически обусловленное структурное состояние. Одним из методов, позволяющим получать такие характеристики является изучение магнитоакустической эмиссии (эффект Баркгаузена), возникающей в процессе перемагничивания образцов горных пород. Поскольку носителями ферромагнетизма являются специфические мезоэлементы – магнитные домены, то считаем целесообразным при решении обратных задач магнетизма опираться на основные парадигмы мезомеханики. Объектом настоящих исследований является дунит-пироксенит-габбровый массив Денежкин Камень (Северный Урал). Для изучения его глубинного строения решается обратная задача магнитометрии, т.е. по заданному на земной поверхности магнитному полю строится объемное распределение магнитных свойств горных пород. Нами предпринята попытка использовать методику факторного анализа для разделения магнитного поля, созданного системой крутопадающих аномальных объектов, расположенных друг под другом. Ранее методы факторного анализа успешно применялись при статистической обработке геолого-геофизической информации. Достаточно подробно плюсы и минусы такого применения проанализированы в работе [1]. Чтобы показать особенности использования методов факторного анализа при интерпретации потенциальных полей, попытаемся раскрыть сущность этой методики. Факторный анализ представляет собой набор моделей и методов, предназначенных для сжатия информации, содержащейся в исходной матрице, из которой формируется матрица коэффициентов корреляции r_{ij} . Пирсон предложил эвристический метод сжатия большого массива информации с одновременным выделением максимальной дисперсии, а позднее Хотеллинг развил эту идею, создав метод главных компонент.

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jn}F_n \quad (1),$$

где каждый из наблюдаемых параметров линейно зависит от n некоррелированных между собой новых компонентов (факторов) F_1, F_2, \dots, F_n .

Поскольку элементами, используемыми в вычислениях, являются коэффициенты парной корреляции, то рассмотрим сущность этих коэффициентов. Известно, что произведение матрицы Z на транспонированную Z' равно произведению корреляционной матрицы R на скаляр N :

$$ZZ' = NR \quad (2)$$

Из этого следует: если m – ранг матрицы Z , то ранг матрицы $R = ZZ'$ равен также m . Иными словами, ранг корреляционной матрицы равен рангу матрицы наблюдаемых данных. Сформулировано более сильное утверждение относительно взаимосвязи между двумя матрицами (в том числе между матрицей вычисленных коэффициентов корреляции и факторной матрицей).

Теорема 1. Если Z есть $n \times N$ – матрица ранга m с действительными элементами, то $ZZ' = R$ является положительной полуопределенной симметрической матрицей Грама ранга m .

Таким образом, любое свойство параметров, связанное с рангом матрицы Z , может быть установлено и с помощью матрицы R . А n параметров могут быть выражены как линейные комбинации не менее чем m факторов, где m – ранг корреляционной матрицы параметров. Набор из n параметров можно анализировать в терминах общих факторов (тогда на главной диагонали матрицы R стоят единицы). В этом случае, как сказано выше, R есть матрица Грама, а факторное решение

$$z = A \cdot f \quad (3)$$

дается в терминах n общих факторов. Поскольку здесь A есть квадратная невырожденная матрица, то она имеет обратную матрицу. Поэтому искомые факторы определяются просто:

$$f = A^{-1} \cdot z \quad (4)$$

Это решение является точным и однозначным и не связано ни с какими «оценками».

Таким образом, если мы проводим разделение магнитного поля методом главных компонент, то получаем для этого случая единственное решение. Полученная в результате исследований магнитная модель земной коры представляет собой комбинацию контрастных по магнитным свойствам блоков земной коры переменного наклона (рис. 1). Среди этих блоков наибольший интерес представляет блок дунитов, обладающий наименьшей магнитной восприимчивостью χ и наибольшей остаточной намагниченностью I_n . Магнитное поле этого блока, выделенное методом факторного анализа, приведено на рис. 1. Существенно то, что особенности этого поля в суммарном магнитном поле практически незаметны. Направление намагниченности дунитов изменяется от субгоризонтального в верхней части разреза до современного в низах разреза. Это позволяет предположить, что западный блок пород был деформирован из субгоризонтального положения в вертикальное после формирования остаточной намагниченности [3]. Дуниты оторочены прослойкой пироксенитов, переходящих в габбро. Наиболее интересной с точки зрения тектоники является зона контакта пироксенитов и габбро, так называемый «горячий шов». Объектом настоящего изучения являются образцы горных пород полосы в несколько километров, включающей в себя «горячий шов». Предполагается, что породы деформировались в твердопластическом состоянии.

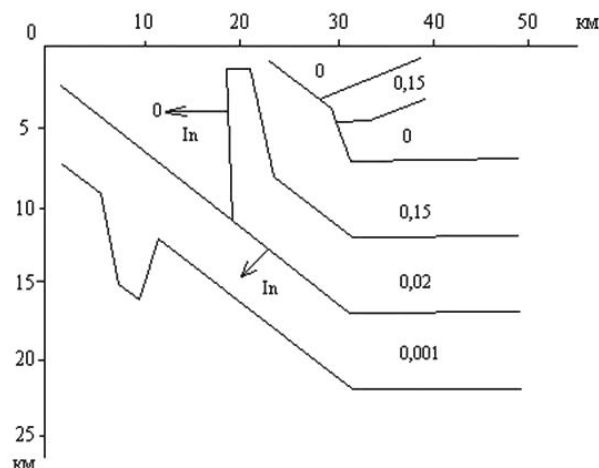


Рис.1. Магнитный разрез земной коры.

При деформировании пачки пород дунит-пироксенит-габбро (с математической точки зрения – два полупространства с пироксенитовым тонким слоем между ними) на контакте пироксенит-габбро, например, возникает уединенная волна (солитон гофрировки). Фронт этого солитона многократно перемещается вдоль границы пироксенит-габбро, т.е. в зоне современного «горячего шва». В этом случае развивается достаточно широкий участок пластического течения. Для протекания пластической деформации необходимо движение дислокаций. Рассмотрим процессы, приводящие к торможению дислокаций, а, следовательно, и к упрочению деформируемого материала. Наиболее полно такого рода исследования проведены на упорядоченных сплавах. Причиной деформационного упрочения является возрастание плотности дислокаций в деформируемом материале. Плотность дислокаций может быть определена различными прямыми и косвенными методами: прямыми электронномикроскопическими наблюдениями на тонких шлифах, измерением магнитных и магнитоакустических свойств (эффект Баркгаузена) горных пород в процессе деформации или при перемагничивании. Коэффициент упрочения $\theta = d\tau/d\alpha$ величина, используемая для характеристики интенсивности деформационного упрочения, может быть представлен в следующем виде [2]:

$$\theta = \frac{d\tau}{d\rho} \frac{d\rho}{d\alpha} \quad (5),$$

где τ – сопротивление движению дислокаций, ρ – плотность дислокаций, α – деформация. Для существующих теорий деформационного упрочения общим является использование соотношения между сопротивлением движению дислокаций τ и плотностью дислокаций ρ :

$$\tau = \alpha G b \rho^{1/2} \quad (6)$$

Заметим, что в магнетизме величина коэрцитивной силы H_c также пропорциональна $\rho^{1/2}$. Таким образом, величину упрочения исследуемого материала можно определять по изменению значения его коэрцитивной силы, если мы имеем дело с ферромагнетиком. Значение коэрцитивной силы определяется по максимуму магнитоакустической эмиссии в процессе перемагничивания образца. Увеличение сопротивления движению дислокаций в процессе деформации обусловлено совместным действием многих дислокационных механизмов. Суммарный результат в

случае механизмов, приводящих к появлению стопоров, сильно различающихся по прочности, может быть получен сложением τ_k , т.е.

$$\tau = \sum_k \tau_k = Gb\rho^{1/2} \sum_k \alpha_k \quad (7)$$

Таким образом, для процесса увеличения сопротивления движению дислокаций характерен принцип аддитивности сопротивления. Существование принципа аддитивности доказано и для магнитоакустического эффекта Баркгаузена. Следовательно, изменение величины упрочения исследуемого ферритмагнитного материала может фиксироваться появлением на кривой магнитоакустической эмиссии дополнительного экстремума, расположенного в области высоких перемагничивающих полей. Известно, что при наложении внешнего магнитного поля ферритмагнетик 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 скоплении дислокаций, то при обратном движении от x_2 до x_1 должно произойти такое же количество скачков обратного направления. Максимальному количеству скачков 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 моноэкстремальная кривая магнитоакустической эмиссии. Лишь для пород западного контактного блока (образец 25014, например) зарегистрировано бимодальное распределение магнитоакустической эмиссии. Следовательно, в матрице габбро под действием пластического деформирования прошли процессы упрочения горной породы. При пластическом течении одновременно с изменением коэрцитивной силы H_c уменьшается и индуктивная намагниченность горной породы χ . Таким образом, поскольку $H_c \sim \sqrt{\rho}$, то можно утверждать, что происходило упрочение массива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов В.И., Страхов В.Н. О применении факторного анализа в геологии // Геология и геофизика. 1985. № 8. С. 133-142.
2. Попов Л.Е., Конева Н.А., Терещенко И.В. Деформационное упрочение упорядоченных сплавов. М.: Металлургия, 1979. С. 5-22.
3. 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. 11-16.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ PT-CU-NI МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИНГАШСКОГО ТИПА

Радомская Т.А.

*Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: radomskajaojigova@rambler.ru*

PHYSICAL AND CHEMICAL ORIGIN CONDITIONS OF THE PT-CU-NI DEPOSITS OF KINGASH TYPE

Radomskaya T.A.

*Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia
e-mail: radomskajaojigova@rambler.ru*

Crystallization temperatures of the rocks of the Pt-Cu-Ni deposits of kingash type are estimated by of the single-pyroxene thermobarometers and the olivine-augite geothermometer and olivine-spinel