

А. А. ПРИЯТКИН

**РАЗВИТИЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА  
НА ОСНОВЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*(Представлено академиком А. В. Сидоренко 20 XI 1975)*

В основе классического петроструктурного анализа лежат рекомендации и приемы, разработанные Р. Болком, Э. Клоосом, Б. Зандером, Н. А. Елисеевым, Ф. Тернером, Л. Вейсом, А. Н. Казаковым и др. (<sup>1-6</sup>). Он производится с помощью наблюдений над макро- и микроскопическими структурными элементами, являющимися индикаторами текстурной неоднородности геологических тел. Такими структурными элементами на макроскопическом уровне являются вытянутые таблитчатые кристаллы, ксенолиты, миндалины, оси складок и др. На микроскопическом уровне в качестве структурных элементов используются линейные и плоскостные кристаллографические и кристаллооптические направления в кристаллах.

Однако классический структурный анализ не применим для внешне бесструктурных тел, особенно сложенных тонкозернистыми, стелловатыми породами, которые не пригодны также и для методов микроструктурного и динамического анализа. К сожалению, таких пород очень много. К ним относится большинство вулканитов, гидротермально измененных и осадочных пород, пород фаций низких ступеней метаморфизма и др. Но зачастую именно такие текстурно невыразительные образования вызывают повышенный интерес, поскольку чаще других являются рудолокализуемыми. Современное состояние знаний о физических свойствах минералов, методах их изучения (<sup>7, 8</sup>) и выпускаемая нашей промышленностью стандартная аппаратура позволяют подойти к петроструктурному анализу на качественно ином уровне.

С этих позиций горную породу предлагается рассматривать как состоящую из двух неотъемлемых составных частей — твердого минерального скелета и трещинно-порового пространства, которые подлежат одновременному комплексному исследованию.

Текстурная неоднородность породы и пространственная упорядоченность ее твердых составных частей может быть установлена путем последовательного «просвечивания» образца в разных направлениях ориентированными физическими полями — магнитным, электрическим, динамическим. С точки зрения поведения слагающих породу породообразующих минералов в приложенных физических полях они могут быть разделены на диэлектрики, проводники, полупроводники, пьезоэлектрики, ферромагнетики и т. д. и охарактеризованы соответствующими физическими параметрами (табл. 1).

Указанные в табл. 1 физические характеристики являются векторными параметрами и в элементарном объеме твердого вещества описываются индикатрисой, которая в зависимости от кристалло-химических особенностей этого вещества, имеет форму эллипсоида определенной конфигурации.

Для образцов горных пород, являющихся агрегатом элементарных объемов вещества, мы имеем дело с обобщенными эллипсоидами физических характеристик. Эти эллипсоиды и есть те новые структурные элементы, с помощью которых рекомендуется проводить петроструктурные исследования, особенно внешне изотропных геологических тел. Некоторые

Таблица 1

Векторные физические характеристики и методы, используемые для изучения анизотропии текстуры и трещинно-порового пространства в образцах горных пород

| Твердый минеральный скелет                                                                                                                             |                               |                                                                                                                                                                                  |                                          | Трещинно-поровое пространство                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Силикаты и алюмосиликаты                                                                                                                               |                               | Окислы железа и титана, сульфиды железа (реже др. рудные)                                                                                                                        |                                          | Удельное эффективное электрическое сопротивление водонасыщенных пород $\rho_{эфф}$ |
| Диэлектрики                                                                                                                                            | Пьезоэлектрики                | Ферромагнетики                                                                                                                                                                   | Диэлектрики и полупроводники             | Люминофорный метод анализа трещинно-порового пространства                          |
| Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$<br>Скорость упругих волн ( $V_p$ и $V_s$ )<br><br>Упругие характеристики (модуль Юнга, коэфф. Пуассона и др.) | Пьезоэлектрический модуль $n$ | Магнитная восприимчивость $\chi$<br><br>Остаточная намагниченность насыщения $J_{rs}$ (нормальная остаточная намагниченность $J_r$ )<br>Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ | Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ | Сопоставление скоростей упругих волн в сухих и водонасыщенных породах              |

из рекомендуемых физических характеристик, такие как  $\chi$  и  $\epsilon$ , уже ранее применялись для этой цели (<sup>9-11</sup>), однако исследования единичны и в них использован какой-либо один из этих двух параметров; одновременное изучение комплекса векторных физических характеристик всего минерального скелета породы и тем более трещинно-порового пространства не проводилось.

В петрофизической лаборатории кафедры петрографии Ленинградского университета разработана следующая методика. Из петроструктурно изучаемого геологического тела по сетке или профилям отбираются ориентированные образцы, из которых приготавливаются кубики размером 24 мм. Чтобы не потерять преимущества перед классическим структурным анализом, дающим возможность установления пространственной ориентации структурных элементов и проведения тем самым объемного изучения геологических тел, измерения физических характеристик производятся по разным направлениям изучаемого образца. При этом минимальное количество измеряемых направлений, необходимое для того, чтобы выявить форму эллипсоида физического свойства и его положения в пространстве, устанавливается с помощью тензорного анализа (<sup>12</sup>). Чем более высокого ранга тензор изучаемого физического свойства, тем больше измерений следует произвести в образце. Оно определяется из формулы:  $N=3^n$ , где  $N$  — число измерений,  $n$  — ранг тензора. Так, упругие характеристики описываются тензором IV ранга, пьезомодуль — III ранга, а магнитные свойства и диэлектрическая проницаемость — II ранга. Учитывая симметричность тензоров, а также максимально строгий выбор осей координат (ребер кубика) относительно текстурных элементов породы, количество измерений редко превышает 9, а зачастую можно ограничиться и тремя.

Кроме того, подход к петроструктурному анализу с позиции учения о структурных доменах требует соблюдения условий, чтобы размеры кубика не превышали размера домена. В этом случае симметрия текстуры пород, как правило, не ниже ромбической, что также позволяет ограничиться меньшим числом измерений.

Петроструктурные исследования на макроскопическом и микроскопическом уровнях образцов различных по текстурным особенностям и генезису пород с одновременным изучением комплекса их физических характеристик позволили установить закономерные связи формы и пространственной ориентировки эллипсоидов физических параметров со структурными элементами породы. Так, линейные текстуры описываются вытянутым вдоль линейности эллипсоидом вращения, плоскостные — сплюснутым, параллельно полосчатости, трахитоидности и др., эллипсоидом вращения, а линейно-плоскостные — трехосным эллипсоидом. В текстурно-изотропных породах эллипсоид физических характеристик — шар.

Выступающие в качестве структурных элементов эллипсоиды физических свойств в зависимости от формы наносятся на структурные карты обычными значками, принятыми для обозначения линейных и плоскостных тектур.

Таким образом, использование для петроструктурного анализа в качестве структурных элементов векторных физических параметров позволяет выявлять текстурную анизотропию во внешне изотропных геологических телах и решать задачи их объемного картирования и поисков в них полезных ископаемых. В то же время комплексное изучение анизотропии физических параметров полиминеральных горных пород дает возможность устанавливать вероятную пространственную разнонаправленность слагающих их минеральных фаз, решая тем самым вопрос об одновременности или разновременности их образования со всеми вытекающими отсюда петроструктурными, петрогенетическими и поисковыми выводами.

Особо следует подчеркнуть большое значение для петроструктурных целей ранее не использовавшихся в классическом структурном анализе рудных минералов, которые хотя бы в небольшом количестве почти всегда присутствуют в любых горных породах. Одновременное исследование трещинно-порового пространства в тех же образцах указанными в табл. 1 методами позволяет не только охарактеризовать его морфологию и устанавливать возрастные соотношения микротрещин различной генерации, но и выявлять направления, характеризующиеся максимальной проницаемостью для гидротермальных растворов.

Применение данной методики для петроструктурного анализа и поисков редкометалльных месторождений в девонских вулканических полях Бет-Пак-Далы показало ее эффективность<sup>(13)</sup>.

Ленинградский государственный университет  
им. А. А. Жданова

Поступило  
17 XI 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Р. Болл, Структурные особенности изверженных горных пород, М.—Л., Гос. изд-во геол. лит., 1946. <sup>2</sup> Э. Клоос, Вопросы структурной геологии, М., ИЛ, 1958. <sup>3</sup> B. Sander, Intern. Geol. Congress, 16-th, Washington, 1933, Rep. 2, Washington, 1936. <sup>4</sup> Н. А. Елисеев, Основы структурной петрологии, «Наука», 1967. <sup>5</sup> F. I. Turner, L. E. Weiss, Structural Analysis of Metamorphic Tectonites, N. Y., 1963. <sup>6</sup> А. Н. Казанов, Методическое руководство по динамическому анализу микроструктурных ориентировок карбонатов, Л., «Наука», 1967. <sup>7</sup> В. Н. Кобранова, Физические свойства горных пород, М., Гостоптехиздат, 1962. <sup>8</sup> Э. И. Пархоменко, Электрические свойства горных пород, М., «Наука», 1965. <sup>9</sup> Rao Narayana, Proc. Indian Acad. Sci., Ser. A, v. 28, № 1, 26 (1948). <sup>10</sup> J. W. Graham, Geol. Soc. Am. Bull., v. 65, 1257 (1964). <sup>11</sup> F. D. Stacey, Geofis. pura e appl., v. 48, 40 (1961). <sup>12</sup> Дж. Най, Физические свойства кристаллов, М., ИЛ., 1960. <sup>13</sup> А. А. Прияткин, Б. Н. Писакин, Сб. тез докл. Механика литосферы, Всесоюз. научно-техн. совещ., М., 1974, стр. 18.