



Национална конференция с международно участие „ГЕОНАУКИ 2021“  
National Conference with International Participation “GEOSCIENCES 2021”

Посвещава се на 90-годишнината  
на акад. Тодор Николов

## Metamorphism – the invisible life of the rocks

### Метаморфизъм – невидимият живот на скалите

*Evgenia Kozhoukharova*  
*Евгения Кожухарова*

E-mail: [ekozhoukharova@abv.bg](mailto:ekozhoukharova@abv.bg)

**Abstract.** Three types of metamorphism are developed on the metamorphic complexes of the Rhodope Massif: a, widespread regional; b, high thermobaric in shear zones of friction and c, metasomatism, each with its own thermodynamic system. Friction generates energy that deforms, disintegrates and destroys minerals, subsequently recrystallized into new rocks.

**Keywords:** metamorphism, energy, deformation, thermodynamics, Rhodope Massif.

#### Увод

Земната кора е жив организъм във вечно движение. Бавните нагъвателни и внезапните сеизмотектонски движения между скални блокове и пластовете по повърхнини на плъзгане и триене, генериращи огромно количество енергия, създават неповторима геодинамична картина. Енергията активира частиците на скалната материя, която реагира с деформация, дезинтеграция, стопяване и прекристализация. През продължителното предкамбрийско време се извършва трансформация на неорганичната материя – метаморфизъм и се формират метаморфни формации, които днес на ерозионната повърхност на кората илюстрират разнообразния и динамичен живот на скалите в миналото. Високометаморфните комплекси на Родопския масив са нагледен пример за проследяване на различните метаморфните изменения.

#### Главни типове метаморфни комплекси и метаморфни изменения

В Родопския масив се различават три типа метаморфни комплекси: а) континентални гранитогнайскови, б) офиолитови и в) пъстри формации,

върху които са наложени: а) регионален метаморфизъм, б) високотермобарични изменения и в) метасоматизъм.

#### Три типа скални формации

А. Гранитогнайсови комплекси – отломки от древни суперконтиненти, дрейфувачи по повърхността на планетата стотици милиони години, основа на континентите; монотонен петрографски състав; в Родопския масив – представени от Прародопската група.

Б. Офиолитови асоциации – създаването им бележи драматични моменти от живота на Земната кора: сблъсък, плъзгане и триене на плочи, поява на супрасубдукционни зони, обдукция на океански фрагменти върху континентите, магматизъм; хетерогенни по генезис – стари алохтонни и млади автохтонни формации, съчетани чрез насрещно движение на плочи.

В. Пъстри метаморфозирани вулканогенно-седиментни формации – хроника на палеогеографското и палеоисторическо развитие на Земната кора, чувствителни индикатори на условията на метаморфизъм, носители на метаморфогенни полезни изкопаеми.

### **Три типа метаморфизъм**

*А. Регионален метаморфизъм* – широкообхватен, покриващ огромни площи от земекорни участъци, където се поддържат дългоживущи процеси на веществена трансформация, контролирана от температурния градиент и литостатичното налягане; с хоризонтална изотропност и постепенно увеличаване на Т/Р параметрите в дълбочина, съпроводено от смяна на минералните видове в съответствие с изменящите се условия, илюстрирано във фациалната схема на Eskola (1920); процеси на кристализация – съществено изохимични при термодинамично равновесие в епохи на тектонско спокойствие.

*В. Високотермобаричен (ВТБ) метаморфизъм (еклогитизация)* – проявен при рязка, внезапна смяна на обстановката, предизвикана от сеизмотектонски движения на плъзгане и триене, произвеждащи кинетична енергия; локализиран в геотрибологични фрикционни зони, където протичат процеси на деформация, дезинтеграция и стопяване на скалната материя, при бързо повишаващи се температура и налягане; ВТБ метаморфизъм, за разлика от регионалния е локален, кратковременен, стартира с енергийно събитие; термодинамичното състояние е бързоизменящо се и неравновесно; геотрибологичните зони са коридори на енергийни потоци. ВТБ минерализации са установени в метаморфните комплекси в Южна България, образувани *in situ* в зони на срязване и пукнатини. Хипотетично се предполага, че този тип метаморфизъм се развива също и в субдукционни зони. Продукти на ВТБ минерализации са еклогити – красивите цветя на метаморфизма, гранатови лерцолити, фенгитови и кианитови шисти, калцифири.

*В. Метасоматизъм* – потоци от деривати на дълбочинни магми, проникващи като секущи и послойни пегматит-аплитови жили сред метаморфните скали и заместващи неравномерно и частично минералите им, привнасяйки Si, Al, K, Na; реакциите между контрастните по химизъм базит/ултрабазити с киселите пегматит-аплити създават спектър от хибридни скали: габроиди с коронарна, троктолитова, пегматоидна структура, анортитови амфиболити, корунд-сапфиринови минерализации и др. на фона на габроизация и диоритизация на офиолитите, тенденция към реставрация на средния диоритов състав на скалната материя, диференцирана при предхождащите седиментационни и магмени процеси.

### **Триенето – генератор на енергия и вълни, старт и енергиен импулс**

Феноменът триене е важен физичен фактор при метаморфизма. Той възниква при относителното

движение на две тела по контактна фрикционна повърхност, която се превръща в геотрибологична зона. Всяко триене – плъзгане, търкаляне и удар, генерира кинетична енергия и създава сеизмични вълни. Енергията активира градивните частици на материята, които увеличават амплитудата на трептене около равновесните си точки. Зареждането с енергия започва, когато към телата се приложи външна тангенциална сила (F), която провокира съпротивление (T). Тялото остава още известно време неподвижно (период на предварително триене), докато силата F преодолее съпротивлението T и изпълни условието  $F \geq T$ . Стартовият момент на движение на телата е внезапен „скок“, с мощен енергиен импулс на освобождаване на заредената енергия, с голяма въздействаща сила върху материята. В земната кора това е тектоносеизмично събитие.

### **Деформацията – визуализираната енергия**

Деформацията на скалите и минералите е неотменна част от метаморфизма, равностойна по значение на кристализацията. Тя е реакцията на скалната материя срещу енергийното въздействие, проявена в широка рангова скала от нанониво до трансконтинентални мащаби и представлява сложна зависимост между интензитета на енергийното въздействие, реологичните свойства на минералите и скалите и пространствените взаимоотношения между реагиращите тела. Енергийният импулс атакува градивните частици в кристалната структура, изкривява атомните редици, скъсва междуатомните връзки. След преминаването му атомите възстановяват равновесните си позиции и правилния ред, но някои от тях, не успели да се върнат по местата си, се превръщат в мигриращи атоми, оставяйки свободни ваканции, дислокации и вътрешни празнини. Тялото постепенно губи способността за еластична реакция и преминава последователно към пластична и разривна, а по-късно към дезинтеграция и стопяване.

### **Съпротивление, самоорганизация и самовъзстановяване**

Скалната материя на скалите и минералите притежава забележителни свойства на реакция при промяна на съществуващите условия, стараяйки се да намали негативното им въздействие, (принцип на Льо Шателие-Браун). Деформационните структури на метаморфизма са ярка илюстрация на различното поведение на минералите в условия на стрес. Едни от тях, фелдшпатите, бързо се разпадат, други се огъват и усукват, трети като

кварцът бягат от разрушителните места, като отделни молекулни групи и домени транслират зад някой голям порфиروبласт, където заслонени от налягането, изграждат „опашки“ от нови агрегати. Геройски се съпротивлява и гранатът, търкалян между микрослоеве, силно увреден в деформационна спираловидна структура, но запазил целостта и индивидуалността си. След привършване на тектонското събитие и спирание на доставката на външна кинетична енергия, скалната система се самоорганизира, освобождава се от излишната енергия, отдавайки я на околната среда и преминава към режим на самовъзстановяване. Атомите ремонтират кристалната решетка като запълват ваканциите и анихилират дислокациите, ултрамилонитният или стопен материал прекристализира в нови скали, споявайки тектонските рани в скалната плът. Не е ли това поведение на жив организъм, борещ се за запазване на вида и съществуването си?

### **Термодинамична характеристика на метаморфните изменения**

Всеки тип метаморфизъм създава своя термодинамична система: регионалният метаморфизъм – широкопространна, вътрешно равновесна, дълготрайна; високотермобаричният – малка по обем, потопена в първата, временна, с провокиран старт от външен енергиен импулс (сеизмотектонско събитие), етапно вътрешно развитие: в прогресивния етап приемане на енергия, с повишаване на температура, налягане, енталпия, ентропия, ендотермични реакции, тенденция към хаос; в кулминационния – изолирана система; в регресивния, след края на сеизмотектонското събитие – дисипация на енергия, спадане на температура, налягане, енталпия, ентропия, екзотермични реакции, кристализация. Двете термодинамични системи са конкуриращи се помежду си.

### **Изотропност и анизотропност на земната кора**

В периоди на тектонско спокойствие областите от кората, обхванати от регионален метамор-

физъм, се характеризират с хоризонтална изотропност и плавно изменение на температурата и налягането в дълбочина, което в ограничен участък може да се приеме за състояние на обща изотропност по отношение на Т/Р параметрите. В периоди на тектонска активност обаче създаването на множество геотриболожки зони с локална термодинамика нарушава равновесието и се установява състояние на обща анизотропност в разпределението на Т/Р параметрите. В тези случаи схемата на метаморфните фации на Ескола е неприложима.

### **Заклучение**

Преобразуването на скалите, наречено метаморфизъм в най-широк смисъл, е отражение на трансформацията и въздействието на въздъсщата и разнолика енергия върху скалната материя. То е сложна метахронна комбинация между деформация, прекристализация и веществена промяна. Очевидна е последователната енергийна връзка между сеизмотектонските и веществените петролого-минераложки процеси. Регионалният метаморфизъм е символ на величествената патриархалност и дълговечност на процесите, високотермобаричният – на революционната високоенергийна промяна, а метасоматизмът – на обновлението и подмладяването на земната кора. Метаморфизмът представя в най-пълна форма живота на неорганичната скална материя. Той, макар дълбоко скрит и невидим за нашите очи, е също както биологичния, богато разнообразен, динамичен и удивителен. Еволюцията на метаморфизма е периоди на термодинамична борба и конкуренция, бурни събития и дълги епохи на латаргично спокойствие. Той е отражение на закономерностите, общовалидни за неорганичната, биологичната и социална сфера на живота. И най-малката частица от материята следва заложените в нея върховни универсални закони на Великата Природа.

### **Литература References**

Eskola, P. 1920. The mineral facies of rocks. – *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 6, 143–194.