



## Eclogitization in crust condition on the example of the Rhodope massif

*Evgenia Kozhoukharova*

Geological Institute, Bulg. Acad. Sci., "Acad. G. Bonchev" str., bl. 24; E-mail: evgkozh@geology.bas.bg

**Key words:** eclogitization, P/T conditions, tectonological systems, Rhodope massif

**Abstract.** The most significant problem of eclogite origin is explaining the mechanism of a presumed subduction and the transport from great depths to the surface by exhumation. However, some authors show that the processes of exhumation are very controversial.

The P/T conditions of eclogite crystallization are commented here in the light of frictional processes of the tectonological systems. The temperature and pressure reach high values into the zones of friction because of the deformation, disintegration and rupture of crystal-chemical bonds of the material till

total transformation and recrystallization of the initial products is achieved.

Similar intralaminar frictions took place in some shear zones into the metamorphic rocks in the crust. Thanks to the deformation, temperature, and pressure increase an eclogite mineral association is formed.

The eclogites in the Rhodope massif are crustal products. They are displayed along local shear zones among amphibolites and serpentinites, which mark a stable stratigraphic level in the metamorphic basement, and they are not connected with subduction and exhumation.

## Еклогитизация в корови условия на примера на Родопския масив

*Евгения Кожухарова*

Еклогитите, индикатори за високобарична метаморфна прекристализация, остават най-загадъчните скали в метаморфните комплекси. Още от момента на тяхното откриване и дефиниране от П. Ескола през 1921 г., те са обект на незатихващи дискусии относно произхода им и по-точно относно мястото, където са се реализирали необходимите високи налягания и температури, както и механизма на транспортирането им в горните нива на кората.

Най-популярните до скоро хипотези за мястото на тяхното образуване са: а) субдукционни зони, в които потъващата под континента океанска кора на определени нива се дехидратизира и прекристализира; б) колизионни зони, където се заграбват фрагменти от мантията при дълбочинно навличане и удебеляване на кората.

Коментирайки слабостите на двете хипотези в чисто теоретичен аспект, Даусън и Карсуел

(Dawson and Carswell, 1989) доста обезкуражително заключават, че няма един единствен удовлетворителен модел за образуване на всички еклогити.

И при двата случая обаче, еклогитите се считат за екзотични продукти, образувани извън пределите на земната кора, на голяма, в много случаи мантийна дълбочина и привнесени по неясния механизъм на ексхумацията в по-горните нива на кората. Напоследък субдукционната хипотеза претърпя вариации — в субдукционния процес се въвлича континенталната кора, в резултат на сблъсък между два континента (Chopin, 2003). Съгласно този модел еклогитизацията се извършва в кората и еклогитите не са чужди тела. Но, както отбелязват някои автори (Chopin, 2003; Pilchin, 2005) „докато субдукцията е очевиден механизъм за отвеждане на супракоровите скали до мантийни дълбочини,

то процесът на ексхумация е много по-спорен“. Авторите обясняват по твърде сложен и поради това неубедителен начин механизма на обратния път т. е. ексхумацията, допускайки фрагментиране на субдуцираната плоча, частичното ѝ стопяване, загуба на части от нея и плаваемост. Въпросите стават още повече, когато в конкретни геоложки обстановки се оказва, че липсват преки следи от субдукционни или колизионни зони, а метаморфните скални комплекси са запазили сравнително ненарушена своята стратифицираност и във вътрешния им строеж доминират ясно очертани линейни синметаморфни гънки, а не дълбочинни навлаци. Самите еклогити там се намират в собствената си първична скална асоциация, развити в тесни, паралелни на метаморфната шистозност зони, (свидетелство за образуване на място), както е например в Родопския масив. Неправдоподобно е подобен комплекс да е преминал през унищожителната деформация на една субдукционна или колизионна зона и да се е изкачил отново на повърхността, запазвайки незасегнат пласторедът на литоложките единици и регионалните гънкови структури. Тогава от само себе си възниква въпросът: възможно ли е генерирането на високи налягания и температури само на отделни места в земната кора и образуване на еклогити на място, без да се прибегва до неубедителния механизъм на субдукционни или колизионни зони и ексхумация.

Преди да разгледаме конкретни примери за такъв тип еклогитизация ще обърнем внимание на няколко основни принципа от механиката, засягащи зоните на срязване и триене.

Доказано е, че при триенето на две тела възникват сложни фрикционни процеси на деформация, дезинтегриране и трансформация на материята, графично представени в зона на триене на Хедба и Чичинадзе (1989) (фиг. 1).

Интензивните процеси на еластични, пластични и крехки деформации довеждат в началото до създаване на дефекти в кристалната решетка на минералите, последвано от дезинтегрирането им до молекулярно и атомно ниво. Вследствие разкъсването на кристалохимичните връзки и ударите между движещите се частици (възпроизвеждащи на микро ниво ефектите на импакт-метаморфизма), нараства енергията в системата, повишава се няколкократно температурата, налягането, химическата активност и електронната хибридизация при компонентите, което води до създаване на нов реакционен продукт в т.нар. Зона на Бейлби. „Високата концентрация на енергия в неголеми повърхности при висока скорост на триене за кратко време може да доведе до температурен взрив и в течение на секунди или микросекунди температурата да достигне стотици и хиляди градуса“ (Хедба, Чичинадзе, 1989). Някои автори (Wintsch, 1985) от-

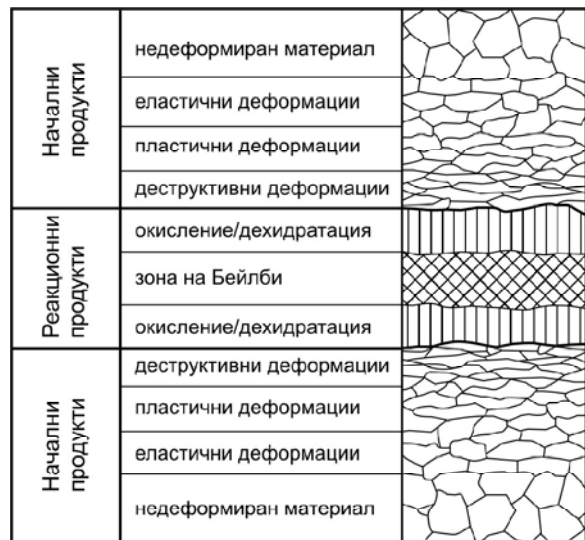
давна допускат, че при метаморфните реакции „в тесни (няколко сантиметрови) разривни зони, вследствие триенето, температурата може да се повиши до 1000°C, при което могат да се получат топилки и псевдотахилити“.

Експерименталните и теоретични изследвания на процесите в трибологичните системи (Хайнике, 1987; Хебда, Чичинадзе, 1989 и други) са доказали пряката зависимост между количеството на топлината, генерирана в зоните на триене и редица фактори, най-важни от които са: тежестта, скоростта и времето на триещите се пластини, неравномерността на движението, степента на неравност на повърхнината на триене, характерът на междумолекулярните и атомни връзки (и отгук степента на съпротивление), реологичните свойства на материята и редица други. Поради неравностите на повърхността на триене или резки промени в скоростта на движение на телата, на отделни места възниква „взрив“ на температурата и налягането. Различава се външно триене (по повърхността на съприкосновение между движещите се пластини) и вътрешно триене, като последното би могло да доведе до разслояване на материята на триещите се тела. Характерна черта на трибологичните системи е концентрирането на топлината и налягането в тесните рамки на зоната на триене и бързото спадане на температурата извън нея, както и бързото охлаждане и спадане на налягането в системата след спиране на движението.

В най-опростен вид зависимостта между температурата и някои основни фактори може да се представи в отношението:

$$Q = \mu Fgv \text{ (Хайнике, 1987)}$$

$Q$  — топлинна енергия;  $\mu$  — коефициент на триене;  $F$  — маса;  $g$  — ускорение на силата на тежестта;  $v$  — скорост на движещите се тела.



Фиг. 1. Зона на триене по Хедба и Чичинадзе (1989)

При еклогитизацията, особено когато тя се развива в серпентинитова среда, се изменя силно плътността на скалите. Реакцията на превръщане на серпентина — Mg-хидросиликат, с планарен тип структура и обемна кристална решетка, който се замества от еклогитовата парагенеза: оливин, ромбичен и моноклинен пироксен, гранат, рутил и шпинел (безводни силикатни и окисни фази, с аксиален и изометричен тип и значително по-плътна кристална решетка), води до отрицателен обемнен ефект, който се изчислява на 16–22%. А. Пилшин (Pilchin, 2005) извежда в уравнение зависимостите между обем (V), налягане (p) и температура (T):

където

$p_\varepsilon$  — налягане при еклогитизацията;  $p_0$  — литостатично налягане;

$\alpha$  — коефициент на термично разширяване;

$\beta$  — коефициент на компресионност;

$T_\varepsilon$  — температура на еклогитизация,  $T_0$  — фонова температура на скалния комплекс.

$$p_\varepsilon = p_0 + \frac{\alpha}{\beta}(T - T_0) - \frac{1}{\beta} \left( \frac{\Delta V}{V_0} \right),$$

$\Delta V = V_\varepsilon - V_0$ ;  $V_\varepsilon$  — обем на еклогитовата фаза и  $V_0$  — първоначален обем на субстрата.

От формулата става ясно, че повишаване на налягането в системата е в пряка зависимост от нарастването на реакционната температура, която от своя страна се намира в функционална зависимост от изброените по-горе фактори, както и от изменението на обемите на реагиращите среди.

Не е трудно да си представим, че при възникване на триене между земните пластове при тектонските движения в кората, е възможно в отделни зони за кратко време да се повиши температурата и налягането до степен необходима за еклогитовата кристализация, без скалният комплекс да се е спускал по субдукционни зони до мантийни дълбочини и след това да бъде издигнат на повърхността по спорния ексхумационен механизъм.

Приложим ли е този модел за еклогитизацията на базичните и ултрабазични скали в Родопския масив? Основните характеристики на еклогитите там са:

1. Постоянна стратиграфска привързаност към определени литоложки единици — амфиболити и серпентинити — съставни елементи от офиолитовата асоциация, която заема ниските стратиграфски хоризонти на пъстрите свити на Родопската надгрупа;

2. Структурна привързаност към литоложки контакти, най-често в тесни, дълбоко потънали гънкови структури и липса на привързаност към евентуални субдукционни или дълбочинни колизионни зони;

3. Развитие на отделни места в тънки интерламинарни пространства, много често в ивици,

паралелни на метаморфната шистозност, които се редуват с парагенези на амфиболитовия фациес, например в серпентинити, където се развиват ивици от гранатови лерцолити, алтерниращи с почти непроменени серпентинити (Кожухарова, 1998);

4. Термобарометричните определения на еклогитите в Родопския масив показват широки вариации на стойностите на температурата — от 450° до 850°C и налягане от 10–12 до 40–60 kbar, което свидетелства за локалния характер на еклогитовите P/T условия.

5. Метаморфният скален комплекс е запазил ясна стратифицираност на литоложките единици, в строежа му доминират линейни гънкови синметаморфни структури и това изключва преминаването на разкритата част на комплекса, където се срещат еклогитите, през субдукция или дълбочинна колизия, както предполагат някои автори (Колчева и др., 1984; Burg et al., 1990; Dobretsov, 1991; Mposkos, Kostopolous, 2001 и др.).

6. Регионалният метаморфизъм е в рамките на амфиболитовия фациес, чиято фонова температура не е превишавала 580–600°C, доказателство за което е запазването на голяма част от серпентинитите непроменена, а обратна следеклогитова серпентинизация (по време на предполагаема ексхумация) в метаморфен скален комплекс не е възможна;

7. Еклогитовите парагенези са хетерофациални и синхронни на вместиращите ги скали. Почти винаги при тях се установява разпадане на омфацията и заместването им от минерали на фоновия амфиболитов фациес, знак за бързата смяна на термодинамичните условия.

Посочените характеристики на еклогитите в Родопския масив показват, че те не са чужди, привнесени от другаде тела, а образувани на място в кората по зони, където е възможно при тектонските движения да възникнат процеси на триене и да се реализират условията, необходими за еклогитова кристализация. Същевременно, метаморфният скален комплекс е запазил нормалната си стратифицираност, вътрешен строеж и петрографска характеристика, които не показват данни да е бил въввлечен в субдукционни зони и метаморфозиран изцяло при високи температури и налягания, а след това да е ексхумиран и претърпял отново цялостна диафореза в амфиболитов фациес, като само еклогитите са останали като частично запазени реликти от високотемпературния метаморфизъм. Еклогитите са синхронни, но хетерофациални продукти, образувани в корови условия, но в зони на триене. Фоновият регионален метаморфизъм е бил в амфиболитов фациес като в зоните на триене са се реализирали повишени температури и налягания в широк диапазон, които на отделни места достигат стойностите дори на свръхвисокотемпературен метаморфизъм.

## Литература

- Кожухарова, Е. 1998. Еклогитизация на серпентинити в тънки зони на срязване от Авренската синклинала, Източни Родопи. — *Геохим., минерал. и петрол.*, 35, 29—46.
- Колчева, К., М. Желязкова-Панайотова, Н. Л. Добрецов, 1984. Фрагменты древней офиолитовой ассоциации в районе г. Ардино (Центральные Родопы, Болгария). — *ДАН*, 37, 2, 187—190.
- Хайника, Г. 1987. *Трибохимия*. Москва, Мир, 350 с.
- Хебда, М., А. В. Чичинадзе (Ред.). 1989. *Справочник по триботехнике. I Теоретические основы*. М., Машиностроение, 397 с.
- Chopin, C. 2003. Ultrahigh-pressure metamorphism: tracing continental crust into the mantle. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, 212, 1—14.
- Burg, J. P., Z. Ivanov, L. E. Ricou, D. Dimov, L. Klain, 1990. Implications of shear-sense criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodope Massif. — *Geology*, 18, 451—454.
- Dawson, J. B., D. A. Carswell. 1990. High temperature and ultra-high pressure eclogites. — In: Carswell, D. D. (Ed.). *Eclogite facies rocks*. Glasgow, Blackie and Son, 395 p.
- Dobretsov, N. L. 1991. Blueschists and Eclogites: a Possible Plate Tectonic Mechanism for their Emplacement from the Upper Mantle. — *Tectonophysics*, V, 186; 253—268.
- Mposkos, E., D. Kostopolous. 2001. Diamond, former coesite and supersilicic garnet in metasedimentary rocks from the Greek Rhodope: a new ultrahigh-pressure province established. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, 192, 497—506.
- Pilchin, A. 2005. The role of serpentinization in exhumation of high-to ultra- high-pressure metamorphic rocks. — *Earth Planet. Sci. Lett.*, 237, 815—828.
- Wintsch, R. P. 1985. The possible effects of deformation on chemical processes in metamorphic fault zones. — In: Thompson, A. B., D. C. Rubie (Ed.). *Metamorphic Reactions. Kinetics, Textures and Deformation*. New York, Springer, 251—268.