

С. С. ГОРОХОВ

**РЕСТАВРАЦИЯ ПЕРВИЧНОГО СОСТАВА ЭКЛОГИТОВ
УРАЛТАУ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ
(ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)**

(Представлено академиком А. В. Сидоренко 1 VII 1970)

Среди докембрийских образований осевой части антиклинория хр. Уралтау наибольшее распространение имеют кварциты, различные сланцы, филлиты, а также зеленые сланцы, мраморы и эклогиты. Эти породы образуют циклично построенный разрез, в составе которого автором выделены две серии: нижняя, максютовская, относимая к среднему рифею, и более молодая, суваянская, — к верхнему рифею ⁽¹⁾. Кварциты, сланцы, мраморы обнаруживают признаки типично осадочных пород глинистого, песчано-глинистого карбонатного состава. Первичная же природа эклогитов до последнего времени не ясна и является предметом дискуссий.

Эклогиты распространены в районах среднего течения р. Сакмары и приурочены преимущественно к нижним и средним горизонтам максютовской серии. В сложном слоистом разрезе метаморфизованных толщ они залегают в виде пластов, линз, будинированных тел мощностью от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Внешне эклогиты представляют собой породы зеленой, зеленовато-серой, синеватой окраски с крупными порфиробластами граната — альмандина. Основную ткань породы слагают омфациит и глаукофан, в подчиненном количестве присутствуют также рутил, сфен, эпидот, рибекит, хлорит, мусковит, карбонат, апатит. По преобладанию основных минералов можно выделить две разновидности эклогитов: омфациитовые и глаукофановые.

Минеральные ассоциации эклогитов отвечают эклогитовой фации прогрессивного метаморфизма, характеризующейся высоким гидростатическим давлением и высокой температурой. Затем эклогиты претерпели неоднократное изменение, связанное с определенными процессами ретроградного метаморфизма, в результате чего произошла глаукофанизация, амфиболитизация эклогитов, а на конечном этапе — их зеленокаменное перерождение ⁽¹⁻⁴⁾. Полиметаморфизм пород максютовской серии полностью уничтожил реликты первичных структур эклогитов; «опознать» прошлое этих пород удается лишь по ряду косвенных признаков.

Большинство исследователей, изучавших состав эклогитов хр. Уралтау, традиционно склонялись к выводу об их магматическом происхождении ⁽²⁻⁴⁾. Основанием тому, по их мнению, являются: сходство химического состава эклогитов с химическим составом пород габбро-базальтового ряда; специфичность парагенетических минеральных ассоциаций, отличающихся от парагенезисов вмещающих, заведомо осадочных толщ; высокая титаноносность, свойственная изверженным породам, и т. д. Между тем, в различных регионах как в нашей стране, так и за рубежом в последние годы установлены эклогиты с признаками типично осадочного происхождения. Так, эклогиты Казахстана и Тянь-Шаня, по данным И. Ф. Трусовой ⁽⁵⁾, И. Е. Медведевой ⁽⁶⁾, О. М. Розена ⁽⁷⁾, являются продуктами интенсивного метаморфизма глин и мергелей. Эклогитсодержащие гнейсы Восточных Судет рассматриваются К. Смуляковским ⁽⁸⁾ как продукты ме-

Таблица 1*

Компонент	Базальт (11) *	Диабаз (11)	Амфиболит (14)	Доломитистые глины (13)	Доломитовый мергель (12)	Эклогит Уралтау по 4 анализам
SiO ₂	49,87	51,45	50,3	49,70	50,87	48,86
TiO ₂	1,38	1,47	1,6	He опр.	0,75	3,66
Al ₂ O ₃	15,96	15,64	15,7	16,73	18,13	12,12
Fe ₂ O ₃	5,47	3,91	3,6	7,37	5,50	4,61
FeO	6,47	7,93	7,8	He опр.	1,86	10,36
MnO	0,31	0,20	0,2	0,07	0,08	0,11
MgO	6,27	5,90	7,0	9,84	4,03	7,50
CaO	9,01	9,11	9,5	12,16	12,48	9,23
Na ₂ O	3,16	3,13	2,9	1,11	2,15	3,12
K ₂ O	1,55	1,00	1,1	3,01	4,15	0,20
P ₂ O ₅	0,46	0,26	0,3	0,11	He опр.	0,23

* Состав (%) приведен к 100% без учета летучих соединений.

тасоматической гранитизации слюдистых гнейсов и парагнейсов. Ван-Вейнхеймер (9) доказывает на примере изучения геологии Мюнхбергского массива возможность образования эклогитов как за счет карбонатных пород на востоке массива, так и за счет ультрабазитов — на западе. На основании ряда геологических фактов к заключению о туфогенно-осадочном происхождении южно-уральских эклогитов пришла также А. Я. Архипенкова (10). Эволюция ретроградной перекристаллизации эклогитов хр. Уралтау происходила без заметного изменения валового химического состава и выражалась то в увеличении, то в уменьшении того или иного компонента без существенного привноса — выноса во все этапы их перекристаллизации. Это дает возможность искать среди неизмененных изверженных и осадочных пород разности, имеющие сходный с эклогитами химический состав. Сравнительный анализ различных пород показывает (табл. 1), что наиболее близкими по химизму к рассматриваемым эклогитам являются не только изверженные породы габбро-диабазового состава (11), но и типично осадочные образования, такие как доломитизированные глины и мергели (12, 13), а также амфиболиты (14). Простое сравнение валовых химических составов пород не дает, таким образом, однозначного ответа на поставленный вопрос. Однако к настоящему времени получен комплекс данных, свидетельствующих в пользу туфогенно-осадочного происхождения части эклогитовых тел хр. Уралтау. Установлено, что прослой и линзы эклогитов залегают согласно в слоистых метаморфизованных осадочных толщах, выдержаны по простиранию и, будучи деформированными совместно, повторяют складчатые структуры. Контакты между эклогитами и вмещающими породами резкие, без признаков каких-либо изменений.

Эклогиты близ д. Шубино содержат примесь графитового материала, столь характерного для всей слоисто-осадочной толщи максютовской серии. Графитсодержащие эклогиты в этих районах чередуются в разрезе с безграфитовыми массивными разностями и кварцито-сланцевыми породами с графитом (10). Региональное присутствие углеродсодержащих образований в докембрийских толщах, очевидно, связано с его органическим происхождением и свидетельствует об осадочном генезисе пород (15).

Некоторые эклогитовые тела обнаруживают полосчатое распределение новообразованных метаморфических минералов, параллельное контактам вмещающих пород и их слоистости. Подобная полосчатость связана с первично-слоистой концентрацией осадочного материала, сохранившейся и в процессе метаморфизма. Перечисленные признаки присущи образованиям осадочного типа. Если же учесть, что некоторые тела эклогитов подобными признаками не обладают, то можно сделать заключение, что при сходстве химического состава всех эклогитов часть их образовалась

за счет эффузивов типа диабазов или спилитов (массивные эклогиты), а другая часть — за счет туфов или туффитов тех же пород (полосчатые, графитсодержащие эклогиты).

Присутствие в составе вмещающих пород специфичных минералов эклогита — омфацита, граната, рутила и глаукофана, — по всей вероятности, обусловлено примесью к осадочным терригенно-глинистым образованиям вулканического материала, постоянно поступающего в процессе их формирования.

Очевидно, что термодинамическая обстановка метаморфизма, в которой происходила перекристаллизация осадочных толщ в кварциты и сланцы, а туфов и лав — в эклогиты, была одинакова, но различие в их исходном химическом составе определило образование ассоциации минералов, характерных для эклогитов, с одной стороны, и иной парагенезис для кварцитов и сланцев — с другой.

С целью установления термодинамических условий происхождения эклогитов нами были проведены эксперименты по их перекристаллизации при высоких давлениях и температурах. Опытам был подвергнут эклогит, отобранный близ д. Шубино. Он характеризуется следующим соотношением компонентов (%): SiO_2 45,88; TiO_2 3,90; Al_2O_3 14,28; Fe_2O_3 3,88; FeO 12,70; MnO 0,25; MgO 6,50; CaO 9,26; Na_2O 2,23; K_2O 0,26; H_2O^- 0,20; H_2O^+ 0,72; сумма 99,91 (аналитик Л. Сычкова, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР).

Экспериментальные работы проводились на установке, обеспечивающей создание давления до 50 кбар при одновременном разогреве образца до 2000° в присутствии воды (до 10%). Перекристаллизация осуществлялась как в твердой фазе при высоких давлениях и температурах, сходных с таковыми при процессах метаморфизма, так и путем полного расплавления образца с последующим медленным его остыванием, — это модель магматической перекристаллизации. Подробно техника и методика аналогичных экспериментов описана в работах (¹⁶, ¹⁷).

Проведенные опыты позволили установить кривую плавления эклогита и определить области устойчивости новообразованных минералов. Основными минералами, кристаллизующимися как из расплава, так и в твердой фазе, являются щелочной пироксен, титаномagnetит и гранат широп-альмандинового ряда. Богатый титаном клинопироксен, содержащий в своем составе эгириновую, жадеитовую и авгитовую молекулы, является преобладающим в количественном отношении минералом в продуктах перекристаллизации породы до 20 кбар включительно. При 20 кбар впервые появляется гранат, а с дальнейшим повышением давления его содержание неуклонно растет, что приводит к возникновению типично эклогитовой гранат-пироксеновой ассоциации.

Проведенные несколько ранее (¹⁸) исследования по перекристаллизации под давлением существенно альмандинового граната того же эклогита и установлению кривой его плавления показали, что гранат устойчив при давлении 15 кбар и выше и температурном интервале $900-1400^\circ$.

Учитывая эти данные, мы можем считать, что в процессе проведенных работ установлен нижний предел образования рассматриваемой эклогитовой ассоциации, лежащий в области 15—20 кбар и отвечающий нижней барической границе образования граната. То обстоятельство, что при давлении ниже 15 кбар в данных физико-химических условиях гранат не образуется, свидетельствует в пользу вывода о невозможности формирования изученных эклогитов ниже указанного давления.

Термодинамические условия перекристаллизации исходных образований эклогитов, а следовательно, и всех пород максютовской серии, установленные экспериментально, совпадают с параметрами перекристаллизации эклогитов по данным ряда исследователей (¹⁹, ²⁰). Опыты подтверждают выводы о том, что ассоциация минералов эклогитов может образоваться как магматогенным, так и метаморфогенным путем. Однако

магматические эклогиты отличаются повышенным магниальным составом, и образование их происходит при более высоких термодинамических параметрах ⁽¹⁶⁾.

По В. В. Белоусову ⁽²⁴⁾, давление 15 кбар соответствует глубине формирования породы в 50 км. Метаморфизм отложений максютовской серии происходил явно на меньших глубинах, так как максимально вероятная суммарная мощность пород, перекрывающих в геологическом прошлом рассматриваемый комплекс, не превышала 30 км. Гидростатическое давление на таких глубинах составляет около 8 кбар. Надо полагать, что образование метаморфических эклогитов хр. Уралтау было связано с интенсивными тектоническими движениями, сопровождающимися повышением локального давления и температуры, обусловившим сложную перекристаллизацию пород, дислоцированность и образование структуры — будинаж и т. д.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт синтеза минерального сырья
Александров

Поступило
27 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. С. Горохов, Тр. Геол. инст. АН СССР, в. 124 (1964). ² Б. В. Чесноков, Изв. высш. учебн. завед., Геол. и разв., № 4 (1959). ³ В. И. Ленных, Путеводитель экскурсии по южной части хр. Урал-Тау на Южном Урале, 1961. ⁴ А. П. Казак, В сборн. Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала, 3, Свердловск, 1963. ⁵ И. Ф. Трусова, Сов. геол., № 51 (1956). ⁶ И. Е. Медведева, Изв. высш. учебн. завед., Геол. и развед., № 11 (1960). ⁷ О. М. Розен, ДАН, 186, № 3 (1969). ⁸ K. Smulikowski, Bull. Soc. Geol. France, 5, № 5 (1963). ⁹ P. Hahn-Weinheimer, Geol. Rundschau, 49, H. 1 (1960). ¹⁰ А. Я. Архипенкова, Петрография и некоторые вопросы генезиса эклогитов д. Шубино (Ю. Урал), Автореф. кандидатской диссертации, М., 1962. ¹¹ R. Daly, Igneous Rocks and the Depths of the Earth, N. Y., 1933. ¹² А. В. Сидоренко, ДАН, 182, № 4 (1968). ¹³ А. И. Перельман, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрограф., минерал. и геохим., в. 28 (1959). ¹⁴ D. Ekkelman, A. Polderwaart, Bull. Geol. Soc. Am., 68, № 10 (1957). ¹⁵ А. В. Сидоренко, Св. А. Сидоренко, ДАН, 192, № 1 (1970). ¹⁶ С. С. Горохов и др., Матер. IV Всесоюзн. петрографич. совещ., Баку, 1969. ¹⁷ А. Г. Давыдченко и др., Геология и геофизика, № 1 (1970). ¹⁸ С. С. Горохов, Е. Е. Лисицына, В кн. Проблемы метаморфического рудообразования. Тез. докл., Киев, 1969. ¹⁹ Г. С. Иодер, К. Э. Тилли, Происхождение базальтовых магм, М., 1965. ²⁰ Д. Х. Грин, А. Э. Рингвуд и др., Петрология верхней мантии, М., 1968. ²¹ В. В. Белоусов, Земная кора и верхняя мантия материков, «Наука», 1966.