

УДК 552.1+552.4:551.2

ПЕТРОГРАФИЯ

А. Б. БАКИРОВ, Н. Л. ДОБРЕЦОВ, Ю. Г. ЛАВРЕНТЬЕВ, Л. В. УСОВА  
**ЭКЛОГИТЫ АТБАШИНСКОГО ХРЕБТА, ТЯНЬ-ШАНЬ**

(Представлено академиком В. С. Соболевым 30 X 1972)

Атбашинская свита метаморфических пород обнажается в Южном Тянь-Шане в виде узкого (7–12 км) тектонического клина среди силурийских отложений вдоль Атбashi-Иныльчекского глубинного разлома (см. рис. 1). Возраст свиты и главного этапа метаморфизма, по мнению большинства исследователей (<sup>1–3</sup>, <sup>7</sup>), докембрийский, что подтверждается значениями абсолютного возраста (1100 и 567 млн лет по определению Л. В. Фирсова). Среди метаморфических пород наибольший интерес представляют глаукофановые сланцы и эклогиты, как показатель особого метаморфизма при высоких давлениях, однако их состав и минералогия практически не изучены.

Глаукофановые сланцы и эклогиты, как видно из рис. 1, распространены преимущественно в юго-западной части блока атбашинской свиты, где глаукофановые амфиболы промежуточного состава отмечены Т. А. Додоновой и среди туфосланцев силурийского обрамления. В северо-восточной части обнаружены более редкие находки гранат-глаукофановых пород, представляющих собой диафториты по эклогитам <sup>(1)</sup>. Диафторез, харак-

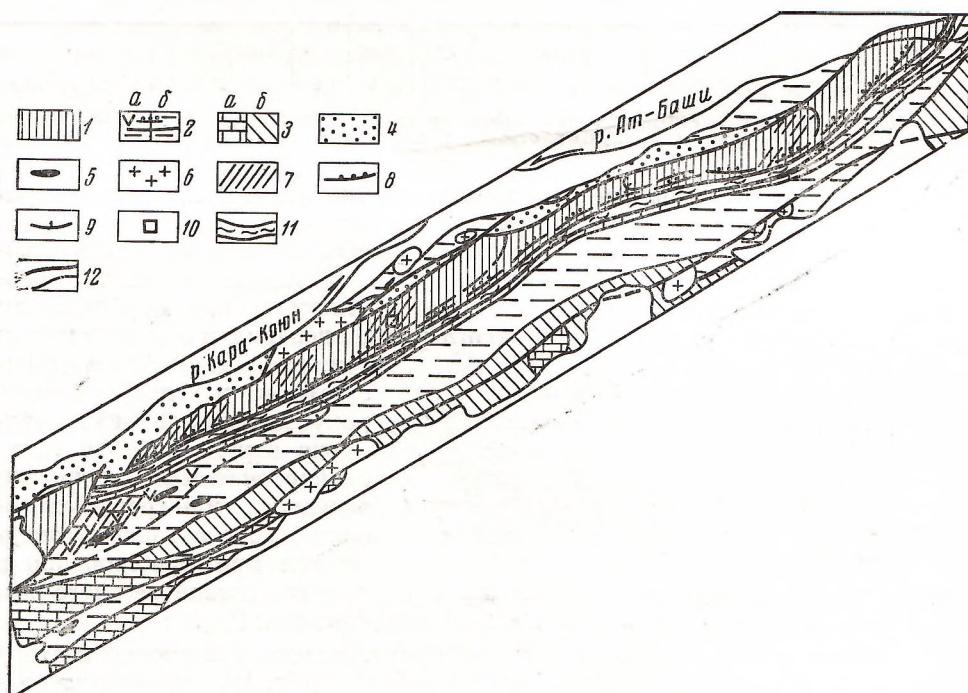


Рис. 1. Геологическое строение и метаморфическая зональность в Атбашинском хребте (по А. Бакирову и Н. Л. Добрецову с привлечением данных других исследователей). 1 – атбашинская свита ( $Pt_1?$ ); 2 – силурийские отложения: а – вулканогенно-сланцевые, б – карбонатно-сланцевые; 3 – девонские отложения: а – карбонатные, б – сланцевые; 4 – верхнепалеозойские неметаморфизованные отложения; 5 – габбро-диабазы и гипербазиты; 6 – гранитоиды  $Rz$ ; 7 – участки развития глаукофана; 8, 9 – границы распространения граната (8) и амфиболя (9); 10 – эклогиты; 11 – диафториты и милониты; 12 – разломы

Компо-ненты	Обр. № 71-3						Обр. № 71-6								
	Мп	Гр <sub>1</sub>	Гр <sub>2</sub>	Гр <sub>3</sub>	Сл	Гл	Сл <sub>1</sub>	Гр <sub>1</sub>	Мп <sub>1</sub>	Гл <sub>2</sub>	Мп <sub>3</sub>	Мп <sub>4</sub>	Гр <sub>4</sub>	Мп <sub>5</sub>	Гр <sub>5</sub>
SiO <sub>2</sub>	56,8	39,6	39,3	38,7	50,9	58,85	53,5	39,5	57,2	59,0	56,6	56,8	39,1	56,3	39,1
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,12	0,09	0,09	0,21	0,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,4	21,8	21,2	21,5	25,6	11,5	24,8	21,6	11,6	11,9	11,8	11,9	20,9	12,4	21,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7	—	—	—	1,34	—	1,33	—	4,4	—	—	—	—	2,0	—
FeO	1,8	22,5	26,7	24,2	—	6,1	—	27,0	3,87	6,13	5,3	4,36	26,5	4,0	25,6
MnO	0,1	0,66	0,82	1,53	0,1	—	—	0,28	0,01	0,02	0,01	0,02	0,28	0,02	0,45
MgO	7,31	5,90	4,61	4,22	3,96	12,2	3,56	4,44	4,81	11,6	7,63	7,07	3,77	5,47	5,07
CaO	11,7	9,03	7,00	10,5	0,07	0,78	—	8,71	9,41	1,23	13,6	12,6	10,05	10,3	8,04
Na <sub>2</sub> O	8,17	0,00	—	—	0,33	7,35	0,45	—	8,83	6,55	6,92	7,17	—	8,36	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	11,1	0,05	11,2	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> теор	—	—	—	—	(5,0)	(2,0)	(4,5)	—	—	(2,0)	—	—	—	—	—
Сумма	99,03	99,61	99,72	100,74	98,61	98,90	99,34	101,53	100,13	99,45	101,86	99,92	100,60	98,85	100,16
Si (+Ti)	2,02	3,05	3,07	3,01	3,44	7,91	3,56	3,03	2,03	8,03	1,99	1,01	3,04	2,01	3,03
Al	0,49	1,99	1,96	1,97	2,04	2,00	1,95	1,97	0,49	1,92	0,49	0,50	1,92	0,53	2,00
Fe <sup>2+</sup>	0,05	—	—	—	0,07	—	0,07	—	0,12	—	—	—	—	0,06	—
Fe <sup>2+</sup>	0,66	1,45	1,75	1,57	—	0,69	—	1,74	0,11	0,70	0,16	0,13	1,72	0,12	1,66
Mn	—	0,04	0,06	0,10	—	—	—	0,02	—	—	—	—	0,02	—	0,03
Mg	0,39	0,68	0,54	0,49	0,40	2,44	0,35	0,51	0,26	2,36	0,40	0,37	0,44	0,29	0,58
Ca	0,45	0,75	0,59	0,87	0,01	0,11	—	0,72	0,36	0,19	0,51	0,48	0,84	0,40	0,68
Na	0,56	—	—	—	0,05	1,91	0,07	—	0,61	1,73	0,48	0,50	—	0,58	—
K	—	—	—	—	0,96	—	0,95	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	4,02	7,96	7,97	8,01	6,97	14,96	6,95	7,99	3,98	14,93	4,03	3,99	7,98	3,99	7,98
F	22,0	68,7	77,0	77,1	15,0	22,1	16,7	77,6	46,4	22,5	28,6	26,0	79,8	29,3	73,6

П р и м е ч а н и е. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в Мп и Гл определено по разности Na — Al. Звездочкой отмечены слои на рис. 2, в остальных случаях отражают последовательность образования минералов

терный для свиты, проявляется в замещении биотита и альмандина хлоритом, глаукофана — винчитом, хлоритом, альбитом, а винчита и актинолита, в свою очередь, — хлоритом и кальцитом. Наиболее распространена ассоциация Ab+Хл+Цоиз ( $\pm$ Эп)+Сл+Ка+Кв\*. Альмандин (и биотит) распространены только в атбашинской свите и исчезают при приближении к зонам крупных разломов, вторичного рассланцевания и милонитизации (см. рис. 1). Амфиболы присутствуют и в породах силура; «изограда» амфибала примерно параллельна контакту с карбонатными толщами; кальциевые и натрово-кальциевые амфиболы карбонатизируются при приближении к ним вследствие местного возрастания  $P_{CO_2}$ .



Рис. 2. Зарисовка полосчатого образца эклогита (№ 75-6). Объяснения см. в табл. 1 и в тексте

Нами детально изучены при помощи рентгеновского микроанализатора составы минералов из эклогитов на р. Кембель (табл. 1). Эти эклогиты залегают в виде линзовидных тел мощностью до 10 м среди глаукофановых и других сланцев. Анализированы 3 образца из одного тела эклогитов.

Обр. № 71-3 — массивный эклогит, с идиоморфным гранатом и мелко-

\* Принятые нами сокращения минералов: Ab — альбит, Amf — амфибол, Gem — гематит, Гл — глаукофан, Гр — гранат, Ка — кальцит, Kv — кварц, Мп — пироксен (омфацит), Сл — слюда белая, Хл — хлорит, Эп — эпидот.

Таблица 1

Атбашинского хребта (%)

Обр. № 71—9					Обр. № 294е					Обр. № 305а		
Мп <sub>1</sub>	Мп <sub>2</sub>	Гл <sub>1</sub>	Гл <sub>2</sub>	кайма Амф <sub>3</sub>	Хл	Гр *	Гл <sub>1</sub> *	Гл <sub>2</sub> *	Амф <sub>4</sub> *	Гр	Амф <sub>1</sub>	Амф <sub>2</sub>
55,4	54,4	59,3	59,2	(53,8)	30,4	38,8	55,1	55,3	53,5	—	55,6	55,1
0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,04	0,0	0,03	0,08	0,05	—	0,13	0,06
10,3	9,03	10,6	11,3	3,3	11,3	20,4	8,7	6,9	5,4	—	4,0	2,1
1,9	5,0	1,2	—	1,6	—	—	5,0	5,0	4,9	—	—	—
2,0	1,53	5,25	5,61	7,10	12,7	23,0	11,8	12,9	13,7	26,9	11,8	18,2
0,04	0,06	0,03	0,03	0,05	0,06	4,5	0,13	0,37	0,5	1,0	0,35	0,4
8,6	8,78	13,1	13,85	19,1	27,6	1,2	9,8	9,8	10,5	2,5	15,0	10,2
13,7	12,8	6,60	1,13	10,2	—	11,2	1,1	2,5	4,5	9,2	10,1	10,8
6,81	7,42	7,10	6,80	2,51	—	0,03	7,2	6,1	5,2	—	1,5	1,0
0,00	—	0,06	0,07	0,20	0,05	—	—	—	—	—	—	—
—	—	(2,0)	(2,0)	(2,0)	(16,0)	—	(2,0)	(2,0)	(2,0)	—	(2,0)	(2,0)

98,85	99,12	99,33	100,08	99,96	98,15	99,10	100,36	100,95	100,25	—	100,48	99,86
2,00	1,97	8,02	7,99	(7,60)	3,20	3,09	7,85	7,83	7,71	—	7,98	8,05
0,44	0,39	1,69	1,79	0,54	1,41	1,92	1,45	1,16	0,92	—	0,66	0,37
0,05	0,14	0,42	—	0,17	—	—	0,53	0,54	0,55	—	—	—
0,06	0,05	0,58	0,62	0,84	1,12	1,53	1,39	1,51	1,61	1,78	1,40	2,22
—	—	—	—	0,01	0,01	0,30	0,01	0,03	0,04	0,07	0,04	0,05
0,47	0,47	2,63	2,76	4,01	4,34	0,15	1,93	2,06	2,25	0,31	3,15	2,22
0,52	0,49	0,69	0,16	1,54	—	0,96	0,17	0,38	0,69	0,78	1,54	1,70
0,48	0,52	1,83	1,78	0,68	—	—	1,98	1,67	1,45	—	0,42	0,28
—	—	0,01	0,01	0,03	—	—	—	—	—	—	—	—

4,02	4,03	14,97	15,11	15,42	10,08	7,95	15,34	15,18	15,32	—	15,28	14,80
19,5	28,9	21,0	18,1	20,4	20,7	92,4	50,4	48,12	49,9	86,2	31,4	52,0

случаи, где даны средние из 2 анализов. Цифровые индексы в обр. № 71—6 соответствуют про-  
(зон).

зернистым омфацитом с небольшим количеством глаукофана и участками, неравномерно обогащенными кварцем и слюдой. Гр<sub>1</sub> — отдельное зерно в участке с небольшим количеством кварца и слюды; Гр<sub>2</sub> и Гр<sub>3</sub> — центр и кайма зонального граната в участке, обогащенном кварцем и слюдой.

Обр. № 71—6 — полосчатый окварцеванный эклогит. На рис. 2 белое — это агрегат кварца и альбита с примесью слюды; заштрихованные прослои: 1 — Мп+Гр (крупный, но редко) + Сл+Гл+Гем, 2 — линзочки и прослон Гл±Мп, 3 — линзочки Мп, 4 — Мп+Гр (мелкозернистый) ± Кв, Аб, 5 — Мп+Гр (мелкозернистый), 6 — мономинеральный Кв.

Во всех прослоях, как и в обр. № 71—6, присутствует рутил, замещенный сфеоном, и небольшое количество вторичных хлорита и карбоната.

Обр. № 71—9 — линза почти мономинерального глаукофана с небольшим количеством Мп, сходная с прослоем 2 в обр. № 71—6. В глаукофане присутствуют включения Ка (с 0,3% MnO) и жилки Аб+Хл (± Ка), на контакте с которыми появляется кайма игольчатого Амф (винчита) в срастании с Аб. Для сравнения в табл. 1 приведены анализы минералов из гранат-глаукофан-карбонатного сланца — обр. № 294е (Гл+Винч+Ка+Аб+Гр+Хл+Кв) и диафторитов по эклогитам — обр. № 305а (², ⁴).

Гранаты в полосчатом обр. № 71—6 колеблются по составу в тех же пределах, что и в обр. № 71—3. Гр<sub>1</sub> из № 71—3 и Гр<sub>2</sub> из № 71—6, по-видимому, наиболее близки к «первичным» минералам эклогитов и содержат 20—23% пиропа, 23—25 гроссуляра, 50—55 альмандин, 1 спессартина, F=68,7—74%. Гр<sub>1</sub> (№ 71—6) и Гр<sub>2</sub> (№ 71—3), Гр<sub>4</sub> (№ 71—6) и Гр<sub>3</sub> (№ 71—3) попарно сходны (за исключением содержания MnO). В обоих случаях при диафторите возрастает железистость граната до 77—80% (15—18% пиропа), со-

держание же CaO и MnO меняется по-разному. В первой паре количество CaO убывает, а во второй возрастает. В Гр<sub>3</sub> (№ 71—3) заметно возрастает и MnO. В гранатах из диафторитов и сланцев без пироксена достигаются наиболее низкие содержания MgO (1,2—2,5%) и высокие содержания MnO и CaO (№ 294в и 305а в табл. 1; см. также табл. 5 в <sup>(2)</sup>). В гранатах из эклогитов характерно повышенное содержание Si ( $3,04 \pm 0,02$ ), компенсирующего нехватку Al ( $1,96 \pm 0,03$ ).

Собственно эклогитовые омфациты с гранатом (Мп из обр. № 71—3, Мп<sub>4</sub> и Мп<sub>5</sub> из № 71—6) имеют почти постоянные содержания жадеита (49—53%) и переменные соотношения Са-компоненты (40—48%) и эгирина (0—12%) при пониженной в целом кальциевости. Омфациты без граната (Мп<sub>3</sub> в обр. № 71—6 и Мп<sub>1—2</sub> в № 71—9) содержат больше кальциевого компонента (49—52%) и переменное соотношение жадеита (49—39%) и эгирина (0—14%).

Все проанализированные в эклогитах глаукофаны и слюды практически одинаковы, лишь Гл<sub>1—2</sub> (№ 71—9) несколько более магнезиален. Винчит, сосуществующий с Гл<sub>2</sub> в обр. № 71—9, содержит 69% Са-компонента, т. е. разрыв смесимости составляет 69—16=53% Са-компонента. В отличие от этого, в карбонатно-глаукофановом сланце (№ 294е) амфиболы значительно более железистые, и разрыв смесимости между кросситом Гл<sub>4</sub> и Амф<sub>5</sub> (типа барруазита) всего 30% Са-компонента (см. табл. 1 и <sup>(4)</sup>).

Сосуществующие гранаты и амфиболы по диаграмме Л. Л. Перчука <sup>(3)</sup> соответствуют температурам: в обр. № 71—3 Гр<sub>1</sub> — Гл 505°, Гр<sub>3</sub> — Гл 405°; в № 71—6 Гр<sub>1</sub> — Гл<sub>2</sub> 420°; в № 294в Гр — Гл<sub>1</sub> 400°, Гр — Амф<sub>4</sub> 390°; в № 305а 400 и 510°. Пары Мп — Гл по диаграмме для эклогитовых пород и глаукофановых сланцев <sup>(8)</sup> соответствуют: в обр. № 71—3 570°; в № 71—6 Гл<sub>2</sub> — Мп<sub>3</sub> 520°; в № 71—9 Гл<sub>1</sub> — Мп<sub>1</sub> 600°, Гл<sub>2</sub> — Мп<sub>2</sub> 480°, Амф<sub>3</sub> — Мп<sub>2</sub> 490°. Разброс от 390 до 600° определяется как диафторезом пород, так и неточностями диаграмм Л. Л. Перчука. Значения температур 505—600° (в среднем 540°) отражают этап ранней амфибилизации эклогитов и примерно соответствуют температуре формирования всей толщи; 390—490° (в среднем 430°) — этап зеленосланцевого диафтореза. Коэффициент распределения Mg и Fe между гранатами и пироксенами составляет 0,28 (Мп<sub>4</sub> — Гр<sub>1</sub> в обр. № 71—6) или 0,13—0,14 (Гр<sub>1</sub> — Мп в № 71—3 и Гр<sub>5</sub> — Мп<sub>5</sub> в № 71—6). При  $T_{cp}=540^\circ$  это соответствует, согласно <sup>(8)</sup>, давлению 14 и 10 кбар. Наиболее низкие  $K_D=-0,08-0,09$  при  $T=430^\circ$  соответствуют также 9—10 кбар. В этих же пределах мы оценивали ранее на основании минеральных парагенезисов  $P-T$ -условия образования метаморфических пород атбашинской свиты (см. <sup>(2)</sup>, рис. 11):  $T=450-570^\circ$ ,  $P=10-12$  кбар.

Таким образом, в одном теле эклогитов и даже в пределах одного образца 3×7 см (№№ 71—3; 71—6) обнаруживаются существенные колебания состава гранатов и пироксенов, что обусловлено главным образом наложением нескольких этапов диафтореза. В то же время, в каждый этап устанавливается примерное равновесие, что отражается в закономерном изменении состава сосуществующих минералов. Эклогиты Атбашинского хребта сходны с эклогитами Макбальского купола на Северном Тянь-Шане, но еще ближе они к эклогитам максютовского комплекса на Южном Урале <sup>(5)</sup>.

Институт геологии  
Академии наук КиргССР  
Фрунзе

Поступило  
13 VII 1972

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. Бакиров, В. кн. Вопросы стратиграфии докембрия и нижнего палеозоя Киргизии, Фрунзе, 1964. <sup>2</sup> А. Бакиров, Н. Л. Добрецов, Метаморфические комплексы восточной части Средней Азии, Фрунзе, 1972. <sup>3</sup> Л. Н. Белькова, В. Н. Огнев, Вестн. Ленингр. унив., сер. геол. и геогр., в. 2, № 12 (1966). <sup>4</sup> Н. Л. Добрецов, Е. А. Костюк и др., ДАН, т. 199, № 3 (1971). <sup>5</sup> Н. Л. Добрецов, Ю. Г. Лаврентьев и др., Геология и геофизика, № 10 (1971). <sup>6</sup> В. Г. Королев, В. кн. Материалы по геологии Тянь-Шаня, в. 3, Фрунзе, 1962. <sup>7</sup> Л. Л. Перчук, Равновесия породообразующих минералов, «Наука», 1970.