

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

Препринт № 7

В.Б. Василенко, Л.Г. Кузнецова,
Н.А. Чернецкая

**ПЕТРОХИМИЯ МЕТАБАЗИТОВ
ГЛАУКОФАНСЛАНЦЕВЫХ
КОМПЛЕКСОВ
И ПРОБЛЕМЫ ИХ
МЕТАМОРФИЧЕСКОЙ
ЗОНАЛЬНОСТИ**

НОВОСИБИРСК 1988

Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Чернецкая Н.А.

Петрохимия метабазитов глаукофансланцевых комплексов и проблемы их метаморфической зональности. — Новосибирск, 1988. — 19 с. (Препр./ Институт геологии и геофизики СО АН СССР; № 7)

Проведено петрохимическое изучение обширного фактического материала путем сравнения средних значений породообразующих окислов для групп метабазитов глаукофансланцевых комплексов разных степеней метаморфизма, выделенных с помощью динамического кластерного анализа. Сделан вывод о том, что метаморфическая зональность — продукт как изохимического метаморфизма пород в условиях разных давлений, так и первичной вещественной неоднородности их состава при постоянном давлении.

Работа представляет интерес для геологов, занимающихся петрохимией метаморфических пород.

На примере глаукофансланцевого метаморфизма особенно выпукло выглядит основная проблема выделения метаморфической зональности: иллюстрация изменения термодинамических параметров метаморфизма сменой минеральных парагенезисов в условиях первичной вещественной неоднородности пород и метасоматического привноса щелочей.

Некоторая особенность петрологии глаукофановых сланцев состоит в вынесении на первый план дилеммы: изохимический метаморфизм в условиях разных давлений или региональный метасоматоз, нивелирующий по давлению все парагенезисы глаукофановых сланцев. Первичная однородность субстрата для разных зон принимается как сама собой разумеющаяся, а во втором случае — как не имеющая значения для возникновения зональности, отличающейся в этой модели возрастанием содержания натрия в наиболее глаукофанизированных зонах.

По Н.Л.Добрецову [3], метаморфизм глаукофансланцевых комплексов проходил в условиях отсутствия регионального привноса щелочей из мантийных источников, изохимически. Метаморфическая зональность возникла при направленном изменении высоких давлений и относительном постоянстве температур, типичных для зеленосланцевой фации. В глаукофансланцевых зональных комплексах от высоко- к низкобарическим Н.Л.Добрецовым выделяются глаукофансланцевая (характерен парагенезис глаукофана с лавсонитом), промежуточная (наличие либо лавсонита, либо щелочных амфиболов: глаукофана, кроссита, винчита и эгирин-жадеитового пироксена — хлоромеланита) и зеленосланцевая зоны.

При элиминировании фактора вещественной протометаморфической неоднородности субстрата основная дилемма массопереноса при глаукофансланцевом метаморфизме (изохимический метаморфизм или метасоматоз) может быть решена при эмпирической проверке изменения состава пород по зонам в зональных комплексах. При отсутствии петрохимических трендов гипотеза о метасоматозе отвергается, а при их наличии дилемма не решается, так как по Н.Л.Добрецову [3], сам факт наличия высоких давлений не отрицает возможность проявления хотя и незначительного, но, тем не менее, локального щелочного метасоматоза.

К решению дилеммы массопереноса при глаукофансланцевом метаморфизме в данном аспекте мы уже не раз обращались [2, 8, 10]

и после подобного же изучения нового фактографического материала [9] можем подвести некоторые итоги.

Прежде всего заметим, что для большей уверенности в действительной элиминации фактора первичной вещественной неоднородности субстрата изучению подверглись только метабазиты, то есть породы с содержанием SiO_2 от 38 до 55 вес. %. Все изученные нами глаукофансланцевые комплексы зональны. В Пенжинском хребте северо-западной Камчатки [4] и Куртушбинском поясе Западного Саяна [3, 5] представлены три зоны: глаукофансланцевая, промежуточная и зеленосланцевая. Сюда же, основываясь на выделенных [13] минеральных парагенезисах, можно отнести и глаукофансланцевый комплекс Алазейского плоскогорья на Северо-Востоке СССР. В Сусунайском хребте Южного Сахалина [3], Теректинском горсте Горного Алтая [6] и макситовском комплексе Южного Урала [12] выделяются промежуточная и зеленосланцевая зоны. Изучение проведено путем сравнения средних значений породообразующих окислов для групп метабазитов разных степеней метаморфизма (табл. I, 2).

Сравнение средних содержаний породообразующих окислов в разных зонах показало, что при увеличении значений минералогических показателей степени метаморфизма в породах горно-алтайского, макситовского и южно-сахалинского комплексов значительно больше содержится TiO_2 и Fe_2O_3 , а в южно-сахалинском в дополнение к этому возрастает содержание щелочей и убывает CaO (2,65 - 4,06; 10,14 - 8,19). Регионального и повсеместного увеличения содержаний щелочей в наиболее глаукофанизированных разностях сравнение по зонам не фиксирует. Установление значимых различий между зонами по такому инертному при метасоматозе компоненту как TiO_2 [7] ставит под сомнение корректность выводов из приведенных сравнений в смысле выяснения влияния условий метаморфизма на минеральный состав пород, так как элиминировать фактор первичной неоднородности состава не удалось даже ограничением сферы сравнения только составами метабазитов. Факт различия по TiO_2 весьма симптоматичен, поскольку он не может быть объяснен действием локального или регионального метасоматоза, и свидетельствует о первичной неоднородности сравниваемых базальтоидов, так как содержание титана в них коррелируется с одним из важнейших показателей их генезиса - содержанием щелочей.

Таблица I

Средние содержания породообразующих окислов метабазитов из различных метаморфических зон глаукофансланцевых комплексов

Комплекс	Зона	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅
Пенжинский	Гл	73	47,38	1,84	13,45	4,39	6,45	0,16	6,69	8,80	3,05	0,51	6,56	0,20
	Пр	35	47,59	1,90	13,65	4,83	6,26	0,17	7,18	8,07	3,13	0,67	5,60	0,18
	Зел	23	46,31	1,53	13,19	3,85	6,61	0,20	9,43	8,95	2,99	0,31	5,80	0,17
Куртушинский	Гл	16	46,94	2,58	13,65	3,35	8,80	0,23	6,34	8,62	3,55	0,51	3,80	0,39
	Пр	55	46,53	2,36	13,51	4,35	6,94	0,19	5,67	8,62	3,68	0,85	5,26	0,51
	Зел	30	46,17	2,37	14,98	3,70	7,30	0,18	5,65	8,16	3,51	0,75	5,69	0,33
Алазейский	Гл	6	41,64	1,85	13,28	10,19		0,16	7,02	8,85	2,54	0,36	5,50	0,15
	Пр	26	48,17	2,54	13,27	12,17		0,17	7,05	9,13	2,78	0,42	4,60	0,18
	Зел	25	46,62	1,77	14,09	10,46		0,19	5,92	9,19	2,62	0,73	4,77	0,18
Максютинский	Пр	64	49,80	2,07	14,83	12,98		0,19	6,53	8,03	3,50	0,49	1,55	0,15
	Зел	39	49,85	1,16	15,82	11,21		0,17	6,74	7,73	3,61	0,65	3,18	0,10
Южно-сахалинский	Пр	50	46,92	2,33	13,96	5,56	6,08	0,20	7,15	8,19	2,99	1,07	4,57	0,23
	Зел	49	46,36	1,43	14,74	4,76	5,79	0,18	7,51	10,14	2,32	0,33	5,46	0,14
Горно-алтайский	Пр	90	47,38	2,43	14,07	7,57	5,59	0,18	5,46	8,89	2,83	0,67	4,11	-
	Зел	92	48,43	1,74	14,03	4,48	5,57	0,17	5,60	9,01	2,57	0,74	6,75	-

Примечание. Здесь и далее Гл - глаукофансланцевая, Пр - промежуточная, Зел - зеленосланцевая зоны; n - число образцов.

Таблица 2

Доверительные (95 %) интервалы ($\pm$)^X средних содержаний породообразующих окислов метабазитов
из различных метаморфических зон глаукофансланцевых комплексов

Комплекс	Зона	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅
Пенжин-ский	Гл	73	0,725	0,183	0,600	0,399	0,456	0,010	0,620	0,664	0,215	0,147	0,524	0,043
	Пр	35	1,258	0,264	0,585	0,766	0,687	0,012	1,048	0,916	0,423	0,262	0,593	0,073
	Зел	23	1,116	0,404	1,609	0,923	0,900	0,825	2,500	1,341	0,527	0,155	1,238	0,087
Куртуши-бинский	Гл	16	1,410	0,450	0,550	0,805	1,067	0,045	0,848	1,440	0,569	0,409	0,349	0,185
	Пр	55	1,008	0,296	0,635	0,531	0,670	0,014	0,788	1,345	0,339	0,240	0,898	0,139
	Зел	30	1,035	0,319	0,759	0,826	0,797	0,016	0,898	1,175	0,460	0,354	0,951	0,075
Алазей-ский	Пр	26	1,450	0,350	0,960	0,910	0,018	0,349	1,061	0,357	0,291	0,657	0,046	
	Зел	25	1,913	0,450	1,340	1,021	0,026	1,073	1,321	0,760	0,367	0,805	0,043	
Максютов-ский	Пр	64	0,435	0,170	0,374	0,452	0,014	0,315	0,447	0,153	0,116	0,244	0,032	
	Зел	39	1,488	0,226	0,995	0,892	0,036	0,839	1,539	0,540	0,394	0,663	0,030	
Южно-сахалинский	Пр	50	0,664	0,271	0,496	0,663	0,580	0,014	0,956	0,769	0,329	0,388	0,345	0,080
	Зел	49	0,706	0,181	0,625	0,640	0,610	0,016	1,018	0,742	0,343	0,204	0,421	0,041
Горно-алтайский	Пр	90	0,625	0,188	0,314	0,455	0,387	0,010	0,343	0,552	0,216	0,125	0,322	-
	Зел	92	0,812	0,204	0,407	0,540	0,460	0,012	0,472	0,675	0,232	0,143	0,725	-

^XРассчитаны по методу частных средних.

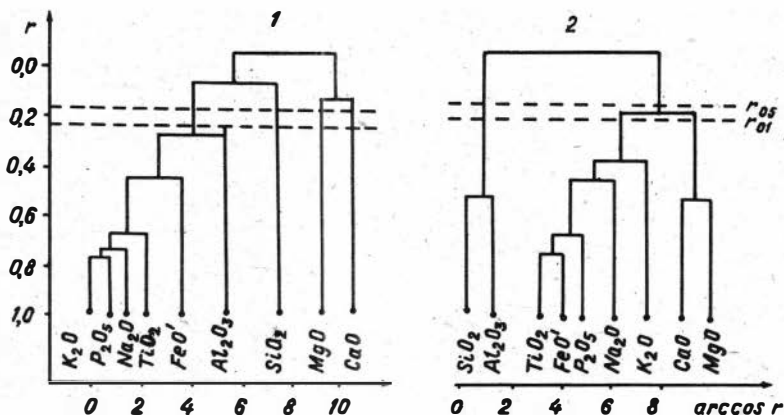


Рис. 1. Корреляционные дендрографы средних значений порообразующих окислов в мел-мезобазальтоидах (1) и низкщелочных базальтоидах (2)

По данным статистической обработки методом главных компонент около 1000 средних составов базальтоидных пород [14] установлено, что в качестве классификационного признака наиболее высокого ранга после показателей общей мафичности пород используется компонента, отражающая вариации содержания щелочей, с которой положительно коррелируются содержания титана, фосфора и степень окисленности железа и отрицательно – содержания кремнезема, магния, кальция. Эти же особенности петрохимических связей титана видны на корреляционных дендрографах (рис. 1), построенных нами по статистическим данным А.Ф.Белоусова. Таким образом, повышение содержания TiO_2 в зонах развития щелочных амфиболов может рассматриваться как свидетельство их первично повышенной щелочности. В свете этих обстоятельств исследование метаморфической зональности глаукофансланцевых комплексов получает несколько иной аспект проверки возможности использования наличия глаукофана и других щелочных амфиболов в качестве показателей степени высокobarического метаморфизма, для чего нужно убедиться в однородности подборок силикатных анализов метабазитов в изучаемых комплексах.

До недавнего прошлого корректная проверка метаморфических комплексов на однородность вещественного состава сдерживалась как отсутствием нужного количества силикатных анализов и их дороговизной, так и отсутствием эффективных и хорошо апробированных методов многомерного изучения статистических совокупностей. В наше время успехи рентгенофлуоресцентного метода определения содержаний породообразующих окислов позволили в короткое время изучить ранее собранные Н.Л.Добрецовым и Л.Г.Кузнецовой коллекции [9] и, используя алгоритм динамического кластерного анализа, разработанного Е.Лидеем [15], а также программу этого алгоритма, любезно предоставленную нам А.Ф.Белоусовым и А.С.Вахуленко [1], разбить metabазиты разных комплексов на устойчивые кластерные группы (см. Приложение). Не принимались во внимание группы, состоящие из небольшого числа образцов из-за неустойчивости их статистических характеристик.

Каждая кластерная группа образцов может быть охарактеризована степенью метаморфического преобразования (в смысле усредненной принадлежности к метаморфическим зонам), выраженной через относительное количество образцов с минеральными парагенезисами зеленых сланцев (зеленосланцевый индекс). Конкретные типы минеральных парагенезисов для всех изученных образцов приведены в фактографическом описании глаукофановых сланцев [9].

В распределении кластерных групп по зонам метаморфизма возможны несколько вариантов. В случае, когда кластерная группа целиком попадает в пределы одной зоны — зональность отсутствует. Если кластерная группа равномерно распределена по зонам, то это типичный пример метаморфической зональности по однородному субстрату. Промежуточная ситуация будет свидетельствовать о наличии первичной неоднородности и метаморфической зональности одновременно. Об этом же говорит и изменение степени глаукофанизации (зеленосланцевого индекса) в разных кластерных группах одного комплекса. Именно такая картина характерна для описываемых комплексов (табл. 3), что свидетельствует о проявлении как фактора неоднородности составов, так и метаморфической зональности одновременно.

Неоднородность состава metabазитов в изучаемых комплексах видна при сравнении кластерных групп (табл. 4, 5, 6, рис. 2). Как видно, зеленосланцевый индекс прямо пропорционален группо-

Таблица 3

Распределение изученных метабазитов (в %) по кластерным группам и зонам метаморфизма в глаукофансланцевых комплексах

Комплекс	Группа	Зоны метаморфизма		
		Гл	Пр	Зел
Пенжинский (I3I)	I (5I)	65 (33)	27 (I4)	8 (4)
	2 (53)	5I (27)	28 (I5)	2I (II)
	3 (27)	48 (I3)	22 (6)	30 (8)
Куртушибинский (99)	I (27)	8 (2)	74 (20)	I8 (5)
	2 (3I)	35 (II)	35 (II)	30 (9)
	3 (4I)	7 (3)	59 (24)	34 (I4)
Алазейский (53)	I (30)	3 (I)	67 (20)	30 (9)
	2 (23)	22 (5)	I7 (4)	6I (I4)
Максютовский (99)	I (57)	-	67 (38)	33 (I9)
	2 (42)	-	55 (23)	45 (I9)
Ижно-сахалинский (99)	I (28)	-	74 (2I)	26 (7)
	2 (25)	-	68 (I7)	32 (8)
	3 (2I)	-	30 (7)	70 (I4)
	4 (25)	-	25 (6)	75 (I9)
Горно-алтайский (I93)	I (97)	-	77 (74)	23 (23)
	2 (60)	-	37 (22)	63 (38)
	3 (36)	-	2 (I)	98 (35)

Примечание. В скобках число образцов.

вым содержаниям в них TiO_2 и Na_2O , то есть степень глаукофанизации значительнее в более титанистых и щелочных разностях. Некоторое нарушение этой закономерности в куртушибинском и ее изменение на обратную в максютовском и алазейском комплексах объясняется изменением значений зеленосланцевого индекса в результате более интенсивного проявления фактора давления. Поведение Fe_2O_3 аналогично TiO_2 , но менее ярко выражено. Обратно пропорционально содержаниям Fe_2O_3 , TiO_2 и Na_2O изменяются содержания CaO , что в общих чертах было отмечено в неметаморфизованных базальтоидах.

Таблица 4

Средние содержания породообразующих окислов в кластерных группах
метабазитов глаукофансланцевых комплексов

Комплекс	Группа	Относ. содерж. зелен. ассоц.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅
Пенжинский	1	8	47,6I	2,03	I3,I9	4,39	6,50	0,I6	6,77	8,02	3,38	0,60	6,37	0,25
	2	2I	47,6I	I,74	I3,66	4,83	5,84	0,I6	6,99	8,40	3,I2	0,80	6,39	0,I9
	3	30	45,92	I,48	I3,56	3,62	7,42	0,2I	8,9I	IO,35	2,35	0,24	5,36	0,06
Куртушинский	1	18	49,07	2,95	I4,I5	5,79	6,78	0,I8	4,20	5,03	4,57	I,34	3,73	0,87
	2	30	46,24	2,88	I4,35	2,88	9,46	0,2I	6,77	7,56	3,36	0,52	3,99	0,34
	3	34	45,00	I,68	I3,57	3,59	6,I5	0,I8	6,IO	II,47	3,I4	0,55	6,92	0,20
Алазейский	1	30	47,I8	2,86	I2,33	I2,38	0,I7	7,56	9,45	2,40	0,42	4,47	0,26	
	2	6I	49,46	I,I2	I5,38	9,40	0,I9	5,39	8,97	3,03	0,7I	5,60	0,I2	
Макситовский	1	33	48,20	2,II	I4,06	I3,32	0,I9	7,IO	9,73	3,30	0,34	I,66	0,I5	
	2	45	52,2I	I,26	I6,5I	II,22	0,I7	5,94	5,09	4,04	0,88	2,79	0,II	
Южно-саладинский	1	26	47,68	2,5I	I4,I5	4,80	7,07	0,20	6,84	6,9I	3,80	0,65	4,37	0,I8
	2	32	46,52	2,53	I5,I6	7,4I	4,37	0,20	5,56	7,00	2,69	I,79	5,I2	0,33
	3	70	46,34	I,09	I3,38	2,83	7,52	0,I8	IO,08	IO,35	2,40	0,I4	4,7I	0,08
	4	75	45,85	I,20	I4,56	5,27	4,90	0,I8	7,35	I2,2I	I,52	0,I4	5,86	0,I2
Горно-алтайский	1	23	47,26	2,6I	I4,I5	8,46	5,03	0,I8	4,95	8,93	2,96	0,67	4,0I	0,30 ³
	2	63	47,09	2,00	I4,02	4,26	7,55	0,2I	7,40	8,5I	2,47	0,43	5,25	0,23 ³
	3	98	5I,8I	0,80	I3,37	2,23	3,8I	0,I3	4,I4	8,83	2,40	I,46	9,87	0,25 ³

Примечание: * n = 42, ** n = 30, *** n = 7.

Таблица 5

Доверительные (95 %) интервалы ($\pm$) средних содержаний породообразующих окислов,
полученные по методу частных средних, в кластерных группах глаукофансланцевых комплексов

Комплекс	Группа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	П.п.п.	P ₂ O ₅
Пенжин- ский	I	1,095	0,215	0,665	0,476	0,464	0,014	0,707	0,552	0,281	0,181	0,595	0,052
	2	0,838	0,245	0,792	0,678	0,630	0,008	1,205	0,968	0,296	0,207	0,808	0,060
	3	0,639	0,273	1,139	0,580	0,619	0,020	1,458	1,252	0,454	0,113	0,561	0,029
Куртуши- бинский	I	0,929	0,275	0,403	0,592	0,565	0,014	0,390	0,629	0,259	0,292	0,390	0,158
	2	0,896	0,251	0,396	0,323	0,565	0,022	0,392	0,588	0,237	0,233	0,349	0,051
	3	1,144	0,289	1,146	0,590	0,814	0,018	1,226	1,588	0,465	0,293	1,265	0,051
Алазей- ский	I	1,368	0,212	0,599	0,630	0,014	0,781	1,051	0,409	0,282	0,459	0,043	
	2	2,439	0,219	1,406	1,062	0,031	1,234	2,138	0,705	0,404	0,993	0,033	
Макситов- ский	I	0,566	0,342	0,463	0,783	0,024	0,473	0,627	0,254	0,134	0,398	0,062	
	2	0,933	0,151	0,678	0,630	0,030	0,642	0,834	0,362	0,335	0,527	0,028	
Ижно-са- халин- ский	I	1,096	0,355	0,542	0,523	0,607	0,018	0,778	0,759	0,300	0,312	0,484	0,111
	2	0,997	0,361	0,894	0,801	0,749	0,023	0,760	0,892	0,444	0,778	0,522	0,146
	3	0,640	0,142	0,901	0,427	0,590	0,023	2,184	0,488	0,390	0,065	0,471	0,029
	4	0,978	0,185	0,951	0,999	0,640	0,027	0,910	0,986	0,470	0,113	0,792	0,037
Горно-ал- тайский	I	0,624	0,206	0,308	0,310	0,279	0,010	0,236	0,522	0,224	0,119	0,308	-
	2	0,464	0,084	0,178	0,216	0,244	0,012	0,318	0,390	0,160	0,058	0,340	-
	3	1,259	0,187	0,956	0,469	0,605	0,020	0,576	1,356	0,418	0,284	1,301	-

Таблица 6

Значимые отличия средних содержаний породообразующих окислов
в кластерных группах глаукофансланцевых комплексов

Комплекс	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.
Пенжин- ский	I, 2>3	I>3	Нет	Нет	3>2	I<3	I<3	I, 2<3	I, 2>3	I, 2>3	I, 2<3	Нет
Куртуши- бинский	I>2, 3	I, 2>3	Нет	I>2, 3	2>I, 3	Нет	I<2, 3	I<2<3	I>2, 3	I>2, 3	I>2>3	2, I<3
Алазей- ский	Нет	I>2	I<2	I<2	Нет	I>2	Нет	Нет	Нет	Нет	I>2	Нет
Максатов- ский	I<2	I>2	I<2	I>2	Нет	I>2	I>2	I>2	I<2	I<2	Нет	I<2
Одно-сама- линский	Нет	I, 2>3, 4	Нет	$\frac{3<I}{4>2}$	I, 3>2, 4	Нет	I, 2<3	I, 2<3<4	$\frac{I>2}{3>4}$	2>I>3, 4	2>3, 4	I<2, 4
Горно-ал- тайский	I, 2<3	I>2>3	Нет	I>2>3	2>I>3	2>I>3	2>I, 3	Нет	I>2	3>I>2	Нет	I<2<3

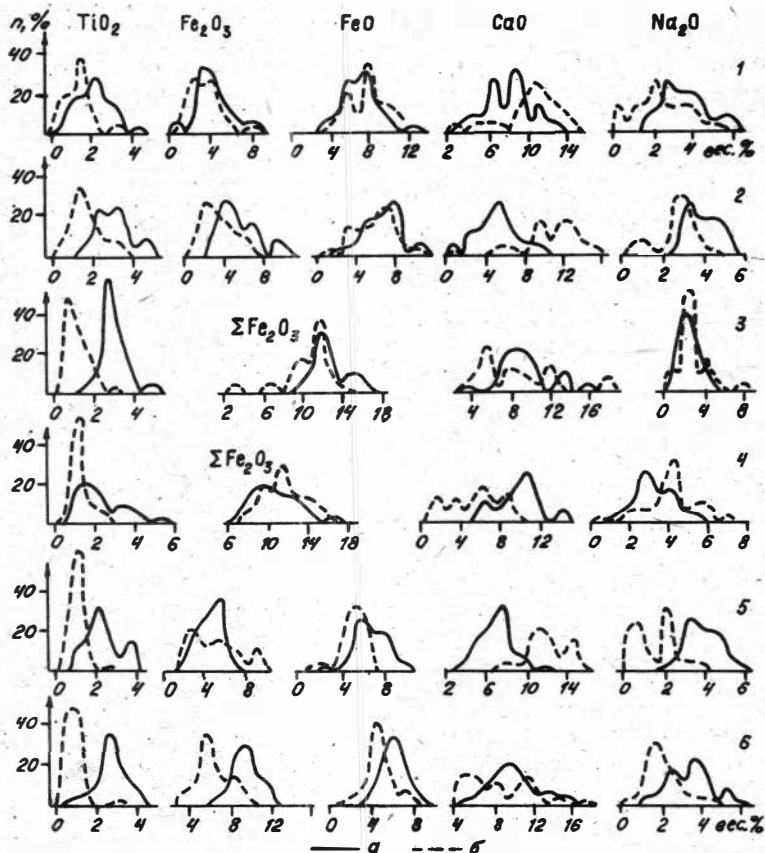


Рис.2. Распределение содержаний породообразующих окислов в кластерных группах с минимальным (а) и максимальным (б) содержанием зеленых сланцев глаукофансланцевых комплексов: 1 - пенжинского, 2 - куртубинского, 3 - алазейского, 4 - максатовского, 5 - пино-сахалинского, 6 - горно-алтайского

Оценивая в целом относительное содержание зеленосланцевых ассоциаций в породах разного состава по корреляции средних содержаний для кластерных групп, отметим наличие таких связей.

Оно положительно коррелируется с TiO_2 ($r = 0,8$), с Na_2O ($r = 0,6$); Na_2O с CaO ($r = -0,8$); TiO_2 с Na_2O (без максютовского и алазейского комплексов) ($r = 0,8$). Приведённые данные, на наш взгляд, убедительно свидетельствуют о том, что уменьшение зеленосланцевого индекса происходит без нарушения петрохимических связей базальтоидов. Глаукофансланцевый метаморфизм имеет геохимический характер. Главным аргументом этого служит положительная связь содержания TiO_2 со степенью глаукофанизации, так как поведение титана при метаморфизме инертно.

По величине коэффициента корреляции TiO_2 с зеленосланцевым индексом можно приблизительно оценить вклад химизма породы в степень её глаукофанизации. Факторная доля химизма составляет около двух третей вариаций всех остальных факторов, обуславливающих степень глаукофанизации, а роль давления не превышает одной трети вариаций. Регрессия величины зеленосланцевого индекса по содержанию TiO_2 образует некоторую зону (рис. 3), в которой вариационные линии, соединяющие фигуративные точки кластерных групп одного комплекса, образуют два пересекающихся под острым углом пучка.

Вариационные линии, параллельные срединной линии зоны (линия теоретической регрессии), выявляют комплексы, в которых зеленосланцевый индекс почти функционально зависит от содержания TiO_2 . Это пенжинский, южно-сахалинский и частично горно-алтайский комплексы. По имеющимся данным, они отличаются по величинам давлений глаукофансланцевого метаморфизма: давление для пенжинского комплекса в зонах максимальной глаукофанизации оценивается в 10 кбар, южно-сахалинского - в 8 [3] и горно-алтайского - в 7 кбар [6]. Таким образом, разброс вариационных кривых внутри зоны регрессии можно приписать изменению давлений глаукофансланцевого метаморфизма от 7 до 10 кбар. Пенжинский, южно-сахалинский (1, 2-я и 3, 4-я группы) комплексы и первые две группы горно-алтайского образуют последовательности, зональные по вещественному составу и однотипные по условиям метаморфизма.

Второй пучок вариационных кривых (алазейский, максютовский и куртушобинский комплексы) отражает вещественную неоднородность и зональность по давлению. Из-за действия давления для малотитанистых групп этих комплексов (по сравнению с регрессией зеленосланцевого индекса по TiO_2) занижены значения зеленослан-

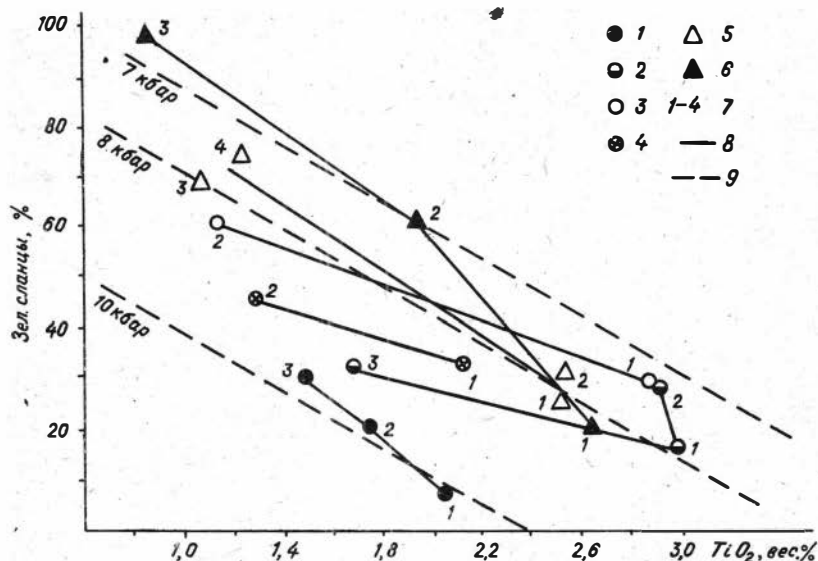


Рис. 3. Распределение фигуративных точек кластерных групп глаукофансланцевых комплексов в зоне регрессий зеленосланцевого индекса от содержания:

1-6 - глаукофансланцевые комплексы: 1 - пенжинский, 2 - куртушбинский, 3 - алазейский, 4 - максимовский, 5 - южно-сахалинский, 6 - горно-алтайский; 7 - номера кластерных групп разных комплексов; 8 - вариационные линии отдельных комплексов, 9 - изобары

цевого индекса, что привело к искажению общей закономерности изменения средних значений TiO_2 и Na_2O между кластерными группами внутри комплексов.

На основании рис. 3 можно предложить новые соотношения метаморфических зон, по Н.Л.Добрецову, для изученных комплексов (табл.7).

Особый интерес представляет фрагмент зональности между 1-й и 2-й, а также 3-й и 4-й группами южно-сахалинского комплекса. Судя по рис. 3, это типичный случай скорее метасоматической, нежели барической зональности. 3-я группа отличается от 4-й, ме-

**Предполагаемое распределение номеров кластерных
групп разных комплексов по зонам
глаукофансланцевого метаморфизма**

Комплекс	Зона		
	Гл	Пр	Зел
Пенжинский	-	-	I, 2, 3
Куртушибинский	2	I	3
Алазейский	I	2	-
Максютовский	-	I	2
Южно-сахалинский	4	I, 2, 3	-
Горно-алтайский	2, 3	I	-

нее глаукофанизированной (так же, как и I-я от 2-ой), меньшим содержанием TiO_2 , но большим - щелочей. CaO ведет себя противоположно Na_2O . Есть основания [10] считать, что здесь проявился локальный метасоматоз, разделив единые природные группы (I + 2) и (3 + 4) на подгруппы I, 2 и 3, 4.

Характер распределения метабазитов разных кластерных групп Южного Сахалина соответствует схеме: на участке Охотского побережья (р.Кола, р.Симау, мыс Быкова) распространены преимущественно 3-я и 4-я группы и единичные образцы I-й и 2-й групп, а в юго-западной части Сусунайского хребта (бассейны рек Комиссаровка, Рогатка, Буряя, Красносельская) наоборот - преимущественно образцы I-й и 2-й групп и единичные образцы 3-й и 4-й.

Н.Л.Добрецов указывал на возможность локального щелочного метасоматоза при высоких давлениях и его непротиворечивость общему заключению об изохимическом характере глаукофансланцевого метаморфизма.

По петрохимическому типу базальтоиды разных комплексов весьма близки и соответствуют, по классификации В.А.Кутюлина [II], базальтам континентальной оливин-базальтовой формации (I-я и 2-я группы пенжинского, куртушибинского, южно-сахалинского и горно-алтайского комплексов). К океаническим толеитовым

базальтам относятся 3-я группа куртушибинского, 3-я и 4-я - кжно-сахалинского комплексов; 3-я группа горно-алтайского комплекса близка к траппам молодых платформ.

Суммируя проведенные исследования, отметим, что глаукофан-сланцевый метаморфизм происходит при повышенных давлениях, при которых устойчивы и зеленосланцевые и глаукофансланцевые ассоциации в зависимости от первичного состава пород. Поэтому при изучении метаморфической зональности, наряду с минеральными, следует использовать и петрохимические термобарометры.

Литература

1. Белоусов А.Ф., Вакуленко А.С. Апробация метода динамического кластерного анализа при выделении популяций магматических горных пород// Логико-математические методы в геологических исследованиях. Теория и практическое применение. - Новосибирск, 1986. - С. 49-56.
2. Василенко В.Б., Добрецов Н.Л., Пономарева Л.Г. Геохимия щелочей и малых элементов в метаморфических породах Куртушибинского офиолитового пояса// Многофазные физико-химические системы. - Новосибирск, 1980. - С. 130-157.
3. Добрецов Н.Л. Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. - Новосибирск: Наука, 1974.-429 с.
4. Добрецов Н.Л., Пономарева Л.Г. Лавсонит-глаукофановые сланцы и глаукофанизированные метаэффузивы Северо-Западной Камчатки// Вопросы геологии, петрологии и металлогении метаморфических комплексов Востока СССР. - Владивосток, 1968. - С. 67-65.
5. Добрецов Н.Л., Пономарева Л.Г. Офиолиты и ассоциирующие глаукофановые сланцы Куртушибинского хребта// Геол. и геофиз. - 1976. - № 2. - С. 40-53.
6. Дук Г.Г. Зеленосланцевые пояса повышенных давлений (Горный Алтай). - Л.: Наука, 1982. - 184 с.
7. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов// Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. - М., 1955. - С. 335-457.
8. Кузнецова Л.Г. Петрохимическая модель глаукофансланцевого метаморфизма базитов (на примере Пенжинского края, севе-

ро-западная Камчатка)// Петрохимия. Химизм магматических формаций Сибири. - Новосибирск, 1984. - С. 92-99.

9. Кузнецова Л.Г. Петрохимия. Фактографическое описание глаукофансланцевых комплексов СССР. - Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1985. - 157 с.

10. Кузнецова Л.Г., Василенко В.Б. Петрохимические особенности глаукофанового метаморфизма Сусунайского хребта (о.Сахалин)// Происхождение и эволюция метаморфических формаций в истории Земли. - Новосибирск, 1986. - С. 152-155.

11. Кутолин В.А. Статистическое изучение химизма базальтов. - М.: Наука, 1969. - 140 с.

12. Ленных В.И. Эклогит-глаукофансланцевый пояс Южного Урала. - М.: Наука, 1977. - 160 с.

13. Лычагин П.П., Мерзляков В.М., Пономарева Л.Г., Терехов М.И., Хмельникова О.С. Глаукофансланцевый метаморфизм Алазейского плоскогорья// Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 22. - Магадан, 1975. - С. 112-119.

14. Румянцева Н.А. Принципы систематики базальтовых формаций на петрохимической основе// Петрохимия, генезис и рудоносность магматических формаций Сибири. - Новосибирск, 1985. - С. 86-93.

15. Diday E. The dynamic clusters method in nonhierarchicol clustering// Intern. Jour. of Computer and Information Sciences. - 1973. - V 2. - P. 61-88.

Номера образцов метабазитов по кластерным группам и зонам метаморфизма в глаукофансланцевых комплексах^X

Пенжинский комплекс. Группа I, глаукофансланцевая зона, n=33: 26а, 24г, I52, I83, 30б, 633, 54, 44а, I66а, 542, 6I0, 976в, 977, I68, 85б, 603, 809а, 850а, 80Iа, 569, 34, I27б, 575, 54Iа, 47, 800а, I66а, 44е, 34, 45, 44б, 37, 35; промежуточная зона, n=I4: 79а, 24е, 96, 23г, 8I, 97, 566, 42, IOIа, 25, I3I, 25в, 62Iа, 566б; зеленосланцевая зона, n=4: б03, 607а, II0, IO9.

Группа 2, глаукофансланцевая зона, n=27: 850, 79в, 44з, 557б, 629, 39а, I44, 854в, I58в, I58б, I48а, I39, 25а, 45б, I50, I62, 976, 573б, 54, 80б, 48б, 894, 80I, 806, 626, 35а, 39; промежуточная зона, n=I5: 8Iб, 80а, I36, 997, 85б, I67а, I27д, 2I, 48б, 823а, I32, 47б, 626б, 800б, I72г; зеленосланцевая зона, n=II: 5I9е, I29, I63, 82, 48, 607, 620а, 802, I85а, I64, I85г.

Группа 3, глаукофансланцевая зона, n=I3: I67, I27, I27а, I42, 984а, 623а, 24д, 893в, 20, 62I, 808а, 854б, I27; промежуточная зона, n=6: 539а, IO0, I80, 954, 53а, I8I; зеленосланцевая зона, n=8: 47б, 47а, 99, 803а, I35, 964, I85б, 89Iа.

Куртупшинский комплекс. Группа I, глаукофансланцевая зона, n=2: I55, I55а; промежуточная зона, n=20: I5Iб, I33, I39а, I40а, I46, I46а, I46в, I46з, I46и, I47, I54/2, I54/3, 252а, 252б, 252в, 552а, 557, 560б, 56Iг, 562в; зеленосланцевая зона, n=5: I37а, I49, I57/2, I65б, 567б.

Группа 2, глаукофансланцевая зона, n=II: I55б, 535, 542, 559а, 562, 562б, 569е, 563, 563а, 563б, 536; промежуточная зона, n=II: I62, I62б, 259, 536а, 537, 56Iб, 56Iв, I58а, I59, 564а, 564б; зеленосланцевая зона, n=9: I44а, I60, 252ж, 566а, 567, 567в, 567г, 570б, 570в.

Группа 3, глаукофансланцевая зона, n=3: 563в, 563г, 570; промежуточная зона, n=24: I28а, I38, 24бд, I27а, I32, I28, I43, I47а, I54/4, I62а, 248г, 252, 544б, 55I, 55Iб, 559, 560а, 56Iж, 565в, 568, 568б, 568г, 569, 569в; зеленосланцевая зона, n=I4:

^XНомера образцов, по Л.Г.Кузнецовой (I985).

163а, 131а, 129а, 149а, 158, 158г, 158д, 165, 247, 252к, 255, 256, 250а, 571.

Алазейский комплекс. Группа 1, глаукофансланцевая зона, n=1: 22-2; промежуточная зона, n=20: 506-4л, 540-1, 508-6, 506-2, 508-1, 88а, 81з, 86ж, 89а, 22/1, 513, 511-1, 509, 43-ТМ, 508-5л, 506-3л, 512, 508-14л, 533-20, 508-8л; зеленосланцевая зона, n=9: 506-5л, 510-7л, 506-6л, 508-2, 508-18, 508-9, 508-17, 81, 81а.

Группа 2, глаукофансланцевая зона, n=5: 40-1 ТМ, 40-ТМ, 9-40, 86г, 87а; промежуточная зона, n=4: 86б, М-71 9/6, 508-13л, 117/4; зеленосланцевая зона, n=14: 81л, 117-9, 82а, 82, 506-1, 86, 87, 87б, 88, 91, 9-17, 80а, 81е, 80б.

Максютковский комплекс. Группа 1, промежуточная зона, n=38: 52а-78, 46-78, 18-78, 19-78, 49а-78, 52-78, 13-78, 28-78, У-9-78, У-78; по В.И.Ленных (1977): ч-33, ч-32, з-31, 210-1, 118б, 25-10, 25-1, ч-36, 22-1, 1185, 538д, ч-41, ч-42, с 41-34, 539д, 46-1, 46-29, 46-29а, 46-37, 46-47, 46-51, ш 61-6, 223д, 63-97, 1047-2, 655д, 528-3, к 61-1; зеленосланцевая зона, n=19: 49-78, 15-78, 44-78, 31-78; по В.И.Ленных (1977): 63-104, ш-1, 84в, 634, к-1, 61-11, 84д, 626, 142, 114, 5160д, 5160, 345, 63-104а, 620.

Группа 2, промежуточная зона, n=23: 16-78, 20-78, 17-78, 43-78, 343б-66, 34а-78, 34-78, 309-66; по В.И.Ленных (1977): 25-14, 5135д, 245, ч-22, 26-2, 1187, 512-1, 36-1, 1191, 211-1, 212-1, 213-1, 5181д, 5003а, ч-21; зеленосланцевая зона, n=19: 543а-66, 50-78, 24-78; по В.И.Ленных (1977): 5159л, 517, 302, 360, 361, 509, 365, 548, 5135г, 81д, ш-3, 144а, 68б, 576, 424, 151.

Южно-сахалинский комплекс. Группа 1, промежуточная зона, n=21: 511/2, 517/17, 520/4, 528/2, 532/1, 556/6, 562/10, 562/9, 533/9, 520/7, 513/3, 511/1, 55, 27в, 48, 49б, 517/21, 29б, 53и, 47а, 23б; зеленосланцевая зона, n=7: 543, 52а, 515/5, 47б, 34а, 24в, 525/6.

Группа 2, промежуточная зона, n=17: 532/5, 548/1, 539/2, 530/2, 29а, 530/1, 517/10, 23а, 44, 48а, 525/6, 29, 562/11, 46а, 22а, 562/12, 551/6; зеленосланцевая зона, n=8: 565/5, 568/2, 565/6, 563/1, 49в, 50б, 45, 26а.

Группа 3, промежуточная зона, n=7: 556/2, 518/3, 517/4, 510/6, 20г, 55а, 519/3; зеленосланцевая зона, n=14: 550, 24г, 551/8, 51, 53к, 40а, 20в, 23в, 31в, 20е, 28а, 20б, 24, 24а.

Группа 4, промежуточная зона, n=6: 517/20, 26б, 556/3, 56, 35б, 556/1; зеленосланцевая зона, n=19: 551/4, 551/15, 31в, 50в, 551/5, 23, 560/9, 552/1, 50, 21, 27а, 22, 46б, 31а, 49, 556/2, 34в, 36в, 53.

Горно-алтайский комплекс. Группа I, промежуточная зона, n=74: 379, 615, 586, 375а, 324а, 310ж, 310, 305а, 314а, 113б, 310б, 587б, 605, 603а, 612, 379, 402в, 408в, 593б, 602е, 403, 611, 603б, 403а, 379а, 376а, 434а, 439а, 602б, 586, 402д, 402, 407б, 602д, 402а, 423б, 593а, 378а, 434б, 611а, 601а, 602а, 602, 379б, 448а, 615а, 601, 602в, 600, 612а, 602ж; по Г.Г.Дук (1980): 664, 689а, 804а, 860е, 805е, 804, 1016ж, 676, 684, 663, 1500б, 1500м, 1500ж, 742а, 609б, 14б9, 1003в, 659в, 1490б, 148бв, 663а, 805, 624б; зеленосланцевая зона, n=23: 435б, 326в, 326, 383б, 386в, 592а, 592, 436, 584а, 380, 599а, 435а, 426а, 597, 444, 436в, 435б, 574; по Г.Г.Дук (1980): 1346г, 1072г, 1369а, 1560г, 708в.

Группа 2, промежуточная зона, n=22: 404в, 405а, 583а, 448, 434, 420а, 304, 302а, 420а, 600а, 601б, 448а, 593, 438а, 614а, 599, 599б, 598, 610б, 368, 442, 625д; зеленосланцевая зона, n=38: 604, 385а, 504а, 574а, 609а, 319г, 331, 390, 329г, 329б, 329, 319в, 315а, 311, 596б, 408а, 362г, 401, 384а, 441а, 364, 362в, 585, 607, 443, 604а, 410а, 435, 596, 417а, по Г.Г.Дук (1980): 1073а, 1146в, 1358г, 1070ж, 1056, 728б, 1365г, 1500г.

Группа 3, промежуточная зона, n=1: 614б; зеленосланцевая зона, n=35: 356, 444, 441б, 524б, 360, 563а, 339, 338, 320а, 319б, 308, 411а, 382а, 372, 438, 442а; по Г.Г.Дук (1980): 1050з, 1030г, 1015г, 1045г, 1032г, 1033г, 100бг, 1043г, 1164г, 730г, 1065, 1101а, 1381а, 1072а, 1079, 1402, 1324, 1308, 1399а.

Утверждено к печати
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Технический редактор Н.Н. Александрова

Подписано к печати 22.03.88. МН 09169.
Бумага 60х84/16. Печ.л. 1,25. Уч.-изд.л. 1,1.
Тираж 200. Заказ 174. Бесплатно.

Институт геологии и геофизики СО АН СССР
Новосибирск, 90. Ротапринт.