

Н.И. ЗАРДИАШВИЛИ

**КЛИНОПИРОКСЕНЫ ИЗ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИХ  
СУБЩЕЛОЧНЫХ БАЗАЛЬТОВ ТЕКТУРМАССКОГО АНТИКЛИНОРИЯ  
(ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН)**

Геосинклинальные вулканогенные формации раннепалеозойского возраста занимают значительные площади в Центральном Казахстане. В настоящее время вулканиды расчленены на разновозрастные комплексы (от венда до позднего ордовика) и изучены с той или иной степенью детальности.

Тектурмасский антиклинорий является крупной каледонской структурой, в пределах которой также широко развиты вулканогенные образования. Детальная характеристика геологических особенностей, вещественного состава раннепалеозойских вулканидов, образующих в пределах Тектурмасского антиклинория разновозрастные контрастные серии повышенной щелочности, и эволюции вулканизма во времени дана в работе [5].

Раннепалеозойские вулканиды подверглись в значительной степени процессу зеленокаменного перерождения и, кроме того, низкотемпературной альбитизации, что отразилось в повсеместном разложении первичных минералов и замещении их комплексом вторичных новообразований. Однако в ряде случаев в трахибазальтах кембрийского и ордовикского возраста, по-видимому, в силу каких-либо особых тектонических причин (ядерная часть структур, удаленность от нарушений регионального масштаба и т.д.) и условий кристаллизации (быстрая кристаллизация в водной среде с образованием плотных вариолитовых структур) сохранились первичные плагиоклазы и пироксены.

Не вызывает сомнений факт, что состав клинопироксенов является показателем условий образования и кристаллизации базальтовых магм различных формаций. Следует отметить, что большая часть анализов, имеющих в литературе, относится к пироксенам, выделенным из интрузивных и метаморфических пород, а также из эффузивов, широко развитых в областях современного вулканизма, тогда как клинопироксены из геосинклинальных формаций палеозоя представлены единичными анализами [6, 4]. Это объясняется трудностью выделения пироксенов из плохо раскристаллизованных, стекловатых эффузивных пород.

В последнее десятилетие появились интересные работы по составу пироксенов из палеозойских геосинклинальных вулканидов Урала, Казахстана, Алтае-Саянской складчатой области и Кузнецкого Алатау [2, 10, 8, 1, 3, 7, 9].

Нами отобраны и проанализированы клинопироксены из среднеордовикских трахибазальтов (базарбайская свита) геосинклинальной стадии развития Тектурмасского антиклинория Центрального Казахстана. Материал собран в процессе тематических работ, проведенных Центрально-Казахстанской экспедицией Московского Университета.

*Методика отбора и обработки проб.* Предварительно просмотрен обширный шлифовый материал по разрезам и отдельным маршрутам, в результате чего выявлены трахибазальты с незаложенными клинопироксенами, из которых затем отобраны пробы весом в среднем около 10 кг. Их первичная обработка с целью получения мономинеральных фракций клинопироксенов проведена в лаборатории обогащения Центрально-Казахстанского территориального геологического управления. Последовательное дробление, концентрация и доизмельчение проб до 0,16 мм, а затем магнитная сепарация на индукционно-роликовом сепараторе и разделение фракций в тяжелых жидкостях позволили выделить монофракцию клинопироксена только в двух пробах. Остальные пробы из трахибазальтов кембрийского и ордовикского возраста были подвергнуты дальнейшей обработке в фазово-разделительной лаборатории ИГЕМ. Пироксен в этих пробах образует тонкие взаимопрорастания с полевыми шпатами, кальцитом и пиритом.

том, а также содержит дисперсионные включения частиц магнетита и гематита. В связи с этим пробы доизмельчались, после чего повторно проходили сепарацию и разделение на фракции в тяжелых жидкостях. Кроме того, пробы "озвучивались", что позволило освободить монофракцию от оставшихся сростков минералов. Из базальтов кембрийского возраста выделены монофракции клинопироксенов, но их вес оказался недостаточным для полного химического анализа.

Очистка концентрата пироксена из обогащенных проб проведена под бинокулярном автором и И.А. Волковой. Из выделенных фракций пироксен отбирался на иммерсию и для съемки порошкограмм, выполненных на дифрактометре УРС-50 ИМ со сцинтилляционным счетчиком. Условия съемки: Cu – антикатод, Ni – фильтр, 12μA, 35кВ, постоянная времени 4, масштаб шкалы 500, скорость съемки  $0,5^\circ \theta$  /мин. Один сантиметр на диаграмме соответствует  $0,5^\circ \theta$ .

*Краткая характеристика клинопироксенов.* Клинопироксены присутствуют в виде единичных призматических кристаллов, или изометричных зерен и в гломеропорфировых сростках, а в основной массе пород образуют лейстовидные призматические зерна, часто резорбированные и собранные вместе с плагиоклазом в вариоли. Размеры вкрапленников достигают 2–3 мм. В трахибазальтах субвулканической фации преобладают долеритовые структуры, и клинопироксен в них составляет до 30% объема породы.

В проходящем свете клинопироксены бесцветные или имеют чуть заметный зеленый оттенок. Для них характерна сильная дисперсия угла оптических осей, структура "песочных часов", секториальное строение и двойникование. Все эти свойства, по мнению многих исследователей, наиболее присущи авгитам и их титанистым разновидностям из базальтовых серий повышенной щелочности.

В монофракциях обычно присутствуют две генерации клинопироксена. Первая генерация – светло-зеленые кристаллы, хорошо ограненные и резорбированные, вторая генерация – темно-зеленого цвета, изометричного габитуса. Клинопироксены из основной массы вариолитов окрашены в бурый цвет со слабо заметным розовым оттенком и нами не анализировались.

*Химический состав клинопироксенов.* Химические анализы клинопироксенов выполнены Г.А. Осолодकीной в центральной химической лаборатории ИГЕМ АН СССР. Их результаты и кристаллохимические формулы клинопироксенов приведены в табл. 1.

Исследованные пироксены, по классификации Хесса [1], Полдерваарта и Хесса [4], являются авгитами, эндиопсидами и салитами, причем точки составов последних на диаграмме расположены вблизи поля авгитов (рис. 1). Выделенная в монофракции обр. 1269 вторая генерация клинопироксена заметно отличается по химическому составу и отнесена к фассаиту. По сравнению с вкрапленниками первой генерации клинопироксены второй генерации обогащены окисью железа, алюминием и имеют пониженные содержания магния и кремния.

В субвулканических породах по сравнению с эффузивными также наблюдается увеличение содержания железа за счет магния, так как в остывающей камере медленная дифференциация и равновесная кристаллизация приводят к появлению клинопироксенов более железистого и щелочного состава.

Состав клинопироксенов прежде всего зависит от состава материнских пород (рис. 2). Так, при увеличении в последних содержаний алюминия, титана, магния, кальция, окисного и закисного железа происходит закономерное повышение содержаний этих элементов в клинопироксенах. Содержание щелочей сохраняется приблизительно на одном уровне, лишь незначительно повышаясь с увеличением щелочности пород. Исключение составляет окись марганца, содержание которой резко снижается при незначительном накоплении марганца в породах.

Оптические свойства клинопироксенов, коэффициенты железистости и окисленности железа в них, формулы по Хессу и параметры элементарной ячейки приведены в табл. 2.

Железистость и окисленность железа в клинопироксенах четко коррелируются с

Таблица 1  
Химический состав клинопироксенов, вес. %

Оксиды	Номера анализов					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	49,66	47,37	46,15	39,09	51,22	51,81
TiO <sub>2</sub>	0,56	2,72	0,94	0,44	0,47	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,13	5,40	7,88	13,80	4,14	3,17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,11	2,39	6,06	12,39	1,70	1,41
FeO	5,97	8,86	3,46	3,38	4,84	4,36
MnO	0,25	0,30	0,14	0,13	0,20	0,19
CaO	13,42	13,94	12,56	5,12	17,59	17,91
Na <sub>2</sub> O	17,40	17,00	20,50	20,56	18,98	19,69
K <sub>2</sub> O	0,66	0,41	0,34	0,26	0,37	0,31
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,07	0,05	0,053	0,043	0,029	0,08
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,70	1,64	1,49	4,43	не обн.	0,39
Сумма	99,93	100,08	99,57	99,64	99,54	99,74

Кристаллохимические формулы:

- $(Ca_{0,70}Na_{0,05})_{0,75}(Mg_{0,75}Fe_{0,19}^{2+}Fe_{0,09}^{3+}Al_{0,11}Ti_{0,02}Mn_{0,01})_{1,25}(Si_{1,87}Al_{0,13})_2O_6$
- $(Ca_{0,69}Na_{0,03})_{0,72}(Mg_{0,75}Fe_{0,28}^{2+}Fe_{0,07}^{3+}Al_{0,05}Ti_{0,08}Mn_{0,01})_{1,28}(Si_{1,81}Al_{0,19})_2O_6$
- $(Ca_{0,84}Na_{0,03})_{0,87}(Mg_{0,71}Fe_{0,11}^{2+}Fe_{0,17}^{3+}Al_{0,11}Ti_{0,03})_{1,13}(Si_{1,76}Al_{0,24})_2O_6$
- $(Ca_{0,90}Na_{0,02})_{0,92}(Mg_{0,31}Fe_{0,11}^{2+}Fe_{0,38}^{3+}Al_{0,26}Ti_{0,01}Mn_{0,01})_{1,08}(Si_{1,60}Al_{0,40})_2O_6$
- $(Ca_{0,75}Na_{0,02})_{0,77}(Mg_{0,96}Fe_{0,15}^{2+}Fe_{0,05}^{3+}Al_{0,05}Ti_{0,01}Mn_{0,01})_{1,23}(Si_{1,87}Al_{0,13})_2O_6$
- $(Ca_{0,77}Na_{0,02})_{0,79}(Mg_{0,98}Fe_{0,13}^{2+}Fe_{0,04}^{3+}Al_{0,04}Ti_{0,01}Mn_{0,01})_{1,21}(Si_{1,91}Al_{0,09})_2O_6$

Характеристика образцов: 1, 2 – буровато-зеленые авгиты из долеритов субвулканической фации, обр. 533,796/1, базарбайская свита среднего ордовика; 3, 4 – зеленовато-бурый салит первой генерации и темно-зеленый фассаит второй генерации вкрапленников из трахибазальтов эффузивной фации, обр. 1269/1,2, базарбайская свита; 5, 6 – буровато-зеленый авгит и светло-зеленый эндиопсид из вариолитов трахибазальтового состава эффузивной фации, обр. 1273, 1275, базарбайская свита.

Таблица 2  
Оптические свойства, формулы по Хессу, коэффициенты железистости ( $f$  в %) и окисленности ( $K_{OK}$ ), параметры элементарной ячейки клинопироксенов

№ п/п	Оптические свойства					Формула по Хессу		
	$n_g$	$n_m$	$n_p$	$2V$	$c:n_g$	Ca	Mg	Fe
1	1,711	1,692	1,683	54	42	40,4	43,4	16,2
2	1,712	1,691	1,685	50	41	37,6	42,9	19,5
3	1,714	1,694	1,687	48	44	45,6	38,7	15,7
4	1,720	1,700	1,695	46	46	52,5	18,2	29,3
5	1,710	1,690	1,682	53	41	39,1	50,3	10,6
6	1,713	1,693	1,683	49	40	40,0	50,6	99,4

Примечание. Расчет параметров элементарной ячейки клинопироксенов произведен по величинам межплоскостных расстояний 020, 021, 221, 310, 311, 131, 311, 330, 331, 041, 150, 531 методом наименьших квадратов на ЭВМ.

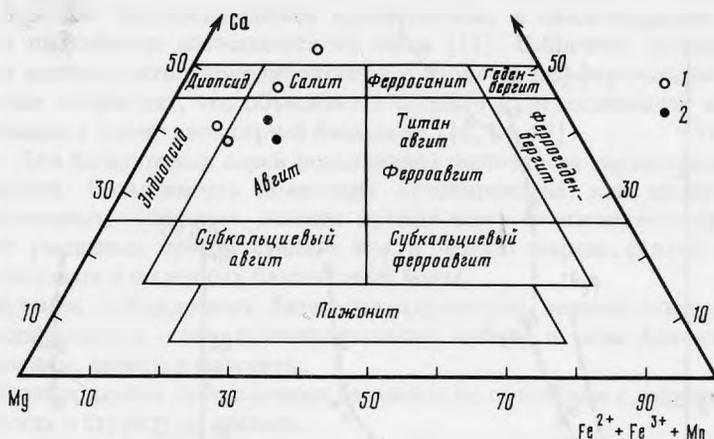


Рис. 1. Составы клинопироксенов на диаграмме Хесса [1], Поддеваарта и Хесса [4]

1 – клинопироксены из трахибазальтов эффузивной фации безарбайской свиты среднего ордовика; 2 – клинопироксены из трахибазальтов субвулканической фации базарбайской свиты среднего ордовика.

такowymi в субщелочных базальтах (рис. 3). Железистость авгитов из долеритов субвулканической фации незначительно ниже железистости пород, что обусловлено их ранней по сравнению с акцессорными минералами кристаллизацией и свидетельствует о низком потенциале кислорода в магматическом очаге. В эффузивных трахибазальтах железистость клинопироксенов значительно ниже железистости породы, а наличие в них магнетита и сульфидов указывает на их формирование в условиях повышенных потенциалов кислорода и серы, в связи с чем железо связывается прежде всего в окислы и сульфиды.

Окисленность железа в клинопироксенах (0,21–0,34) всегда ниже окисленности железа в породах, что согласуется с наличием в базальтах гематита, количество которого резко возрастает в обр. 1269 (см. табл. 1, ан. 3, 4, 0,64 и 0,79 соответственно для клинопироксенов первой и второй генерации вкрапленников). Такие высокие значения окисленности, по-видимому, связаны с кристаллизацией лавы в субаэральных условиях при выходе конусов вулканов или новообразованных островов над поверхностью морских бассейнов. Это подтверждается наличием краснокаменно-измененных, гематитизированных вулканитов, в которых нередко присутствуют опациitized минералы.

f	K <sub>ок</sub>	Параметры элементарной ячейки, А			
		a <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	c <sub>0</sub>	β
42	0,34	9,760	8,930	5,259	105,97
50	0,21	9,756	8,935	5,260	105,80
48	0,64	9,760	8,900	5,229	105,25
54	0,79	9,770	8,930	5,220	104,85
29	0,26	9,770	8,925	5,241	105,43
26	0,24	9,750	8,935	5,258	105,78

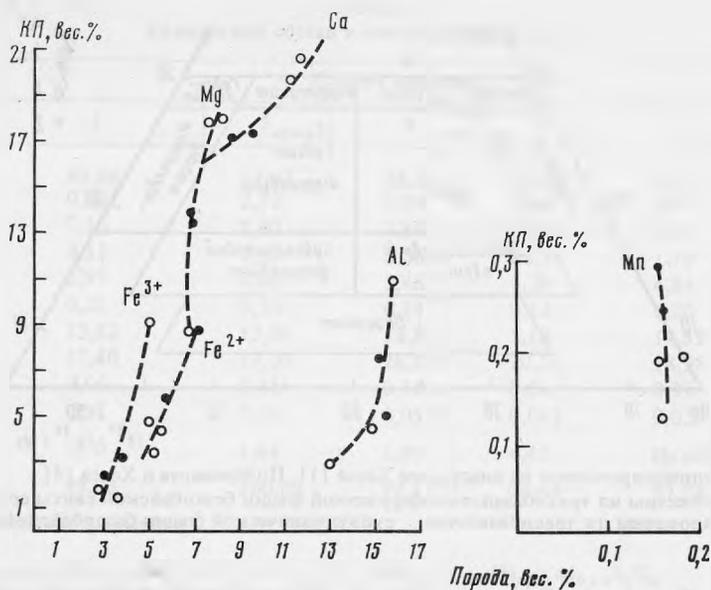


Рис. 2. Соотношения содержаний главных петрогенных окислов в клинопироксенах (КП) и материнских породах

Условные обозначения см. на рис. 1

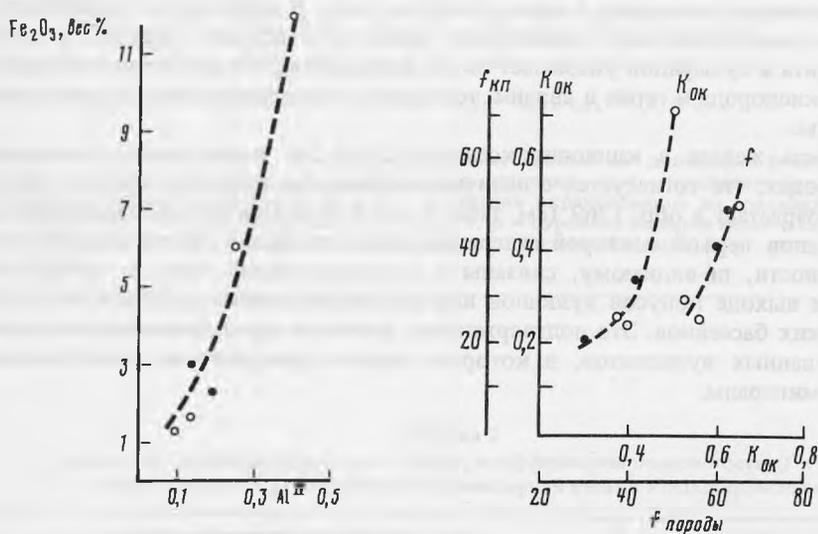


Рис. 3. Соотношение  $Fe_2O_3$  и  $Al^{IV}$  в клинопироксенах из раннепалеозойских субщелочных базальтов

Условные обозначения см. на рис. 1

Рис. 4. Соотношение коэффициентов железистости и окисленности железа в клинопироксенах и материнских породах

Условные обозначения см. на рис. 1

Отношение  $Fe_2O_3/FeO$  в клинопироксенах прямо связано с вариацией Al-составляющей в них, а также со степенью насыщенности магм, из которых они кристаллизуются, кремнеземом. Содержание окиси железа в клинопироксенах увеличивается с увеличением количества  $Al^{IV}$  в тетраэдрической позиции, т.е. изоморфное замещение кремния на алюминий связано с условиями окисления и контролируется входением  $Fe^{3+}$ -ионов в структуру клинопироксена (рис. 4).

Установлено, что наиболее высокая концентрация алюминия в клинопироксенах свойственна породам недонасыщенным кремнеземом, и свидетельствует о высоких температуре и щелочности магматического очага [11]. В богатых щелочами породах с увеличением железистости клинопироксенов в процессе дифференциации содержание алюминия также возрастает, что объясняется поздней кристаллизацией в них плагиоклаза по сравнению с толеитовой серией базальтов [16, 14, 13].

*Выводы.* 1. Для базальтовых серий повышенной щелочности характерно присутствие одного пироксена. Возможность появления ортопироксена, как продукта реакции с ранее образованным оливином, зависит прежде всего от насыщенности остаточных магматических расплавов кремнеземом, с чем, в первую очередь, связано контрастное поведение толеитовых и щелочных базальтовых магм.

2. Для изучения субщелочных базальтов характерна незначительная вариация в составе клинопироксенов — это преимущественно авгиты и реже близкие к ним по составу эндиопсиды, салиты и фассаиты.

3. Для клинопироксенов субщелочных базальтов по сравнению с толеитами не характерны зональность и структуры распада.

4. Дифференциация магматических расплавов субщелочного состава идет в направлении повышения железистости и щелочности в поздних генерациях клинопироксенов.

5. Высокая концентрация алюминия в клинопироксенах связана с высокой температурой и повышенной щелочностью базальтовых расплавов, в связи с чем содержание алюминия в клинопироксенах является показателем физико-химических условий магнообразования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Г.И.* Моноклинные пироксены из девонских эффузивных пород южного Урала. — Бюлл. МОИП. Отд. геол., т. XIVII (4), 1972.
2. *Белоусов А.Ф., Кочкин Ю.Н., Полякова З.Г.* Вулканические комплексы верхнего протерозоя и кембрия в горном Алтае, Горной Шории и Салаирском крае. М.: Наука, 1969.
3. *Белоусов А.Ф., Лаврентьева Ю.Г., Налетов Б.Ф., Полякова З.Г., Поспелова Л.Н.* Клинопироксены рифейско-нижнепалеозойских геосинклинальных базальтоидов Кузнецкого Алатау. — Геология и геофизика, 1974, № 6.
4. *Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутюлин В.А.* Породообразующие пироксены. М.: Наука, 1971.
5. *Зардиашвили Н.И.* Субщелочной характер раннепалеозойских вулканитов Тектурмаского и Атасуйского антиклинориев (Центральный Казахстан). — Бюл. МОИП. Отд. геол., т. 55, вып. 3, 1980.
6. *Морковкина В.Ф.* Химические анализы изверженных горных пород и породообразующих минералов. М.: Наука, 1964.
7. *Новикова М.З.* Эволюция раннепалеозойского геосинклинального вулканизма Степнякского синклинория (Северный Казахстан). Автореф. дис. Изд-во МГУ, 1975.
8. *Островская Е.В., Никольская Н.Н., Спиридонов Э.М.* Клинопироксены основных эффузивов восточного склона Урала. — Вестник МГУ, 1972, № 3.
9. *Румянцева Н.А., Порошин Е.Е.* Статистическое сравнение составов моноклинных пироксенов из базальтов различных вулканических формаций. — Изв. АН СССР, Сер. геол., 1978, № 2.
10. *Семенов И.В., Никулова А.А., Метух Л.И., Ярош Н.А.* Химический состав, оптические свойства и структура пироксенов из среднепалеозойских вулканогенных формаций Тагильского погружения и их изменение в процессе эволюции геосинклинального базальтового вулканизма. — ДАН СССР, 1971, т. 200, № 3.
11. *Соболев В.С.* Введение в минералогию силикатов. Изд-во Львовск. ун-та, 1949.
12. *Hess H.H.* Pyroxenes of common mafic magmas. — Amer. Miner., 1941, vol. 26.
13. *Konda Tadashi.* Aluminium content in clinopyroxenes from basic igneous rocks. — J. Jap. Assoc. Miner. Petrol. Econ. Geol., Sendai, 1967, vol. 57, N 6.
14. *Kushiro I.* Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks. — Amer. J. Sci. 1960, vol. 258, N 8.
15. *Polderwaard A., Hess H.H.* Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. — J. Geol., 1951, vol. 59, N 5.
16. *Willkinson I.F.G.* Clinopyroxenes of alkali-basalt magma. — Amer. Miner., 1956, vol. 41.