

И. В. СЕМЕНОВ, А. А. НИКУЛОВА, Л. И. МЕТТИХ, Н. А. ЯРОШ

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРА
ПИРОКСЕНОВ ИЗ ПОРОД СРЕДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ
ВУЛКАНОГЕННЫХ ФОРМАЦИЙ ТАГИЛЬСКОГО ПОГРУЖЕНИЯ
И ИХ ИЗМЕНЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ
ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОГО БАЗАЛЬТОВОГО ВУЛКАНИЗМА

(Представлено академиком В. С. Соболевым 7 IV 1970)

Среднепалеозойские вулканогенные формации средней части Тагильского погружения образовались в собственно геосинклинальную и орогенную стадии его развития. В первую из них, в условиях расчлененности погружения на три субмеридионально вытянутые структурно-фациальные зоны с самостоятельной историей развития каждой из них, интенсивные вулканические процессы имели место только в краевых Кабанско-Кумбинской (западной) и Красноуральско-Турбинской (восточной) зонах⁽¹¹⁾. В них вначале (S_{w-id_1}) формировались риолит-базальтовые, а затем (S_{id_1}) — андезито-базальтовые формации⁽¹⁰⁾, хотя и не исключен их синхронный возраст⁽⁸⁾. После структурно-тектонической перестройки, в орогенную стадию развития, в средней части погружения и меньше в его восточном борту вслед за массовыми излияниями андезито-трахитов ($S_{id_2} - D_1$) нередко в связи с крупными региональными разломами субмеридионального простирания образовывались ($D_1 - D_2$) породы трахибазальтовой субформации⁽⁹⁾. Смена натриевых базальтовых и контрастных риолит-базальтовых формаций андезито-базальтовыми, а натриевых серий — калинатриевыми вулканогенными формациями достоверно установлена для Уральской палеозойской эвгеосинклинали^(6, 10, 11).

Целью исследования было изучение химического состава, оптических свойств и структуры пироксенов (см. табл. 1) из пород вулканогенных формаций, получивших развитие на разных стадиях геосинклинального развития Тагильского погружения, зависимостей между ними, а также их изменения в процессе эволюции базальтового вулканизма подвижной зоны.

Проведенные исследования показывают, что в процессе геосинклинального развития и орогенной консолидации погружения в ряду формаций: основные эффузивы риолит-базальтовых формаций — андезито-базальтовые формации — трахибазальтовая субформация состав пироксена изменялся в среднем от энстатит-диопсида до весьма железистого авгита (согласно классификации пироксенов по методу А. Полдверварта и Х. Хесса). В этом же ряду эволюции в пироксенах (по данным средних составов для каждой формации) возрастают содержания TiO_2 , FeO , FeO' , MnO , Na_2O , K_2O и величина $f = FeO' / (FeO' + MgO)$, угол погасания cN_g и параметр b элементарной ячейки, а убывают содержания Cr_2O_3 , MgO , NiO , CaO и угол оптических осей $2V$. Среди главных минералообразующих компонентов пироксенов в ряду эволюции убывают содержания тугоплавких окислов * MgO , CaO и возрастают содержания легкоплавких окислов SiO_2 , FeO , Na_2O , K_2O . Среди элементов-примесей изоморфного ряда Mg^{2+} ($R_i = 0,74$ А, $ЭК = 2,10$) ** и Fe^{2+} ($R_i = 0,80$ А, $ЭК = 2,12$) убывают со-

* Компоненты состава пироксенов рассматриваются здесь в молекулярной окисной форме согласно взглядам Н. В. Белова⁽¹⁾.

** Ионные радиусы по Н. В. Белову и Г. Б. Вокию: $ЭК$ — по А. Е. Ферсману.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Содержание компонентов, %										
SiO ₂	51,70	46,63	49,38	51,45	50,38	48,15	48,10	49,06	48,70	50,22
TiO ₂	0,13	0,32	0,25	0,17	0,28	0,32	0,37	0,32	0,45	0,42
Al ₂ O ₃	2,83	10,23	3,44	3,93	5,16	4,72	6,28	4,08	7,47	4,40
Fe ₂ O ₃	0,87	3,19	1,75	1,20	3,22	3,58	3,58	2,64	1,60	2,69
V ₂ O ₅	0,010	0,040	0,019	0,024	0,060	0,046	0,032	0,022	0,029	0,022
Cr ₂ O ₃	0,118	0,180	0,056	0,110	0,096	0,042	0,004	0,044	0,006	0,004
FeO	4,65	4,31	9,33	6,10	7,15	7,55	9,70	6,80	10,77	10,05
FeO'	5,43	7,18	10,91	7,18	10,05	10,77	12,92	9,18	12,21	12,47
MnO	0,07	0,12	0,25	0,13	0,16	0,12	0,14	0,19	0,19	0,23
CoO	0,008	0,003	0,005	0,006	0,004	0,005	0,004	0,003	0,011	0,006
NiO	0,008	0,010	0,006	0,005	0,004	0,008	0,002	0,003	0,004	0,003
MgO	17,50	12,60	14,99	17,65	13,70	15,10	13,38	14,22	14,60	13,06
CaO	21,26	20,20	18,78	19,75	19,00	18,65	17,54	21,08	16,65	16,26
Na ₂ O	0,24	He опр.	He опр.	He опр.	0,48	He опр.	He опр.	0,37	He опр.	0,80
K ₂ O	Сл.	" "	" "	" "	0,08	" "	" "	0,08	" "	0,46
Be	0,0005	—	—	—	0,0005	—	—	0,002	—	0,002
Ga	—	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Cu	0,0005	—	0,005	0,005	0,005	0,002	0,020	0,002	0,002	0,0005
Sc	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Σ	99,51 23,70	98,10 36,30	98,33 42,20	100,63 28,10	100,02 42,20	98,38 41,70	99,17 49,20	98,98 39,20	100,51 45,60	98,65 48,80
Оптические константы										
2V, град.	62	54	56	57	60	54	53	46	45	45
cN _g , град.	41	43	46	34	46	35	46	41	43	46
b, Å	8,860	—	—	8,888	—	8,891	—	8,895	—	8,918
a sin β, Å	9,335	—	—	9,312	—	9,331	—	9,342	—	9,362
Кристаллографические формулы										
1:	(Na _{0,02} Ca _{0,84}) _{0,86} (Mg _{0,96} Fe _{0,14} ²⁺ Fe _{0,02} Al _{0,02} ³⁺) _{1,14} (Si _{1,90} Al _{0,10}) ₂ O ₇									
2:	(Ca _{0,82} Mg _{0,72} Fe _{0,14} ²⁺ Fe _{0,09} Al _{0,23} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,78} Al _{0,22}) ₂ O ₆									
3:	(Ca _{0,77} Mg _{0,85} Fe _{0,30} ²⁺ Fe _{0,05} Al _{0,03} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,88} Al _{0,12}) ₂ O ₆									
4:	(Ca _{0,77} Mg _{0,96} Fe _{0,19} ²⁺ Fe _{0,03} Al _{0,05} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,88} Al _{0,12}) ₂ O ₆									
5:	(Na _{0,04} Ca _{0,77}) _{0,81} (Mg _{0,77} Fe _{0,23} ²⁺ Fe _{0,09} Al _{0,11} ³⁺) _{1,20} (Si _{1,88} Al _{0,12}) ₂ O ₆									
6:	(Ca _{0,76} Mg _{0,85} Fe _{0,24} ²⁺ Fe _{0,11} Al _{0,04} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,83} Al _{0,17}) ₂ O ₆									
7:	(Ca _{0,71} Mg _{0,76} Fe _{0,31} ²⁺ Fe _{0,11} Al _{0,11} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,83} Al _{0,17}) ₂ O ₆									
8:	(Na _{0,02} Ca _{0,83}) _{0,87} (Mg _{0,80} Fe _{0,21} ²⁺ Fe _{0,07} Al _{0,03} ³⁺) _{1,11} (Si _{1,85} Al _{0,15}) ₂ O ₆									
9:	(Ca _{0,60} Mg _{0,82} Fe _{0,34} ²⁺ Fe _{0,04} Al _{0,14} ³⁺) _{2,00} (Si _{1,81} Al _{0,19}) ₂ O ₆									
10:	(Na _{0,06} Ca _{0,60}) _{0,74} (Mg _{0,74} Fe _{0,32} ²⁺ Fe _{0,08} Al _{0,11} ³⁺) _{1,25} (Si _{1,81} Al _{0,09}) ₂ O ₆									

Примечания. 1 — антитит-диопсид из субвулканического тела базальтового состава (в 2,5 км к востоку от с. Большая Лая, обр. Т-61); 2 — салит из туфов основного состава (в 2,5 км к востоку от поселка рудинна им. III Интернационала, обр. Т-63); 3 — авгит из субвулканического тела андезито-базальтового состава (пос. Гаечный, в 10 км к западу от г. Красноуральска, обр. Т-8); 4 — авгит из бомбы бомбовых туфов андезито-базальтового состава (гора Липовая, в 5 км к западу от г. Красноуральска, обр. Т-29); 5 — авгит из эффузивных андезито-базальтовых порфиров (стр. скв. 12 в районе г. Красноуральска, гл. 144,5 м, обр. Т-151); 6 — авгит из бомбы бомбовых туфов андезито-базальтового состава (в 1,5 км к западу от г. Кушва, обр. Т-34); 7 — авгит из эффузивных базальтовых порфиров (стр. скв. 4, в 1 км к западу от горы Верхняя Тура, гл. 817,6 м, обр. Т-13); 8 — авгит из субвулканического тела трахибазальтового состава (в 200 м к востоку от бывших Рихищенских угольных печей, обр. Т-88); 9 — авгит из субвулканического тела трахибазальтового состава (устье р. Лайки, в 3 км к юго-западу от с. Большая Лая, обр. Т-62); 10 — авгит из субвулканического тела трахибазальтового состава (гора Снон, в 5 км к востоку от г. Красноуральска, обр. Т-44). 1,2 — риолит-базальтовая формация восточной зоны; 3—5 — андезито-базальтовая формация восточной зоны; 6,7 — андезито-базальтовая формация западной зоны; 8—10 — трахибазальтовая формация. SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, Na₂O, CaO, K₂O определены химическим путем, анализ Л. И. Меттих; Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni — количественным спектральным методом, анализ Н. А. Ирош; рентгеноструктурные определения параметров ячейки выполнены А. А. Николовой. Съемка производилась в Fe K_α-излучении на камере РКУ-114. Исправление углов отражения велось по эталону NaCl. Параметры b и a sin β определены по дифракционным линиям (510), (150), (600), (060), (750), (660). Оптические константы получены автором на универсальном столике Федорова.

держания элементов, обладающих меньшими или равными ионными радиусами и большими ЭК (Cr³⁺: R_i = 0,64 Å, ЭК = 4,75; Ni²⁺: R_i = 0,74 Å, ЭК = 2,18), т. е. энергетически выгодных, а возрастают содержания элементов, обладающих большими ионными радиусами и меньшими ЭК (Mn²⁺: R_i = 0,91 Å, ЭК = 2,00), т. е. энергетически невыгодных по

сравнению с Mg и Fe^{2+} . Можно считать, что в процессе эволюции базальтового вулканизма возрастал объем v элементарной ячейки, поскольку между b и v в моноклинных пироксенах существует прямая корреляционная связь (⁴).

Закономерное изменение химического состава, оптических свойств и структуры пироксенов при эволюции базальтового вулканизма свидетельствует о том, что в процессе геосинклинального развития и орогенной консолидации погружения термодинамические условия генерации магматических расплавов имели тенденцию к смещению в сторону понижения температур и давлений. Последнее обусловлено закономерностями развития глубинных тектонических процессов, периодически приводящих на разных этапах жизни подвижных зон к возникновению определенных магматических расплавов за счет вещества различных слоев Земли (⁵).

Исследователями уделялось и уделяется много внимания изучению влияния химического состава моноклинных пироксенов как на параметры их элементарной ячейки (^{4, 12, 14}), так и на оптические свойства (^{3, 6, 7, 13}). При этом изменение параметров элементарной ячейки рассматривается в основном в зависимости от колебания содержания Ca , Mg , Fe . Кривые же, в наиболее общем виде связывающие оптические свойства и состав пироксенов, построены из предположения, что изменяются только содержания Ca , Mg и Fe , а все остальные компоненты как бы закреплены на определенных уровнях.

В нашу задачу входило изучение линейных корреляционных зависимостей параметров b и $a \sin \beta$ элементарной ячейки, оптических констант $2V$ и cN_g со всеми компонентами (включая элементы-примеси группы железа) состава пироксенов ряда диопсид — авгит из пород вулканических формаций Тагильского погружения. Силы связи между

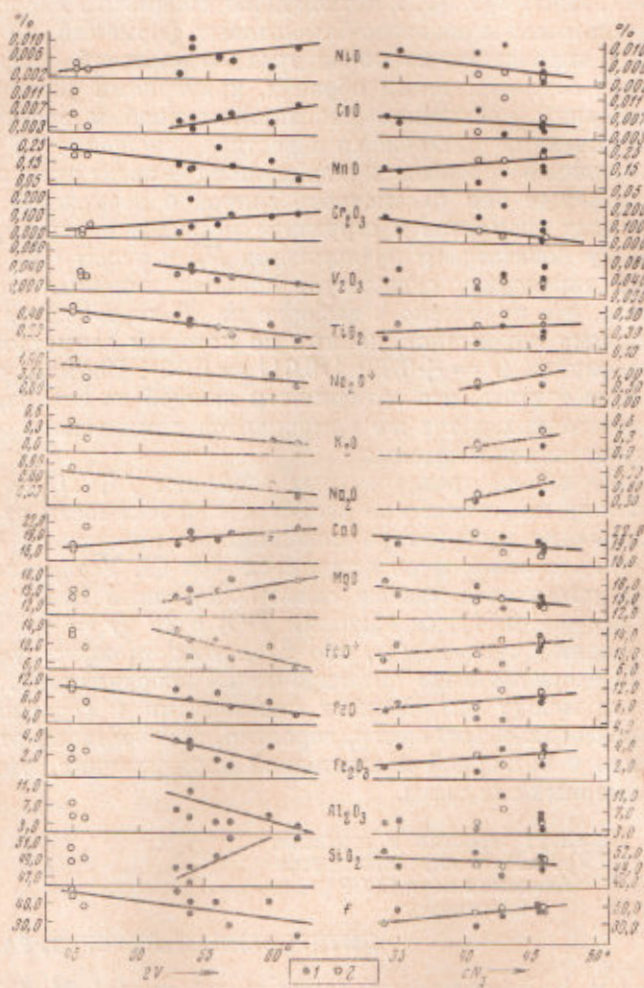


Рис. 1. Зависимости между оптическими константами $2V$ и cN_g и химическим составом в пироксенах из среднепалеозойских вулканических формаций средней части Тагильского погружения. 1 — пироксены из геосинклинальных вулканических формаций (основные эффузивы риолит-базальтовых формаций и андезит-базальтовые формации), 2 — пироксены из орогенной трахибазальтовой субформации

параметром b и содержаниями большинства компонентов химического состава оказались весьма высокими и достоверными для данной выборки анализов (²). Тесная прямая связь для b установлена с содержаниями Al_2O_3 ($P > 90\%$), FeO , FeO' , MnO и величиной f ($P > 95\%$), обратная — с содержаниями MgO , CaO , Cr_2O_3 ($P > 90\%$), CoO , NiO ($P > 95\%$). Множественный коэффициент корреляции, отражающий зависимость параметра b от содержаниях всех компонентов состава, равен 1, что свидетельствует о практически функциональной его обусловленности химическим составом пироксенов.

Линейные зависимости между $2V$ и содержаниями SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO' , MgO , V_2O_5 , CoO , четко наблюдающиеся в пироксенах из пород риолит-базальтовых и андезито-базальтовых формаций, но не экстраполирующиеся в пироксенах из пород трахибазальтовой субформации (см. рис. 1), могут служить, таким образом, критериями различия вулканогенных образований собственно геосинклинальной и орогенной стадий развития погружения, подтверждая известное положение (³) о сильной зависимости величины в пироксенах ряда диопсид — авгит от их генезиса.

Прежде чем рассмотреть вопрос о возможной координации трехвалентных элементов в структуре исследованных пироксенов, заметим, что между показателем преломления N_m и углом погасания cN_g в моноклинных пироксенах существует сильная линейная прямая корреляционная связь, что проверено в выборке из 80 химически анализированных моноклинных пироксенов, данные по которым заимствованы из литературных источников ($r = +0,63$; $|r_{0,01}| = 0,30$). Поэтому в первом приближении можно считать, что зависимость каждой из величин N_m и cN_g с содержаниями одних и тех же компонентов химического состава в моноклинных пироксенах аналогичны.

Поскольку трехвалентные элементы Al , Ti , Fe оказывают различное влияние на оптические свойства в зависимости от их координационного положения в структуре моноклинных пироксенов (⁴), логично предположить, что аналогично ведут себя V и Cr . Установленные в рассматриваемых пироксенах тесные связи содержаниях Cr_2O_3 с $2V$ ($r = +0,90$) и с cN_g ($r = -0,51$), содержаниях TiO_2 с $2V$ ($r = -0,91$) и cN_g ($r = +0,50$) позволяют считать (⁴), что Cr в них присутствует в тетраэдрической, а Ti — существенно октаэдрической координациях. Менее тесные зависимости между оптическими константами и содержаниями Al , Fe^{3+} , V в пироксенах объясняются, вероятно, присутствием этих элементов одновременно в четверной и шестерной координациях, что приводит к падению суммарных сил связи.

Институт геологии и геохимии
Уральского научного центра
Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
27 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. В. Белов, В кн. Химия земной коры, 1, М., 1963. ² Л. М. Большев, Н. В. Смирнов, Таблицы математической статистики, «Наука», 1965. ³ М. М. Веселовская, Тр. Инст. геол. наук СССР, в. 86 (1950). ⁴ У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман, Породообразующие минералы, 2, М., 1965. ⁵ Ю. А. Кузнецов, Геология и геофизика, № 10 (1962). ⁶ В. М. Сергиевский, Матер. Всесоюз. н.-и. геол. инст., в. 8 (1948). ⁷ А. И. Цветков, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 138, Петрографич. сер., № 41 (1951). ⁸ Г. Ф. Червяковский, В. А. Коротев, ДАН, 157, № 4 (1964). ⁹ Г. Ф. Червяковский, В кн. Тектоника, магматизм и закономерности размещения рудных месторождений, «Наука», 1964. ¹⁰ Д. С. Штейнберг, Тр. I Уральск. петрографич. совещ., 1, Свердловск, 1963. ¹¹ Н. А. Штрейс, Тектоника СССР, 3, М., 1951. ¹² G. M. Brown, Am. Mineral., 45, 1—2 (1960). ¹³ H. H. Hess, Am. Mineral., 34, 9—10 (1949). ¹⁴ H. Kuno, H. H. Hess, J. Sci., 251, 10 (1953).