

Э. В. Сокол, Е. Н. Нигматулина, А. Э. Френкель

**ПАРАБАЗАЛТЫ ИЗ ГОРЕЛЫХ ТЕРРИКОНОВ  
ЧЕЛЯБИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА  
Часть I : минералогия и петрохимия**

E. V. Sokol, E. N. Nigmatulina, A. E. Frenkel

**PARABASALTS FROM THE BURNED SPOIL-HEAPS OF  
CHELYABINSK COAL-BASIN  
Part I: Mineralogy and petrochemistry**

The paper present the results of continuing studies on mineralogy of combustion metamorphic parabasalts from the naturally burned coal-bearing spoil-heaps. The examined parabasalt are thought to be formed by the melting of three parent rock types: siderites, calcareous clays and mudstones. This rocks are close in chemical and mineral composition to paralavas from East Kazakhstan. The main rock-forming minerals are anorthite, Fe-olivine, different clinopyroxenes, leucite. The additional phases are potassium feldspars, titanomagnetite, hercynite, pyrrhotine, oldhamite, fluor-apatite and K-Al-Si glasses. Most of these minerals have uncommon chemical composition.

**Введение**

Процессы пирометаморфизма, реализующиеся при температурах выше 1000 °С и давлении менее 1 кбар, нередко приводят к полному или частичному плавлению исходного субстрата. Стекловатые разновидности новообразованных пород носят название паралав и широко распространены среди естественных комплексов горелых пород, связанных с подземными пожарами углей и битуминозных осадков [1, 4, 7, 8, 10, 13].

Низкотемпературные пирометаморфические расплавы (Т = 1000 °С) возникают при частичном выплавлении сухой эвтектики гранитного состава из кремнисто-сланцевых пород, высокотемпературные (Т = 1400—1500 °С) образуются при полном плавлении субстрата и соответствуют ему по валовому химическому составу [7]. Самой распространенной группой паралав являются железистые разновидности ( $Fe_2O_3 > 10$  мас. %), в которых концентрации отдельных компонентов могут существенно варьировать. Но при этом со-

храняется отличительная особенность — существенное обогащение железом (вплоть до появления рудных лав), кальцием и алюминием и обеднение кремнием, натрием и калием [1, 8].

В терриконах Челябинского угольного бассейна процессы полного плавления отвальной массы имеют ограниченное развитие. Плавленные породы обнаружены лишь в наиболее крупных и активно горевших терриконах разреза «Коркинский» и шахты 42 [6]. Огромную роль в появлении очагов плавления внутри терриконов играли раскаленные газы. Б. В. Чесноков [5] указывает, что в экскаваторных забоях нередко наблюдались субвертикальные каналы диаметром 20—30 см, где в течение длительного времени воспламенялись и горели струи газов, вызывая оплавления краев каналов. Автор считает, что именно этот процесс был причиной появления значительных масс расплавов в терриконе разреза «Коркинский». Подробное описание базальтоподобных плавленных пород, обнаруженных в низах этого полностью разработанного отвала, дано Б. В. Чесноковым и Е. П. Щербаковой [6]. Глыбы пород достигали размера нескольких кубических метров, были очень плотными и по внешнему виду напоминали базальты. Большая часть глыб представляла собой агрегат плавленных пород и значительного (до 50 % объема) количества ксенолитов прокаленных аргиллитов (размером 10—20 см в поперечнике). Реже паралавы не содержали ксеногенного материала. Согласно наблюдениям Б. В. Чеснокова [5], расплав затекал в трещины усадки отвальной массы, формировал дайки мощностью 0.5—1 м и цементировал полости между кусками горелых пород. Эта разновидность плавленных пород получила наименование — *массивные парабазальты*.

Расплав возникал не только непосредственно в нижней части террикона, но также стекал с более высоких его горизонтов. В крупных полостях горельников встречались сталактиты, сталагмиты и причудливые скопления прочно сварившихся друг с другом «капель». «*Парабазальтовый капельник*» — название, которое мы в дальнейшем будем использовать для обозначения этой разновидности.

Третья группа изученных нами плавленных пород получила наименование *прожилковые парабазальты*. Они обнаружены среди глыб отвального спека у подножья террикона шахты 42. Этот террикон был одним из крупнейших в бассейне (высота 74 м, площадь основания 35800 м<sup>2</sup>, объем 1325000 м<sup>3</sup>), отсыпался в течение двадцати лет с 1951 по 1971 гг. и интенсивно горел. В настоящее время он подвергся экскаваторной разработке. Именно

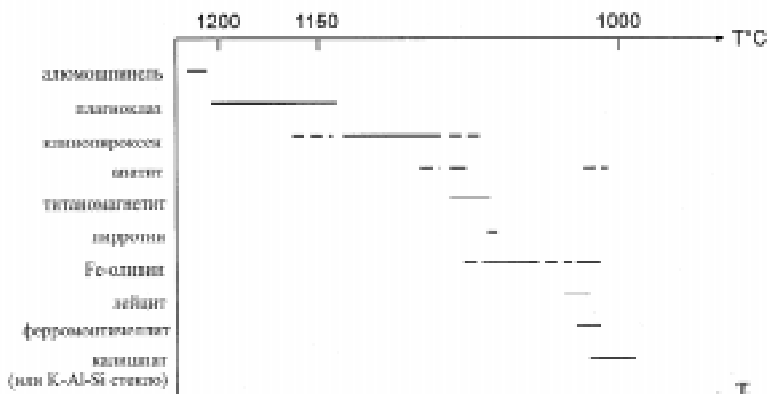


Рис. 1. Схема последовательности минералообразования в техногенных парабазальтах.

Температура начала кристаллизации соответствует температуре гомогенизации двухфазных включений (газ + тонкораскристаллизованное стекло) в плагиоклазе; температура окончания кристаллизации — точке плавления вещества метастазиса. Экспериментальные определения выполнены Д. В. Кузьминым и А. Г. Соколом

из экскаваторных забоев, заложенных в средней части отвала, и были извлечены глыбы спека, сцементированные плавленными породами. Внешне паралавы данного типа также напоминают базальты. Они заполняют промежутки между многочисленными фрагментами прокаленных аргиллитов и карбонатных пород. Прожилки паралав имеют сложное ветвистое распределение в массе спека, их сечение не превышает 2—3 см. Иногда на контакте паралав с прокаленными аргиллитами возникают тонкозернистые закалочные зоны (до 0.5 см) более темного, почти черного цвета. На границе с фрагментами разложившихся карбонатных пород наблюдается четкая цветовая и минералогическая зональность.

### Особенности минерального состава парабазальтов

*Массивные парабазальты* (обр. КР-5, КР-6) представляют собой плотные мелкозернистые, полнокристаллические породы темного серовато-зеленого цвета. Структура, наблюдаемая в шлифах, подобна долеритовой. В мелких пустотах находятся многочисленные ограниченные кристаллы пироксена, оливина, лейцита, плагиоклаза и иглы муллита. Минеральный состав достаточно постоянен: клинопироксен, основной плагиоклаз, железистый оливин и лейцит. Кроме того, присутствуют скопления мелких октаэдрических кристаллов Al-содержащей зеленой шпинели,

титаномагнетит, пирротин и интерстициальный калиевый полевой шпат. Наиболее вероятный порядок кристаллизации минералов отражен на схеме (рис. 1). Минералы не несут каких-либо следов изменений и замещений.

Оливины представлены двумя типами выделений. Первый (к нему относится абсолютное большинство индивидов) — это относительно крупные (до 0.5—1 мм) частично ограненные кристаллы. Они прозрачны, имеют золотисто-зеленый цвет, присущий ювелирным хризолитам, практически лишены механических включений и зон помутнения, обладают высокой механической прочностью и отчетливой отдельностью по (001). Габитусные формы {021}, {110}, {010}. Окраска в поляризованном свете ярко-зеленая. Содержание в породе 5—7 %. Второй тип выделений — единичные, мелкие (< 100 мкм) зерна округлой формы, разбитые сетью темно-коричневых трещин. Окраска в поляризованном свете — темно-зеленая.

Крупные кристаллы оливинов по составу отвечают гортонолиту-феррогортонолиту ( $F = 48—87\%$ ) по классификации [9], тогда как мелкие индивиды соответствуют практически чистому фаялиту ( $F = 86—98\%$ ). Содержания в них Ca и Mn в среднем увеличиваются с ростом железистости и достигают максимальных концентраций ( $MnO = 1.8$ ,  $CaO = 1.4$  мас. %) в фаялите. Хром и никель присутствуют в следовых количествах (табл. 1). Гортонолиты-феррогортонолиты обладают прямой химической зональностью в распределении Mg, Fe, Mn. Фаялиты зональны только в отношении Ca и Mn.

Клинопироксены являются главными темноцветными минералами, их количество составляет порядка 40 %. В основном это идиоморфные индивиды размером от 0.05 до 0.5 см. Выходящие в полости породы кристаллы имеют классический диопсидовый облик, обладают темно-зеленым (до черного) цветом, иногда покрыты плотными «рубашками» тонкодисперсного гематита. Клинопироксены отличаются устойчивым постоянством состава, относятся к ряду диопсид — геденбергит, содержат  $Al_2O_3 = 2—6$  мас. % и  $TiO_2 = 0.5—1.1$  мас. % и могут быть определены как салиты (см. табл. 1). Кристаллы обладают ярко выраженной зональностью в распределении Mg, Fe, Al.

Плагиоклазы составляют порядка 40 % объема породы. Кристаллы таблитчатые и пластинчатые сдвойникованы по альбитовому закону, доминирующими гранями является пинакод {010}, второстепенными — базопинакоид {001} и призма {110}. Плагиоклазы соответствуют практически чистому анортиту (см. табл. 1). Содержание в них  $Na_2O$  зачастую не превышает 0.3 мас. %, поднимаясь до 0.6—0.7 мас. %, концентрация  $K_2O$

Таблица 1

## Химические составы и кристаллохимические формулы минералов массивных парабазальтов

Компо- нент	1	2	3		4		5		6	7	8	9	10	11
			центр	край	центр	край	центр	край						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO <sub>2</sub>	31.72	30.61	32.65	31.62	50.60	49.89	44.93	44.43	48.01	64.16	61.82	61.47	56.17	56.41
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.08	0.03	0.03	0.63	0.58	0.02	0.00	0.05	0.13	0.15	0.20	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.03	0.01	0.00	4.68	5.47	34.92	34.75	31.26	18.43	19.37	19.40	22.33	22.35
FeO	55.65	61.63	49.88	53.05	7.60	7.76	0.68	0.75	0.80	0.33	0.33	0.28	0.31	0.31
MnO	1.27	1.61	1.25	1.36	0.23	0.18	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	-	-
MgO	11.63	5.65	15.34	12.98	13.63	13.26	0.12	0.08	0.08	0.01	0.01	0.01	-	-
CaO	0.64	0.85	0.73	0.72	22.52	22.94	19.43	19.03	15.24	0.28	1.12	1.14	0.01	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.26	0.30	0.66	0.47	0.65	0.63	0.11	0.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.31	3.05	15.34	13.87	13.83	20.42	20.47
BaO	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.04	0.13	0.63	1.80	2.18	0.02	0.00
Сумма	100.97	100.47	99.92	99.79	100.22	100.85	100.68	99.73	99.32	99.78	99.17	99.14	99.37	99.67
	O=4				O=6		O=8				O=8		O=6	
Si	1.03	0.99	0.99	0.98	1.88	1.85	2.07	2.06	2.23	2.98	2.91	2.90	2.04	2.04

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-	-
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	1.90	1.90	1.71	1.01	1.08	1.08	0.96	0.95
Fe	1.43	1.66	1.26	1.37	0.24	0.24	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mn	0.04	0.04	0.03	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
Mg	0.47	0.27	0.69	0.60	0.75	0.73	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	-	-
Ca	0.03	0.03	0.02	0.02	0.89	0.91	0.96	0.95	0.76	0.01	0.06	0.06	0.00	0.00
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.04	0.06	0.06	0.01	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.18	0.91	0.83	0.83	0.95	0.95
Ba	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00
f, %	75.7	86.3	65.1	70.2	24.3	25.1								
N <sub>Pl,мол. %</sub>							97.7	97.2	92.7					

Примечания: 1—3 — оливины; 4 — клинопироксен; 5—6 — плагиоклазы; 7—9 — калишпаты; 10—11 — лейциты

$f = (Fe+Mn)/(Fe+Mn+Mg) \cdot 100 \%$ ;  $N_{Pl} = CaAl_2Si_2O_8 / (CaAl_2Si_2O_8 + NaAlSi_3O_8) \cdot 100 \%$ ; «-» — элемент не определялся.

варьирует от 0.2 до 0.8 мас. %. Примечательно повышенное количество железа ( $\text{FeO} = 0.6\text{—}1.3$  мас. %) и постоянное присутствие магния ( $\text{MgO} = 0.06\text{—}1.8$  мас. %).

Лейцит находится в основной массе парабазальтов в виде достаточно крупных (до 1 мм) изометричных индивидов (количество 2—5 %). В полостях образует прозрачные кристаллы классического тетрагонтриоктаэдрического габитуса. Имеет индукционные поверхности совместного роста с клинопироксеном, а также нарастает на агрегаты диопсида и оливина. Ряд индивидов лейцита обладает скорлуповатым строением, что позволяет предполагать их многократную регенерацию. Растущие поверхности граней были блокированы гематитовыми «рубашками». Полисинтетические двойники, столь типичные для природных кристаллов, в изученных нами образцах проявляются редко. Химические анализы минерала близки к его теоретическому составу  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$  (см. табл. 1). Таким образом, обнаруженные нами лейциты являются достаточно редким случаем абсолютно чистого минерала, не несущего даже следов замещения.

Рудные минералы встречаются в малом количестве (не более 5 %), представляют ксеноморфные выделения и обычно занимают интерстиции между зернами породообразующих силикатов. Как правило, с ними пространственно совмещены калишпаты, имеющие четкие границы с рудными фазами. Доминирующими рудными минералами являются титаномагнетиты. Содержание  $\text{TiO}_2$  в них составляет 22—29 мас. %. Микронзондовые химические анализы свидетельствуют о гомогенности составов минералов в пределах площади зондирования. Однако на сканирующем электронном микроскопе при увеличениях порядка 700-кратных видны тонкие структуры распада оксидов Ti в магнетитовой матрице. Точная диагностика титансодержащей фазы (ульвошпинель или ильменит) в ламелях такого размера невозможна, поэтому вопрос о ее составе остается открытым. Характерной особенностью рудных минералов является присутствие примеси  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.6\text{—}2.1$  мас. %. Совместно с титаномагнетитами встречаются мелкие выделения пирротина.

Калишпаты в массивных парабазальтах являются интерстициальными и, следовательно, наиболее поздними фазами. Облик минерала достаточно необычен. В проходящем свете он имеет бурю окраску, непрозрачен или слабо просвечивает и нередко выглядит изотропным. На основании этих особенностей калишпат был исходно диагностирован как стекло. Однако данная фаза отличается высоким постоянством состава (см. табл. 1), точно соответствует стехиометрии Ва-ортоклаза, характеризуется отсут-

ствием P, Cl и F — типичных элементов-примесей кислых стекол, что позволило определить ее как калиевый полевой шпат. Нами также был обнаружен зональный кристалл анортита, кайму которого составляет чистый калишпат, имеющий обычные для него оптические характеристики.

Распространенным минералом в интерстициальных ассоциациях является также фторапатит, отвечающий практически чистому  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ . Представительный анализ апатита в мас. % CaO — 56.59;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 39.27; FeO — 0.59; F — 3.17; Cl — 0.03; сумма — 99.94 (Sr, Ba, TR, S не обнаружены).

Парабазальтовый капельник («сталагмит») (обр. 0107), изученный нами, был извлечен Б. В. Чесноковым из полости в нижней части горелого террикона разреза «Коркинский». Образец демонстрирует характерную структуру течения расплава, находившегося в вязко-пластичном состоянии. Порода имеет буровато-серый до темно-бурого цвет с практически черной внешней каймой мощностью около 1 мм. Структура равномернoзернистая, аналогичная долеритовой. В его минеральном составе доминирует клинопироксен (50 %); железистый оливин представлен единичными зернами (около 2 %); плагиоклаза — 30—35 %, интерстициального лейцита — порядка 5 %. Таким образом парабазальтовый «сталагмит» является наиболее меланократовой разновидностью паралав. Его характерная особенность — присутствие редкого в природе минерала — ферромонтichelлита ( $\text{CaFeSiO}_4$ ).

Оливины встречаются в виде единичных зерен — округлых, разбитых сетью темно-коричневых трещин и окруженных такою же каймой. Нередко индивиды выглядят в поляризованном свете практически черными, но при этом не замещены другими фазами. Относятся к гортонолитам-феррогортонолитам ( $F = 71$ — $84$  %), содержат повышенные количества  $\text{MnO} = 1$ — $2$  мас. % и аномально высокие концентрации  $\text{CaO} = 1.0$ — $3.7$  мас. %. Оливины образуют взаимные прорастания сложной конфигурации с ферромонтichelлитом, на контактах индивидов присутствует лейцит. По составу ферромонтichelлит близок к  $\text{CaFeSiO}_4$  (представительный анализ в мас. %  $\text{SiO}_2$  — 32.71;  $\text{TiO}_2$  — 0.04; FeO — 39.59; MgO — 4.30; MnO — 1.11; CaO — 22.58;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 0.04; сумма 100.36; Al, Cr, K, Ba — не обнаружены).

Пироксены относятся к разряду высокоглиноземистых Са-содержащих Fe-Mg клинопироксенов и могут быть классифицированы как фассаиты. Кристаллы резко зональны. От центра к периферии растет содержание Fe и снижается количество Al, концентрация  $\text{TiO}_2$  достигает 1.8 мас. %.



Плаггиоклазы представлены лейстами размером 5—10 мкм в поперечном сечении, которые являются полисинтетическими двойниками по альбитовому закону. Они относятся к анортитам с повышенными содержаниями  $K_2O$  (до 2 мас. %) и  $BaO$  (до 0.3 мас. %). Их отличительной чертой являются аномально высокие концентрации  $FeO$  (до 4.2 мас. %) и постоянное присутствие  $MgO$  (до 1.7 мас. %). Индивиды с наиболее высокими содержаниями  $Fe$  и  $Mg$  сконцентрированы в краевой части капельника. Кристаллы однородны по содержанию  $Na$ ,  $K$ ,  $Ca$ . Состав этого минерала существенно отклоняется от стехиометрии  $CaO \times 2SiO_2 \times Al_2O_3$ : обычны избыточные количества  $Si$  (до 2.20 ф. е.),  $Ca$  (до 1.04 ф. е.) и недостаток  $Al$  (до 1.59 ф. е.).

Рудные минералы представлены  $Ti$ -магнетитами. Содержание их невелико (5—7 %). Скелетные кристаллы сконцентрированы в краевой части капельника. Большая же часть индивидов представлена ксеноморфными выделениями в интерстициях, иногда сопровождающимися лейцитами и пирротинном.

Лейцит также располагается в интерстициях и обычно ассоциирует с рудными минералами, общее его количество не превышает 5 %. Минерал имеет буроватую окраску, содержит локальные участки с повышенным содержанием  $Fe$  и  $Ti$ , возможно, соответствующие включениям  $Fe-Ti$  оксидов.

Прожилковые парабазальты (обр. 42-17 В-1, 42-17 Г-1) представляют собой маломощные прожилки (до 2 см), цементирующие фрагменты частично остеклованных аргиллитов и карбонатных пород (разложившихся вследствие высокотемпературной диссоциации на тонкую смесь оксидов  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Fe$ ). Зернистость пород в пределах прожилка существенно варьирует. Периферические зоны выглядят микрокристаллическими (афанитовыми). В центральной части прожилков размер индивидов достигает 0.5—1 мм, а в расположенных здесь же мелких полостях присутствуют кристаллы величиной до 1.5 мм. Обычна зональность, выражающаяся в изменении цвета, зернистости, валового химического и минерального состава. Она наиболее контрастна на контакте парабазальтов с фрагментами карбонатных пород доломит-анкеритового состава. Парабазальты данного типа преимущественно состоят из клинопироксена и плаггиоклаза в соотношении близком к 1:1. Оливин присутствует только в локальных участках в виде единичных зерен. Прожилковые парабазальты — единственная пока разновидность техногенных парабазальтов, в составе которых достоверно установлено присутствие кислых  $Al-K$  стекол, типичных для природных железистых паралав [1, 8].

Оливины образуют (до 100 мкм) выделения округлых очертаний (до 100 мкм), имеют темно-зеленый до бурого цвет, темные каймы и систему контрастных трещин. С ними ассоциируют: фассаит, плагиоклаз, K-Al-Si стекло. Оливины характеризуются промежуточной железистостью ( $F = 59\text{—}69\%$ ) и низкими содержаниями  $MnO = 0.6\text{—}1.1$  мас. % и  $CaO = 0.3\text{—}0.8$  мас. %.

Большинство исследованных клинопироксенов относятся к Al-Mg-Fe-Ca системе и в общем случае могут быть названы фассаитами. Содержания  $Al_2O_3$  в них колеблется от 1 до 11 мас. %,  $MgO$  — от 3 до 12 мас. %,  $FeO$  — от 7 до 22 мас. %, причем весь этот разброс составов зафиксирован на площади  $\approx 1/4$  шлифа.

Вторая группа пироксенов варьирует по химическому составу от высококальциевых алюминиевых авгитов до низкокальциевых алюминиевых пижонитов ( $CaO_{\min} = 5.5$  мас. %). Их отличительная особенность — широкие вариации содержаний всех основных компонентов. Пижониты характерны для безоливиновых ассоциаций, где они сопровождают фассаиты и высококальциевые авгиты.

Плагиоклазы представлены полисинтетически сдвойненными индивидами. По составу соответствуют анортиту либо Сабитовниту и лишены зональности. Кристаллы, обогащенные альбитовым миналом (N 88), обнаружены в непосредственном контакте парабазальта с фрагментом остеклованного аргиллита. Содержания Fe и Mg повышены, но существенно ниже, чем в плагиоклазах из капельника. Минимальным является содержание калия (в среднем 0.01 ф. е. К). Плагиоклазы нестехиометричны, отличаются избытком кремния ( $Si = 2.02\text{—}2.33$  ф. е.) и дефицитом алюминия ( $Al = 1.65\text{—}1.93$  ф. е.).

Стекла в прожилковых парабазальтах располагаются в интерстициях между кристаллами породообразующих силикатов, обычно ассоциируют с титаномагнетитом. Они выглядят темно-бурыми, изотропными, в отличие от кристаллических фаз интенсивно «горят» под пучком электронного зонда. Особенно ощутимо в ходе анализа понижается интенсивность калия. Подобное поведение является косвенным свидетельством присутствия в них летучих компонентов. Подавляющее их большинство соответствует достаточно узкому интервалу составов  $SiO_2 = 72\text{—}77$  мас. %;  $Al_2O_3 = 12\text{—}14$  мас. %;  $K_2O = 5\text{—}8$  мас. %;  $FeO = 1\text{—}2$  мас. % и по системе CPW пересчитывается как кварц- и ортоклаз-нормативные (табл. 2). При этом отдельные выделения соответствуют практически чистому  $SiO_2$  или приближаются к стехиометрии ортоклазов. В отличие от поздних интерстициальных ка-

Таблица 2

**Химические и нормативные составы стекол  
из прожилковых парабазальтов**

Комп.	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	62.73	62.64	77.08	73.20	74.99	74.85	73.64
TiO <sub>2</sub>	0.22	0.35	0.20	0.23	0.28	0.35	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.94	18.30	12.18	13.01	12.75	12.84	12.71
FeO	1.76	0.82	1.56	1.00	1.32	1.18	1.20
MgO	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
CaO	1.60	1.47	0.53	0.48	0.42	0.39	0.40
Na <sub>2</sub> O	1.05	0.95	0.62	0.82	0.94	0.58	0.55
K <sub>2</sub> O	8.96	9.86	5.87	7.82	6.86	8.04	8.31
BaO	3.14	3.33	0.19	0.73	0.21	0.12	0.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.62	0.62	0.62	0.71	0.71	1.73	1.60
Cl	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
F	0.07	0.06	0.08	0.11	0.07	0.09	0.10
Сумма	98.11	98.42	98.95	98.12	98.58	100.21	98.90
Il	0.42	0.66	0.38	0.44	0.53	0.66	0.42
Ort	52.95	58.27	34.69	46.21	40.54	47.51	49.11
Ab	8.88	8.04	5.25	6.94	7.95	4.91	4.65
Ba-Fsp	8.22	8.72	0.50	1.91	0.55	0.31	0.37
An	7.94	7.29	2.63	2.38	2.08	1.93	1.98
Pl	25.04	24.05	8.37	11.23	10.59	7.16	7.00
Cor	1.27	0.92	3.70	1.78	2.86	2.39	1.98
Di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hed	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cpx	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Enst	0.05	0.02	0.02	0.00	0.05	0.02	0.02
Fsil	2.87	0.93	2.53	1.46	1.96	1.59	1.84
Opx	2.92	0.95	2.56	1.46	2.01	1.61	1.87
Nef	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	14.82	12.87	48.54	36.17	41.26	39.02	36.80

лишпатов (обр. КР-5, КР-6) и лейцитов (обр. 0107) в составе стекол постоянно фиксируется присутствие фосфора ( $P_2O_5 = 0.5—1.7$  мас. %), а также эпизодически удается обнаружить микроколичества хлора (0.03—0.05 мас. %, при пределе его обнаружения 0.01 мас. %), и фтора (0.1 мас. % при пределе обнаружения

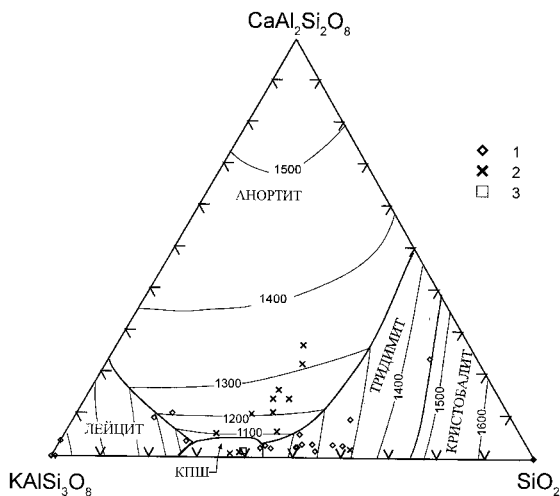


Рис. 2. Нормативные составы стекол из прожилковых техногенных парабазальтов и природных паралав в координатах  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ – $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{SiO}_2$ .

Диаграмма воспроизведена по [9]. 1 — стекла из парабазальтов; 2 — стекла из паралав Вайоминга [9]; 3 — стекла из паралав Восточного Казахстана [1]

0.08 мас. %). Нормативные составы стекол могут быть достаточно точно отображены в координатах тройной системы  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ – $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{SiO}_2$  (рис. 2).

### Петрохимические особенности техногенных парабазальтов

Техногенные парабазальты из терриконов Челябинского угольного бассейна содержат от 37.8 до 50.1 мас. %  $\text{SiO}_2$ , что не соответствует нижнему пределу концентрации этого компонента для природных магматических пород основного состава. Их отличают также повышенные содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.5$ — $18.9$  мас. %;  $\text{CaO} = 10.5$ — $16.4$  мас. % и суммарного железа, в пересчете на  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 13.2$ — $22.5$  мас. %. Концентрации  $\text{MgO} = 3.4$ — $6.5$  мас. % и  $\text{Na}_2\text{O} = 0.0$ — $0.3$  мас. % необычно низкие, а содержание  $\text{K}_2\text{O}$  варьирует от 0.8 до 2.1 мас. %.

Петрохимические анализы парабазальтов были пересчитаны по системе CIPW на нормативный минеральный состав (табл. 3). Для массивных парабазальтов (обр. КР, КР-5) расчетный и реальный минеральный составы практически совпали. Основным темноцвет-

Таблица 3

**Петрохимические анализы и нормативные минеральные составы  
парабазальтов**

№	KP	KP-5	0107	42-17-1	42-17-2
SiO <sub>2</sub>	45.65	44.06	37.78	43.32	50.07
TiO <sub>2</sub>	1.07	0.93	0.94	0.73	0.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.91	17.26	14.46	16.29	18.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.19	0.94	1.57	1.41	0.92
FeO	12.64	11.29	18.82	16.92	11.03
MnO	0.27	0.21	0.26	0.24	0.19
MgO	4.62	5.67	5.61	6.46	3.38
CaO	13.86	16.39	16.07	11.53	10.53
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.00	0.17	0.10	0.33
K <sub>2</sub> O	1.37	1.48	1.46	0.77	2.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.68	0.51	0.77	0.36	0.41
Сумма	99.46	98.74	97.91	98.03	98.77
Ap	1.61	1.21	1.82	0.85	0.97
Il	2.03	1.77	1.79	1.39	1.79
Magn	1.73	1.36	2.27	2.04	1.33
Ort	8.10	8.75	0.00	4.55	12.35
Ab	1.69	0.00	0.00	0.85	2.79
Ba-Fsp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
An	43.93	42.73	34.38	41.73	43.86
№ Pl	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98
Pl	45.62	42.73	34.38	42.57	46.66
Di	6.65	13.63	0.00	4.29	1.67
Hed	10.57	15.83	0.00	6.78	3.17
Cpx	17.22	29.46	0.00	11.08	4.84
Woll	0.00	0.00	16.83	0.00	0.00
Enst	7.62	0.01	0.00	8.52	7.64
Fsil	13.89	0.02	0.00	15.43	16.62
Opx	21.51	0.03	0.00	23.95	24.26
For	0.56	5.46	9.79	3.91	0.00
Fa	1.12	8.01	24.85	7.80	0.00
Ol	1.68	13.47	34.64	11.71	0.00
Nef	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00
Lc	0.00	0.00	6.77	0.00	0.00
Q	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60

*Примечания:* KP, KP-5 — массивные парабазальты; 0107 — параба-  
зальтовый капельник; 42-17-1, 2 — прожилковый парабазальт; Анализ KP по  
данным [6].

ным минералом в данном случае является высококальциевый клинопироксен сложного состава; железистый оливин имеет второстепенное значение; плагиоклаз представлен практически чистым анортитом; минералом-концентратором калия является ортоклаз; рудные минералы — магнетит и ильменит; в качестве аксессуарного присутствует апатит.

Расчетный минеральный состав прожилковых парабазальтов также близок к реальному. В образце 42-17-1, представляющем собой центральную часть прожилка, согласно расчетам, должны присутствовать: низкокальциевые клинопироксены сложных составов при подчиненном развитии железистого оливина, анортит, магнетит, ильменит, апатит. Нормативному ортоклазу соответствуют стекла. Обр. 42-17-2 был отобран из зоны контакта парабазальтового прожилка с фрагментом остеклованного аргиллита. По-видимому, эта зона явилась продуктом интенсивного взаимодействия между двумя контрастными химическими средами, что нашло отражение в изменении как фактического, так и нормативного минерального составов. Из числа нормативных минералов в этом случае исчезает оливин, понижается содержание Са в клинопироксенах, возрастает доля альбитового минала, который в реальности присутствует не только в плагиоклазе, но и входит в состав стекол. Согласно расчетам, увеличивается также количество нормативного ортоклаза и появляется свободный кварц, что находит соответствие в широком спектре составов стекол (см. табл. 2).

Для парабазальтового капельника нормативный и реальный минеральный составы совпадают в отношении таких фаз как высокожелезистый оливин, анортит, магнетит, ильменит, апатит и лейцит. Аномальное соотношение  $\text{CaO}/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{MgO})$  в породе приводит к появлению значительных количеств волластонитового минала в пироксенах, повышению их общего содержания до 50 %, появлению ферромонтichelлита ( $\text{CaFeSiO}_4$ ) и вхождению кальция в решетку железистых оливинов.

Таким образом можно сделать заключение, что химический состав техногенных парабазальтов в общем случае является более мафическим, чем у природных магматических аналогов. Эта особенность (помимо непосредственного влияния субстрата) может быть объяснена с позиций формирования железистых паралав в восстановительной обстановке при давлении, близком к атмосферному. Участие в процессах формирования расплавов значительных количеств продуктов термического разложения Са-содержащих карбонатов обусловило высокую основность паралав

$(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2 = 0.3\text{—}0.6$ , что, в конечном счете, также существенно повлияло на их итоговый минеральный состав. Плавление базитового субстрата в вышеназванных условиях приводит к закономерному сдвигу состава расплава в сторону его обеднения К, Na и Si вследствие их улетучивания на ранних стадиях процесса обжига [3]. Особенно интенсивно идет выгорание натрия. Оно протекает синхронно с процессами высокотемпературной дегидратации слоистых силикатов. Уже на ранних стадиях горения терриконов аргиллиты теряют большую часть  $\text{Na}_2\text{O}$  и практически всю воду [6, 12]. Это явление детально описано для угольных зол [2] и экспериментально подтверждено непосредственно для базальтовых систем [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 98-05-65257).

## Литература

1. Калугин И. А., Третьяков Г. А., Бобров В. А. Железородные базальты в горелых породах Восточного Казахстана. Новосибирск: Наука, 1991. 80 с.
2. Кизильштейн Л. Я., Дубов И. В., Шницглюз А. Л., Парада С. Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
3. Магматизм Земли и Луны: опыт сравнительного анализа. М.: Наука, 1990. 211 с.
4. Ревердатто В. В. Фации контактового метаморфизма. М.: Недра, 1970.
5. Чесноков Б. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Уральский минералогический сборник № 7. Миасс: ИМин УрО РАН, 1997. С. 5—32.
6. Чесноков Б. В., Щербакова Е. П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.
7. Bentor Y. K., Kastner M., Perlman I., Yellin Y. Combustion metamorphism of bituminous sediments and the formation of melts of granitic and sedimentary composition // *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 1981. V. 45. P. 2229—2255.
8. Cosca M. A., Essene E. J., Geissman J. W., Simmons W. B., Coates D. A. Pyrometamorphic rocks associated with naturally burned coal beds, Powder River Basin, Wyoming // *Am. Mineral.*, 1989. V. 74. P. 85—100.
9. Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. Orthosilicates. In *Rock-forming minerals*. V. 1A (second edition) Longman, London and NY. 1982. 919 p.
10. Foit F. F., Hooper R. L., Rosenberg P. E. An unusual pyroxene, melilite, and iron oxide mineral assemblage in a coal-fire buchite from Buffalo, Wyoming // *Am. Mineral.*, 1987. V. 72. P. 137—147.

11. *O'Hara M. J., Biggar G. M., Richardson S. W., Ford C. E.* The nature of seas, mascons, and the lunar interior in the light of experimental studies // Proceedings of the Apollo 11 lunar science conference. V. 1 (Mineralogy and petrology). Pergamon Press. New York, Oxford, Toronto, Sydney-Braunschweig. 1970. P. 695—710.

12. *Sokol E. V., Volkova N. I., Lepezin G. G.* Mineralogy of pyrometamorphic rocks associated with naturally burned coal-bearing spoil-heaps of the Chelyabinsk coal basin, Russia // *Eur. J. Mineral.* 1998. V. 10. P. 1003—1014.

13. *Venkatesh V.* Development and growth of cordierite in para-lava // *Am. Mineral.* 1952. V. 37. P. 831—848.