

ГАЛОГЕНЫ И СЕРА В АПАТИТАХ КАК ПРИЗНАК СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ АККРЕЦИОННО-КОЛЛИЗИОННЫХ ГАББРО-ДОЛЕРИТОВ ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА НА $Cu-Ni$ - и Au -ОРУДЕНЕНИЕ

© 2015 г. В. В. Холоднов, Д. Н. Салихов*, И. Р. Рахимов*, Е. С. Шагалов, Е. В. Коновалова

Эпоха столкновения в позднем девоне и карбоне Восточно-Европейского континента с девонской Магнитогорской островной дугой и причлененным к ней с востока Восточно-Уральским микроконтинентом (террейном) характеризовалась формированием различных по составу, генезису, магматическим источникам и металлогении аккреционно-коллизийных комплексов габброидов и гранитоидов, с четко проявленными в них внутриплитными и надсубдукционными геохимическими характеристиками. С этапами усиления сдвига-раздвиговых дислокаций на западе Магнитогорской мегазоны связано формирование обширных синклиналильных структур (мульд) с образованием на раннем этапе в их бортах конформных интрузивных залежей субщелочных габброидов (габбро-долеритов). На территории Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) выделено три комплекса таких интрузивных тел: утыкташский в Имангуловской мульде, фэйзуллинский в Уртазымской мульде и басаевский в Худозавской мульде. Они залегают среди вулканотерригенных отложений улутаусской ($D_{2-3}ul$), мукасовской D_3fg и флишоидов зилаирской $D_3fm-C_1t_1$ свит. Конформные тела этих комплексов секутся дайками диагонального и широтного простирания долеритов и микрогранитов кизильского комплекса. С конформными залежами известно одно небольшое месторождение скарново-магнетитовых руд – Канакайское рудопроявление на контакте габбро-диоритов Утыкташского лополита и линзы известняков улутауской свиты D_{2-3} [1].

В Худозавской мульде вслед за басаевским комплексом, который считается аналогом утыкташского, и кизильским дайковым комплексом, формируется многофазный худозавский комплекс, представленный интрузивами умереннотитанистых роговообманковых перидотитов (шригемитов), это первая фаза; габбро-долеритов, пегматоидных габбро, габбро-диоритов и диоритов второй и третьей интрузивных фаз. К четвертой фазе относится формирование пегматитов основного, среднего и кислого состава – габбро-пегматитов и др. Породы этого комплекса образуют диагональный пояс, пересекающий конформные залежи габ-

броидов басаевского комплекса и комплекс долерит-микрогранитовых даек кизильского комплекса. Время формирования худозавского комплекса определено изотопным $U-Pb$ -датированием бадделеита и циркона из двух самостоятельных тел как 328–324 млн лет [3], что соответствует серпуховскому ярусу нижнего карбона. Худозавский комплекс контролирует мелкие месторождения и рудопроявления сульфидных медно-никелевых руд, связанных с отдельными груборасслоенными интрузивными телами. Контроль размещения сульфидных руд ограничен пределами конкретных интрузивных тел с осаждением рудных минералов в нижних частях расслоенных тел. Соответственно, важным поисковым критерием рудоносных залежей являются их размеры: в более крупных телах масштабы оруденения возрастают. Более детальная характеристика состава пород и металлогении худозавского комплекса дана в специальной статье [3].

Завершают аккреционно-коллизийный магматизм в Худозавской мульде дайки габбро-долеритов, долеритов и спессартитов улугуртауского комплекса. Они меридионально рассекают интрузивы худозавского комплекса. Контактными зонами даек улугуртауского комплекса нередко контролируются рудопроявления золото-кварцевого типа, в их числе месторождение Тукал. Изохронный $Sm-Nd$ -возраст этого комплекса 321 млн лет [2].

В Восточно-Магнитогорской зоне в этот период, с некоторым опережением (340–330 млн лет) происходит образование более крупных грабеновых структур, типа Магнитогорско-Богдановского грабена [4]. Более мощный по масштабам вулканоинтрузивный магматизм в данном грабене, сопровождается формированием крупных скарново-магнетитовых месторождений, пространственно и генетически тесно связанных с магнитогорским габбро-гранитным комплексом [6–8 и др.].

По соотношению хлора, фтора и серы в апатитах позднепалеозойские аккреционно-коллизийные габброиды Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала, независимо от их геологической позиции, состава и возраста, условно разделены на две группы.

* ИГ УНЦ РАН.

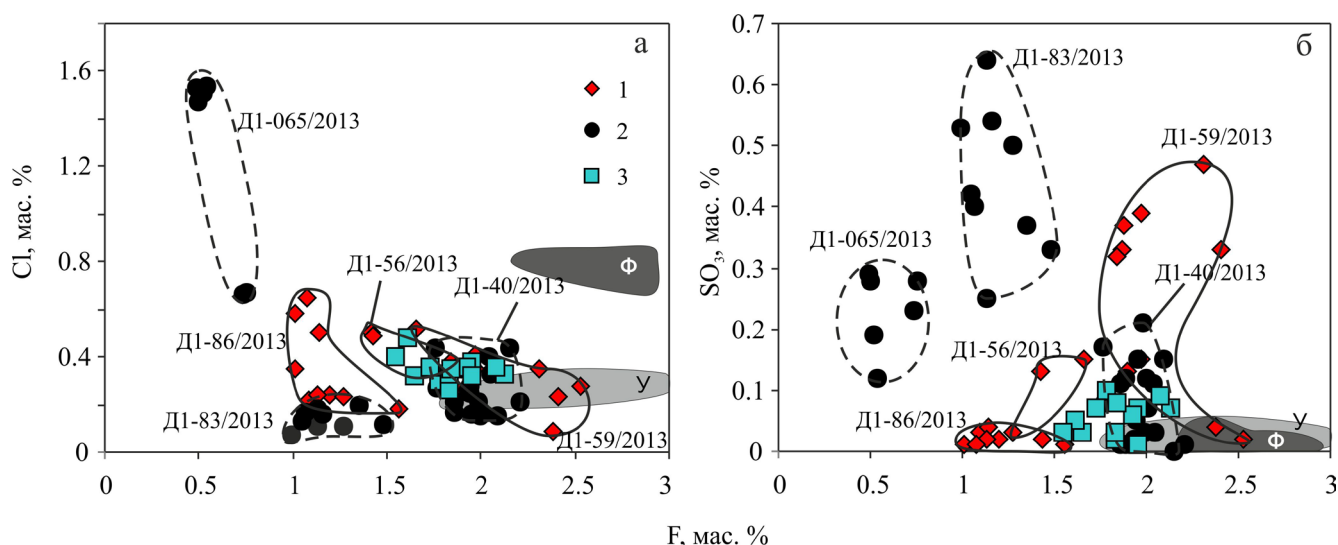


Рис. 1. Соотношения фтора, хлора и SO_3 в апатитах из пород различных комплексов Худолазовской мульды: 1 – басаевский, 2 – худолазовский, 3 – улугуртауского.

Полями показаны составы апатитов из пород утыкташского (У) и файзулинского (Ф) комплексов. Измерения всех минералов выполнены на микроанализаторе Cameca SX-100 в ИГГ УрО РАН (аналитик Д.А. Замятин) по стандартной методике.

Первую группу составили породы Худолазовской мульды, апатиты в которых обогащены сульфатной серой (до 0.65 мас. %), изоморфной по отношению к фосфору в составе анионного комплекса $(PO_4)^{3-}$. Они имеют пониженное содержание фтора (<2 мас. %) при значительном содержании хлора (0.10–1.50 мас. %). Эту группу в Худолазовской мульде составили следующие комплексы габброидов в порядке времени их формирования: *басаевский*, *кизильский*, *худолазовский* и самый поздний *улугуртауский*. Из них именно пикродолеритовый худолазовский комплекс специализирован на Cu–Ni сульфидное оруденение, а поздний улугуртауский – на золотое, которое локализуется в контактовых зонах дайковых тел.

Вторую группу составляют габброиды других мульд Западно-Магнитогорской зоны. К ним относятся габброиды *утыкташского* и *файзулинского* комплексов. Для габбродиоритов утыкташского комплекса предполагается специализация на скарно-магнетитовое оруденение. Апатиты этой группы бедны сульфатной серой (<0.05 мас. %) или ее вообще не содержат. Они выделяются повышенными содержаниями фтора (>2 мас. %) и хлора (до 1 мас. %) (рис. 1). Вместе с тем необходимо отметить, что в рифтогенных габбро-гранитных сериях активной континентальной окраины Урала, сопровождаемых крупными месторождениями железа скарно-магнетитовой формации, в апатитах содержания хлора значительно более и достигают значений 2.5 мас. % и выше (магнитогорский габбро-гранитный комплекс и др.) [8].

По соотношению хлора, фтора и серы апатиты этих двух групп можно дополнительно разделить на

подтипы по составу материнских пород или условиям формирования различных комплексов и их составляющих. Так, апатиты худолазовского комплекса отличаются как наиболее высокими содержаниями сульфатной серы (0.30–0.65 мас. %) при пониженном значении хлора и фтора, что характерно для шприсгеймита Кусеевского участка (проба Д₁-83), так и наиболее высокими содержаниями хлора (до 1.5 мас. %) в апатитах оливинового габбро массива Аксинья (проба Д₁-065) при меньшем содержании сульфатной серы (0.10–0.30 мас. %) и минимальном содержании фтора (0.50–0.80 мас. %) (см. рис. 1). Апатит в габбродиоритах Туркменевского участка (проба Д₁-40) характеризуется повышенным содержанием фтора – до 2.10 мас. % – при минимуме серы (<0.20 мас. %) и невысоком содержании хлора (до 0.40 мас. %).

Апатиты габброидов басаевского комплекса характеризуются выдержанными содержаниями хлора (0.10–0.60 мас. %) при значительных вариациях концентраций фтора: в апатитах габбродиорита (Д₁-86) содержание фтора минимальное – 1.0–1.3 мас. %, содержание хлора до 0.60 мас. %, в апатитах габбро-долеритов оно увеличивается: в пробе Д₁-56 – 1.40–1.90 мас. %, в пробе Д₁-59 – 1.80–2.50 мас. %. Показательным здесь является распределение серы. В апатитах габбро-долеритов ее содержание выше (0.10–0.45 мас. %) в сравнении с апатитами в габбро-диорите (Д₁-86), где содержание серы минимально (<0.05 мас. %). В апатитах габбродолеритов рост концентраций серы коррелирует с ростом содержания фтора (см. рис. 1) с максимумом (до 0.30–0.45 мас. %) в пробе Д₁-59 (верхняя часть габбро-долеритовой интрузии) при некотором спаде содержания хлора.

Апатиты в дайке габбро-долеритов улугуртауского комплекса (проба Д₁-113) характеризуются умеренно повышенными содержаниями хлора (0.30–0.50 мас. %) и фтора (1.50–2.10 мас. %) на фоне самых низких содержаний серы – до 0.10 мас. %.

Таким образом, в первой группе по соотношению сера–фтор, хлор–фтор в апатитах можно выделить следующие ассоциации пород и комплексов: худолазовский комплекс – с максимальным содержанием серы (и хлора) в апатитах, затем басаевский с промежуточным уровнем в содержаниях серы и хлора в апатитах и повышенным содержанием фтора и, наконец, улугуртауский комплекс, апатиты которого имеют самые низкие содержания серы, при повышенном содержании хлора.

Породы и комплексы второй группы по соотношению хлора и фтора в апатитах можно разделить на следующие ассоциации. По наиболее высокому содержанию хлора (0.60–1.10 мас. %) выделяются апатиты в габбро *файзуллинского комплекса* (пробы Д₁-120 и 741/2012). В пробе 741/2012 содержание хлора обратно пропорционально содержаниям фтора, с ростом последнего количество хлора понижается. Апатиты в габбро утлыкташского комплекса характеризуются содержанием хлора в диапазоне 0.30–0.50 мас. % (проба Д₁-11). С габбро-диоритами в утлыкташском комплексе связано незначительное по масштабам скарново-магнетитовое оруденение.

Минеральные парагенезисы апатита с породо- и рудообразующими минералами в габброидах Худолазовской мульды, их индикаторное металлогеническое значение (рудоносные худолазовский и улугуртауский комплексы)

Худолазовский комплекс (Cu–Ni-оруденение). В *ширсгеймите* (проба Д₁-83), одного из небольших штокообразных массивов у д. Кусеево, несущих сульфидную вкрапленность, апатит образует ряд генераций. По петрографическому составу ширсгеймит – это амфибол-оливиновая порода (оливин 40%, амфибол 40%) с небольшим количеством плагиоклаза и массой вторичных минералов. Эти породы довольно сильно изменены поздними процессами серпентинизации, карбонатизации, хлоритизации, альбитизации и др. Здесь исследованы включения апатита в раннем основном плагиоклазе № 66, его включения в высокотемпературном богатом титаном амфиболе – керсутите, с содержанием TiO₂ 5%, Al₂O₃ 10.7%, MgO 14.4%, FeO 8.1%. По данным известных геотермометров [9, 10], температура кристаллизации (T_{кр}) этого амфибола 985° при P 5–6 кбар. Состав этого амфибола показан на рис. 2, где он близок к ранним высокотемпературным амфиболам других комплексов Худолазовской мульды, но он чуть менее железистый (f = 36), чем все остальные. Апатит образу-

ет также включения в серпентинизированном оливине и крупные игольчатые кристаллы, как бы “рассекающие” породообразующие минералы.

Все эти морфологические разновидности и генерации апатита варьируют главным образом по содержанию серы (от 0.25 до 0.64 мас. %). Это происходит практически независимо от того, образуют они включения в разных минералах или представлены крупными иглообразными кристаллами, пересекающими границы породообразующих минералов. Наблюдается также общая тенденция роста содержания фтора (от 1 до 1.5 мас. %), в меньшей мере хлора (от 0.07 до 0.20 мас. %), при снижении в апатитах содержания серы (см. рис. 1). В апатитах с наиболее высокими содержаниями серы снижается содержание фосфора (до 39–40 мас. % P₂O₅ против 41 мас. % в менее сернистых апатитах), увеличивается содержание SiO₂ и Na₂O, что определяется изоморфизмом серы и фосфора с компенсацией зарядов через вхождение в структуру апатита одновременно с серой натрия и кремнезема. Рудные оксидные железосодержащие минералы в данной породе в большинстве случаев сильно разложены, они сохранились в виде остаточных “скелетных” образований, характеризующих структуры распада (ильменит, сфен) в богатом хромом (Cr₂O₃ до 13.4%) и титаном (TiO₂ 12.4%) титаномагнетите. Наряду с ними в серпентинизированном оливине обильны выделения хромшпинелидов. Сульфидные минералы в данной пробе не исследовались.

Оливиновое габбро массива Аксинья (проба Д₁-065). Это габбро в целом типично для ранних фаз худолазовского комплекса. Массив находится также рядом с д. Кусеево. Апатит образует здесь две четкие генерации, которые характеризуют последовательность кристаллизации как самого апатита, так и минералов его включающих. Первая ранняя генерация с наиболее высоким содержанием хлора – до 1.50 мас. % – при содержании серы 0.10–0.30 мас. % и низкой концентрацией фтора (0.50–0.60 мас. %). Вторая поздняя – с низким содержанием хлора (около 0.65–0.70 мас. %) при слабом росте количества фтора до 0.75 мас. % и с тем же уровнем содержания серы (0.20–0.30 мас. %). Апатит первой генерации образует крупные порфириформные кристаллы, содержащие включения ранних породообразующих минералов, с ростом содержания Fe к краям порфириформных кристаллов апатита (от 0.49 до 0.81 мас. %). Он образует включения и в самых ранних высокотемпературных роговых обманках, богатых глиноземом и титаном, ассоциирует с первичным богатым титаном биотитом и ранним высокотемпературным богатым железом ильменитом. Раннюю роговую обманку представляют идиоморфные кристаллы, богатые титаном (TiO₂–3.7 мас. %) и Al₂O₃ (10.66%). Это магнезиогастингсит с T_{кр} 990°C и P 5.5 кбар. Здесь эта роговая обманка несколько более же-

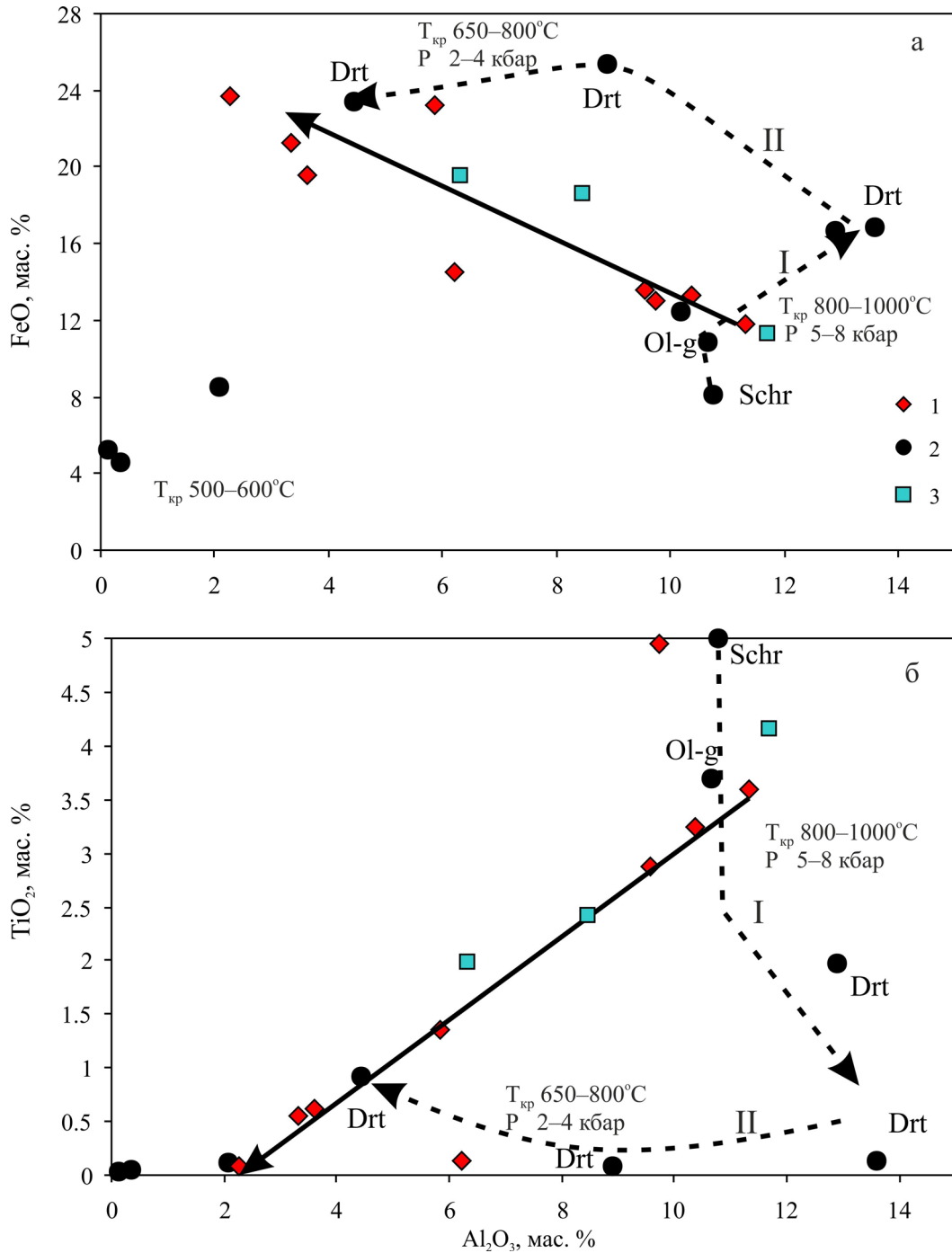


Рис. 2. Соотношения FeO, TiO₂, Al₂O₃ в амфиболах из пород различных комплексов Худолазовской мульды: 1 – басаевского, 2 – худолазовского, 3 – улугуртауского.

Стрелками показаны направления эволюции состава амфиболов при их кристаллизации.

лезистая ($f = 43$), чем ранняя роговая обманка в шрисгеймите. Она попадает в общий тренд амфиболов, характерный для всех пород Худолазовской мульды, см. рис. 2, располагаясь между амфиболом шрисгеймита и ранними амфиболами габбродиорита (*проба Д₁-40*). Другие более поздние разновидности амфиболов в оливиновом габбро мас-

сива Аксинья образуют каймы вокруг раннего магнезиогастингсита или отдельные поздние сегрегации, варьируя по составу от эденита с $f = 47$ ($T_{кр} = 560^{\circ}\text{C}$, $P = 5.1$ кбар) до актинолита с $f = 31$ ($T_{кр} = 560^{\circ}\text{C}$) и тремолита с $f = 17-20$ ($T_{кр} = 550^{\circ}\text{C}$). Апатит второй генерации ассоциирует с поздним актинолитом.

Анализ состава и порядка кристаллизации рудных минералов свидетельствует о том, что окислительный режим на раннем этапе кристаллизации оливинового габбро был более высоким, чем на завершающем. Это подтверждается ранней кристаллизацией оксидных железотитановых рудных минералов и хромшпинелидов в сравнении с никель- и кобальтсодержащими сульфидами. Наиболее ранний высокотемпературный ильменит имеет высокое содержание железа FeO (51.56%) и низкое титана (TiO₂ 41.28%). Этот ильменит беден MgO (0.11 мас. %), но обогащен MnO (3%). На общем рис. 3, характеризующем соотношение FeO и TiO₂ в ильменитах различных комплексов Худозавской мульды и в утыкташском комплексе, он попадает в верхнюю часть диаграммы, где располагаются ильмениты высокотемпературной группы. Более поздние сульфиды в этой породе представлены крупным пирротинном с повышенным содержанием Ni (0.38 мас. %), который содержит мелкие включения (размером 15–20 мкм) халькопирита и кобальтпентландита с содержанием Co 4.84 мас. %. Наличие сульфидов, содержащих медь, никель, кобальт, свидетельствует о принадлежности оливинового габбро массива Аксинья к рудоносным породам худозавского комплекса.

В целом материнский расплав для оливинового габбро на раннем этапе его кристаллизации был наиболее богат хлором, концентрации которого резко преобладали над содержанием окисленной серы, в апатите Cl/SO₃ = 7.5. На этапе постмагматического преобразования “метасоматизирующий флюид” характеризовался значительно более низкими содержаниями хлора и снижением в апатите отношения Cl/SO₃ до 2.5.

Пегматоидный габбродиорит (проба Д1-40). Это одна из последних фаз худозавского комплекса, которые секут более ранние сульфидоносные породы. Апатита в данной породе много. Он образует как игловидные кристаллы, “рассекающие” амфибол и плагиоклаз, так и многочисленные включения в различных по составу разновидностях амфибола, включения в плагиоклазе и межзерновые выделения. В целом здесь апатит более однородный по содержанию галогенов и серы, чем в предыдущих пробах. При этом он заметно обогащен фтором (до 2 мас. %). Наиболее ранний игловидный апатит, “рассекающий” амфибол и плагиоклаз, характеризуется самым низким количеством фтора 1.76 мас. % при повышенном содержании хлора 0.44 мас. % и содержанием серы 0.17 мас. %. В нем наблюдается повышенное количество кремнезема 0.40 мас. %. В апатите из включений в плагиоклазе (№ 15–27) содержание серы варьирует от 0.06 до 0.15 мас. % при пониженном количестве хлора (0.15–0.25 мас. %) и росте фтора до 1.9–2.0 мас. %.

Апатит в раннем высокотемпературном (T_{кр} = 780°C, P = 7.7 кбар), более богатом TiO₂

(2 мас. %) амфиболе (чермаките) с железистостью 64, имеет сравнительно высокое содержание хлора (0.30–0.40 мас. %), но уже при повышенном содержании фтора (2.05 мас. %) и меньшем количестве серы (0.03–0.11 мас. %). Этот апатит выделяет и сравнительно высокое содержание железа – до 0.55 мас. %. В поздней железистой (f = 76), но бедной глиноземом роговой обманке (T_{кр} = 655°C, P = 0.40 кбар) апатит содержит уже меньше хлора (0.17–0.21 мас. %), при том же уровне фтора (1.86–2.0 мас. %) и серы. На рис. 2 охарактеризованные выше составы амфиболов пегматоидного габбродиорита попадают в поля самых ранних и поздних амфиболов Худозавской мульды. Кроме них в составе крупных зональных зерен амфиболов определяются и промежуточные разновидности по составу и условиям кристаллизации – чермакиты с T_{кр} = 554°C и P = 4.3 кбар, f = 73. На стыке зерен плагиоклаза и амфибола апатит в одних случаях ближе по составу к апатиту, образующему включения в плагиоклазе, с более высоким содержанием серы (до 0.21 мас. %) при содержании хлора 0.16–0.17 мас. %, в других – к включениям апатита в раннем амфиболе.

Как и другие породы худозавского комплекса, пегматоидный габбро-диорит содержит обильную вкрапленность ильменита, его состав показан на рис. 3. Ильменит по времени кристаллизации здесь поздний, низкотемпературный, он имеет высокое содержание TiO₂ (51–52.3 мас. %) и низкое FeO (43–43.8 мас. %), MnO (2.9–3.2 мас. %), MgO (0.04–0.06 мас. %).

Улугуртауский дайковый комплекс завершает магматизм в Худозавской мульде. *Амфиболовый габбро-долерит (проба Д1-113).* Апатиты здесь характеризуются умеренно повышенными содержаниями хлора (0.3–0.5 мас. %), при повышенном содержании фтора (1.5–2.1 мас. %) и низких концентрациях серы (до 0.10 мас. %). Самый ранний апатит образует крупные иглы, которые “рассекают” амфибол и плагиоклаз. Он беден фтором (1.5–1.7 мас. %), содержание хлора 0.36–0.40 мас. % и серы 0.07 мас. %. Имеет относительно высокое содержание железа (0.35–1.0 мас. %). Другая генерация апатита представлена длиннопризматическими включениями в амфиболе и плагиоклазе: первые из них бедны фтором (1.60–1.80 мас. %) и обогащены хлором (0.33–0.48 мас. %), содержание серы 0.05 мас. % при повышенном количестве железа (0.72 мас. %). Вторые, образующие включения в плагиоклазе, имеют повышенное содержание фтора (1.8–1.95 мас. %) и пониженное хлора (0.26–0.32 мас. %) при содержании серы 0.02 мас. %. Для мелких включений апатита в плагиоклазе № 30–55 характерны следующие концентрации галогенов и серы: фтор 1.84–2.1 мас. %, хлор 0.36 мас. %, сера 0.10 мас. %, железо 0.40–0.72 мас. %.

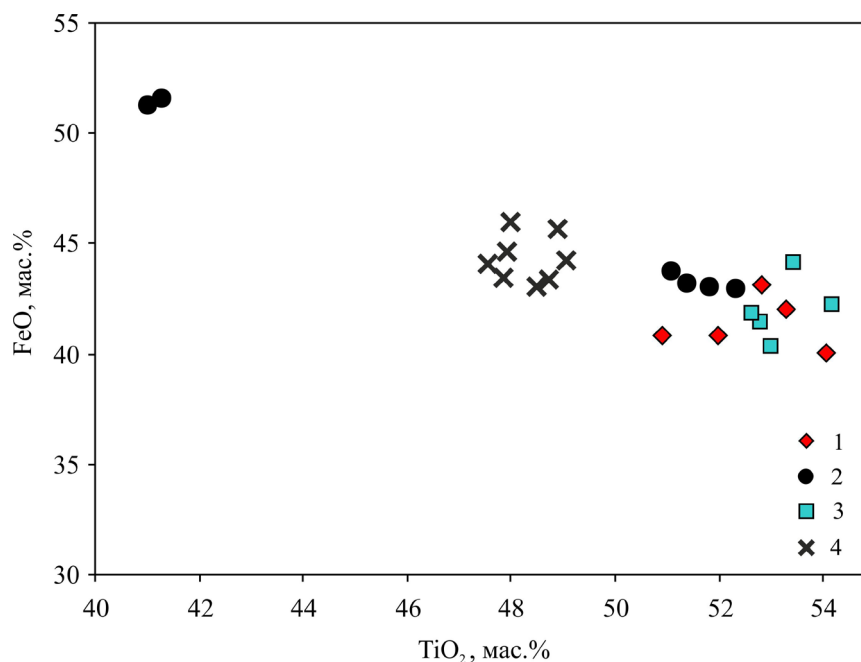


Рис. 3. Соотношение FeO и TiO₂ в ильменитах из пород различных комплексов ЗМЗ:

1 – басаевского, 2 – худолазовского, 3 – улугуртауского, 4 – утыкташского.

Амфибол в этой пробе представлен рядом генераций, которые характеризуют эволюцию условий кристаллизации, от наиболее раннего высокотемпературного магнезиогастингсита с железистостью 46% ($T_{кр} = 950^{\circ}\text{C}$, $P = 6.5$ кбар) к более низкотемпературной магнезиальной роговой обманке ($T_{кр} = 780\text{--}740^{\circ}\text{C}$) и падением давления до 3.7–1.9 кбар при росте железистости до 65%. На рис. 2 они образуют единые тренды с более ранними амфиболами других комплексов Худолазовской мульды. Снижение содержания титана (от 4.2 мас. % TiO₂ до 2 мас. % и менее) при замещении ранних высокотитанистых амфиболов более поздними менее титанистыми, но более железистыми приводит к сбросу титана в форме вторичного ильменита и лейкоксена. Последние образуют мелкокристаллические сегрегации в виде неравномерно распределенных пятен в поздних псевдоморфных амфиболах. Ильменит такого генезиса наиболее богат оксидом титана (до 54.1 мас. %) и обеднен оксидом железа (42.2 мас. %), он не содержит магния и обогащен MnO (3–3.4 мас. %). Подобные сегрегации позднего вторичного ильменита и лейкоксена (сфена) широко развиты и в породах басаевского и худолазовского комплексов, где процесс замещения ранних высокотитанистых амфиболов поздними низкотитанистыми проявлен еще значительно. Это, по-видимому, единые по P–T-условиям поздние процессы преобразования пород Худолазовской мульды на постмагматической, а затем и метаморфической стадиях. На рис. 3 ильмениты такого состава и генезиса занимают самую крайнюю пози-

цию, в нижней части диаграммы. Они максимально обогащены титаном (TiO₂ = 54 мас. %), что говорит об их вторичной низкотемпературной природе.

Апатит в данной пробе обнаружен и в поздних кальцитовых сегрегациях в виде обильных мелких включений с содержанием фтора 1.8–2.13 мас. %, хлора 0.30–0.38 мас. %, серы 0.06–0.10 мас. % при содержании стронция 0.08–0.11 мас. %, железа – 0.45–0.58 мас. %. Апатит ассоциирует здесь с ильменитом, который богат марганцем (3.10 мас. %) и титаном (52.6 мас. %), но беден железом (40.4–41.8 мас. %) и магнием (0.06 мас. %).

Выводы. Проведенные исследования показали, что для пород худолазовского комплекса, специализированного на **Cu–Ni-оруденение**, характерны апатиты с наиболее высокими содержаниями сульфатной серы (до 0.65 мас. %), изоморфной с фосфором в составе анионного комплекса (PO₄)³⁻. Эти апатиты имеют пониженное содержание фтора (<2 мас. %) при значительном содержании хлора (до 1.50 мас. %). Такой характер соотношения галогенов и серы в апатитах может быть рекомендован в качестве одного из наиболее эффективных индикаторных признаков специализации позднепалеозойских аккреционно-коллизийных габродолеритов Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала на **Cu–Ni-оруденение**. **Дополнительным критерием** такой специализации будет наличие в породах сульфидных минералов, богатых медью, никелем, кобальтом. Металлогеническая специализация пород худолазовского комплекса на медно-никелевое оруденение подтверждается и геохимии-

ческими особенностями: высокими содержаниями Cr (940–1340 г/т), Ni (990–1060 г/т), (Co 97–99 г/т) в богатых оливином высокомагнезиальных породах.

Улугуртауский дайковый комплекс завершает базитовый магматизм в Худолазовской мульде. Контактные зоны его даек контролируют оруденение золото-кварцевого типа. Апатиты в этом комплексе характеризуются умеренно повышенными содержаниями хлора (0.3–0.5 мас. %), при содержании фтора 1.5–2.1 мас. % и относительно невысокими содержаниями серы (до 0.10 мас. %). Появление в габбро-долеритах богатых апатитом поздних кальцитовых сегрегаций характеризует состав позднемагматического флюида, в котором одновременно с хлором и небольшим количеством сульфатной серой появляется углекислота. К геохимическим особенностям пород этого комплекса относится наличие резкой положительной аномалии в содержаниях Pb.

Басаевский комплекс по соотношениям галогенов и серы в апатитах не является металлогеническим аналогом утыкташского комплекса, с габбро-диоритами которого связано небольшое по масштабам Канакайское месторождение скарно-магнетитовых руд. Этот комплекс по соотношениям галогенов и серы в апатитах ближе тяготеет к худолазовскому комплексу, но имеет и свою специфику. На это указывает корреляция фтора и серы в апатитах габбро-долеритов, что не характерно для худолазовского комплекса.

В дайках долеритов кизильского комплекса, которые рассекают конформные тела басаевского комплекса и во времени предшествуют формированию рудоносного худолазовского комплекса, уже появляются акцессорные сульфидные минералы, обогащенные Ni, Cu, Co, As. Одни из них (более ранние) образуют включения в пироксене, другие (в том числе мышьяксодежащие) ассоциируют с поздним ильменитом, образующимся в процессе замещения раннего титанистого амфиболом поздним низкотитанистым. Включения в монолинном пироксене представлены пиритом с повышенным содержанием меди, никеля и кобальта: Ni > Cu > Co (0.47, 0.38, 0.17 мас. % соответственно). В ассоциации с поздним ильменитом, в краевой части его зерен, кристаллизуются очень мелкие по размерам никель- и кобальтсодержащие сульфиды: пирит с содержанием Ni > Co (0.52, 0.36 мас. % соответственно) и кобальтсодержащий герсдорфит, в котором содержание Co составляет 12.35 мас. %. Таким образом, усиливается связь по магматическому источнику с последующим во времени рудоносным худолазовским комплексом.

Проведенный одновременно с изучением апатитов анализ эволюции состава и P–T-условий кристаллизации амфиболов в породах Худолазовской мульды свидетельствует о том, что формирование самого раннего басаевского и самого позд-

него улугуртауского комплексов происходило при довольно резкой смене P–T-параметров кристаллизации магматических расплавов в процессе их подъема к поверхности (P от 5–6 до 1–2 кбар). Эти признаки неустойчивости физико-химической обстановки, быстроты кристаллизации расплавов, неравновесности составов были в целом благоприятны для миграции флюидов в экзоконтакты интрузий и даек. В то же время состав амфиболов в породах худолазовского комплекса свидетельствует о более стабильных (стационарных) условиях кристаллизации магматического расплава при выдержанном P 5–6 кбар. Такой субплатформенный режим [5] характеризует тектоническую паузу, возникшую между предшествующими и последующими этапами аккреционно-коллизийных деформаций. Стабильность физико-химической обстановки, длительность кристаллизации способствовали флюидно-магматическому расслоению расплава, кумуляции тяжелой сульфидной минерализации в придонной, обогащенной оливином магнезиальной части габбро-долеритовых интрузий.

Необходимо также отметить, что в целом минералогические и петрологические данные, охарактеризованные выше (близкий состав ранних амфиболов, единый тренд в составах ильменитов и др.), свидетельствуют о возможном генетическом родстве всех интрузивных комплексов Худолазовской мульды, по-видимому связанных с эволюцией единого мантийного (возможно, плюмового?) магматического источника.

Исследования проведены при финансовой поддержке ФАНО и УрО РАН проект 15-18-5-24 и гранта РФФИ 15-05-00576.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов И.С., Сопко Л.Н., Ямаев Ф.А., Калташева И.Ш., Мухаметов И.Ш. Отчет по геологическому доизучению в масштабе 1 : 50 000 объекта “Ургунская площадь” за 1972–1978 гг. Т. 1. Уфа, 1978. 416 с.
2. Рахимов И.Р., Салихов Д.Н., Пучков В.Н., Холоднов В.В., Ронкин Ю.Л. Башкирский Sr-Nd возраст завершающей стадии коллизийного магматизма Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Докл. АН. 2014. Т. 457, № 4. С. 445–450.
3. Салихов Д.Н., Беликова Г.И., Пучков В.Н., Эрст Р., и др. Никеленосный интрузивный комплекс на Южном Урале // Литосфера. 2012. № 6. С. 66–72.
4. Салихов Д.Н., Мосейчук В.М., Холоднов В.В., Рахимов И.Р. Каменноугольный вулканогенно-интрузивный магматизм Магнитогорско-Богдановского грабена в свете новых геолого-геохимических данных // Литосфера. 2014. № 5. С. 33–56.
5. Салихов Д.Н., Рахимов И.Р., Мосейчук В.М. Каменноугольный магматизм коллизийной эпохи на Южном Урале // Геологический сборник № 10. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2013. С. 176–199.

6. Ферштатер Г.Б. Магнитогорская габбро-гранитная интрузия. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1966. 143 с.
7. Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Бочарникова Т.Д. Рифтогенный магматизм и оруденение Южного Урала // Геология руд. месторождений. Т. 47, № 5. 2005. С. 421–443.
8. Холоднов В.В., Бушляков И.Н. Галогены в эндогенном рудообразовании. Екатеринбург, 2002. 390 с.
9. Hammarstrom J. M., Zen E.-An. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer // Am. Mineral. 1986. V. 71, No. 11/12. P. 1297–1313.
10. Otten M. T. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites // Contrib. Mineral. Petrol. 1984. V. 86. P. 189–199.