

*В.В. Холоднов, В.А. Чащухина, Ю.П. Краева, В.Г. Вигорова*

**ДИНАМИКА И СОСТАВ ФЛЮИДНЫХ ФАЗ В ЭВОЛЮЦИИ  
ТИТАНОМАГНЕТИТОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ  
(ПЕРВОУРАЛЬСКО-КАЧКАНАРСКИЙ ТИП)**

Для малотитанистых титаномагнетитовых месторождений платиноносной ассоциации Урала характерна сложная динамика галогенсодержащих флюидных фаз. Ранее был проанализирован характер распределения галогенов в минералах (апатит, амфибол и др.) альпинотипной дунит-гарцбургитовой и платиноносной дунит-клинопироксенит-габбровой формации [3] и в продуктах водного метаморфизма и Na - анатексиса, завершающих преобразование этих комплексов на наиболее ранних этапах конвергентного режима [7].

В эволюции гипербазит-габбровых комплексов Урала как альпинотипных, так и платиноносных ассоциаций, выделены два типа флюидно-магматических систем (ФМС). Первый характеризуется изначально очень низкими концентрациями Cl в апатитах (0,3%), которые в процессе формирования возрастали при постоянном Cl/F отношении. Для него характерен закрытый тип эволюции с внутрикамерным накоплением летучих компонентов за счет фракционирования продуктов кристаллизации "сухой" оливин-клинопироксеновой котектики [2]. Типичный представитель ФМС первого типа - восточно-хабарнинский комплекс, представленный дифференцированной дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовой серией. Максимальное обогащение водой и ранняя (доплагчоклазовая) кристаллизация амфибола характерны в таких системах для наиболее богатых железом и титаном пироксенитов и вебстеритов, с которыми здесь связано малотитанистое титаномагнетитовое оруденение качканарского типа.

Второй тип ФМС проявляется в существенно габбровых породах с первичным амфиболом (Нуралинский, Уктусский, Нижнетагильский и другие массивы). Начинается он с максимально высоких для гипербазит-базитовых ассоциаций концентраций хлора (1-3% Cl в апатитах), которые в процессе кристаллизации пород теряют Cl при устойчивом нарастании концентраций F и снижении Cl/F отношения. Эти, по-видимому, более поздние и первично насыщенные хлором системы развивались на фоне снятия давления, что обеспечивало их открытость и миграцию водно-хлоридного флюида за пределы интрузивных камер с формированием нескарновых метасоматитов со слабоботитанистым магнетитовым оруденением естюнинского типа [5]. Галогенная специфика таких систем связана с дополнительным притоком в зону магмогенерации Cl и H<sub>2</sub>O за счет дегидратации субдуцируемой океанической коры [6].

Постофиолитовый водный метаморфизм амфиболитовой фации и плагиогранитизация (~ 420 млн лет), завершающие преобразование гипербазитовых комплексов Урала в условиях начальных этапов конвергентного режима [7], характеризуются существенно водным составом гранитизирующих флюидов. Содержания хлора в минералах этого этапа минимальны (<0,2% Cl в апатите) и аналогичны характеристикам регионально метаморфизованных толщ амфиболитовой фации [1].

Дополнительно к охарактеризованным выше закономерностям в амфиболитованных рудных пироксенитах и горнблендитах платиноносной ассоциации Урала обнаружен иной (третий) тип распределения галогенов (рис. 1). По времени он следует за первой из описанных выше тенденций, характеризуя взаимодействие богатых хлором флюидов с остаточным рудным расплавом. Рост количества Cl в апатитах коррелируется здесь с интенсивностью развития первичного амфибола в породах и рудах: от 0,1% Cl в апатитах из рудных пироксенитов С-Качканарского месторождения, не затронутых процессами амфиболитизации, до 0,75-1,2% Cl в апатитах сильно амфиболитованных рудных пироксенитов Гусевогорского и до 1,6% Cl в апатите в рудных горнблендитах Первоуральского. Близкая тенденция характеризует процесс амфиболитизации рудных пироксенитов Сахаринского и других месторождений Магнитогорской зоны, где содержание Cl возрастает от более ранних включений апатита в клинопироксене (0,10%) к его поздним включениям в амфиболе (0,70 - 1,20 %). Появление самостоятельной богатой Cl флюидной фазы оказывает существенное влияние на распределение основных элементов-примесей в рудных титаномагнетитах (рис.2-4). В связи с этим первичный характер накопления Ti, Mn, V в рудных титаномагнетитах (см. рис.2, 3) меняется на иной тип распределения, определяемый интенсивностью воздействия на остаточный рудный расплав водно-хлоридного флюида (см. рис.4). Если на раннем этапе пропорциональный рост Cl и F в составе флюидной фазы коррелируется с ростом содержаний Ti, Mn и V в рудном титаномагнетите в ряду верлит-клинопироксенит-рудный клинопироксенит-руда, то на втором, "метаматматическом" этапе происходит формирование более бедного титаномагнетитового оруденения при сохранении высоких содержаний V в титаномагнетите. При этом происходят дополнительный сброс титана в самостоятельную ильменитовую фазу и дальнейший рост содержаний титана в сосуществующем амфиболе. Этот "первичный" амфибол значительно отличается по составу от более позднего амфибола из регионально-метаморфических образований амфиболитовой фации. Последний не содержит хлора и отличается другими параметрами [3] Включения апатита в в

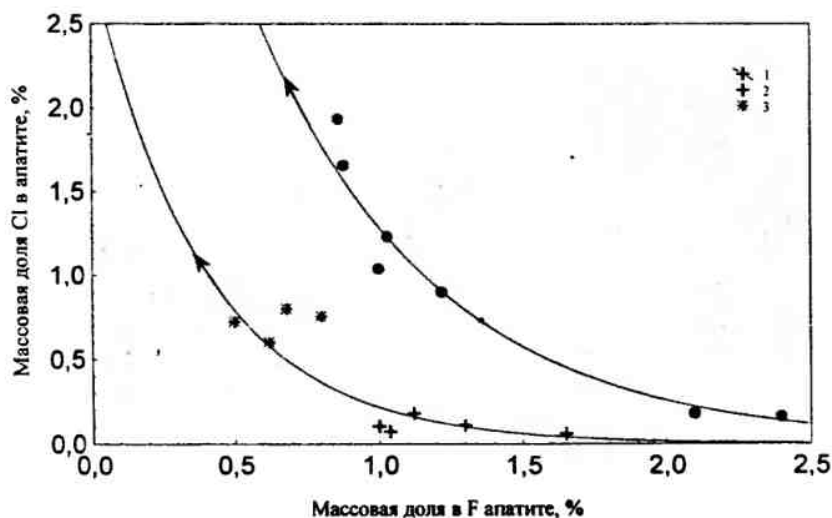


Рис. 1. Эволюция состава апатита в процессе амфиболитизации рудных пироксенитов Качканарского типа.

1 - С-Качканарское, Гусевогорское и Первоуральское месторождения; 2,3 - Сахаринское месторождение Магнитогорской зоны (2 - включения апатита в пироксене, 3 - то же в амфиболе)



Рис.2. Характер изменения соотношений титана и ванадия в рудных магнетитах на различных этапах их формирования (по данным В.Г.Фоминых).

1 - верлиты; 2 - пироксениты; 3 - массивные титаномагнетитовые руды; 4 - рудные горнблендиты и амфиболитизированные рудные пироксениты

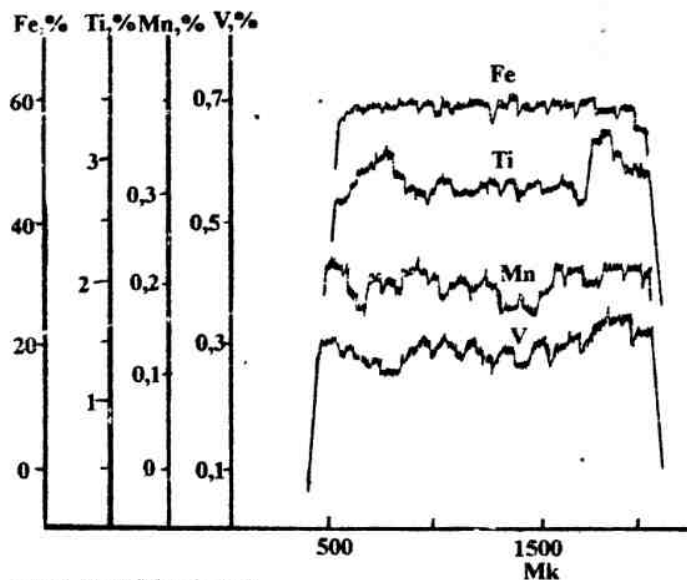


Рис.3. Характер первичного распределения элементов-примесей в титаномагнетитах С-Качканарского месторождения

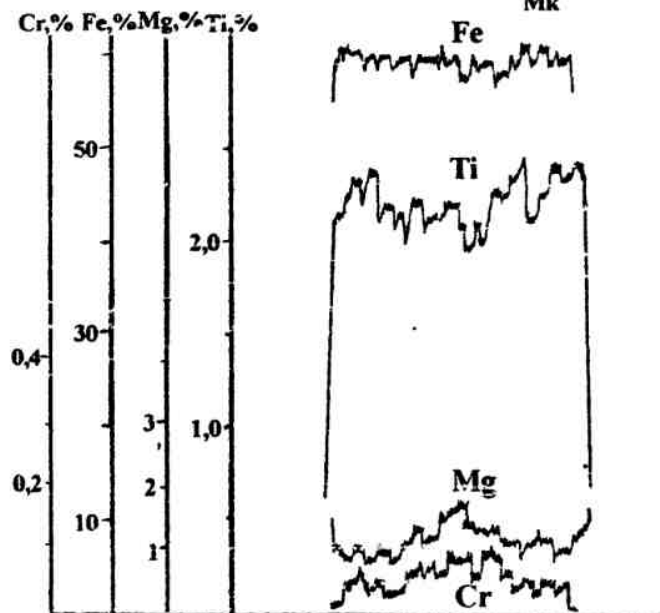
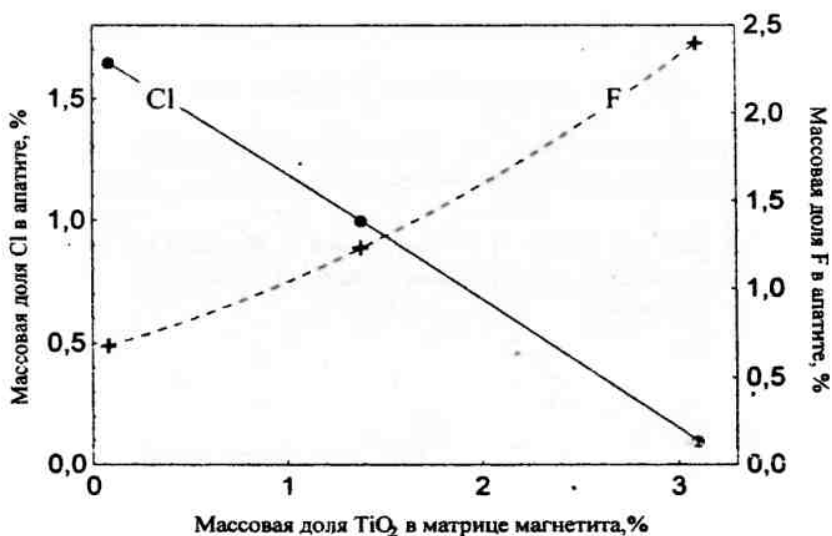


Рис.4 Соотношения фтора и хлора в апатитах и двуокиси титана в матрице магнетитов титаномагнетитовых месторождений с различной активностью галогенов.

1- С-Качканарское, 2- Гусевогорское, 3- Первоуральское месторождения



таким метаморфогенном амфиболе так же не содержат Cl [7].

Месторождения Первоуральско-Качканарской группы существенно различаются между собой по интенсивности проявления такого флюидного воздействия. По уровню насыщения водно-хлоридным флюидом они могут быть разделены на следующие рудообразующие системы:

- 1) с максисально низкими концентрациями водно-хлоридного флюида (С-Качканарский тип);
- 2) с умеренно высокими концентрациями (Гусевогорский тип);
- 3) с максисально высокими (Первоуральский тип).

В такой последовательности существенно меняется и внутренняя морфология самого рудного магнетита. Во всех трех типах месторождений титаномагнетиты характеризуются гетерогенным строением со структурами распада, присутствием включений шпинели, ульвошпинели и ильменита. При этом в С-Качканарском и Гусевогорском месторождениях содержания ильменитовой и ульвошпинелевой фаз выше, чем в Первоуральском. В последнем чаще присутствует шпинель или шпинель с ильменитом. Микроскопическими исследованиями выявлено, что в матрице неоднородных магнетитов, где уже произошел распад на фазы, содержание титана различно для всех трех типов месторождений (см. рис.4). В рудах С-Качканарского месторождения содержание  $TiO_2$  в матрице магнетита достигает 2,6- 3,0 %, а ильменит и ульвошпинель в них образуют мелкую решетку в магнетите. В рудах Гусевогорского месторождения, где выше содержание хлора во флюидной фазе, матрица магнетита менее титанистая ( $TiO_2$  -1,2- 1,5%), ильменит же сегрегирован в самостоятельные, более крупные пластинки (см. рис.4). В рудах Первоуральского месторождения, где была максисально хлоридная система, матрица магнетита наиболее бедна титаном (0,05-0,25%  $TiO_2$ ). Этот малотитанистый магнетит сосуществует с самостоятельными индивидами ильменита, здесь наблюдается лишь очень тонкая шпинелевая фаза.

Таким образом, увеличение активности хлора и воды в процессах титаномагнетитового рудогенеза - важный физико-химический фактор, влияющим на окончательный состав титаномагнетитового оруденения [4] с преобразованием последнего в наиболее ценный для металлургической промышленности генетический тип.

#### Список литературы

1. Бушляков И.Н., Холоднов В.В. Галогены в петрогенезисе и рудоносности гранитоидов. М.: Наука, 1986. 192 с.
2. Пушкарев Е.В., Ферштатер Г.Б. Минералого-петрохимическая дискретность пород и проблема происхождения первичных расплавов дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов// Актуальные проблемы магматической геологии, петрологии и рудообразования. Екатеринбург, 1995, с. 100-119.
3. Пушкарев Е.В., Холоднов В.В., Чащухина В.А., Краева Ю.П. Галогены в гипербазит-габбровых ассоциациях Урала //Ежегодник-1995 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург. 1996. С. 93-96.
4. Фоминых В.Г., Краева Ю.П., Ларина Н.В., Алешин Б.М. Амфиболизация - процесс обла-

раживания титаномагнетитовых руд// Достижения науки - производству. Свердловск. 1988. №2. С 14-15.

5. *Фаминых В.Г.* Естюнинский тип железорудения на Урале и его перспективы//Там же. С. 13.

6. *Холоднов В.В., Язева Р.Г.* Галогенная специфика процессов петро- и рудогенеза в дивергентных палеогеодинамических обстановках (на примере Урала)// Геохимия. 1997. № 12. С.1255-1261.

7. *Холоднов В.В., Язева Р.Г., Чащухина В.А., Краева Ю.П.* Галогены в процессах ультраметаморфизма меланократового фундамента палеодуг // Ежегодник -1996 Ин-та геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург. 1997. С. 134-137.