

## Эндогенные и экзогенные факторы развития флюидных рудно-метасоматических систем трапповой формации юга Сибирской платформы

© *М. П. Мазуров, А. В. Шихова*

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. E-mail: mik@igm.nsc.ru

Показана специфика развития рудно-метасоматических процессов в трапповой скарново-железородной формации южной части Сибирской платформы. Главное значение в металлогеническом отношении имело реакционное взаимодействие базитовых магм и пород траппового комплекса с химически активными карбонатно-соленосными и карбонатно-эвапоритовыми отложениями платформенного чехла и фундамента платформы и с заключенными в них рассолами, растворами и газонефтяными смесями.

**Ключевые слова:** метасоматизм; скарны; железные руды; эвапориты; каменная соль.

## Endogenic and exogenic factors of genesis fluid ore-metasomatic systems related to the Traps of the Southern Siberian Platform

*M. P. Mazurov, A. V. Shikhova*

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: mik@igm.nsc.ru

The paper presents systematized data on evolutionary sequence of fluid ore-metasomatic processes related to the traps iron ore formation of Southern Siberian Platform. From the viewpoint of metallogeny, the most important process was interaction of magmas and rocks of trap complex with chemically active carbonate-salt and carbonate-evaporite rocks of the platform cover and with their connate brines, solutions, and hydrocarbon mixtures.

**Keywords:** metasomatism; skarn; dolerite; iron ores; evaporite; rock salt.

Траппы Сибирской платформы отличаются от других крупных изверженных провинций размещением интрузивных комплексов среди неметаморфизованных отложений чехла и крупномасштабным взаимодействием затвердевающих магм с химически активными эвапоритами (доломитами, ангидритами, известняками и каменной солью). В разведанных на глубину более 2000 м скарновых железородных месторождениях в южной части платформы встречаются контактово-реакционные зоны долеритов с каменными солями, доломитами, известняками, гипс-ангидритовыми отложениями, терригенными неметаморфизованными породами. Эти участки являются природными лабораториями для изучения процессов мобилизации рудных элементов, их миграции и сопряженного отложения, для выяснения специфики рудообразования, вызванного реакцией толеит-базальтовой магмы с карбонатно-соленосными отложениями чехла и заключенными в их поровом пространстве рассолами и растворами, в том числе газонефтяными смесями.

Проблема взаимодействия магм с эвапоритами привлекает большое внимание петрологов и специалистов в области генезиса рудных месторождений. Магнетит-апатитовая минерализация в месторождениях Фенноскандии, в американских Кордильерах, Иране, Австралии и Китае, так же, как и в неизвестных в англоязычной литературе месторождениях России, в минеральном составе которых есть апатит, скаполит, хлоргастингсит, но почти нет кварца, а в околорудных породах детектируется в больших количествах хлор, составляют специфическую группу месторождений. Как подчеркивает в своем обзоре Джон К. Варен [5], в природе проявлены два крайних случая взаимодействия магм и солей: 1) ортомагматический — ассимиляция солей магматическим расплавом, и 2) парамагматический — соль взаимодействует с магмой, а продукты реакции могут проявляться в разных участках реакционных зон. Оба они могут влиять на формирование рудных залежей, но распознаются только по химии и минералогии. Только когда силлы и дайки изверженных пород интродуцируют соленосные массы, контакты могут сохраняться и может быть выявлен прямой эффект взаимодействия магмы и соли. Именно такие случаи зафиксированы нами в пределах контактов разных фаций долеритов с телами каменных солей, доломитов, известняков и ангидритов в исследуемых месторождениях юга Сибирской платформы.

Случаи низкотемпературного «приваривания» солей и магматических пород, сопровождавшиеся незначительными метасоматическими процессами, давно известны на месторождениях Германии, Сибирской платформы и в других регионах. Косвенные признаки магнетит-эвапоритового взаимодействия указываются на месторождениях разных формаций. Так, при изучении многочисленных железородных месторождений среднего и нижнего течения Янцзы утверждается, что месторождения сформированы флюидами, которые отделялись от магм, ассимилировавших значительное количество

эвапоритов триаса [4]. Эти исследователи утверждают, что эвапорит-содержащие бассейны более перспективны для магнетит-апатитовых месторождений, чем бассейны, не содержащие эвапоритов. Эта мысль повторяется в многочисленных публикациях последних лет по скарновым месторождениям Китая. На основе изучения изотопного состава окорудных пород и оценок компонентного состава газовой-жидких включений в минералах, процессам ассимиляции эвапоритовых отложений придается важная роль как источников рудоносных флюидов. Отметим, что современные инструментальные исследования подтверждают ранее высказанную в этом отношении гипотезу Д. И. Павлова [3] о роли внемагматических источников хлора в рудообразовании.

Почти во всех работах, касающихся генезиса скарнов и более низкотемпературных метасоматических пород, утверждается высокое значение экзогенной составляющей флюидов. Показательно, что активное изучение района вулкана Эль-Лако в Чилийских Андах, где в первые годы сообщалось о необычном крупном проявлении эндогенной магнетитовой лавы, позволило установить сложную многостадийную историю рудообразующих процессов, зафиксированную в разных фациях вулканической постройки. Выяснено, что в генезисе рудообразующих флюидов принимали участие: а) магматогенный гидротермальный флюид из кристаллизующейся андезитовой магмы, б) флюид из ближайших солевых озер и 3) метеорная вода [5]. На первом этапе кристаллизации происходила ликвидация несмешивающихся силикатного и богатого железом расплава в пределах глубинного очага андезитовой магмы, ассимилировавшей эвапориты. Реальное распределение несмешиваемых фаз, твердых и расплавных включений в фенокристах и в основной массе андезитов представляет собой сложную картину. По нашему мнению, еще до обособления силикатной и оксидно-сульфидной фракций неизменным компонентом была газовая фаза, выступавшая в дальнейшем как главный агент перераспределения элементов.

В рассматриваемых нами скарновых железорудных месторождениях трапповой формации взаимосвязь эндогенных и экзогенных факторов в развитии рудообразующих процессов более разнообразная и проявлена в широком интервале времени. Главным эндогенным фактором являются траппы, определявшие структурно-тектоническую позицию, энергетику процесса, источники рудного вещества. Экзогенный фактор — это состав и строение рудовмещающих отложений, определявшее размещение проницаемых структур, литологические барьеры, форму и состав эпигенетических рудных залежей. Совмещением инъективных дислокаций под влиянием внедряющихся магматических масс, разрывных и складчатых дислокаций разного ранга возникли сложные рудоносные вулканотектонические постройки, в которых реализовывались сложные реакционные взаимодействия пород и гетерогенных флюидов. Основной каркас рудоносных построек составляют разнофациальные тела траппового комплекса в слоистых толщах чехла и разномасштабные дизъюнктивные нарушения, которые служили проницаемыми зонами для флюидных потоков. Эволюция рудно-метасоматических процессов наиболее полно отражена в строении и составе крупных Коршуновском и Рудногорском месторождениях, вскрытых по вертикали разведочным бурением на глубину более 2 км, а стадии и механизмы рудообразования изучены нами по материалам детального картирования, изучения минерального состава руд и скарнов [1,2].

Участие фосфатных отложений ордовика сказалось на широком развитии форстерит-апатит-магнетитовых жильных и оолит-сферолитовых руд на верхних горизонтах месторождений. Ассимиляцией доломитов обусловлена повышенная магнезиальность долеритов в рудных районах. Значительно большее влияние доломитов сказалось на составе флюидов. В этих месторождениях распространены магнезиальные скарны магматической и послемагматической стадий, многочисленные апоскарновые ассоциации. При разведке глубоких месторождений были вскрыты контакты долеритов с соленосными свитами, что позволило исследовать непосредственные контакты долеритов с пластами однородной каменной соли и с мелкими линзами, переслаивающихся с известняками, доломитами, ангидритами. Особый интерес вызвало необычное строение апофиз лакколлитов в краевых частях и на передовом фронте среди переслаивающихся пачек эвапоритов. Внешне они напоминают конгломерат с кальцит-ангидрит-галитовым цементом. Это долериты, превращенные при внедрении и быстром охлаждении в глобулы (округлые фрагменты расплава), скарнированные при взаимодействии с карбонатно-солевым флюидом (расплавом-раствором). В отдельных участках сохранились реликты продуктов смешения магмы с эвапоритами. Это глобулы долеритов, обломки силикатного стекла, гнезда карбонатов скопления микролинз и отдельных кристаллов галита, вкрапленность титаномагнетита.

Внедряющаяся магма состояла из интрателлурических вкрапленников оливина, пироксена и плагиоклаза, несмешивающихся силикатных и оксидно-сульфидных жидкостей. Вмещающие карбонатно-соленосные толщи содержали растворы, рассолы и газонефтяные смеси. Смешение и совместная дезинтеграция магмы и вмещающих пород приводило к появлению высокотемпературных флюидов

дов — солевых расплавов-растворов. Реакционно-термическое взаимодействие было неодинаковым на контактах долеритов с солью и с доломитами. Вкрапленность магнетита во внешних зонах метасоматической колонки является индикатором извлечения железа из долеритов как на контакте с доломитами, так и с солями. Железо, экстрагированное высокотемпературными флюидами, является источником рудных масс в сопряженных участках. Отличия разных генераций солей позволяет использовать эти данные для генетических реконструкций.

*Работа выполнена в рамках государственного задания IX.125.1.9.(0330-2026-0010).*

#### *Литература*

1. Метасоматизм и рудообразование в контактах долеритов с соленосными отложениями чехла юга Сибирской платформы / М. П. Мазуров [и др.] // Геология рудн. месторождений. 2007. Т. 49. № 4. С. 306–320.
2. Эволюция рудно-метасоматических процессов в крупных скарновых железорудных месторождениях трапповой формации Сибирской платформы / М. П. Мазуров [и др.] // Петрология. 2018. Т. 26. № 3. С. 265–279.
3. Павлов Д. И. Магнетитовое рудообразование при участии экзогенных хлоридных вод. М.: Наука, 1975. 248 с.
4. Li W., Audetat A., Zhan J. The role of evaporites in the formation of magnetite-apatite deposits along the Middle and Lower Yangtze River, China: Evidence from LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions // Ore Geology Reviews. 2015. V. 67. P. 264–278.
5. Tornos F., Velasco F., Hanchar J. M. Iron-rich melts, magmatic magnetite and superheated hydrothermal systems: The El Laco deposits, Chile // Geology. 2016. V. 44. № 6. P. 427–430.
6. Warren J. K. Magma-Evaporite-Hydrothermal Association / Evaporites: A Geological Compendium. Springer Publ., 2016. P. 1591-1657. DOI: 10.1007/978-3-319-13512-0.

**Мазуров Михаил Петрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск.