

**К ВОПРОСУ О ГЕНЕЗИСЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЫ
ВО ВТОРИЧНЫХ КВАРЦИТАХ КАМЧАТКИ**

О генезисе месторождений серы во вторичных кварцитах существуют различные мнения. Среди исследователей вулканических серных месторождений нет единого мнения о формах связи серного оруденения со вторичными кварцитами, о возрасте серных месторождений, о структурном контроле серного оруденения.

В настоящей статье делается попытка выявить некоторые генетические особенности формирования гидротермальных месторождений самородной серы, расположенных в пределах Центрально-Камчатской рудной зоны. Последняя представляет собой узкую (30—40 км) полосу вторичных кварцитов и пропицитов, прослеживающуюся с небольшими перерывами на восточных склонах Корякского и Срединного Камчатского хребтов от р. Ветровая на севере до рек Кимитина и Кирганик — на юге, т. е. на протяжении свыше 1000 км. В структурном отношении поля развития этих пород приурочены к Центрально-Камчатскому глубинному разлому в присводовой части Камчатско-Корякского антиклинория, представляющего собой внутреннюю вулканическую дугу Камчатки (Власов, Ярмолюк, 1959).

Разлом представлен кулисообразными тектоническими нарушениями и опережающими их трещинами, с которыми связаны рудопроявления ртути, молибдена, полиметаллов, золота и многочисленные серопроявления.

Г. М. Власов и М. М. Василевский (1964) описывают процесс гидротермального рудообразования в Центрально-Камчатской рудной зоне как длительную, закономерную эволюцию магматического очага, которая начинается от верхнего мела и кончается поздним плиоценом. При этом сравнительно высокотемпературные глубинные минеральные ассоциации с халькопиритом и молибденитом последовательно сменялись приповерхностными, низкотемпературными ассоциациями с алунитом и самородной серой.

Как считают эти авторы, Центрально-Камчатская вулканическая зона от мела и до плиоцена испытывала устойчивое поднятие, в процессе которого увеличивалась жесткость вулканогенных толщ, их трещиноватость и проницаемость, что способствовало уменьшению глубины залегания магматического очага. Последнее вызвало уменьшение глубины эндогенного рудообразования и увеличение кислотности рудообразующих растворов (переход системы из закрытой в открытую).

При этом серное оруденение является конечным звеном процесса рудообразования и пространственно (и генетически) ассоциирует с поздненеогеновыми экструзиями долгоживущих андезитовых вулканов (вулканов над интрузиями), на месте которых наблюдаются обширные кальдеры (Власов, 1949; Власов, Петраченко, 1965).

Физико-химическая сторона генезиса серных месторождений во вторичных кварцитах освещена Г. М. Власовым (1949). По его схеме отложение самородной серы во вторичных кварцитах происходит в результате химического взаимодействия сернокислых гидротермальных растворов с туфами или эффузивами, вследствие чего эти породы замещаются серой, опалом, алунитом, сульфидами железа, образуя горизонтальную метасоматическую зональность вторичных кварцитов. Наиболее перспективными при этом являются породы зоны серных кварцитов, в которых количество серы и кремнезема часто соответствует их молекулярному соотношению (содержание серы около 33%). Это явление можно объяснить предельной сорбцией серы коллоидами кремнезема. Серные кварциты представляют собой обычно бледно-желтые и зеленовато-желтые крепкие массивные породы, состоящие из опала, кварца и серы с постоянной примесью рутила и лейкоксена. Наиболее распространенная структура руд (интерстициальная или сетевидная) характеризуется резким ксеноморфизмом серы по отношению к микрокристаллическому кварцу. Сера располагается в интерстициях зерен кварца. Такие структуры могут возникнуть при перекристаллизации руд, а первичные структуры имеют колломорфный характер; Г. М. Власов удалось наблюдать чередование в колломорфных структурах тончайших прослоек серы, опала и марказита, что указывает на одновременное отложение этих минералов из растворов. На этом основании Г. М. Власов отнес серные кварциты к фациальной разновидности вторичных кварцитов. По его данным, серные кварциты слагают центральные части зон вторичных кварцитов и с удалением от разломов, подводящих гидротермы, сменяются породами зоны каолинизации с алунитовой и серицитовой подзонами, которые, в свою очередь, окаймляются зоной пропилитовых изменений. Образование этих зон обусловлено последовательной нейтрализацией ультракислых растворов по мере их взаимодействия с основными или средними по составу вулканическими породами.

В последнее время по вопросу происхождения серных руд во вторичных кварцитах возникли несколько иные точки зрения. В частности, И. П. Аверьянов (1964) описывает процесс сероотложения как заполнение серой пустот и пор выщелоченных пород. При этом на небольших глубинах от поверхности формируются импрегнационные залежи, в которых сера имеет наложенный характер. Метасоматические залежи серы как самостоятельный тип отсутствуют, и отложение серы обусловлено не обменными реакциями раствор-порода, а окислительно-восстановительными реакциями в самих гидротермальных растворах, богатых H_2S и O_2 . Отложение самородной серы во вторичных кварцитах происходит в заключительные этапы гидротермального метаморфизма, когда появившиеся в породах поры и пустоты способствовали проникновению на глубину вадозовых вод, богатых растворенным кислородом.

В последние годы работами партий Камчатского геологического управления на юге Камчатки, в Центральной Камчатке и в юго-западной части Корякского хребта получены новые данные о возрасте, зональности и генезисе месторождений серы во вторичных кварцитах. Этими работами устанавливается, что подавляющее большинство полей вторичных кварцитов и почти все серопроявления в пределах Камчатско-Корякского антиклинория приурочены к вулканогенным отложениям анавгайской серии ($Pg-N_1^2$).

Местами сероносные породы скрыты под неизменными эффузивно-пирокластическими образованиями алнейской серии ($N_1^3 - N_2$), лежащими на вторичных кварцитах с угловым несогласием. Это послужило основанием для утверждения, что большинство вторичных кварцитов

и серопроявлении, связанных с ними, относятся к доверхнемиоценовому возрасту.

Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что серное оруденение контролируется антиклинальными структурами. В пределах крупной структуры Камчатско-Корякского антиклинория серопроявления не имеют повсеместного распространения, а сосредоточены на отдельных, изолированных один от другого участках (структуры типа брахискладок). В пределах этих структур нередко выделяется более мелкая складчатость, с которой связываются отдельные месторождения — Малетойваямское, Лесновское, р. Половинной).

Большую роль в структурном контроле серного оруденения играют дизъюнктивные нарушения, сопряженные со складчатостью.

Обширные поля вторичных кварцитов, приуроченных к антиклинальным структурам 2-го порядка, контролируются в то же время крупными разломами, ограничивающими Камчатско-Корякский антиклинорий.

В пределах линейновытянутых полей отмечается повсеместная зараженность серной минерализацией. Промышленные концентрации серного оруденения наблюдаются, как правило, в зонах более мелких разрывных нарушений, оперяющих крупные разрывы. В связи с этим многие крупные серопроявления (Малетойваямское, Ветроваямское, р. Половинной и др.) располагаются в окраинных частях полей вторичных кварцитов.

Следует указать на тесную пространственную связь серного оруденения с гранитоидными интрузиями. Ассоциация сероносных вторичных кварцитов и малых интрузий порфировидных гранодиоритов и кварцевых диоритов наблюдается повсеместно. По всей вероятности, вторичные кварциты, несущие серную минерализацию и малые приповерхностные интрузии, связаны между собой общностью магматического источника.

Наряду с горизонтальной зональностью, описанной Г. М. Власовым, на месторождениях серы во вторичных кварцитах Камчатки отчетливо проявляется вертикальная зональность, заключающаяся, в общем случае, в смене (сверху — вниз) плотных сливных монокварцитов алунитовыми кварцитами, имеющими четкий контакт, которые с глубиной постепенно сменяются серицито-кварцевыми породами. Последние на глубине довольно резко переходят в пропилиты трансильванского типа. Подобная зональность объясняется С. И. Набоко (1961, 1963) и В. В. Аверьевым (1961) явлениями подземной дегазации и вскипанием гидротермальных растворов в приповерхностных условиях.

Самородная сера наблюдается в широком вертикальном диапазоне — от серицито-кварцевых пород (на границе с пропилитами) до монокварцитов. Наиболее крупные скопления серы отмечаются в алунитовой подзоне (месторождения р. Половинной, Малетойваямское, Лесновское и др.).

Серные алунитовые кварциты образуют тела неправильной формы, приуроченные к зонам дробления в эффузивно-туфовых отложениях анавайской серии. Размеры тел весьма различны и зависят в первую очередь от проницаемости пород по отношению к гидротермальным растворам. Наиболее крупные рудные залежи образованы за счет пористых грубообломочных туфов. Мощность таких залежей достигает 80—100 м.

Верхние части рудных тел, как правило, сложены кварцем, алунитом и серой, находящимися в разнообразных количественных отношениях. На нижних горизонтах залежей к ним присоединяются каолин, серицит и пирит. Из других минералов наиболее часты диаспор и барит.

Повсеместно на месторождениях наблюдается неравномерное оруденение серой, в массивных рудах обычны участки плотных кварцитов без

серы. Как правило, отмечается избирательная приуроченность серных руд к измененным грубообломочным туфам (обычно к пористому цементу), в то время как измененные эффузивы, чередующиеся с туфами, ввиду небольшой пористости остаются безрудными или несут редкое вкрапленное оруденение.

Наблюдения под микроскопом показывают, что сера не замещает первичных минералов исходных пород, а развивается в мелких порах, пустотках выщелачивания, где нередко ассоциирует с пластинчатым алунитом. В таких случаях образуются интерстициальные структуры серных алунитовых кварцитов, в которых сера и алунит располагаются в промежутках изометричных зерен кварца.

Имеются данные, свидетельствующие о многоэтапном образовании серных руд в длительную гидротермальную стадию. Так, при микроскопическом изучении серных алунитовых кварцитов нередко обнаруживаются неравновесные минеральные ассоциации: сера-турмалин; сера — диаспор; сера — диаспор — хлорит.

Следует также отметить наблюдавшееся в ряде мест образование серы по зонам дробления в алунитовых кварцитах и отсутствие прямой связи между количеством серы и степенью метасоматоза.

Характерно, что на многих месторождениях алунит наблюдается в виде двух генераций. Более ранняя из них представлена криптокристаллическим, ксеноморфным алунитом, который совместно с кварцем замещает минералы исходных эффузивов и туфов. Во второй генерации — пластинчатый алунит тесно ассоциирует с серой; соотношение этих минералов показывает, что выделение их из жидких растворов является почти одновременным. Формирование алунитов первой генерации имело место, по-видимому, при нейтрализации кислых растворов в результате их взаимодействия с вмещающими породами.

В отличие от этого образование серы и пластинчатого алунита протекало в длительную гидротермальную стадию, в условиях понижения температуры из кислых растворов, богатых O_2 , SO_2 и H_2S , в приповерхностной обстановке.

Формированию этих минералов предшествовало кислотное выщелачивание пород с образованием алунитовых кварцитов. Следует признать наложенный характер серного оруденения, подчеркивая тем самым, что сера образуется не при химическом взаимодействии пород с растворами, характерном для метасоматоза, а отлагается в гидротермальный этап в результате окислительно-восстановительных реакций, связанных с режимом H_2S , SO_2 и O_2 в самих растворах.

Другая, незначительная часть серы в алунитовых кварцитах могла образоваться из газовой фазы за счет резкого окисления сероводорода поверхностным кислородом: $2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S$, или даже в результате взаимодействия $H_2S + SO_2 = H_2SO_4 + 2S$.

Эти реакции, по всей вероятности, имеют главное значение для образования редкой вкрапленной серы в плотных монокварцитах. Как уже отмечалось выше, эти породы занимают верхние части разрезов вторичных кварцитов, и их положение соответствует зоне наибольшей поверхностной дегазации растворов.

Необходимо также отметить, что при пересыщенности растворов H_2S и SO_2 газы могут профильтроваться через раствор, опережать растворитель — воду и скапливаться в верхних горизонтах, образуя сублимационную серу.

Выпадение серы из жидкой фазы на уровне монокварцитов, очевидно, затруднено ввиду сильноокислительной обстановки и существования в растворах устойчивого аниона (SO_4).

В миоценовых вторичных кварцитах Камчатки широко распространены плотные, сливные монокварциты (иногда с редкой вкрапленной

серой) и гораздо менее представлены пористые разности, что также является причиной отсутствия значительных скоплений гидротермальной серы в монокварцитах указанных месторождений. Допустимо, что плотные монокварциты могли служить экранами для серного оруденения в алунитовых кварцитах.

На более глубоких горизонтах, в серицито-кварцевых породах самородная сера наблюдается в тесной связи с тонкораспыленными сульфидами железа. Образование здесь серы, вероятно, нужно связывать с окислением сульфидной серы в самородную. Как и в алунитовых кварцитах, сера в серицито-кварцевых породах отлагается в заключительный этап гидротермального метаморфизма, после образования пор и пустот выщелачивания, благодаря которым на глубину проникали поверхностные воды, обогащенные кислородом воздуха.

В заключение необходимо остановиться на вопросе о поведении серы в зоне окисления. Большинство исследователей полагает, что в поверхностных условиях сера сравнительно легко окисляется. При этом могут образовываться коры выветривания серных месторождений, мощность которых достигает нескольких десятков метров (Власов, 1949; Власов, Петраченко, 1965). И. П. Аверьянов (1964) практически отрицает возможность поверхностного окисления серы. По его мнению, разрушение серных залежей происходит механическим путем ввиду неустойчивости серы при воздействии на нее некоторых внешних факторов (например, температуры воздуха).

Буровые и шурфовочные работы, проведенные в последние годы на месторождении серы р. Половинной, Малетойваямском месторождении и на ряде других серопроявлений Камчатки, позволяют внести некоторые уточнения.

Этими работами устанавливается, что мощности полностью «выщелоченных» руд незначительны и составляют в среднем 0,5—3 м, редко достигая 10—15 м.

Зависимость интенсивности поверхностного окисления серы от некоторых геологических и гидрогеологических факторов можно видеть на примере Малетойваямского месторождения. Здесь максимальная мощность зоны окисления (10—12 м) наблюдается в южной части площади выше уровня грунтовых вод, на месте рыхлых и пористых каолиновых кварцитов с серой. Однако и здесь окисление серы развивается не повсеместно. На участках распространения водоупорных монтмориллонитовых глин, перекрывающих серные каолиновые кварциты, окисление серы не происходит. Минимальная мощность окисленных руд на месторождении (0,5—1 м) наблюдается в местах развития плотных сливных кварцитов с вкрапленной серой.

Пример Малетойваямского месторождения показывает, что наиболее интенсивно процесс окисления серных руд протекает при наличии двух основных условий: непосредственном доступе к рудному телу поверхностных вод, богатых кислородом, и сильной пористости и трещиноватости руд.

По всей вероятности, эти условия наиболее благоприятны для развития биологического процесса окисления серы, ведущая роль которого, применительно к осадочным месторождениям серы, доказана М. В. Ивановым (1964), Каравайко (1962), Соколовой и Каравайко (1962).

Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы.

1. В Центрально-Камчатской рудной зоне широко распространены гидротермальные месторождения самородной серы во вторичных кварцитах. Они приурочены к брахиантиклинальным поднятиям, контролируются разрывными нарушениями и парагенетически связаны с малыми гранитоидными интрузиями Алеутской фазы тектогенеза на границе среднего и верхнего миоцена. Гораздо менее широко представлены серо-

проявления, ассоциирующие с сольфатарно-измененными породами разрушенных плиоцен-древнечетвертичных вулканов (месторождение вулкана Алией и ряд других).

2. Специфика миоценовых серных месторождений Камчатки заключается в приуроченности основных скоплений серы к подзоне алунитовых кварцитов.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверьев В. В. Условия разгрузки Паужетских гидротерм на юге Камчатки.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР, 1961, вып. 19.
- Аверьянов И. П. О серусодержащей разновидности пропилитизированных пород на о-ве Парамушир (Курильские острова).—ИЗВ. АН СССР, серия геол., 1964, № 2.
- Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования.—В кн.: «Основные проблемы в учениях о магматогенных рудных месторождениях», Изд-во АН СССР, 1953.
- Власов Г. М. Вулканические серные месторождения Японии.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР, 1949, вып. 6.
- Власов Г. М., Василевский М. М. Гидротермально-измененные породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности образования. Изд-во «Недра», 1964.
- Власов Г. М., Петраченко Е. Д. Метасоматические месторождения серы Камчатки и Курильских островов.— Сов. геология, 1965, № 5.
- Власов Г. М., Ярмолюк В. А. Структурно-тектонические районы Камчатки. Докл. АН СССР, 1959, т. 127, № 1.
- Иванов М. В. Роль микробиологических процессов в генезисе месторождений самородной серы, изд-во «Наука», 1964.
- Каравайко Г. И. О химическом и биологическом окислении серы в лабораторных условиях.— Микробиология, 1962, т. 31, № 3.
- Коржинский Д. С. Соотношение между активностью кислорода, кислотностью и восстановительным потенциалом при эндогенном минералообразовании.— Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 3.
- Набоко С. И. Современные гидротермальные процессы и метаморфизм вулканических пород.— Труды Лабор. вулканологии, АН СССР, 1961, вып. 19.
- Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. Изд-во «Недра», 1964.
- Соколова Г. А., Каравайко Г. И. Биогенное окисление раздольской серной руды в лабораторных условиях. Микробиология, 1962, т. 32, № 6.