Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 2, 1968 г.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ (ПРОПИЛИТЫ, ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ) И ИХ ПОИСКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ

С. В. Сендек

Широкое развитие геологических исследований в вулканогенных областях способствовало обнаружению целого ряда месторождений и рудопроявлений металлов (Au, Ag, Cu, Mo, Pb, Zn, Sb, Hg, Bi, U и др.) и неметаллов (алуниты, корунд, сера). В свою очередь эти открытия привлекли внимание геологов к выяснению рудоносности вулканогенных образований вообще и к изучению особенностей формирования гидротермально измененных пород, с которыми ассоциируют рудопроявления, в частности.

В обширной литературе, посвященной разбору условий формирования гидротермально измененных пород вулканогенных областей и охватывающей без малого вековой период изучения этих образований, начиная с Ф. Рихтгофена [1868] и А. А. Иностранцева [1877] до наших дней, особое значение отводится явлениям пропилитизации и образования вторичных кварцитов, с которыми связываются процессы оруденения.

Не останавливаясь на историческом обзоре взглядов различных исследователей, отметим, что наиболее важными для понимания особенностей формирования пропилитов и вторичных кварцитов являются работы отечественных геологов [Коржинский, 1953, 1961; Наковник, 1954, 1956, 1963; Набоко, 1961, 1962, 1963, 1965; Власов, 1958; Власов, Василевский, 1958, 1959 а, б; 1961; Власов, Василевский, Жегалов, 1959; Василевский, 1961, 1966; Василевский, Ротман, 1965] и зарубежных исследователей [Jwao, 1949; Burbenk, 1950; Kerr, 1932; Kato, 1928].

Общеизвестно, что пропилитовое изменение вулканогенных пород выражается в новообразовании минералов альбита, адуляра, амфибола (актинолита), эпидота, хлорита, рутила, карбонатов, серицита, кварца, пирита и цеолитов. Под вторичными кварцитами принято понимать комплекс тесно связанных минеральных фаций измененных вулканогенных пород, состоящий из кварца, серицита, алунита, пирофиллита, диккита, андалузита, диаспора, корунда, рутила и сульфидов (пирита, марказита). Если о минеральном составе измененных пород, отвечающих

пропилитовому и кварцитовому преобразованиям, мнения исследователей почти единодушны, то геологическая позиция формирования указанных пород основательно дискутируется.

Кардинальным вопросом в изучении гидротермально измененных пород является соотношение процессов пропилитизации и образования вторичных кварцитов с оруденением. И здесь исследователи разделяются на два противоположных лагеря.

Одни считают [Василевский, 1966], что гидротермальный метаморфизм пород — явление региональное, особенности его зависят от общего характера развития вулканогенных областей на разных стадиях геологической истории, и процесс оруденения разорван во времени и не связан с метаморфизмом, а наложен на него. Другие [Наковник, 1954, 1964] видят прямую связь между явлениями метаморфизма и оруденением.

Следует заметить, что большинство геологов, несмотря на существующие различия, все же рассматривает процессы оруденения и образования вторичных кварцитов, если и не прямо зависимыми, то, по крайней мере, взаимообусловливающими друг друга (медно-порфировые руды, сурьмяно-ртутная минерализация, алуниты, корунд, сера). Что же касается связи оруденения с пропилитизацией, то здесь единого мнения не существует.

В настоящей статье на основе анализа литературы и наблюдений соотношений гидротермально измененных вулканогенных пород Северного побережья Охотского моря нам хочется обратить внимание на некоторые особенности образования рассматриваемых пород, которые частично были высказаны ранее, но в дальнейшем не получили должного акцента при выяснении соотношений процессов метаморфизма и оруденения.

Пространственная связь явлений пропилитизации и образования вторичных кварцитов. М. М. Василевский полагает, что «под пропилитизацией, в наиболее типичном ее выражении, следует понимать региональный дорудный гидротермальный метаморфизм основных и средних пород вулканогенных формаций» [1966, стр. 643]. Он выделяет две генетические группы пропилитов — одни, образующиеся в результате процессов автогидротации, т. е. синхронные образованию вулканогенных масс, и вторые, возникающие в связи с региональным гидротермальным метаморфизмом, т. е. наложенные пропилиты. Обе генетические группы пропилитов эволюционно связаны между собой. К явлениям пропилитизации М. М. Василевский, развивая представления Д. С. Коржинского [1953], относит породы зеленокаменного изменения, столь свойственные древним вулканогенным образованиям Урала, Северного Кавказа, Аппалачей и других областей.

Н. И. Наковник [1954, стр. 88] под пропилитами понимает «продукты гидротермального изменения главным образом средних и основных изверженных пород, часто возникающих при формировании рудных жил...». Более того, «пропилитизация является наиболее распространенным типом гидротермального изменения, т. е. проявляется не только самостоятельно, но почти всегда и при формировании вторичных кварцитов». Комплекс зеленокаменно измененных пород Н. И. Наковник исключает из понятия пропилит.

Из приведенных определений отчетливо видны существующие противоречия, основа которых заключается не столько во включении или невключении в процессы пропилитизации явления зеленокаменного перерождения пород, сколько в наличии связи между пропилитизацией и формированием вторичных кварцитов, а соответственно и оруденением.

По М. М. Василевскому, такая связь отсутствует. По Н. И. Наковнику, связь между рассматриваемыми продуктами гидротермального изменения прямая, взаимообусловленная.

Из анализа обширнейшего литературного материала можно постулировать, что в природе не встречено массивов вторичных кварцитов, которые по флангам и на глубину не переходили бы в пропилитизированные породы. Степень пропилитизации около массивов вторичных кварцитов может быть разной в зависимости от исходного состава метаморфизованных пород (в кислых породах — менее ясная, в основных и средних — отчетливая), но сам факт пропилитизации обнаруживается всегда.

Чрезвычайно интересные наблюдения С. И. Набоко [1963] на Камчатке и Курильских островах показывают, что процессы пропилитизации и образования вторичных кварцитов могут проходить одновременно. Между этими процессами существует хоть и очень сложная, но ясно выраженная связь, обусловленная сочетанием целого ряда факторов: геологических, физико-химических, глубины формирования измененных пород. В общем случае кварциты формируются в областях сводовых поднятий и аппаратов вулканов, а пропилитовое изменение пород тяготеет к периферийной части этих поднятий и аппаратов вулканов, к местам разгрузки глубинных гидротерм.

Такова общая зональность в распределении одновременно образующихся гидротермально измененных пород в вулканогенной области (на примере Камчатки).

Если обратиться к более локальному распределению в пространстве вторичных кварцитов и пропилитизированных пород, то по материалам Г. М. Власова и М. М. Василевского [1958, 1959 а, 1961], С. И. Набоко [1961, 1962, 1963, 1965] по Камчатке и Курильским островам, Н. И. Наковника [1964] по Казахстану, Т. Като [1928] по Японии и многим другим устанавливается ясно выраженная зональность в распределении этих пород. Такая зональность отражает не только пространственное сообщество кварцитов и пропилитов, но, что самое главное, их связь и взаимообусловленность в исторической последовательности формирования. Она выражается в образовании определенных парагенетических и фациальных минеральных сообществ, зависящих от исходного состава метаморфизующих терм, глубины метаморфизма пород, их первичного состава, температуры, давления, окислительного влияния кислорода и многих других факторов.

Каждым минеральным сообществам измененных пород соответствует своя рудная «нагрузка», что многократно подчеркивалось большинством исследователей.

Районы разгрузки глубинных гидротерм вулканогенных формаций, которые могут рассматриваться как области региональной пропилитизации пород, так же неоднородны по типу гидротермального преобразования. По С. И. Набоко [1963], в областях разгрузки глубинных гидротерм, в силу сочетания общегеологических и физико-химических условий метаморфизма, может проходить дифференциация гидротерм, результатом которой будет появление закономерно связанных между собой собственно пропилитовых, фельдшпатизированных, цеолитизированных и аргиллитизированных пород, с одной стороны, и кварцито-алунито-опалитов, с другой. В областях разгрузки гидротерм прошлых геологических эпох, обособленных от аппаратов вулканических извержений, встречаются соответствующие данным условиям метаморфизма пород рудопроявления Au — Ag, As — Sb — Hg (Корякское нагорье, северное побережье Охотского моря, Закарпатье).

Следовательно, процессы пропилитизации и кварцитообразования взаимозависимы и чрезвычайно разнообразны в силу специфичности конкретных условий их проявления.

Временные соотношения процессов пропилитизации и кварцитообразования. Исследователи неоднократно обращали внимание на то, что в вулканогенных областях процессы пропилитизации в общем объеме измененных пород значительно превалируют над явлениями кварцитообразования, особенно, когда метаморфизму подвержены породы основного и среднего составов. Это явление объясняется по-разному. Одни исследователи [Коржинский, 1953; Василевский, 1966], как это было указано ранее, полагают, что пропилитизация — это региональное явление, проявляющееся на разных этапах развития вулканогенных формаций и потому более длительное, в то время как кварциты, будь то продукты приконтактового выщелачивания или сольфатарного изменения, — локальное явление, развивающееся на каком-то определенном этапе развития вулканизма. Другие [Наковник, 1954, 1964] видят причину в исходном составе магматических проявлений и определенной глубинности (приповерхносности) образования кварцитов в сравнении с пропилитами, для которых этот интервал более широк. Отсюда немаловажны эрозионная расчлененность вулканогенных пород, а также влияние последующих метаморфических преобразований регионального плана, изменяющих облик вторичных кварцитов и затушевывающих пропилитовые породы региональным зеленокаменным перерождением. Не оспаривая высказанных положений, которые в каждом конкретном случае выглядят достаточно убедительно, отметим, что на одном и том же интервале глубин, где возможно формирование кварцитов, процессы пропилитизации в общем объеме измененных пород будут преобладать над процессами кварцитообразования. Причину такого явления мы видим во временных соотношениях рассматриваемых процессов.

Общеизвестно, что пропилитизация пород проходит в восстановительных условиях в слабокислой, нейтральной или слабощелочной средах под воздействием натрово-кальциевых гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридных терм. Формирование кварцитов обязано воздействию на породы кислых существенно сульфатных растворов, возникающих в условиях окислительной среды.

При рассмотрении вертикальной зональности гидротермально измененных пород, когда вторичные кварциты подстилаются существенно пропилитизированными разностями, исследователи исходят из того, что подобная зональность объясняется сменой восстановительной обстановки на окислительную, вызывающую эволюцию метаморфизующих растворов и соответственно характер метаморфизма пород.

В подавляющем большинстве исследователи, изучающие массивы вторичных кварцитов, сталкиваются с горизонтальной метасоматической зональностью, где центральные части массивов, трассирующие пути движения растворов, сложены наиболее измененными разностями, сменяющимися к периферии пропилитовыми и далее неизмененными породами. Взаимоотношения различных минеральных зон позволяют утверждать, что внутренние фации развиваются за счет внешних (реликты незамещенных внешних зон во внутренних; прожилки минералов, свойственные внутренним фациям, во внешних зонах). Значит, образование массивов вторичных кварцитов начиналось с воздействия на породы щелочно-нейтральных растворов, которые в дальнейшем сменяются кислыми и ультракислыми сероводородными (сульфатными) термами. Смена составов растворов во времени объясняется эволюционным развитием кислотности-щелочности первичных эндогенных эманаций, отделившихся

на разных стадиях становления промежуточного магматического очага*. Представляется, что приведенные доказательства вряд ли можно считать универсальными.

В рассмотренных соображениях отчетливо улавливаются противоречия. Вертикальная зональность объясняется сменой среды минералообразования при едином исходном составе терм, в то время как горизонтальная зональность на уровне достаточного кислородного насыщения обязана изменением во времени первичных эндогенных щелочно-нейтральных растворов на кислые. Причем, чем интенсивнее проявлены изменения кислотности — щелочности первичных растворов, тем отчетливее выражена горизонтальная зональность. Следовательно, для формирования кварцитов в одном случае необходимо изменение внешних условий среды, в другом — внутренних. Между тем, распределение минеральных зон в вертикальной и горизонтальной последовательности взаимосвязано — наиболее удаленные по флангу зоны обычно более глубинны, и они почти тождественны по минеральным ассоциациям.

Гидрогеологи и гидрохимики, занимающиеся выяснением природного состава и генезиса термальных вод в областях современного вулканизма, неоднократно обращали внимание на то, что в одних и тех же гидродинамических зонах возможно существование различных по химизму термальных вод, эволюционно связанных между собой. Так, на примере вулкана Эбеко на о. Парамушир, по данным О. Г. Воробьева и М. Б. Голубовского [1966], обнаруживается закономерная смена кислых и ультракислых хлоридно-сульфатных с углекислотой терм кратерного поля на гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные кальциево-натровые воды нейтральной или слабощелочной реакции на периферическом обрамлении вулкана и его подножье. Эта последовательная смена химического состава вод сопровождается направленным изменением катионно-анионного состава с возрастанием роли щелочей Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} и HCO_3^{-} в нейтральных и щелочных водах. Весь процесс изменения терм объясняется метаморфизующим влиянием вмещающих пород по мере инфильтрации гидротерм из кратерного поля к периферическому обрамлению вулкана. Число подобных примеров может быть увеличено. Из сказанного следует, что в результате взаимодействия раствор-порода могут возникать различные по величине pH и составу термы, и, соответственно, обратное влияние этих терм по мере их инфильтрации на вмещающие породы будет приводить к образованию различных минеральных сообществ, хотя природа первичного эндогенного раствора и его состав остаются постоянными.

Рассматривая процесс формирования вторичных кварцитов во времени, легко убедиться в том, что самые начальные порции раствора, несущего H_2S, в зоне насыщения кислородом, где возможно образование аниона SO_4^{2-}, вступят в реакцию с первичной вмещающей породой и будут быстро нейтрализовываться и обогащаться катионами Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} с возрастанием HCO_3^{-}. Значит, начало процесса преобразования пород неизбежно пойдет под воздействием примерно нейтральных растворов, что, естественно, вызовет пропилитовое изменение пород. По мере циркуляции растворов во времени, при сохранении

---

* Подобной точки зрения придерживаются Е. К. Устиев и А. М. Демин, изучавшие вторичные кварциты северного побережья Охотского моря. В работах Н. И. Наковника [1954, 1964] подробно рассмотрены примеры зональности гидротермально измененных пород различных вулканогенных областей и приведены мнения исследователей на условия образования подобной зональности, во многом аналогичные высказанным.

того же уровня окислительного влияния кислорода, прилежащая к путям движения растворов порода должна обедняться щелочами, выносимыми фильтрующимися термами. Сам раствор будет во времени окисляться и достигать максимума кислотности в том случае, когда прилежащая порода окажется сложенной наиболее инертными к выщелачиванию компонентами (кремнеземом, например). Нетрудно заметить, что инфильтрующиеся в стороны растворы также будут увеличивать свою кислотность во времени и сдвигать фронт пропилитового изменения пород к периферии (см. рисунок).

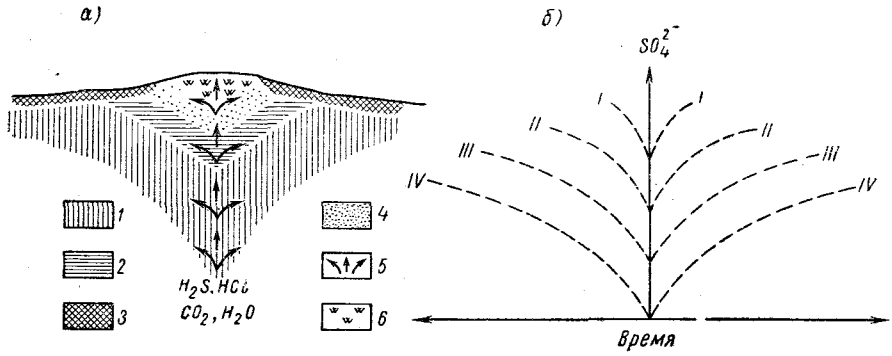


Схема развития массивов вторичных кварцитов во времени: *а* — идеализированный разрез массива, *б* — схема, иллюстрирующая перемещение во времени фронта пропилитизации пород:

1 — пропилиты; *2* — серицито-пирофиллитовые породы; *3* — аргиллизированные породы; *4* — пирофиллито-андалузито-алунитовые породы; *5* — направления движения растворов; *6* — монокварциты; *I—IV* — условные интервалы времени

В этой связи вполне объяснимы наблюдающиеся в массивах вторичных кварцитов взаимоотношения между различными минеральными зонами, когда внутренние зоны развиваются по внешним. Не противоречат этому и часто отмечаемые во внешних зонах кварцитов прожилки, сложенные минералами, свойственными внутренним зонам. Факт пересечения, например, алунитовым прожилком кварцево-серицитовых и в особенности пропилитовых пород часто рассматривается как признак разноэтапности формирования кварцитов, вызванный сменой состава первичного метаморфизующего раствора. Однако далеко не всегда исследователи обращают внимание на то, что тот же самый алунитовый прожилок мощностью 1—2 *см* сопровождается оторочкой измененных пород мощностью 5—10 *см*. В этой оторочке от алунитового прожилка к вмещающим пропилитам наблюдаются микрозоны вначале пирофиллитового и далее кварцево-серицитового составов, свойственные и аналогичные макрозонам массивов вторичных кварцитов в целом (массив кварцитов в верховьях р. Слюда на п-ове Кони, северное побережье Охотского моря). Поэтому подобные временные (возрастные) взаимоотношения следует рассматривать не как разноэтапные минерализационные образования, а как ритм, т. е. «часть процесса минералообразования, отделенная тектоническими подвижками, приводящими к повторному образованию того же парагенезиса минералов» [Рундквист, 1965, стр. 25].

Резюмируя, отметим, что расположение и взаимоотношение различных минеральных зон вторичных кварцитов „отвечает последова-

тельности образования ведущих минералов от ранних («внешних») к поздним («внутренним»)" [Наковник, 1965, стр. 41] и обусловлено временными особенностями минералообразования.

Выводы

1. Для образования полизональных минеральных зон вторичных кварцитов вовсе не обязательна эволюция первичного эндогенного раствора с изменением его кислотности — щелочности. Все дело заключается в продолжительности этого процесса.

2. Временной интервал образования пропилитов и кварцитов не один и тот же. Пропилитизация — это первая реакция среды на воздействия растворов, причем разного состава. По сравнению с кварцитообразованием пропилитизация — более быстротекущий процесс. Возникает вопрос о сравнимости, а тем более противопоставлении этих процессов, поскольку они разномасштабны.

3. Пропилиты всегда будут преобладать в общем объеме измененных пород над кварцитами, поскольку длительные воздействия гидротерм, приводящие к формированию кварцитов, должны быть локализованы. Не случайно, как нам представляется, основная часть массивов вторичных кварцитов образуется на поздних и конечных стадиях вулканизма, когда жесткость среды достигает максимума и гидротермальные преобразования пород сосредоточены вокруг вулканических аппаратов центрального типа или вдоль разломов, разделяющих различные по мобильности блоки земной коры (восточное обрамление антиклинория Срединного Камчатского хребта, например).

Для раннегеосинклинальных и раннеорогенных стадий вулканизма наиболее типичны явления пропилитизации. С увеличением жесткости и уменьшением проникающей способности среды общий объем пропилитизированных пород должен сократиться. Пропилитизация на поздних стадиях развития вулканизма будет тесно связана с кварцитообразованием, а также проявляться в областях разгрузки гидротерм при сохранении высокого геотермического градиента (районы Паужетки, Больших Банных ключей и т. д. на Камчатке).

4. Поскольку пропилитизация отражает как бы кратковременную и обычно начальную фазу общего процесса гидротермального метаморфизма вулканогенных пород, зачастую сопряженного с оруденением, мы должны в подавляющем большинстве случаев обнаруживать наложенный характер оруденения на пропилитовые породы. Однако это вовсе не значит, что все пропилиты дорудные и теряют свою поисковую ценность.

Надо признать, что, несмотря на длительную историю изучения пропилитовых пород, в настоящее время мы еще не имеем четких критериев для выяснения условий образования различных типов пропилитов, возникновение которых в одних случаях обязано явлениям регионального плана, в других — представляет собой последовательный процесс развития: измененная порода — руда.

Начатое Н. И. Наковником и продолженное С. И. Набоко изучение геологических (а не только физико-химических) условий образования различных типов пород пропилитового и вторичнокварцитового изменений, взаимосвязи и взаимообусловленности явлений, возникающих при метаморфизме вулканогенных пород, еще далеко от завершения. Поэтому высказывать окончательные суждения об отсутствии связей между пропилитизацией и отложением рудного вещества, как это делает М. М. Василевский [1966], преждевременно.

ЛИТЕРАТУРА

Василевский М. М. Зональность и генезис измененных пород и оруденения в Центрально-камчатской рудной зоне. Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, вып. 19, 1961.

Василевский М. М., Ротман В. К. Металлогения мезо-кайнозойских вулканогенных формаций Охотско-Ниппонской геосинклинальной области. Междунар. геол. конгр., сесс. XXII Докл. сов. геол. Недра, 1965.

Василевский М. М. О понятии «пропилит» и процессе пропилитизации. ЗВМО, II сер., ч. XCV, вып. 6, 1966.

Власов Г. М. Вулканические отложения серы и некоторые вопросы близповерхностного рудообразования. Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, вып. 13, 1958.

Власов Г. М., Василевский М. М. Зональность измененных пород Срединного Камчатского хребта. ДАН СССР, т. 122, № 4, 1958.

Власов Г. М., Василевский М. М. Генезис и взаимоотношения вторичных кварцитов и пропилитов Срединного Камчатского хребта. В сб. «Проблемы вулканизма». Изд-во АН Арм. ССР, 1959 а.

Власов Г. М., Василевский М. М. Геология и некоторые вопросы генезиса медно-молибденовых месторождений Срединного Камчатского хребта. Информ. сб. ВСЕГЕИ, № 17, 1959 б.

Власов Г. М., Василевский М. М. Высокоглиноземистые фации вторичных кварцитов в Срединном Камчатском хребте. Геохимия, № 7, 1961.

Власов Г. М., Василевский М. М., Жегалов Ю. В. Геологические условия нахождения и особенности генезиса ртутных рудопроявлений Срединного Камчатского хребта. Бюлл. ВСЕГЕИ, № 1, 1959.

Воробьев О. Г., Голубовский М. Б. К вопросу о классификации и формировании минеральных источников Курильских островов. В сб. «Вопросы гидрогеологии и гидрохимии». Изд-во ЛГУ, 1966.

Иностранцев А. А. Геологический очерк Повелецкого уезда Олонецкой губернии и его рудных месторождений. СПб., 1877.

Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. В сб. «Основные проблемы в учении об эндогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953.

Коржинский Д. С. Зависимость метаморфизма от глубинности в вулканогенных формациях. Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, вып. 19, 1961.

Набоко С. И. Современные гидротермальные процессы и метаморфизм вулканогенных пород. Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, вып. 19, 1961.

Набоко С. И. Условия современного гидротермального метаморфизма вулканических пород. Сов. геология, № 1, 1962.

Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. Изд-во АН СССР, 1963.

Набоко С. И. Рудная минерализация в областях современного магмопроявления. В сб. «Рудоносность вулканогенных формаций». Недра, 1965.

Наковник Н. И. Пропилитизированные породы, их минеральные фации, генезис и практическое значение. ЗВМО, ч. LXXXIII, № 2, 1954.

Наковник Н. И. Некоторые замечания к работе Д. С. Коржинского «Очерк метасоматических процессов». ЗВМО, ч. LXXXV, № 4, 1956.

Наковник Н. И. Вертикальная зональность продуктов постмагматического метасоматоза и место в ней формации вторичных кварцитов и пропилитов. ЗВМО, ч. XCII, вып. 4, 1963.

Наковник Н. И. Вторичные кварциты СССР. Недра, 1964.

Наковник Н. И. Вулканогенно-метасоматическая формация вторичных кварцитов СССР и полезные ископаемые, связанные с ней. В сб. «Рудоносность вулканогенных формаций». Недра, 1965.

Рундквист Д. В. О факторе времени при формировании метасоматических пород, жил, прожилков грейзеновых месторождений. ЗВМО, ч. XCIV, вып. 1, 1965.

Burbank W. S. Quart. Colorado School Mines, v. 45, № 1B, 1950.

Iwao Shuichi. Geol. Surv. Report № 130, 1949.

Kato T. Jap. J. Geol. Geogr., v. VI, № 1—2, 1928.

Kerr P. F. Econ. Geol. v. 27, № 7, 1932.

Richthofen F. Mem. Cal. Acad. Sci., 1, 1868.