

МЕТАЛЛОГЕНИЯ

УДК [553.2.: 550. 93] (551.54/55)

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭПОХА МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ВЕЩЕСТВЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ И ВРЕМЕННОЙ СИСТЕМАТИКЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

П.В. Комаров

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии, г. Москва

Рассмотрено понятие металлогенический цикл минерализации (оруденения). Установлены соотношения между плутоногенным, вулканогенным, амагматогенным и металлогеническим циклами, а также тектономагматическим этапом (мегациклом) минерализации. Охарактеризована геохронологическая эпоха минерализации, рассмотрены ее соотношения с металлогеническим циклом и металлогенической эпохой. Обоснована роль геохронологической эпохи как закономерно структурированного периода (от ступени до эпохи или наоборот), а также эталона в оценке полихронной минерализации месторождений, рудных полей и регионов. Показано, что металлогенический цикл и геохронологическая эпоха минерализации являются завершающими единицами усложняющегося ряда закономерных минеральных сообществ и периодов образования, которые вместе с другими единицами вещественно-генетической и временной систематики отражают особенности формирования гидротермальных месторождений.

Ключевые слова: минерализация, металлогенический цикл, геохронологическая эпоха, гидротермальные месторождения.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ (МИНЕРАГЕНИЧЕСКИЕ) ЦИКЛЫ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРОЯВЛЕНИЯ

Установление возраста, последовательности и периодичности минерало- и рудообразования является важным фактором в изучении месторождений. Продуктивные в отношении рудоносности интервалы геологического времени чередуются с менее продуктивными или "пустыми" в процессе геологического развития регионов. Рудоносные периоды образования месторождений рассматриваются как металлогенические этапы (циклы) минералообразования. В истории земной коры обычно выделяется одиннадцать крупных тектономагматических этапов, четыре из которых: каледонский (600 - 400 млн лет), герцинский (400 - 250 млн лет), киммерийский (250 - 100 млн лет) и альпийский (100-1 млн лет) [11],

относятся к фанерозою. В работе под редакцией А. Д Щеглова и Д. О. Онтоева [12] цикл минерализации формулируется следующим образом: "Цикл минерализации - это длительный период образования разнообразных эндогенных месторождений, ассоциирующих с проявлением нескольких разновозрастных магматических комплексов в течение одного тектономагматического цикла." М.Г. Магакьян, характеризуя эти периоды активизации магматизма, складчатости и минералообразования, использовал термин "металлогенические эпохи" [8]. Выделенные тектономагматические и металлогенические этапы, циклы и эпохи при детальной характеристике минерализации месторождений оказываются не достаточно удобными, так как отражают слишком большие интервалы времени. Поэтому термин металлогенический цикл предлагается использовать для характеристики цикличной минерализации, охватывающей

меньший промежуток времени, а именно, цикла или циклов минерализации, образовавшихся в конкретную эпоху, устанавливаемую по изотопному датированию и шкале геологического времени. Эту эпоху, в отличие от эпохи металлогенической, предлагается именовать геохронологической эпохой. В дальнейшем в нашей статье термин эпоха будет обозначать эпоху геохронологическую. В связи с тем, что понятия металлогенический цикл и геохронологическая эпоха еще нуждаются в разработке, обсуждению этого вопроса, а также взаимоотношениям металлогенического цикла и геохронологической эпохи минерализации и их соотношениям с другими периодами минерало- и рудообразования посвящается данная статья.

В более ранней статье [4], на основании изучения месторождений, связанных с гранитами, приведен вариант систематики закономерных минеральных сообществ и периодов их образования, предназначенная для анализа формирования минеральных тел и месторождений. В данной статье предлагаемая систематика получает дальнейшее развитие. Как показано в первом варианте систематики [4,5], периоды времени, в течение которых формируются мономинеральные образования, именуются ступенями минералообразования. Период времени, в течение которого образуются два и более различных, относящихся к одному парагенезису минералов, именуется стадией минералообразования. Период времени, в течение которого образуются мономинеральные и (или) парагенетические минеральные ассоциации, относящиеся к одному генетическому типу, именуется этапом минералообразования. Полигенная минерализация, формирующаяся в процессе становления одного (одновозрастного) интрузива и соответствующая этапам его становления, относится к плутоногенному циклу, то есть к плутоногенному минерогеническому циклу относится время, в течение которого образуется вся минерализация, генетически связанная с формированием конкретного интрузива (Таблица 1, пп.1-4). При этом особенности образования минерализации различных генетических типов зависят от условий становления данного интрузива.

Как установлено в Восточном Забайкалье и других регионах [2, 3], наиболее полный цикл плутоногенной минерализации обычно наблюдается при внедрении активных гранитоидов в доломитовые толщи. В этом случае формируется минерализация следующих генетических типов и этапов: магнезиальные скарны, известковые скарны (нередко с магнетитовой минерализацией), полевошпатовые метасоматиты, грейзены с минерализацией редких металлов, березиты с сульфидами. При внедрении интрузивов в породы иного состава или изменении состава

гранитоидов формируются лишь отдельные генетические типы минерализаций, являющиеся составными частями плутоногенного цикла [1-4]. Анализ возраста полихронных гранитоидов в Восточном Забайкалье, датируемых по биотиту, а также генетически связанных с ними магнезиальных скарнов и грейзенов, датируемых по флогопиту и мусковиту, позволяет за время от девона до раннего мела выделить не менее восьми последовательных циклов плутоногенной минерализации [2].

Продолжая разработку систематики закономерных минеральных сообществ и периодов их образования, следует обратиться также к месторождениям, генетически не связанным с интрузивами. В их числе широко распространены месторождения, образование которых обусловлено вулканическими процессами. Вулканогенные гидротермальные месторождения детально описаны в [7 и др.]. Не вдаваясь в особенности формирования вулканоногенных месторождений, отметим, что им также свойственна цикличность образования. В вулканических поясах, например, в тех или иных районах Тихоокеанского вулканического пояса интрузивные образования и обусловливаемая ими высокотемпературная минерализация нередко отсутствуют. Повторяющиеся последовательные ряды гидротермальных месторождений этих районов, связанные с вулканическими процессами, представляют собой вулканоногенные циклы минерализации. В их числе можно назвать олигоценовые (25-23 млн лет) средне-низкотемпературные месторождения Высоких Анд в Перу, представленные серебряно-полиметаллическими (Учукчакуа), золото-серебряными (Милючаки) и полиметаллическими (р-н Сукро). Подобный ряд месторождений повторяется здесь и в миоцене (17-11 млн лет). Это полиметаллические месторождения (Оркопампа), медно-серебряные (Серо де Паско), серебряно-медно-полиметаллические (Уалгайок), серебряно-полиметаллические (Чунгар) и другие [13]. Олигоценовые и миоценовые вулканоногенные циклы месторождений отмечаются и в западной части штата Нью-Мексика, США [14]. Таким образом, вулканоногенный цикл - это последовательный ряд близких по времени образования минерализаций (месторождений), генетически связанных с вулканическими процессами, отнесенных по изотопному датированию к конкретной геохронологической эпохе или эпохам.

В связи с разрабатываемой систематикой минеральных сообществ и периодов образования гидротермальных месторождений необходимо остановиться также на месторождениях, не имеющих установленной связи с какими-либо магматическими проявлениями. Это широко распространенная группа амагматоногенных гидротермальных месторождений, которые в геологической литературе называют

Таблица 1. Систематика закономерных минеральных сообществ и периодов образования гидротермальных месторождений.

Минеральные тела и месторождения одной геохронологической эпохи								Минеральные тела и месторождения различных геохронологических эпох
Простые минеральные тела с минерализацией одного генетического типа (этапа)			Минеральные тела и месторождения различных генетических типов, этапов и циклов					
			Последовательно формирующиеся, совмещенные полигенные минерализации на одном месторождении или разобщенные на отдельных, составляющие ряд от высоко- до низкотемпературных минеральных образований одного металлогенического цикла				Минерализации нескольких металлогенических циклов	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Образующие мономинеральные скопления (ступени)	Образующие минеральные скопления из одних (одинаковых) парагенезисов минералов (стадия)	близкоодновременная минерализация из мономинеральных образований и (или) парагенезисов минералов одного генетического типа (этапа)	связанные со становлением определенного интрузива или интрузивов (минерализация плутоногенного цикла)	связанные с вулканогенными процессами (минерализация вулканогенного цикла)	не имеющие установленной связи с магматизмом (минерализация амагматогенного цикла)	состоящие из минеральных образований, представленных в графах 4, 5, 6 ? и их различных сочетаний (минерализация металлогенического цикла)	Полициклическая минерализация (одной геохронологической эпохи)	Совмещенная минерализация или отдельные месторождения полигенные, полициклические и полихронные

также телетермальными и стратиформными [10]. Среди них - свинцово-цинковые месторождения Миргалымсай и Акжал в Казахстане, месторождения бассейна р. Миссури в США, флюорито-сурьмяно-ртутные в Средней Азии, месторождения урана и ртути, широко известные в России и за рубежом. Термические исследования газовой-жидких включений в минералах месторождений этого типа показывают значения гомогенизации 200-100-70°C [10]. То есть в этой группе месторождений также можно проследить последовательность разнотемпературных минеральных ассоциаций. Таким образом, минерализация металлогенического цикла в отдельных регионах или в различные эпохи одного региона может быть представлена только плутоногенной, только вулканогенной или только амагматогенной, а также различными вариантами их совмещения (табл.1). Совмещение плутоногенной и вулканогенной минерализации в одном металлогеническом цикле и одной эпохе не является редкостью. В этом случае формируется наиболее полный ряд от высоко- до низкотемпературных месторождений. Амагматогенная же минерализация более надежно диагностируется в отрыве от магматической деятельности и обычно попа-

дает в другие циклы и эпохи. Новый цикл минерализации устанавливается, если после низкотемпературной или относительно низкотемпературной минерализации вновь проявляется более высокотемпературная (табл. 2). При совмещении минерализаций различных циклов, относящихся к одной эпохе, их соотношения устанавливаются по взаимоотношениям минералов. В разобщенных месторождениях различные циклы одной эпохи могут быть установлены по изотопным данным, если даты высокотемпературной минерализации одного ряда месторождений моложе дат низкотемпературной минерализации другого ряда (табл. 3).

Итак, под металлогеническим (минерагенетическим) циклом минерализации понимается период времени, в течение которого возникает последовательный ряд от высоко- до низкотемпературных минерализаций, представляющих совмещенные минеральные образования различных генетических типов на одном месторождении или разрозненные месторождения этого ряда в рудном поле, районе или регионе, отнесенные к одной геохронологической эпохе. Ограничением каждого цикла минерализации служит

Таблица 2. Эпохи магматизма, этапы, эпохи и циклы минерализации Кличкинского рудного поля.

Магматические образования	Этапы (генетические типы) минерализации	Возраст, млн лет	Эпохи и циклы минерализации
1 Липариты, дайки порфиров и лампрофиров	Окварцевания и аргиллизации с флюоритовым оруденением Березитовый со свинцово-цинковым оруденением	120±6 135±6	K ₁
2 Биотитовые граниты	Грейзеновый Полевошпатовых метасоматитов Известковых скарнов с магнетитовым оруденением Магнезиальных скарнов с магнетитовым оруденением	139±6 156±6	I ₃
3 Граниты, сиено-диориты, дайки гранит-порфиров	Грейзеновый Полевошпатовых метасоматитов Магнезиальных скарнов	177±10 203±10	I ₁
4 Диориты, граниты повышенной щелочности	Полевошпатовых метасоматитов Известковых скарнов Магнезиальных скарнов	215±10 221±10	T ₃
5 Габбро, диориты, граниты, гранит-порфиры	Грейзеновый Известковых скарнов Магнезиальных скарнов	256±10 285±12	P ₁

Примечание. Здесь и далее K - Ag возраст рассчитан по константам $\lambda_K=0,581 \times 10^{-10}$ год⁻¹, $\lambda_B=4,962 \times 10^{-10}$ год⁻¹, $40K=0,01167$ (ат.%). Анализы выполнены в лаборатории абсолютного возраста ИГЕМ РАН [1]. Эпохи выделены в соответствии с геологической шкалой времени В.Б.Харланда и др. [20].

Таблица 3. Миоценовые металлогенические циклы минерализации западной части США [13].

Возрастные интервалы оруденения, млн лет	Типы месторождений	Примеры месторождений	Металлогенические циклы, млн лет
4-6	Урановые	Хоннкомб-Хилл, Боди, Мохавс,	10-5
6-10	Золото-серебряные	Буллфорг, Крац, Маунтин, Кочити, Рамсей, Бассейн Чикаго	
10	Молибден-порфиновые		
12-13	Ртутные, уран-полиметаллические, флюоритовые	Брети, Мерисвейл, Макдермит, Комсток, Джорбридж, Эврика, Санисайд, Букхорн, Севен Трои, Сильвертон, Дехамар, Иванхоэ, Манхеттен, Маунт, Эммонс	17-12
13-16	Золото-серебряные		
17	Молибден-порфиновые		
19-20	Псиломелановые, полиметаллические	Кэпрок, Маунтин, Энимос, Топопа, Пиоч, Ред Хилл, Лейк Сити,	23-19
21-23	Золото-серебряные	Централ Ареа Куэста, Вондер, Голдфилд, Лейк Сити, Ред Маунтин,	
22-23	Молибден- и медно-порфиновые	Нейшеонал Бел, Утэ Хидден, Куэста, Саммитвилль	

проявление нового ее импульса, обычно связанного с новым импульсом магматизма.

Обсуждая проявление циклов минерализации, отметим, что при развитии в регионах комплексов интрузивов или вулканогенных пород, относящихся к одной эпохе, формируется одинаковая минерализация, представляющая ряды и (или) отдельные месторождения как бы параллельных плутоногенных или вулканоплутонических циклов. Они также могут несколько различаться по возрасту. Это "смещение" во времени может происходить в связи с тем, что развитие тектонических процессов, а также процессов магматизма и минералообразования в пространстве занимает какое-то время. Требуется также всестороннего изучения влияние общего межрегионального смещения возраста гранитоидов и связанной с ними минерализации на их смещение в отдельных регионах. Имеется в виду смещение (в сторону омоложения) гранитоидов и оруденения по направлению с запада на восток. Например, самые молодые граниты на Урале имеют герцинский возраст, в Забайкалье - раннемеловой; в Хабаровском крае - позднеюрский; в Приморье - эоценовый. Некоторое различие дат может возникнуть и в результате лабораторных отклонений. Если же в этих рядах близкосовершенных месторождений относительно низкотемпературные минеральные ассоциации не замещаются более высокотемпературными, то все они относятся к одному металлогеническому циклу. Подчеркнем, что в нашей статье основное внимание уделяется магмато-генной минерализации последовательно проявляющихся металлогенических циклов.

В Восточном Забайкалье, как уже указывалось, было установлено восемь импульсов магматизма, с которыми генетически и парагенетически связана полихронная минерализация магмато-генных месторождений. Время формирования этих образований относится к раннедевонскому (позднесилурийскому), раннекаменноугольному, раннепермскому, поздне триасовому, ранне-, средне-, позднеюрскому и раннемеловому металлогеническим циклам [2]. При этом в первых пяти проявилась только высокотемпературная минерализация, генетически связанная с интрузивами, относящаяся к плутоногенным циклам. В последующих среднеюрской и позднеюрской эпохах установлены высокотемпературные скарновые и грейзеновые, а также среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения. В раннем мелу, кроме того, широко распространены месторождения низко-среднетемпературные флюоритовые, урановые, сурьмяно-ртутные и другие месторождения [2, 20]. Средне-низкотемпературная минерализация раннемелового металлогенического цикла в Восточном Забайкалье парагенетически связана с дайками щелочного и основного составов и эффузивами. После-

довательный ряд раннемеловых месторождений с высоко-, средне- и низкотемпературной минерализацией иллюстрирует совмещенный вулканоплуто-нический металлогенический цикл. Он связан с разнотипным магматизмом, проявившимся в течение одной эпохи. Формирование только плутоногенной минерализации в доюрское время в Восточном Забайкалье позволяет предполагать проявление здесь преимущественно корового гранитного магматизма. Образование разнообразной минерализации в юрско-меловое время связывается с активизацией мантийного магматизма [2, 6]. Следует отметить, что полный ряд месторождений с промышленными кондициями полезных компонентов, относящихся к одному металлогеническому циклу, довольно редко совмещается в пределах одного месторождения или одного рудного поля. Магмато-генные разновозрастные месторождения различных генетических типов, могущие составить последовательный ряд цикла, отражая распространенность магматических комплексов, обычно распределяются по всей площади региона [2, 13]. В рудных полях или месторождениях с совмещенной полихронной минерализацией очень часто совмещаются не ряды последовательных минерализаций, а отдельные генетические типы минерализации из различных, разновозрастных металлогенических циклов. Самые разнообразные совмещения полихронной минерализации установлены в месторождениях Кличкинского рудного поля [1]. В таблице 2 показана разноциклическая полихронная минерализация, совмещенная в Кличкинском рудном поле. Наиболее ранние и высокотемпературные минеральные ассоциации здесь связаны с раннепермскими гранитоидами и представлены магнезиальными и известковыми скарнами с незначительной вкрапленностью магнетита. По ним нередко развиваются грейзены с аксессуарной редкометалльной минерализацией. Аналогичные ряды минерализации связаны с поздне триасовыми и раннеюрскими гранитоидами, а также с позднеюрскими гранитами. То есть минеральные образования четырех (табл. 2, разделы 2-5) полихронных циклов представлены рядами с повторяющейся, последовательно формирующейся минерализацией. Эта минерализация относится к различным генетическим типам и этапам только плутоногенных циклов. Однако это не везде так, совсем иная картина наблюдается в соотношениях металлогенических циклов и эпох в месторождениях кайнозойской активизации в Восточной ветви Тихоокеанского пояса [13]. Так, в табл. 3 показаны месторождения западных штатов США, возрастные соотношения которых составляют три последовательные, от высокотемпературной до низкотемпературной минерализации, ряда. Как следует из этой таблицы, они относятся к различным металлогеническим циклам с вре-

менем формирования 23-19, 17-12 и 10-5 млн лет одной миоценовой эпохи. По два, реже - три металлогенических цикла минерализации в одну эпоху нередко выделяются и в других регионах восточной ветви Тихоокеанского пояса: в Боливии, Перу, Чили [14-19, 21, 22].

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭПОХА МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Как видно из предыдущего раздела, при характеристике особенностей проявления минерализации металлогенического цикла постоянно приходится обращаться к геохронологической эпохе. Если не будет установлена эпоха минерализации, то ее цикличность окажется не определенной во времени. Минерализация различных генетических типов при циклическом развитии повторяется, поэтому только установление возраста позволяет корректно выстроить ряды последовательной минерализации. Например, в Кличкинском рудном поле скарны, грейзены, гранитоиды ранее, до появления возможности изотопного датирования, относились к одному возрасту. Однако, как следует из табл. 2, они повторяются в четырех циклах различных геохронологических эпох. Рассматривая характерные черты геохронологической эпохи и ее соотношения с другими периодами, отметим следующее. Геохронологическая эпоха – это единица времени, определяемая по изотопному датированию и геологической шкале. Она объединяет всю минерализацию, сформировавшуюся в данный интервал времени на месторождении, рудном поле или в регионе. Если мономинеральное образование является самым простым минеральным сообществом, то наиболее сложной единицей (природным минеральным сообществом) в нашей систематике принимается минеральное скопление с максимально возможным совмещением разновозрастной минерализации различных генетических типов, то есть месторождение, образовавшееся в течение одной геохронологической эпохи. Геохронологическая эпоха минерализации является самой крупной, завершающей единицей последовательно усложняющегося ряда закономерных минеральных сообществ и периодов их образования. Этот ряд вещественных и временных единиц представляет вещественно-генетическую и временную систематику организации минерального вещества эндогенных постмагматических месторождений (табл. 1). При разработке предлагаемой систематики важным было установление однозначных понятий для закономерных минеральных сообществ и периодов их образования, а также постоянные соотношения между ними (мономинеральные образования - ступени, парагенезисы минералов - стадии и т.д., табл. 1). Были установлены также четкие взаимоотношения между закономерными ми-

неральными сообществами и между периодами в последовательно усложняющихся вещественном и временном рядах систематики. В связи с этим появилась возможность детального отражения природных минеральных образований единицами предлагаемой систематики. Выделение всех или отдельных единиц систематики в эпохе минерализации удобнее делать, начиная с установления генетического типа (этапа) или генетических типов минерализации. Определенные изотопного возраста показывает конкретную цифру минерального образования, относящуюся к той или иной геохронологической эпохе. Геохронологическая эпоха минерализации принимается в нашей систематике периодов минералообразования за эталонную, структурированную единицу. Минеральные образования различных эпох определяются как полихронные. Минерализация месторождений различных генетических типов одной эпохи подвергаются анализу в соответствии с систематикой. В связи с этим появляется возможность с помощью закономерных минеральных сообществ и периодов их образования структурировать установленную минерализацию от эпохи до ступени или наоборот от ступени до эпохи. Еще раз подчеркнем, что выделение периодов минералообразования надежно только в том случае, если они четко основываются на веществе минеральных тел и месторождений (закономерных минеральных сообществах), сформировавшихся в соответствующие периоды. Из разновозрастной минерализации различных генетических типов составляется последовательный ряд металлогенического цикла или циклов, если последовательных рядов минерализации несколько. Следует заметить, что если металлогенический цикл без геохронологической эпохи оказывается не определенным во времени, то и геохронологическая эпоха минерализации, в случае оценки полигенных месторождений, рудных полей, районов и регионов, может корректно структурироваться только при установлении цикличности минерализации. Это наглядно можно видеть на примере табл. 3. Ряды трех циклов четко упорядочивают месторождения миоценовой геохронологической эпохи. В минерализации каждого генетического типа, в случае детального изучения, устанавливаются мономинеральные образования (ступени) и (или) парагенезисы минералов (стадии). Таким образом происходит структурирование конкретной минерализации каждой эпохи единицами вещественно-генетической и временной систематики. В качестве примера структурирования минерализации геохронологических эпох может послужить минерализация Северного месторождения Кличкинского рудного поля, приведенная в табл. 4. Из таблицы видно, что в позднеюрской эпохе отмечается лишь один металлогенический цикл (колонка 6), представленный плутоногенной

Таблица 4. Результаты структурирования минерализации позднеюрской и раннемеловой геохронологических эпох месторождения Северного (Кличкинское рудное поле).

№ п/п	Минеральные скопления, тела	Закономерные минеральные сообщества		Периоды минералообразования			
		Мономинеральные образования и парагенезисы минералов	Минерализация определенного генетического типа	5	6	7	8
1	Форстеритовые	Мономинеральные образования	Магнезиальные скарны	ступени			
	Форстерит-шпинелевые	Парагенезисы минералов	—“—	стадии	этап		
2	Пироксеновые	Мономинеральные образования	Известковые скарны ступени		
	Гранатовые	—“—	—“—	ступени		Металлогенический (плутоногенный из четырех этапов) цикл J₃	Э П О Х А
	Пироксен-гранатовые	Парагенезисы минералов	—“—	стадии	этап		
	Магнетитовые	Мономинеральные образования	—“—	ступени			J₃
3	Калишпатовые	—“—	Полевошпатовые метасоматиты ступени этап		
4	Топазово-кварцево-слюдястые	Парагенезисы минералов	Грейзены стадии этап		
	Флюоритово-слюдястые с касситеритом	—“—	—“—	стадии			
5	Слюдисто-пирит-кварцевые	Парагенезисы минералов	Березитово-сульфидный (Связанный с дайками порфириров и лампрофиров)	стадии			
	Арсенопиритовые	Мономинеральные образования		ступени	этап	Металлогенический (дайково-вулканогенный?) цикл K₁	Э П О Х А
	Сфалеритовые	—“—		ступени			
	Галенитовые	—“—		ступени			K₁
6	Флюоритовые прожилки	—“—	Кварц-флюоритовый (вулканогенный?)	ступени	этап		
	Кварц-флюоритовые	Парагенезисы минералов		стадии			

минерализацией из четырех этапов, подразделяющейся на более мелкие периоды минералообразования. Этапы минерализации, показанные в колонке 5, не именуется, т.к. они имеют те же названия, что и генетические типы (колонка 3). Что касается минерализации раннемеловой эпохи, то она также состоит из одного цикла минерализации, к которому в Кличкинском рудном поле относятся свинцово-цинковые

и флюоритовые месторождения. На Северном месторождении эта минерализация проявилась в виде мало мощных прожилков и имеет структурирование, показанное в табл. 4 (**K₁**).

При обсуждении взаимоотношений металлогенического цикла и геохронологической эпохи минерализации возникают некоторые вопросы. Например, как оценить ситуацию, если последовательный

ряд минерализации металлогенического цикла проявляется согласно с эволюцией магматического очага на границе двух эпох? Получается, что последовательный ряд минерализации датами возраста расщепляется на две части, которые оказываются в различных эпохах. С этим приходится согласиться, т.к. за основной период и эталон, объединяющий разновозрастную минерализацию и оценивающий полихронные месторождения, принята эпоха. Рассмотрим два варианта оценки ситуации. В первом варианте формируется последовательный ряд минерализаций, промежутки времени между которыми невелики, а геологические данные свидетельствуют о малой вероятности проявления здесь дополнительных магматических образований. В этом случае последовательный ряд минерализаций рассматривается как единый цикл с более высокотемпературной минерализацией или месторождениями в ранней эпохе. В следующей эпохе минерализация второй части этого цикла будет более низкотемпературной. Ее формирование не может быть сколько угодно продолжительным, так как она связана эволюцией определенного магматического очага и ограничится проявлением нового импульса. При этом более высокотемпературная минерализация нового цикла будет замещать низкотемпературную предыдущего. Примеры частоты проявления импульсов магматизма и минерализации в различных регионах приведены в таблицах 2 и 3. Второй вариант последовательной минерализации рассмотрим на примере месторождений Кличкинского рудного поля (табл. 2). В Кличкинском рудном поле можно составить полный последовательный ряд месторождений как бы одного металлогенического цикла. Этот ряд состоит из высокотемпературных скарнов с магнетитовой минерализацией и грейзенов с редкометалльной, среднетемпературных березитов с полиметаллической, а также низкотемпературных с флюоритовой минерализацией. Однако скарны и грейзены имеют позднеюрский возраст, а полиметаллические и флюоритовые месторождения – раннемеловой (табл. 2, разделы 1-2). Здесь разрыв во времени между высокотемпературными и средне-низкотемпературными месторождениями может составить от пяти до десяти миллионов лет. В этом случае, если ряды разновозрастных месторождений рассматривать как различные металлогенические циклы, они выглядят как неполные. Если в позднеюрском плутоногенном цикле отсутствует низкотемпературная минерализация, то в месторождениях раннемелового дайково-вулканогенного цикла - высокотемпературная. Это наблюдение может иметь положительное прогнозно-поисковое значение. В первом случае нужно ставить задачу о поиске также низкотемпературных позднеюрских месторождений, во втором - высокотемпературных, связанных с воз-

можным проявлением раннемеловых интрузий. Если бы указанная минерализация рассматривалась как единый цикл, то постановка такой задачи была бы невозможна. Во всех случаях особенности цикличности будут оценены объективно, но во втором варианте в начале исследований более рационально считать рассматриваемый ряд частью различных металлогенических циклов.

Завершая характеристику геохронологической эпохи минерализации, обсудим возможность ее использования. Если с помощью изотопного датирования определяется эпоха минеральных ассоциаций какой-либо минерализации, то, в соответствии с вещественно-генетической и временной систематикой, в ней выделяются закономерные минеральные сообщества (генетические типы минерализации, мономинеральные образования, парагенезисы минералов), а также периоды их образования (этапы, циклы, стадии, ступени), то есть эпоха становится закономерно структурированным периодом минерализации. Геохронологическая эпоха минерализации является объединяющим периодом для всей минерализации, образовавшейся в пределах этого временного интервала и основой (эталон) для анализа долговременно формирующейся минерализации в месторождениях, рудных полях и регионах. Применение систематики закономерных минеральных сообществ в анализе минерало- и рудообразования позволяет оценивать особенности пульсации в формировании минеральных тел и проследивать эволюцию минералообразования.

Д.В. Рундквист [9] наряду со стадиями и этапами пульсационного развития минерализации предлагает выделять стадии и этапы эволюции минералообразования. Однако использование предлагаемой систематики дает возможность довольно детально диагностировать различные проявления минерализации и рассматривать их возникновение как единый процесс формирования минеральных тел, происходящий в результате пульсации постепенно эволюционирующих растворов. Вещественно-генетический и временной анализ, устанавливающий изменение минеральных ассоциаций от мономинеральных образований (ступеней) до полигенного (полиэтапного) ряда или рядов минерализации в металлогенических циклах фиксирует эволюцию минералообразования в каждой эпохе. Минерализация геохронологических эпох от самой древней до самой молодой позволяет детально проследить во времени эволюцию минералообразования в месторождениях, рудных полях и регионах. Для характеристики полихронных месторождений может быть использован термин "металлогеническая эпоха", например герцинская, киммерийская или мезозойская и кайнозойская. Однако, как показано выше, при детальных исследованиях, в

первую очередь, необходимым является выделение геохронологической эпохи минерализации и составляющих ее периодов. Далекое не всегда могут быть установлены все единицы систематики, но при сопоставлении с ней изучаемой минерализации становится очевидным, какие из них еще остаются не определены.

Говоря о применении различных временных классификационных единиц в анализе формирования месторождений, можно отметить, что если тектоно-магматические этапы (циклы) геосинклиналей не принимаются сторонниками плитотектоники, то предлагаемые металлогенический цикл и геохронологическая эпоха минерализации, как и вся вещественно-генетическая и временная систематика, могут быть использованы сторонниками как той, так и другой парадигм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Металлогенический (минерагенический) цикл минерализации - это период времени, в течение которого возникает последовательный ряд от высоко- до низкотемпературных минерализаций, представляющих совмещенные минеральные образования различных генетических типов на одном месторождении или разрозненные месторождения этого ряда на площади рудного поля, района или региона. Месторождения одного цикла могут быть связаны с формированием одного магматического очага или нескольких близких по времени образования очагов, а также состоять из месторождений с не установленной связью с магматизмом, отнесенные к геохронологической эпохе.

Минерализация металлогенического цикла в отдельных регионах или в различные эпохи одного региона может быть представлена только плутоногенной, только вулканогенной или только амагматогенной. Если в течение одной эпохи формируются месторождения только плутоногенного или только вулканогенного цикла, то возникающие в этом случае ряды месторождений представляют неполные плутоногенный или вулканогенный металлогенические циклы. Наличие высоко-, низко- и среднетемпературной минерализации, сформировавшейся в одну эпоху, представляет полный металлогенический цикл. Полный металлогенический цикл обычно отражает время формирования минерализации, связанной с совмещенным вулканоплутоническим магматизмом.

Совмещение плутоногенной и вулканогенной минерализации в одном металлогеническом цикле - явление распространенное. Амагматогенная же минерализация более надежно диагностируется в отрыве от магматической деятельности и обычно попадает в другие циклы и эпохи. Новый цикл устанавлива-

ется, если после низкотемпературной минерализации вновь проявляется более высокотемпературная. В молодых вулканических структурах в одной эпохе устанавливается два и более последовательных металлогенических цикла минерализации.

Таким образом, если последовательный ряд от высоко- или относительно высокотемпературной до низкотемпературной минерализации формируется без значительных перерывов и в нем нет пересечений в пространстве и времени низкотемпературных минеральных ассоциаций более высокотемпературными, то минеральные образования, возникшие в этот период, относятся к одному металлогеническому циклу. В большинстве случаев ряды последовательной минерализации металлогенического цикла уместаются в пределах одной эпохи. Однако, если формирование минерализации цикла происходило вблизи границы двух эпох и последовательный ряд близких по времени образования месторождений рассекается изотопными датами на две части, то эти части рассматриваются как один металлогенический цикл минерализации. Это не является препятствием для структурирования каждой части минерализации в своей эпохе. Границей цикла в последующей эпохе будет служить новый импульс минерализации, обычно связанный с новым импульсом магматизма.

2. Геохронологическая эпоха минерализации является самой крупной, завершающей единицей последовательно усложняющегося ряда закономерных минеральных сообществ и периодов их образования. Этот ряд вещественных и временных единиц представляет вещественно-генетическую и временную систематику организации минерального вещества эндогенных постмагматических месторождений. Геохронологическая эпоха минерализации устанавливается по изотопному датированию и шкале геологического времени. Если с помощью изотопного датирования определяется эпоха минеральных ассоциаций какой-либо минерализации, то в соответствии с вещественно-генетической и временной систематикой в ней выделяются закономерные минеральные сообщества (генетические типы минерализации, мономинеральные образования, парагенезисы минералов), а также периоды их образования (этапы, циклы, стадии, ступени). В связи с этим эпоха становится закономерно структурированным периодом минерализации.

Геохронологическая эпоха минерализации является объединяющим периодом для всей минерализации, образовавшейся в пределах этого временного интервала и основой (эталоном) для анализа долговременно формирующейся минерализации в месторождениях, рудных полях и регионах.

3. Закономерные минеральные сообщества и периоды их образования, составляющие последова-

тельный ряд вещественно-генетической и временной систематики гидротермальных месторождений (табл.1), отражают разнообразие минеральных сочетаний, участвующих в формировании минеральных тел и месторождений. Путем сопоставления единиц систематики с конкретными минеральными образованиями они могут быть установлены, взаимоотношения их проанализированы (измерены) в месторождениях, рудных полях и регионах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров П.В., Комарова Г.Н. Совмещенное разновозрастное оруденение и магматизм. М.: Наука, 1986. 176 с.
2. Комаров П.В., Томсон И.Н. Возрастная последовательность оруденения и плутоногенные минералогические циклы на примере Восточного Забайкалья // Отеч. геология. 1995. №10. С. 26-36.
3. Комаров П.В. Минералогические закономерности и развитие петрогеохимических и геохимических методов поисков // Руды и металлы. 1996. № 3. С.76-81
4. Комаров П.В. Опыт систематики минеральных ассоциаций гидротермальных месторождений // Тихоокеан. геология. 1997. Т. 16, №2. С. 84-92
5. Комаров П.В. Систематика закономерных минеральных сообществ - основа вещественно-генетического и временного анализа минеральных тел и месторождений // Тезисы докладов на Бетехтинском симпозиуме. М., 1997. С.138-139.
6. Комаров Ю.В. Карта орогенной тектоники горных сооружений Юго-Восточной Сибири и Северной Монголии. 1:1500000 (объяснительная записка). Иркутск, 1995.
7. Котляр В.Н. Основы теории рудообразования. М.: Недра, 1970.
8. Магакьян И.Г. Металлогения. М.: Недра, 1974. 304 с.
9. Рундквист Д. В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений: периоды, эпохи, этапы, и стадии рудообразования // Геология руд. месторождений. 1997. Т. 39, № 1. С. 11-24.
10. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1976. 688 с.
11. Смирнов В.И. Периодичность рудообразования в геологической истории // Металлогения и рудные месторождения. М.: Наука, 1984. Т.12. С.5-10 .
12. Стадийность минерализации и зональность гидротермальных месторождений. М.: Наука, 1979. 332 с.
13. Томсон И.Н., Тананаева Г.А. Металлогенические циклы и области кайнозойской активизации восточной ветви Тихоокеанского пояса // Тихоокеан. геология. 1995. № 1. С.3-19.
14. Элсон В.Э. Постларамийская металлогения Юго-Западной части Нью-Мехико, США // Металлогения и рудные месторождения. М.: Наука, 1984. Т.12. С.124-136.
15. Buchanan L.J. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest: Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera // Arizona Geol. Soc. Dig. V.XIV. P.237-262.
16. Clark A.H., Palma V.P., Archibald D.A., Farrar E. Occurrences and age of tin mineralization of Cordillera Oriental // South Peru. Econ. Geol. 1983. V.78, №3. P. 514-520.
17. Davidson C.J., Mporiz C. Regional geologic setting of epithermal gold deposits // Chile. Econ. Geol. 1991. V.86, №6. P.1174-1186.
18. Evernden J.S., Kris S., Cherronic C. K-Ar age of some Bolivian rocks // Econ. geol. 1977. V.72, №6. P.1042-1061.
19. Geology and mineral resources of the Altiplano and Cordillera Occidental, Bolivia // U.S. Geol. Serv. 1992. Bull. 1975. P.367.
20. Laverov N.P., Chernyshev I.V., Golubev V.N. Isotope constant on the age and genesis of hydrothermal uranium ore deposits in volcanic belts // Geology of Ore Deposits. 1993. V. 35. P. 22-30.
21. McKee R.H., Noble D.C. Miocene volcanism and deformation in the western Cordillera and high plateaus of south-central Peru // Geol. Soc. Amer. 1982. Bull.93. N 8. P. 657-662.
22. Sillitoe R.H., McKee R.H., Vila T. Reconnaissance K-Ar geochronology of the Maricunga gold-silver belt, Northern Chile // Econ. Geol. 1991. V.86. P. 1261-1270.

Поступила в редакцию 10 декабря 1997 г.

Рекомендована к печати В.Г.Моисеенко

P.V.Komarov

Metallogenic cycle and geochronological mineralization epoch in a matter-genetic and time classification of hydrothermal deposits

The concept of metallogenic cycle of mineralization is under consideration. The relationships between plutonic, volcanogenic, and amagmatogenic cycles and tectono-magmatic stage (megacycle) of mineralization have been established. Geochronological mineralization epoch has been characterized, and its relationships with metallogenic cycle and metallogenic epoch are studied. Role of geochronological epoch as a regularly structured period (from a stage to an epoch or vice versa) and a standard for estimation of polychronous mineralization of deposits, ore fields and regions, is substantiated. It is shown that metallogenic cycle and geochronological epoch of mineralization are the final more complex regular mineral units and formation periods that along with other units of matter-genetic and time classification reflect the peculiarities of hydrothermal deposits.