



РУДНАЯ МАГМА». ЧТО ЭТО С ПОЗИЦИИ ГРАНИТНОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ?

В. Л. Хомичев

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Понятие «рудная магма» остается темной гипотезой в рудообразовании. Рассмотрен процесс естественного перерастания тривиальной первичной базальтовой магмы в рудоносный гранитный расплав и далее в рудообразующую «рудную магму» по мере концентрирования летучих и рудных компонентов. «Темная сторона» проблемы заключается в том, что так называемая рудная магма в период рудообразования ликвирует на контрастные фазы и практически не оставляет (за редким исключением) следов о себе. С позиции рудно-магматических систем указанное понятие получило логичное научное обоснование.

Ключевые слова: эволюция базальтовой магмы к гранитному расплаву, концентрирование летучих и рудных элементов, «рудная магма» в составе рудно-магматической системы.

“ORE MAGMA”. WHAT IS IT FROM THE STANDPOINT OF THE GRANITE ORE-MAGMATIC SYSTEM?

V. L. Khomichev

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The concept of “ore magma” remains an obscure hypothesis in ore formation. The article considers the process of natural overgrowth of trivial primary basaltic magma into an ore-bearing granite melting and further into the ore-forming “ore magma” as the concentration of volatile and ore components. The dark side of the problem lies in the fact that during the ore formation the “ore magma” liquates into contrasting phases and leaves practically no traces of itself (with rare exceptions). But the concept of the ore magma has received a logical scientific justification from the standpoint of ore-magmatic systems.

Keywords: evolution of basaltic magma to granite melting, concentration of volatile and ore elements, “ore magma” in the composition of ore-magmatic system.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-4-79-85

Вглядитесь глубоко¹ в природу,
и тогда вы лучше поймете всё.

А. Эйнштейн

Понятие «рудная магма» до настоящего времени остается самой темной и потому не воспринимаемой гипотезой в рудообразовании. Отдельно магма и руда – понятия очевидные, а в совокупности их сочетание в сознании не укладывается и вызывает или скептическое недоверие, или безразличное отношение. Тем не менее накопилось немало публикаций, в которых утверждается, что рудообразование происходило не по классической общепринятой схеме гидротермального процесса, а непосредственно из магматического расплава, т. е. из «рудной магмы». На заре геологической науки, почти 200 лет назад, предполагалось, что рудообразующий флюид представляет собой магматический расплав, обогащенный в результате дифференциации рудными элементами (рудная магма) [4, 10, 11]. Ч. Ф. Парк и Л. В. Мак-Дормид выразились буквально: «Магмы или магматические фракции, которые после затвердевания оказываются рудами, называются рудными магмами» [4, с. 31].

Основоположителем представлений о формировании месторождений из расплава следует считать Д. Хиттона (1800). Его последователями были Д. Плейфер (1802), Ш. Фурье (1835), Т. Бельт (1861),

Дж. Сперр (1923), В. Линдгрэн (1933) и др., причем наибольший вклад внесла монография Дж. Сперра [10]. В СССР эти представления поддерживали Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, А. Н. Заварицкий (1926), В. А. Обручев (1929), Ф. В. Чухров и др. Но это были лишь соображения по частным объектам, полно и глубоко проблему просто не рассматривали. Поэтому гипотеза рудной магмы так и осталась вне поля зрения как у нас, так и за рубежом. Напротив, всеобщее признание получила идея образования месторождений из рудного гидротермального раствора, который отделяется от глубинного гранитного очага или из уже закристаллизованного гранитного массива – его остаточного расплава или межзернового раствора. Во всех вариантах представлений основа рудообразующего субстрата (раствор, флюид, рапа) – вода. При этом не учитываются явные необъяснимые противоречия и возражения.

1. Растворимость в чистой воде рудных элементов и кремнезема (главного компонента «гидротермальных» руд) исключительно низкая (околокарбовая) и для образования месторождений

¹В моем понимании – на глубину. – В. Хомичев.



потребовался бы океан водных растворов, что допустить невозможно. К. Краускопф подсчитал, что для образования всего 1 т киновари потребуется 100 мировых океанов. Н. П. Ермаков указывал, что на шесть наиболее крупных жил в Каибском массиве Казахстана потребуется пропустить через вмещающие трещины весь объем Аральского моря. С. С. Смирнов подсчитал, что на образование одной кварцевой жилы с 5 % галенита необходим объем воды в четыре годовых стока р. Волга.

2. Если даже допустить возможность подобно-го гидротермального рудообразования, возникает вопрос, куда девается такая огромная масса воды после отложения рудного и жильного материала. На месторождениях следовало бы ожидать соизмеримые (совершенно невообразимые) объемы метасоматических изменений, а этого не наблюдается. Поперечный размер ареалов метасоматических пород на «гидротермальных» месторождениях не превышает 1–2 мощности рудных тел, а часто много меньше.

3. Многообразные флюидные включения в рудном кварце, которые представляют собой законсервированные реликты рудообразующего субстрата, при нагревании переходят в высококонцентрированный надкритический раствор (флюид), главными компонентами которого является CO_2 , CO , Cl , F и меньше H_2O [1, 3, 5–8].

4. На многих месторождениях (в особенности слабо эродированных) широко развиты колломорфные (волнисто-полосатые, слоистые, кружевные, глобулярные, обтекаемые) текстуры руд, что прямо указывает на высокоплотное гелеобразное, но отнюдь не жидкостное состояние рудообразующего субстрата [3, 7, 11, 17]. В рудных брекчиях обломки пород и руд находятся во взвешенном состоянии, не несут следов гравитационных перемещений опять-таки из-за высокой (не менее $2,52 \text{ г/см}^3$) плотности кремнистого цемента в период рудоотложения.

5. В ряде случаев, правда, очень редких, описаны постепенные переходы даек аплита в сульфидно-кварцевое жильное окончание (рис. 1), что говорит о переходе силикатного расплава непосредственно в сульфидно-кварцевый расплав, минуя стадию отщепления раствора [13]. К такому же явлению относятся и широко распространенные на золоторудных месторождениях жильные рудные тела кварц-серицит-хлоритового состава («табашки»), которые с глубиной постепенно сменяются слабо измененными и неизменными гранит-порфирами. Очевидно, «табашки», представляют собой автометасоматически измененные фронтальные части даек кислого состава. Иначе говоря, на фронте магматической колонны гранитный расплав в силу концентрации летучих и рудных компонентов превращается в «рудную магму» [16].

В Западной Туве на участках Сарык-Бель, Акчат, Шамуш-Даг некоторые (только некоторые) дайки гранит-порфира аналогично превращены в кварц-

серицитовые метасоматиты (и микрокварциты) с медно-молибденовым оруденением, а вмещающие породы практически не изменены (рис. 2). На глубине 200–300 м они переходят в безрудные порфиры, т. е. расплав дайки в связи с миграцией летучих и рудных компонентов в головную область пониженного давления постепенно переходит в рудонесущий высокофлюидизированный расплав («рудную магму»), изолированный в данном случае от боковых пород. Поскольку таких «рудных» даек среди преобладающих нормальных гранит-порфиров единицы, то они, очевидно, имеют особую природу, тесно связаны с рудообразующим процессом и входят в состав рудно-магматической системы. Забегая вперед, можно предположить, что дайки с рудным концом – это апофизы из остаточного рудоносного лейкогранитного очага в отличие от тривиальных даек, которые в большом количестве отщепляются от нормального, стандартного гранита вне рудно-магматических систем.

Несмотря на приведенные объективные свидетельства несостоятельности гипотезы гидротермального рудообразования, она все еще господствует, иногда с какими-то оговорками, а чаще даже без них. Таким образом, проблема рудной магмы в принципе не рассматривается. А между тем она непротиворечиво и логично решается с позиции петрологии рудно-магматических систем [13].

Проведенные в недавнее время исследования по геолого-геофизическому моделированию глубинного строения гранитоидных плутонов позволяют сформулировать принципиально отличные выводы и следствия в отношении генезиса рудообразования и «рудной магмы».

1. Все гранитные плутоны устроены одинаково, поскольку образуются по одним природным термодинамическим и физико-химическим законам. Это относительно маломощные (15–20 км) больших горизонтальных размеров межформационные лополиты вдоль границы консолидированного основания и неметаморфизованной кровли. Большую нижнюю их часть слагают габброиды и ультрабазиты, а верхние 4–5 км образуют гранитоиды, которые не имеют подводных корней и, следовательно, не внедрялись из глубокого корового очага, как принято считать. Напротив, гранитоиды имеют с габброидами конформные отношения и устойчивую гомодромную последовательность пород (ультрабазиты – габбро – диориты – гранитоиды – лейкограниты), что свидетельствует об их образовании в результате внутрикамерного фракционирования исходной базитовой магмы. На рис. 3 приведены три плутона из 43 исследованных на территории страны [14]. Это первый планетарный этап подготовительного концентрирования SiO_2 , Al , щелочей, летучих и рудных компонентов на длинном пути эволюции первичной магмы к рудообразованию в связи с предпочтительным вхождением металлов в кислый расплав. Исходя из кларков Mo в базальтах

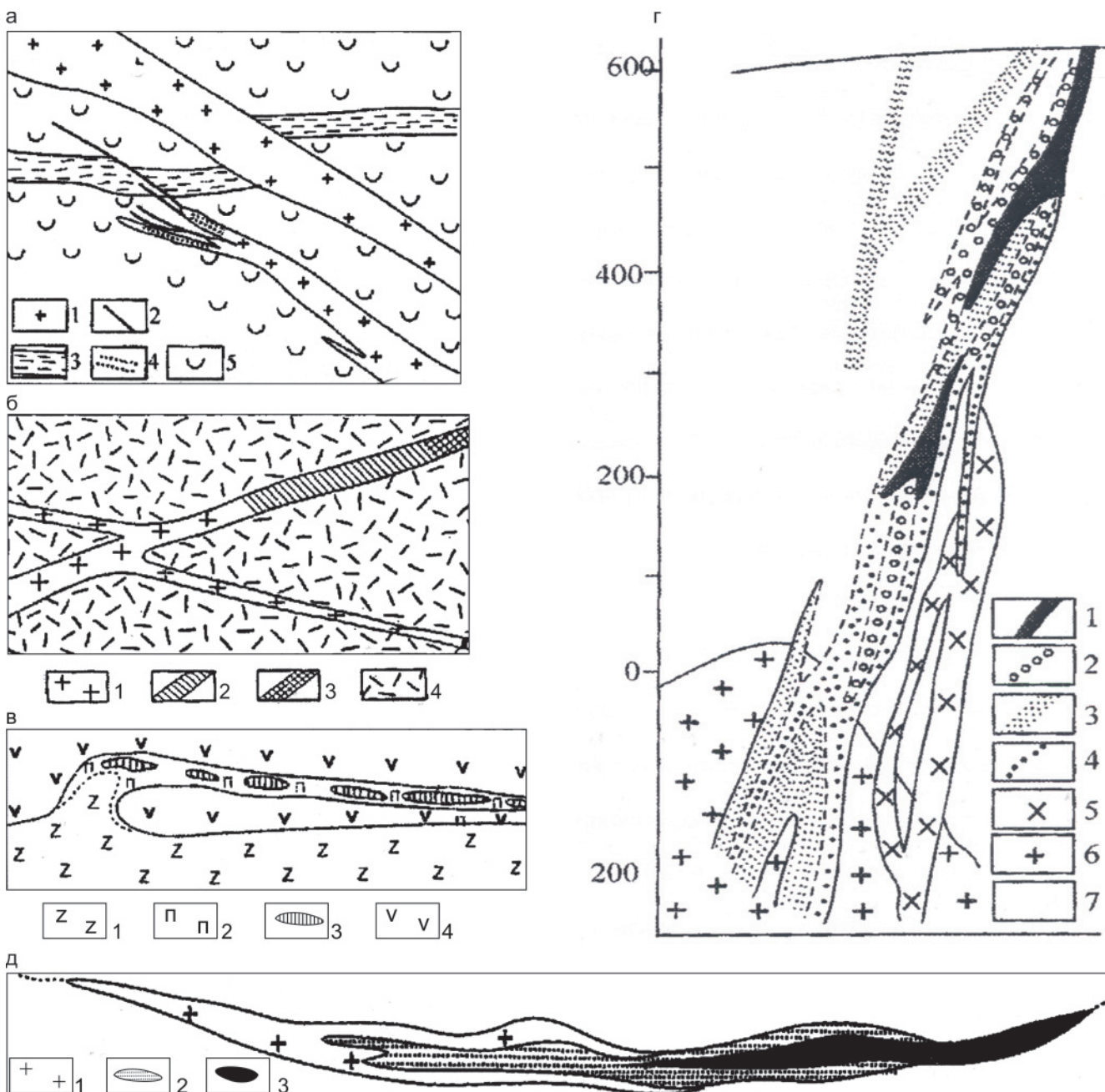


Рис. 1. Прямой переход от даек аплита к рудным жилам и гнездам

а – кварц-молибденовые жилы в окончании даек гранит-порфира на месторождении Кара-Оба (Центральный Казахстан): 1 – гранит-порфиры, 2 – крутопадающие кварц-молибденитовые жилы, 3 – пологопадающая жила, 4 – вкрапленность молибденита в гранит-порфире; 5 – вмещающие кварцевые порфиры; **б** – переход гранита в пегматит и далее в кварцевую жилу с сульфидами на Колыванском месторождении (Рудный Алтай): 1 – гранит, 2 – пегматит, 3 – кварцевая жила, 4 – вмещающий флюорит; **в** – переход дайки сиенита в кварц-сиенитовое окончание на Джидинском месторождении (Забайкалье): 1 – дайка сиенита, 2 – кварц-сиенитовое окончание, 3 – гнезда флюорита и кварца, 4 – вмещающий порфирит; **г** – совмещение кварц-турмалиновых жил метасоматитов и жильных гранитов в главной зоне Солнечного месторождения (Сихотэ-Алинь): 1 – участки, насыщенные жильным кварцем с касситеритом, 2 – кварциты, 3 – метасоматиты кварц-турмалиновые, 4 – метасоматиты кварц-хлорит-мусковитовые, 5 – диорит-порфириты, 6 – граниты, 7 – ороговикованные терригенные отложения; **д** – зональное строение дайки лейкогранита, Ванильский массив, Западный Памир: 1 – лейкогранит, 2 – аплитовидная порода, 3 – мелкозернистый жильный кварц

($1 \cdot 10^{-6} \%$) и гранитах ($1-2 \cdot 10^{-4} \%$), накопление его достигает порядка 100 крат.

2. Неизбежно неоднородное распределение давления и температуры в огромном по площади гранитоидном теле обуславливает появление локальных участков пониженных их значений, куда мигрируют наиболее кислые флюидизированные

расплавы. Так возникают очаги лейкократовых гранитов с повышенным содержанием летучих и рудных элементов (рис. 4). Подобные очаги фиксируются моделированием на глубине 2–4 км под каждым месторождением. На более чем 50 изученных нами медно-молибденовых, золоторудных и полиметаллических месторождений не выявлено ни одного

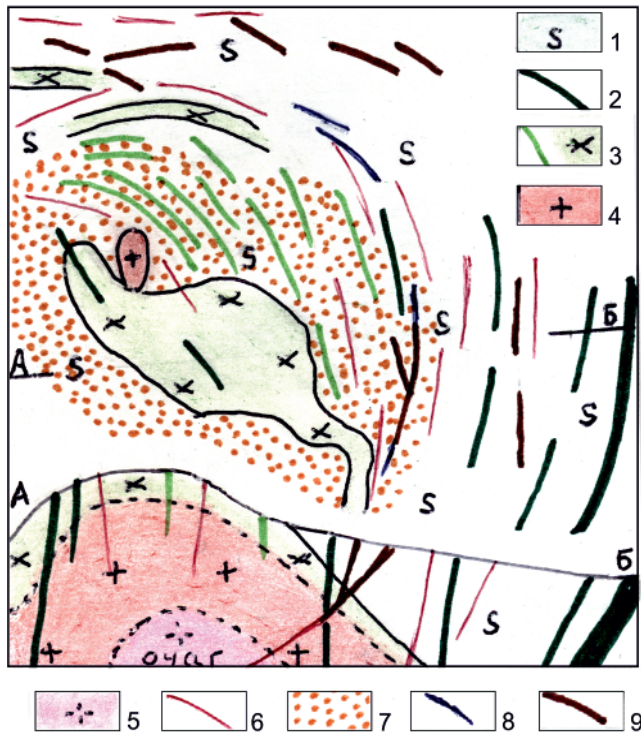


Рис. 2. Участок медно-порфирового оруденения Сарыг-Бель (Зап. Тува), по [13]

1 – песчано-сланцевые отложения S; 2 – габбро-порфиры; 3 – монцодиориты; 4 – граниты; 5 – лейкограниты; 6 – дайки гранит-порфира; 7 – ороговикование; 8 – кварцевые жилы; 9 – оруденелые гранит-порфиры

исключения. Остаточные очаги возникают далеко не повсюду, а главным образом в эндоконтактовом ореоле плутонов, поскольку отсюда начинается кристаллизация массивов и рано возникают участки пониженных температур и давления. Примеров периферического размещения месторождений и очагов под ними можно привести немало. Ограничимся одним показательным – массивом Седбери (рис. 5).

Это второй региональный этап концентрирования летучих и рудных компонентов в остаточном очаге. Однако уровень концентрирования еще не достигает предела насыщения (до 10 %) в гранитном расплаве, поэтому отделения рудоносных флюидов непосредственно от очага не происходит (вопреки общему мнению).

3. Следующий наиболее значимый этап – перерастание магматической системы в рудно-магматическую – начинается после затвердевания главной массы гранитного тела, в котором «живым» остается только остаточный очаг. Кристаллизация его идет от кровли и краев, где появляются ранние контракционные трещины, наследующие те зоны, по которым мигрировал в очаг флюидизированный лейкогранитовый расплав. По этим зонам в надочаговую область внедряются штоко-гребневидные апофизы (малые интрузии, с которыми издавна традиционно генетически связывают оруднение). Высокая продуктивность апофиз обусловлена тем, что они, подобно опрокинутой воронке, втягивают в себя

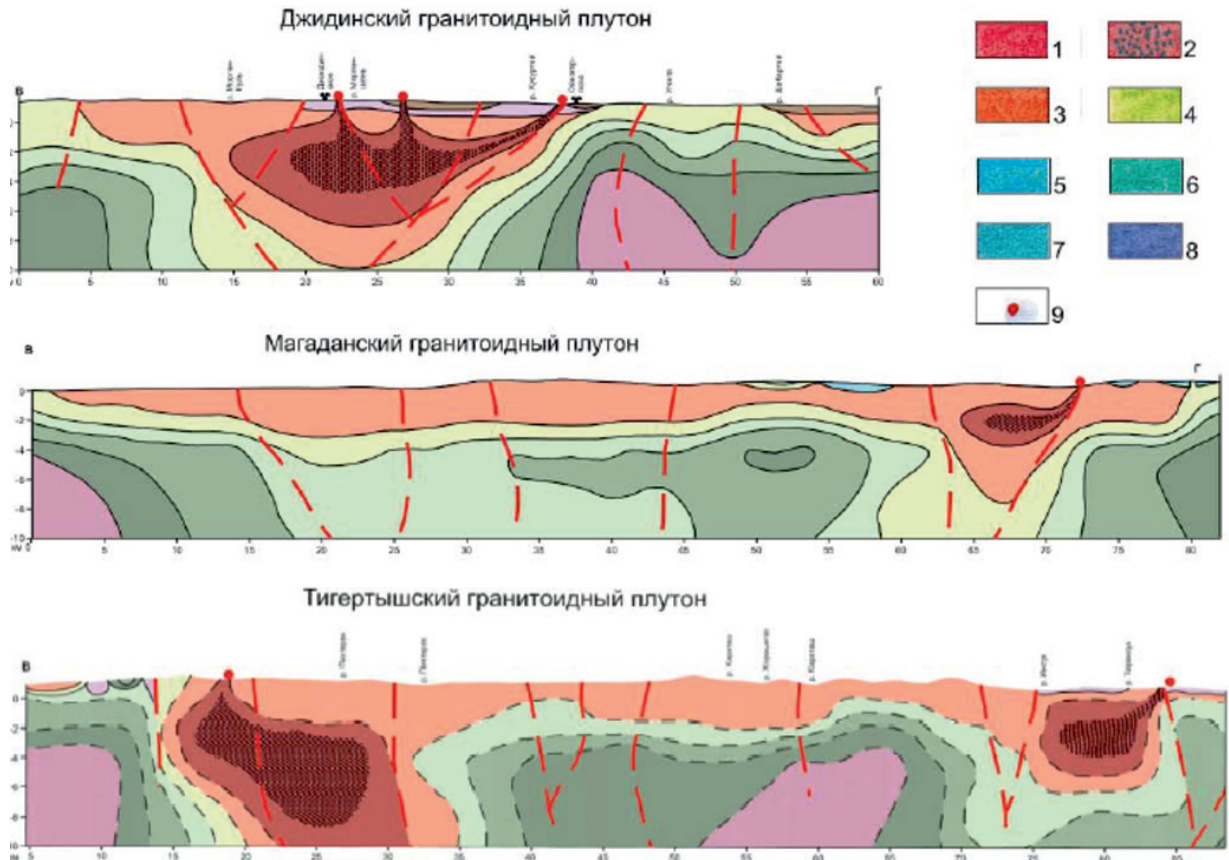


Рис. 3. Строение габбро-гранитоидных плутонов

1 – лейкограниты; 2 – anomalously низкоплотные лейкограниты; 3 – биотитовые граниты; 4 – гранодиориты; 5 – диориты; 6 – габбро; 7 – пикрогаббро; 8 – ультрабазиты; 9 – выходы апофиз лейкогранита из очага

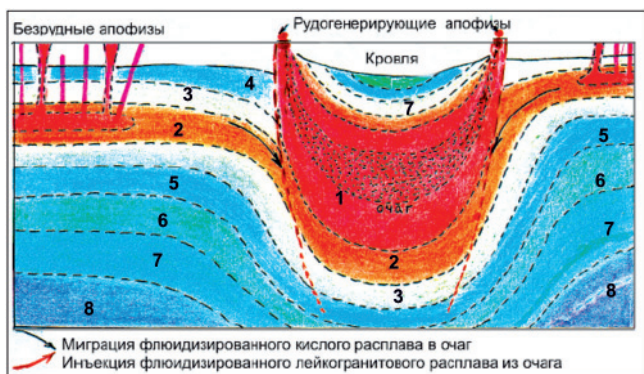


Рис. 4. Схема образования лейкогранитового очага в горизонтально расслоенном габбро-гранитном плутоне
1 – лейкогранит; 2 – гранит; 3 – гранодиорит; 4 – монцодиорит; 5 – диорит; 6 – габбро; 7 – меланогаббро; 8 – ультрабазит

наиболее флюидизированный расплав из всего прилегающего объема очага. В вершине апофизы концентрация летучих и рудных элементов достигает предела насыщения, возникают реальные возможности флюидоотделения и рудообразования (рис. 6). Это последняя главная локальная стадия концентрирования рудного вещества.

В количественной форме этапы концентрирования летучих и рудных элементов удалось проследить по медно-молибденовой формации Кузнецкого Алатау [12]. В схеме ее вертикальной зональности Сорское месторождение занимает центральную срединную позицию, Агаскырское – высокую фронтальную, а Бейское рудопроявление отвечает очаговому уровню или основанию рудогенерирующей апофизы. Если принять за среднее содержание молибдена в исходном гранитном расплаве на уровне кларка ($1-2 \cdot 10^{-4} \%$), то, исходя из средних содержаний на Бейском рудопроявлении (0,005–0,01 %), Сорском (0,05–0,06 %) и Агаскырском (0,08–0,09 %) месторождениях, его концентрация в очаге увеличивается в 50–100 раз, в средней части апофизы – в 500–600 раз, а во фронтальной – в 800–900 раз.

Если нарастить рудно-магматическую систему богатыми месторождениями США (Клаймакс, Юред, Гендерсон и др.), то максимальное концентрирование Мо на фронте апофиз увеличится в 1000–2000 раз и более. Вот так первичная ординарная мантийная базальтовая магма в результате многоэтапного процесса дифференциации порождает рудоносный флюидизированный лейкогранитовый расплав, в ограниченных объемах которого на фронте апофиз из остаточных очагов создается предельная концентрация летучих и рудных компонентов, т. е. рудная магма как источник промышленного рудообразования.

Таким образом, гранитная рудно-магматическая система вырастает из магматической габбро-гранитной с появлением очага остаточного рудоносного расплава, но рудообразование генетически связано с отходящими от очага апофизами, точнее с их максимально флюидизированным расплавом

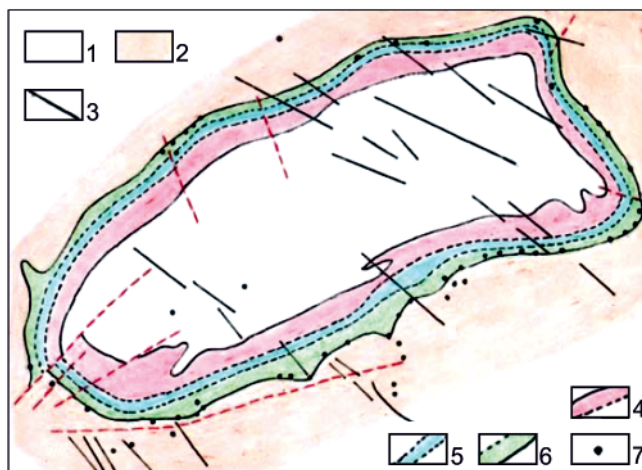


Рис. 5. Периферийное размещение Cu-Ni месторождений в габбро-гранитном массиве Седбери (Канада)

1 – туфогенно-терригенные отложения кровли; 2 – подстилающие архейские гранитоиды; 3–6 – породы массива: 3 – диабазовые дайки, 4 – гранофиры, граниты, 5 – кварцевые габбро, 6 – нориты; 7 – главные месторождения

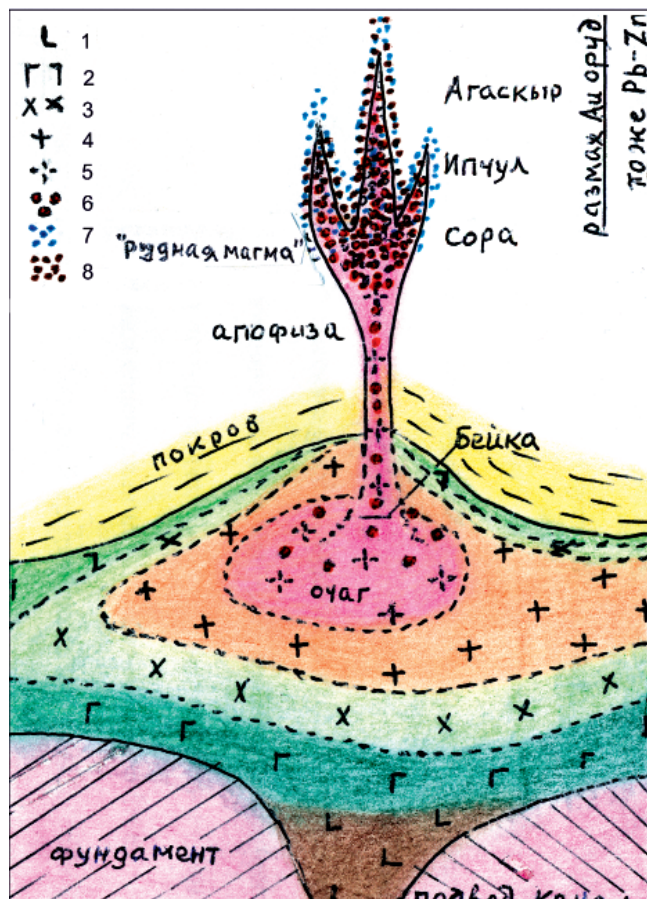


Рис. 6. Гранитоидная рудо-магматическая система (по [13–15])

1 – базальт (исходная магма); 2 – габбро (нижнее и верхнее); 3 – диориты и монцониты; 4 – граниты; 5 – лейкограниты; 6 – флюидизация; 7 – метасоматиты; 8 – оруденение

во фронтальной области, который и представляет собой не что иное, как «рудную магму» или, лучше сказать, рудообразующий расплав.



А. А. Маракушев на основании собственных и опубликованных экспериментальных данных пришел к выводу, что в критический момент высокофлюидизированный гранитный расплав распадается (ликвидирует) на три фазы: относительно «сухую» силикатную жидкость, концентрированный рудно-солевой флюид и гидротермальный раствор. Силикатная фаза формирует сорудные дайки, гидротермальный раствор производит метасматическое изменение материнских и боковых пород, а за рудообразование ответственен рудно-солевой флюид [1, 7, 8, 13 и др.].

Ликвация «рудной магмы» неизбежна по двум причинам. Во-первых, гранитный расплав представляет собой гетерогенную ионную жидкость, основу которой образуют крупные кремнекислородные и алюмокремнекислородные группировки разной степени полимеризации и мелкие катионно-анионные ассоциации MeX , где $Me - Mg, Fe, Cu, Pb, Zn$ и др., а $X - O, OH, F, Cl, B, S$. Структурная и химическая несовместимость этих группировок обуславливает микро- и макрогетерогенность расплава с неизбежным обособлением несмешивающихся фаз контрастного состава. Во-вторых, с термодинамической и физико-химической стороны, «рудная магма» крайне неустойчива и достаточно небольшого падения температуры и давления, чтобы потенциальная склонность к ликвации стала реальной массовой. Поэтому «рудная магма» не имеет шансов где-то сохраниться, и только в редких случаях наблюдается тесное совмещение в одной структуре (и даже в одном теле) всех 3–4 продуктов ее распада, как показано на рис. 1, а чаще они пространственно разобщаются.

В качестве очевидного доказательства существования рудной магмы обычно ссылаются на магнетитовые лавы вулкана Лако (Чили). Но так ли это? Скорее, магнетитовая лава представляет собой рудный ликват высокожелезистого базальта, а предликвидная рудная магма и здесь остается недоступной

Изложенные данные убеждают, что гидротермальная гипотеза рудообразования совершенно неприемлема. Природа рудообразования – магматогенно-флюидная, источник – «рудная магма». И месторождения следует именовать не гидротермальными, а магматогенно-флюидными.

С практической стороны понятие гидротермального оруденения не несет каких-либо критериев прогноза, поскольку не содержит вещественных свидетельств рудообразующего потенциала. Даже простая задача диагностики рудоносных и безрудных гранитов разнообразными способами не получила решения. А с позиции магматогенно-флюидного рудообразования прогнозно-поисковые вопросы решаются уже при региональном (м-б 1:200 000) геолого-геофизическом моделировании рудно-магматических систем, как показано в [13, 15, 16]. Рудогенерирующие высокофлюидизированные апофизы

лейкогранита надежно фиксируются аномалиями низкой плотности и намагниченности над очагом, а по размерам очага и апофизы можно судить о масштабе оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маракушев А. А., Граменицкий Е. Н., Коротаяев М. Ю. Петрологическая модель эндогенного рудообразования // Геология рудных месторождений. – 1983. – № 1. – С. 3–20.
2. Маракушев А. А., Панях Н. В., Зотов Н. А. Новые представления о происхождении месторождений благородных металлов кварцево-рудных формаций // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. – М.: ИГЕМ, 2008. – С. 136–139.
3. Париллов Ю. С. Роль сульфидных растворов – расплавов в формировании руд месторождений цветных металлов. – М.: ВИНТИ, 2012. – С. 134–165.
4. Парк Ч. Ф., Мак-Дормид Р. А. Рудные месторождения. – М.: Мир, 1966. – 548 с.
5. Рейф Ф. Г. Условия и механизм формирования гранитных рудно-магматических систем (по термо-барогеохимическим данным). – М.: ИМГРЭ, 2009. – 498 с.
6. Рейф Ф. Г., Ишков Ю. М. Первые результаты прямого определения концентрации рудообразующих элементов в магматическом дистилляте вольфрамоносных интрузий // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 269, № 3. – С. 725–728.
7. Румянцев В. Н. К теории кварцево-жильного минералообразования, генетически связанного с гранитоидами // Минералогия рудных месторождений. – М.: Изд-во АН СССР, 1983. – С. 60–70.
8. Рябчиков И. Д., Хамильтон Д. Л. О возможности отделения концентрированных хлоридных растворов в ходе кристаллизации кислых магм // Докл. АН СССР. – 1971. – Т. 197, № 4. – С. 933–935.
9. Смирнов В. И. Плутонизм и нептунизм в развитии познания о рудных месторождениях. – М.: Наука, 1987. – С. 38–91.
10. Сперр Дж. Е. О рудных магмах. – М.: Мир, 1923. – 915 с.
11. Сперр Дж. Е., Линдгрэн В., Фогт И. О рудной магме: для науч.-исслед. кадров и практ. работников в области геол.-развед. дела, студентов-разведчиков / пер. под ред. И. Ф. Григорьева. – М.; Л.; Новосибирск: Госгеонефтиздат, 1933. – 148 с. – (Новые идеи в учении о рудных месторождениях; сер. 3, вып. 5).
12. Хомичев В. Л. Вертикальная зональность медно-молибденовой формации Кузнецкого Алатау (Хакасия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2021. – № 3. – С. 3–11.
13. Хомичев В. Л. Петрологическая основа гранитоидных рудно-магматических систем. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2016. – 286 с.

14. Хомичев В. Л. Плутоны – дайки – оруденение. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. – 243 с.

15. Хомичев В. Л. Рудно-магматическая система медно-молибденовых месторождений. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2018. – 297 с.

16. Хомичев В. Л. Рудно-магматическая система месторождений золота. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2019. – 340 с.

17. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 672 с.

REFERENCES

1. Marakushev A.A., Gramenitsky E.N., Korotayev M.Yu. [Petrological model of endogenous ore formation]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1983, no. 1, pp. 3–20. (In Russ.).

2. Marakushev, A.A., Paneyakh, N.V., Zotov, N.A. [New concepts on the origin of noble metal deposits of quartz–ore formation]. *Problemy geologii rudnykh mestorozhdeniy, mineralogii, petrologii i geokhimii. Materialy nauchoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika F.V.Chukhrova* [Problems of Geology of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography, and Geochemistry. Proceedings of Conference on the 100th Anniversary of Academician F.V.Chukhrov]. Moscow, IGEM Publ., 2008, pp. 136–139. (In Russ.).

3. Parilov Yu.S. *Rol sulfidnykh rastvorov-raspлавov v formirovaniy rud mestorozhdeniy tsvetnykh metallov* [Role of sulfide solutions-meltings in the formation of ore deposits of nonferrous metals]. Moscow, VINITI Publ., 2012, pp. 134–165. (In Russ.).

4. Park Ch. F., MacDiarmid R.A. Ore deposits. San Francisco, 1964. 475 p.

5. Reif F.G. *Usloviya i mekhanizm formirovaniya granitnykh rudno-magmaticheskikh sistem (po termobarogeokhimicheskim dannym)* [Conditions and formation mechanisms of granite ore-magmatic systems (according to thermobaric geochemical data)]. Moscow, IMGRE Publ., 2009. 498 p. (In Russ.).

6. Reif F.G., Ishkov Yu.M. [First results of direct determination of the ore forming elements concentration in magmatic distillate of tungsten-bearing intrusions]. *Doklady AN SSSR – Doklady of the AS USSR, Earth Science Sections*, 1983, vol. 269, no. 3, pp. 725–728. (In Russ.).

7. Rumyantsev V.N. [To the theory of quartz-veined mineral formation, genetically connected with granitoids]. *Mineralogiya rudnykh mestorozhdeniy* [Mineralogy of ore deposits]. Moscow, AS USSR Publ., 1983, pp. 60–70. (In Russ.).

8. Ryabchikov I.D., Hamilton D.L. [On the possibility of separation of concentrated chloride solutions during the crystallization of acid magmas]. *Doklady AN SSSR – Doklady of the AS USSR. Earth Science Sections*, 1971, vol. 197, no. 4, pp. 933–935. (In Russ.).

9. Smirnov V.I. *Plutonizm i neptunizm. Razvitiye poznaniya o rudnykh mestorozhdeniyakh* [Plutonism and Neptunism. Development of knowledge about ore deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1987, pp. 38–91. (In Russ.).

10. Spurr J.E. [Ore magmas]. Moscow, Mir Publ., 1923. 915 p. (In Russ.).

11. Spurr J.E., Lindgren V., Fogt I. [About ore magma: for scientific-research staff and practitioners in the field of geological prospecting, students-explorers]. *Novyye idei v uchenii o rudnykh mestorozhdeniyakh*. Moscow, Leningrad, Novosibirsk, Gosgeoneftizdat Publ., 1933, series 3, issue 5, pp. 3–5. (In Russ.).

12. Khomichev V.L. [Vertical zoning of copper-molybdenum formation of the Kuznetsk Alatau (Khakassia)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2021, no. 3, pp. 3–11. (In Russ.).

13. Khomichev V.L. *Petrولوجическая основа granitoidnykh rudno-magmaticheskikh sistem* [Petrological foundation for granitoid ore-magmatic systems]. Novosibirsk: SNIIGGiMS Publ., 2016. 286 p. (In Russ.).

14. Khomichev V.L. *Plutony – dayki – orudneniye* [Plutons – dikes – mineralization]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2010. 243 p. (In Russ.).

15. Khomichev V.L. *Rudno-magmaticheskaya sistema medno-molibdenovykh mestorozhdeniy* [Ore-magmatic system of copper-molybdenum deposits]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2018. 297 p. (In Russ.).

16. Khomichev V.L. *Rudno-magmaticheskaya sistema mestorozhdeniy zolota* [Ore-magmatic system of gold deposits]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2019. 340 p. (In Russ.).

17. Chukhrov F.V. *Kolloidy v zemnoy kore*. [Colloids in the Earth's crust]. Moscow, AS USSR Publ., 1955. 672 p. (In Russ.).

© В. Л. Хомичев, 2021