

# ЭНЕРГЕТИКА ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Г.Б. Наумов

Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН

e-mail: naumov@sgm.ru

1. Руда, с геологической точки зрения, это горная порода с аномальным, по отношению к фону, содержанием отдельных компонентов. Уже из этого определения видно, что возникновение рудных тел связано не с усреднением, а с возникновением неоднородностей распределения элементов в земной коре. Следовательно, этот процесс антиэнтропийный, ведущий не к возрастанию, а к уменьшению энтропии в данном локальном объеме пространства. Это понятие в формулировке Людвиг Больцмана связывает энтропию системы с вероятностью ее состояния: «*Природа в своих процессах стремится от менее вероятных состояний к более вероятным состояниям*». Точная количественная связь между энтропией и упорядоченностью системы выражается уравнением

$$S = k \lg D,$$

где  $S$  – энтропия,  $k$  – так называемая постоянная Больцмана, равная  $3,2983 \cdot 10^{-24}$  калорий на градус Цельсия;  $D$  – количественная мера неупорядоченности атомов в рассматриваемом теле. Неупорядоченность, которую она выражает, отчасти заключается в тепловом движении, отчасти в том, что атомы и молекулы разного сорта смешиваются чисто случайно вместо того, чтобы быть полностью независимыми (характеризует внутренние связи между атомами).

Природные тела более высокого уровня организации более упорядочены и характеризуются меньшей энтропией. Вещество в рудном теле более укрупнено и упорядоченно, чем в окружающих горных породах. Такой процесс не идет самопроизвольно, а требует дополнительных затрат энергии. В ходе развития природы возникают все более и более организованные тела. Изучая эволюцию земной коры, мы обычно анализируем пространственные и временные изменения ее вещества. По мере своего развития земная кора все больше и больше гетерогенизируется. Земная кора архея отличалась однообразием, пространственная дифференциация была относительно слабой. Постепенно увеличивалась петрографическое разнообразие. От преобладания плагиогранитов в докембрии к аляскитовым гранитам в мезозое и кайнозое. Дифференциация вещества отчетливо наблюдается в осадочных, метаморфических, магматических процессах. Все процессы рудообразования всегда связаны с дифференциацией элементов и их ассоциаций. По подсчетам Л.Н. Овчинникова [Овчинников 1975] среднее содержание большинства металлов в рудах на три порядка выше их среднего содержания в земной коре. Для отдельных месторождений эти значения могут быть и выше и ниже. Но это всегда не усреднение, а разделение элементов.

Попытки решить противоречия между требованием роста энтропии в самопроизвольных процессах и увеличением упорядоченности в ходе эволюции предпринимались неоднократно. Еще в 1902 г. Профессор Московского университета Н.А. Умов, рассматривал способы сохранения *упорядоченных состояний*, особенности «*стройности*» и «*нестройности*» природных систем, и существующие в природе универсальные способы сохранения *упорядоченных состояний* [Умов 1916]. На языке современной науки это попытка связать организованность природных систем с энтропией и информацией.

В.И. Вернадский в начале 30-х годов писал «Энтропия мира обычно ставится как бы отдельно от остальных физических явлений, и из необратимости отвечающего ей процесса не делается необходимых логических выводов. ...Наше обычное представление о мире указывает, что в мире есть диссимметрия, проявляющаяся в существовании в

нем энтропии. Энтропия указывает, что ...в пределах нашего геологического и даже космического времени характер энергии мира меняется всегда в одну и ту же сторону — увеличения тепловой энергии, не могущей больше проводить в мире работу» [Вернадский 1988].

Попытку решить эти противоречия предпринял Д.С. Коржинский. Анализируя в рамках классической равновесной термодинамики механизмы формирования метасоматической зональности, он предложил рассматривать эти объекты как в целом неравновесные, но позволяющие говорить о термодинамическом равновесии в каждом отдельном элементарном участке, и ввел понятия о мозаичном равновесии. Это дало возможность применить методы равновесной термодинамики к реальным телам, но не решило проблемы в целом.

2. Пути выхода из противоречия *порядок — беспорядок* намечает современная физика. Нобелевский лауреат Илья Пригожин в работе «Философия нестабильности» отметил, что «порядок и беспорядок сосуществуют как два аспекта одного целого», а «стержневым моментом в таком восприятии становится представление о неравновесности» [Пригожин 1991]. Любые реальные системы следует рассматривать с позиций доказанной им теоремы термодинамики неравновесных процессов: *при внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарное состояние системы соответствует минимальному производству энтропии*. Именно такие соотношения и характеризуют энергетическое развитие природы как системы. Решая термодинамическую задачу, мы должны работать на трех уровнях, учитывая не только элементы данной системы, но и в какую большую систему она вписывается, а также какие подсистемы работают внутри нее. Поэтому геолог, занимающийся процессом формирования руд, обязан хотя бы в общих чертах представлять, что происходит в системе большего масштаба.

Процесс рудообразования (как и многие другие геологические процессы) потому и антиэнтропийный, что он находится в более крупной диссипативной системе, дающей ему необходимую энергию. Суть противоречия, долгое время привлекавшего внимание натуралистов, в ограничениях системы. В изолированной системе энтропия может только расти, в системе, взаимодействующей с системами более высокого уровня, можно говорить не о равновесии, а об устойчивом состоянии, при котором такое состояние поддерживается диссипацией энергии и ростом энтропии в системах высшего уровня.

3. В любых открытых, диссипативных и нелинейных системах неизбежно возникают автоколебательные процессы, поддерживаемые внешними источниками энергии, в результате которых протекает самоорганизация. Для геологических систем самоорганизация и автоколебательные процессы представляют собой распространенное явление: гейзеры, формирование рудоносных структур, процессы метасоматоза и др.

4. В геологических науках подток энергии обычно рассматривается либо через теплопроводность, либо как конвективный перенос, осуществляемый перемещающимся расплавом или флюидом. Иные механизмы просто не рассматриваются, хотя в физике рассматриваются и иные механизмы — механические, гидравлические, электрические, лучистые и т.д. Ни один из этих механизмов не может исключаться из рассмотрения.

Тектонические движения, приводящие к перемещению массивных блоков горных пород, возникновение складчатых и разрывных нарушений сопровождаются значительным энергетическим перераспределением. При этом в локальных участках меняются температура и давление. Так при росте микротрещины на ее растущем окончании температуры могут достигать тысяч градусов. В геологическом масштабе такие возможно-

сти не изучены. А между тем понятиями «горячие точки», «плюмы» переполнена современная геологическая литература, хотя четкого определения понятия «плюм» до сих пор нет, вернее всего потому, что пока это абстрактная, чисто модельная субстанция. Какая нужна энергия для «прожигания» коры и даже верхней мантии остается большим вопросом. Ясно, что запаса, содержащегося в объеме «поднимающегося флюидно-магматического субстрата» для этого совершенно не достаточно.

Современные сейсмические данные фиксируют наличие в земной коре зон сейсмической прозрачности, которые могут служить волноводами для сейсмических волн. При этом на волновых экранах будет происходить ее поглощение и трансформация. Все это широко используется в технике, в том числе и бытовой (микроволновые печи), но не в геологии.

5. Любой рудничный геолог хорошо знает, что в рудовмещающих структурах смещения с значительными амплитудами характерны для дорудных и пострудных периодов. Период рудообразования обычно характеризуется многочисленными малоамплитудными подвижками, фиксируемыми на разных уровнях и в разных масштабах. В пределах рудных тел всегда наблюдаются многочисленные жильные и прожилковые образования, дробление и пересечение, крустификационные жилы с макро и микро ритмами, зонально построенные минеральные выделения и даже отдельные кристаллы, фиксирующие микроритмы (рис. 1). Все это указывает на тектоническую напряженность данного участка в период рудообразования, разрешающуюся огромным количеством малоамплитудных смещений.

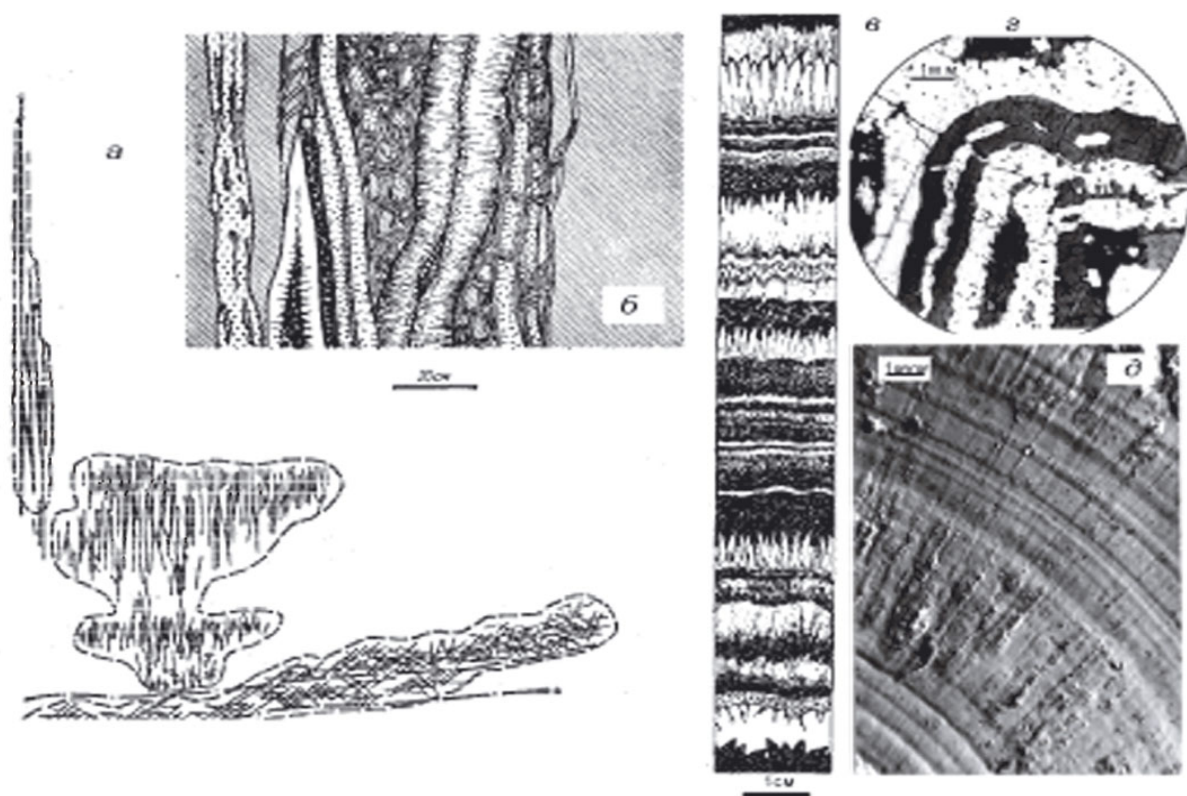


Рис. 1. Тектонические нарушения разных масштабов в период рудообразования. а - в масштабе месторождения (Чаули, Ср. Азия), б - взаимные пересечения прожилков в сложной жиле, в - ритмы в рустификационной жиле (Рудные горы), г - чередование слоев в настуран-молибденовой почке (Чаули), д - микрослоистость почки настурана (Пршибрам).

Сам факт приуроченности рудных месторождений к тектонически активным участкам обычно не вызывает каких-либо сомнений. Более того, он настолько привычен,

что на нем даже не акцентируется особое внимание исследователей. А между тем это эмпирическое обобщение должно играть одну из ключевых ролей в моделях рудообразования, поскольку в нем отражены факты связи структурных и геохимических аспектов рассмотрения интересующих нас процессов [Наумов 1990]. Не одноактный детерминированный импульс, а период малоамплитудных, высокочастотных сейсмических колебаний определяют специфику процессов концентрации руд. Видимо здесь же могут фокусироваться и вещественно-энергетические подходы к решению данной проблемы.

6. В природе имеется два способа переноса энергии в пространстве — посредством частиц или волн. При волновой передаче энергии частицы вещества в конечном счете не меняют своего пространственного положения, передавая энергетический импульс от одной частицы к другой. Энергия, переносимая волной, пропорциональна амплитуде и частоте колебаний

Такая энергетическая подпитка, действующая в течение всего периода рудообразования с меняющейся интенсивностью, периодически затухая и возобновляясь, может иметь сейсмическую природу [Нестеренко, Чиков 1992, Чиков 2004]. Несмотря на незначительную энергоемкость отдельных импульсов их интегральный эффект может быть весьма существенным. В структуре зон дислокаций могут возникать своеобразные локальные и микроскопические «сейсмофокальные зоны», где фокусируются волновые носители энергии. Их развитие происходит в импульсном режиме по сценарию сочетания периодов длительного накопления энергии и относительно быстрой «разгрузки» в процессе множества сейсмических событий, разобщенных во времени, но концентрированных в пространстве. Такие сейсмофокальные зоны представляют собой также вибрационные геосистемы, определяющие внутреннее перераспределение энергетических ресурсов.

В условиях вибрации ускоряются процессы диффузии и самоочистки (автолизии по А.Е. Ферсману) минеральных зерен; активно проявляются эффекты механического и механохимического взаимодействия частиц в минеральных средах. Реакционная активность локальных взаимодействий повышаются на порядки  $10^4$ – $10^8$ , даже по сравнению с аналогичными реакциями в жидкой фазе [Еникопян 1989]. В условиях высокочастотной вибрации высокая скорость процесса перераспределения химических элементов и минеральных зерен подтверждается экспериментами по воздействию ультразвука на дегидратацию и литификацию осадочных пород.

#### Список литературы

- Овчинников Л.Н. Источники рудного вещества эндогенных месторождений и надежность критериев их установления. // В сб. Источники рудного вещества эндогенных месторождений. М.: Наука, 1975, с.100-120.
- Умов Н.А. Собрание сочинений. Т. 3. Речи и статьи общего содержания. М.: 1916.
- Вернадский В.И. Пространство и время в живой и неживой природе. // Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988, С. 223-224.
- Наумов Г.Б. Структурно-геохимический подход к решению вопросов рудообразования. // Основные проблемы рудообразования и металлогении. М: Наука, 1990, С.167-183.
- Нестеренко В.Ф., Чиков Б.М. Механизмы перераспределения и концентрации элементов при импульсном нагружении. // Сдвиговый метаморфизм и рудоконтролирующие парагенезы. Новосибирск: Изд. ОИГГМ СО РАН, 1992, с. 36-37.
- Чиков Б.М. Короткопериодные колебания в геологических процессах литосферы // Литосфера, № 11
- Еникопян Н.С. Сверхбыстрые химические реакции в твердых телах. // ЖФХ. 1989. Т. 63, № 9. С. 2289-2298.