

# **Общая металлогения**

**позволяет выявить природу рудообразующих процессов и установить их связи и соотношения с геохимией, магматизмом, осадконакоплением и тектоникой.**

**Геохимические и петрологические основы металлогении.**

- Современное представление связаны с трудами В.И. Вернадского, В. Гольдшмидта, А.А. Маракушева, Д.В. Рундквиста, А.И. Тугаринова, И. Костова и др.
- Идею Д. Меррэя (1910) о концентрически-зональном строении земной коры развил В.И. Вернадский (1934). Особую роль он отводил земной коре, которая «...обладает в известной мере автаркией, представляет замкнутую, автономную систему».

- Все металлы В.Гольшмитом были разделены на пять групп - **литофильные, халькофильные, сидерофильные, атмофильные и биофильные.**
- **Литофильные** включают щелочные и щелочно - земельные металлы; кремний, алюминий, бор. Они обладают высоким химическим сродством к кислороду и низкой плотностью; входят в состав силикатов. Область распространения - верхняя оболочка Земли.
- **Халькофильные** : железо, медь, цинк, свинец, кадмий, мышьяк, сурьма, висмут и др., более плотные, чем литофильные и обладают повышенным химическим сродством к сере; широко развиты в сульфидной форме; распространены в промежуточных геосферах.
- **Сидерофильные** металлы - железо, никель, кобальт, молибден, платиноиды и др. развиты в глубинных геосферах и ядре. Это наиболее плотные элементы, часто находящиеся в самородном состоянии; отмечаются во внешних и промежуточных геосферах, но в рассеянном состоянии.

# По В.М.Гольдшмидту

siderофильные	халькофильные		литофильные	атмофильные	биофильные
	в метеоритах	в земной коре			
Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, (Cu), Au, Re, (Mo), (W), N, P, (As), C, Ge, Sn, (Ga), (Hg)	Fe, S, Se, Te, (P), As, Sb, Bi, Zn, Cd, Cu, Ag, (Mn), (Cr), (V), (Ti), (Ca), (Mg), (Na), (K)	Fe, S, Se, Te, As, Sb, Bi, (Ge), (Sn), Pb, Ga, In, Tl, Zn, Cd. Hg, Cu, Ag, (Mn), Mo	Fe, O, (P), (C), (H), F, Cl, Br, J, Li, Na, K, Rb, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba, B, At, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, U, Si, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, W, Mn, (Ga), (Sn)	H, C, H, O, Cl, Br, J, He, Ne, Ar, Kr, Xe	C, H, O, N, P, S, Cl, Br, J, B, Na, K, Mg, Ca, V, Mn, F, Co, Cu, Zn, Mo MAP.

**Примечание.** В скобках указаны элементы с промежуточными свойствами, для которых проявление сидерофильных, халькофильных или литофильных свойств является второстепенной, но геохимически важной чертой поведения.

**Табл. 1** Геохимическая классификация элементов. По В. М. Гольдшмидту.

- **Д.В. Рундквист** обосновал выделение **глобальной рудосферы** Земли, которая представлена верхней частью земной коры, в пределах которой происходит рудообразование.
- **Мощность рудосферы** в геологической истории колебалась в пределах **3-30 км** в зависимости от теплового режима и контролировалась **изотермой**

- **В процессе формирования земной коры** происходила ступенчатая миграция породообразующих элементов
- **1) Первичная не деплетированная мантия; образуются протобазальты;**
- **2) Из мантии выносятся: Mg, Ca, Fe и привносятся Na; формируются**

- 3) Продолжается вынос Mg, Ca, Fe и привнос Na, K, Si, Al - образуется метадиоритовая формации серных гнейсов и ранних архейских железных руд.
- 4) Дальнейшая ступень завершается появлением гранито-гнейсового слоя, расширением масштабов железнакопления и возникновением осадочного чехла. Основной процесс → сиалитизация и демафитизация протокоры.
- В позднем протерозое и фанерозое завершается становление вулканогенного

- По И.Костову –мантийное фракционирование элементов
- Протоматерия из элементов, слагающих перидотиты и эклогиты (главные минералы: оливин, пироксен и гранат).
- При кристаллизации в их структурную решетку входят элементы с близкими ионными радиусами и электроотрицательностью (Mg, Fe, Al и др.)- они совместимые. Все остальные элементы относятся к категории **несовместимых**.



- **Кристаллизационная дифференциация** породообразующих элементов наиболее четко описана классической **схемой Боуэна: оливин → пироксен → амфибол → биотит.**
- В этом ряду происходит последовательное **увеличение ионного радиуса элементов и возрастает количество  $H_2O$ .**
- Синхронно возрастает степень вхождения несовместимых элементов в структуру минералов. В итоге наиболее **обогащены ими амфибол и биотит.**

- **В связи с различными магмами намечено три группы рудных элементов:**

- **Основные и ультраосновные магмы:**
- **а) Cr, Ni, Pt, (Os, Ir)- в гипербазитах;**
- **б) Fe, Ti, V → в габброидах;**
- **в) Cu, Ni, Pt, Pd → базит - гипербазитовых комплексах;**
- **г) Fe, Cu, Au, Hg, Zn → в сумбаринных базальтоидных формациях.**

- **Кислые магмы:** а) Cu, Zn, Pb, Ag характерны для колчеданно-полиметаллических серий;
- б) Sn, Pd, Cu, Zn, As, В – типичные для сульфидно-оловянных рудных формаций;
- в) Sn, W, Mo, Bi, Be, В, Ta, Nb присущи кварц-касситеритовым парагенезисам плутоногенных гидротермальных месторождений;
- г) Zr, Hf, Th ассоциируют с пегматитами.
- **Щелочные магмы:** а) Cl, Th – встречаются в монацитовых пегматитах; б) Nb, Ta, Ti, Cl, Sn, Be- пироклоровых пегматитах; в) Ti, Fe, Zr, Nb, Ta – в карбонатитах и г) P, Fe, Ti, TR тяготеют к

# • Латераль - секретационные геохимические системы.

- Сначала происходит первичное накопление рудного вещества в различных осадочных толщах.
- В нижнем протерозое формируются осадочные образования. Возникают уникальные месторождения урана и с ними Au с Pt, Fe.
- Образуются карбонатные серииты со Pb и Zn.
- Мощные толщи железистых кварцитов. Появился свободный кислород, произошел перевод двухвалентного  $Fe^{2+}$  в трехвалентное  $Fe^{3+}$  и вместо растворимых бусин образуются осадки.

- Появлениена рубеже **2,3 млрд.л. карбонатных** толщ с обилием органики стимулировало накопление сингенетичных **свинца и цинка**.
- Для **Sn и W** предполагается для данной концепции более сложный путь. Сначала накопление их в продуктивных горизонтах **терригено-осадочным способом**, а затем внедрение **гранитоидов**, ремобилизовавших древнюю минерализацию. Предполагается, что рудная зональность геосинклиналей отражает **береговые очертания первоначального бассейна**, а не формирует ореолы вокруг интрузий.
-

# **• Уровни питания рудоносных систем**

- Установлены типы источников рудного вещества: мантийные, коровые, коромантийные, внутрикоровые, космогенные и смешанные.**
- Уровни их питания могут быть либо мантийными, либо внутрикоровыми, чаще всего смешанными.**

- **Мантийный.** Уровень определен в результате изучения мантийных пород, вынесенных кимберлитовой и базальтовой магмой.
- Сделал вывод о том, что рудное вещество поступало из **глубин 50-600 км.** А. Д. Щеглов и И. Н. Говоров (1985) наметили **вертикальную зональность рудносных систем (сверху вниз):**

- **1) гипербазиты, пироксениты-** Ti, Nb, F, Sn, S, Se, Te, Ag;
- **2) перцолиты, пироксениты, эклогиты-** Au, Ag, S, Sn, Ni, Cu, Pt, Pd, Ir, Os;
- **3) гарцбургиты, дуниты, перидониты, верлиты** → Cr;
- **4) Mg-Fe эклогиты, пероксениты**→ P, F, Au, Ag, Zn, S, Te, Cu, Mn, Sb, As, U, Ni, Cr, Co, Pt, Pd, Be, B; **5) Гроспедиты, коэситовые и магнезиальные эклогиты, пероксениты (>470 км)-** W, Mo, Re, Ta, Nb, Th, Ni, Os, Ir, Ru.



- **Мантийные месторождения** образовывались в древние эпохи и в **ранние стадии поздних циклов** мобильных поясов в зонах глубинных разломов. К мантийным относят:
  - а) базальтоидные субмаринные **колчеданные** месторождения;
  - б) оруденение **архейских зеленокаменных поясов**- Fe, Cr, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Au;
  - в) **кимберлитовые** месторождения алмазов и ряд других.

- **Внутрикоровый уровень**- четыре этапа (снизу вверх)
- **1) *Нижний* - прото - и метабазальтовый.**  
Здесь развиты габбро-плагиогранитовые, диоритовые и андезитовые формации с Fe, Ti, Mn, Cr, Cu, Ni, P, Co, Pb, Au и др. элементами.
- **2) *Средний* - метадиоритовый-** Cu, Pb, Zn, Mo, Sn, V, Au, As, Bi, Ag. Для него характерны гранитоидные магмы, ассоциирующие с вулканоплутоническими поясами континентов, и первыми терригенными сериями.

- **3)Цокольный** - **метагранитный**.  
Генерируются гранитоидные кислые и ультракислые формации с Mo, Sn, W, Be, Ta, Nb, Li, U, TR и др.
- **4)Верхний** - **вулканогенно-осадочный**  
вмещает первичные и вторичные геологические формации. Развиты руды мантийного и корового уровней.  
Господствуют экзогенные источники оруденения.
- В глобальном плане происходит **нарастание рудной концентрации** от второго этажа к четвертому за счет последовательной **регенерации** более древней

# Рудные формации

- Создателем учения о рудных формациях был **Валерий Алексеевич Кузнецов**.  
Значительный вклад внесли А.А.Сидоров, В. Н. Козеренко, Д. И. Горжевский, Р. М. Константинов, Ю. А. Билибин, А. Д. Щеглов и др.
- **Геологические формации** – это естественные комплексы, парагенетически связанных во времени и пространстве горных пород и минеральных месторождений, исследуемых литологией, петрологией и

- **Рудная формация** -- естественное сообщество рудных образований, объединяемых между собой сходными парагенетическими ассоциациями главнейших рудных минералов и тектономагматическими условиями проявления, а также близкими особенностями развития рудного процесса.
- **Название формаций** следует из состава ведущих минералов, рудных элементов и генезиса руд.

- **Базовая формация** -- это иерархическое начало рудноформационного ряда, построенного в соответствии с общими принципами рудообразования: от сложных комплексных месторождений к простым, предельно дифференцированным, до монометалльных включительно.
- **Парагенезис родственных рудных формаций, является рядом.** Наборы или ряды рудных формаций объединяются в **серии**, которые определяют металлогенический тип рудных районов и провинций.

- **Генетический или парагенетический ряд эндогенных рудных формаций, связаны с одной магматической формацией или ее частью (комплексом).**
- **Генетическая серия включает один или несколько рядов рудных формаций, объединенных по их связи с определенными типами магм и различными источниками рудного вещества.**

- **Вкрапленные сульфидные руды** представляют -**базовые рудные формации** и определяют минералого-геохимический состав **рудноформационного ряда**. Они малочисленны ( 10-12 в рудных провинциях до 1-3 в рудном районе).
- **Простой ряд**, типа медно-порфирового, имеет близкие во времени парагенетическими связи рудных формаций с едиными источниками рудного вещества.  
**Сложный ряд** -- рудные формации связаны как генетически через **регенерацию** ранних образований, так и **парагенетически**.



- **Гипертрофированны представления о преобладании подкоровых источниках рудного вещества. Однородность рудообразования в планетарных вулканогенных поясах - как доказательство мантийной природы рудного вещества.**
- Новые исследования утвердили представления о **коровых источниках** и их разнообразии. Однородности объяснены **конвергентными проявлениями** эпитеpmальных гидротермальных систем, связанными с родственными РТ-условиями вулканогенного рудогенеза.

- **Гипертрофированны представления о преобладании подкоровых источниках рудного вещества. Однородность рудообразования в планетарных вулканогенных поясах - как доказательство мантийной природы рудного вещества.**
- Новые исследования утвердили представления о **коровых источниках** и их разнообразии. Однородности объяснены **конвергентными проявлениями эпитермальных гидротермальных систем,** связанными с родственными РТ-условиями вулканогенного рудогенеза.

