

## ПОНИМАНИЕ ГЕНЕЗИСА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ИСХОДЯ ИЗ ТРЕБОВАНИЙ XXI ВЕКА: 12 МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ ПО ГЕНЕЗИСУ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (IAGOD)

Н.И. Гусев, А.И. Гусев<sup>1</sup>  
ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург  
<sup>1</sup> БПГУ, г. Бийск

В августе 2007 года в Москве состоялся 12 Международный симпозиум в рамках Международной ассоциации по генезису рудных месторождений (IAGOD) (в том числе и россыпных). На симпозиуме были подведены итоги развития рудной геологии, намечены актуальные проблемы по генезису рудных месторождений и намечены пути дальнейшего развития генетических проблем нового века.

Академик *Рундквист Д.В.* озвучил доклад «100 лет металлогении», в котором осветил несколько стадий развития металлогении и заострил некоторые крупные проблемы металлогении настоящего и ближайшего будущего. Термин «металлогения» введён в обиход Де Лоне в начале XX столетия. К 30-м годам прошлого века металлогения уже широко использовалась как специфическая отрасль наук о Земле.

Выделено несколько этапов её развития.

- Появление региональных металлогенических работ (20-30-е) годы – например, металлогенические исследования Сибири В.А. Обручева.

- Затем металлогения становится одной из важных отраслей наук о Земле. В 40-60-е годы прошлого века возникли региональная металлогения, металлогения домейнов и общая металлогения (работы В.И. Смирнова, Ю.А. Билибина и др.). В эти годы появились первые металлогенические карты континентов, отдельных стран, в особенности - для СССР.

- 70-е годы – это период развития новых методов исследований в науках о Земле: минералого-петрографические, геофизические методы, палеомагнетизм, изотопная геохимия. Развитие и применение этих методов привели к количественной металлогении, которая позволила нам оценить потенциальные минеральные ресурсы специфических регионов и стран.

- Плитотектоника и плюм-тектоника создали базис для глобальной металлогении, как основы для экономического развития отдельных стран, так и для всего Мирового сообщества.

- Данные, полученные сейсмотомографией, программой глубинного бурения и глубокого сейсмического зондирования геотраверсов открыли возможности для стереометаллогении.

Прогресс металлогении и её статус как науки во многих смыслах обеспечен созданием, функционированием и большим вкладом работы Комиссии по тектонике рудных месторождений (CTOD/IAGOD), Подкомиссии по металлогеническим картам Комиссии по геологической карте Мира (CGMW, UNESCO). Многие страны внесли важный вклад в развитие теоретической металлогении и в связи с изданием металлогенических карт по различным территориям. Среди этих достижений мы можем назвать такие карты, как Металлогеническая карта Африки масштаба 1:5000000 (Хамербек и др., 2004), Мировая металлогеническая карта (Красный, Кругоярский и др., 2004, ВСЕГЕИ).

Ближайшее будущее металлогении связано с развитием ГИС-технологий, новой Мировой сети Интернет в части доступности новейших достижений, мощного интеллекта и других причин, ориентированных на предсказание образования и локализации крупных минеральных концентраций. Новые технологические достижения в полевой металлогении вселяют в нас оптимизм о будущем развитии всей Мировой экономики.

В сообщении *Наумова Е., Павловой Г., Борисенко А. и др.* (ИГиМ СО РАН) «Роль экзогенной воды в рудообразующих процессах Ag-Sb месторождений» на основе исследований флюидных включений и изотопии С и О в рудных жилах месторождений Толбонир и Асхат (Монголия) показаны низкий вертикальный градиент температур рудообразования, концентрации растворов и  $d^{18}O_{(H_2O)}$ , указывающие на отсутствие контрастных геохимических барьеров и низкую роль экзогенной воды. Это предопределяет существенный вертикальный рудный интервал и низкие содержания серебра в рудах. Для месторождения Акджилга уровень смешения рудоформирующих растворов с экзогенной водой был значимым геохимическим барьером с высоким градиентом температур, концентрацией растворов и  $d^{18}O_{(H_2O)}$ . Высокие концентрации минерализации обусловлены наличием этого барьера, обеспечивавшим небольшой вертикальный интервал промышленных руд на месторождении.

Ближайшие результаты получены для ртутных месторождений Чаган-Узун и Акташ на Алтае. Низкие вертикальные градиенты температур, концентраций ртути и  $d^{18}O_{(H_2O)}$  рудоформирующих растворов на Чаган-Узуне определяли значительный вертикальный интервал ртутного оруденения (700 м). А небольшой вертикальный интервал минерализации (350 м) и высокие концентрации ртути в рудах месторождения Акташ связаны с высокими градиентами температур и активной ролью в осаждении экзогенной воды в рудоформирующих процессах.

*Сафоновым Ю.Г.* и др. в докладе «Условия и процессы формирования локальных эндогенных золоторудных концентраций» сообщено, что главные рудные запасы золота встречаются в крупных месторождениях мирового класса, содержащих 60 т (100т) золота и более. Более 50 суперкрупных месторождений (? 500 т Au). 1/3 из них (без

Витватерсанда) является золоторудными гигантами ( $\geq 1000$  т). Авторы классифицируют уникальные месторождения бассейна Виватерсранд как полигенетические – первично эксгальационно-осадочные месторождения с наложенными позднее метаморфогенными и гидротермальными агрегатами.

В настоящее время в золоторудной отрасли минимальные содержания золота в рудных телах оцениваются в 0,8-1,0 г/т, в некоторых случаях – 0,5-0,6 г/т. Концентрации золота  $n \cdot 10^{-2}$  г/т обычно характеризует извлечение золота как би-продукта в медно-порфировых, основных полиметаллических месторождениях, медно-никелевых и других рудах. Концентрации золота  $n \cdot 10^{-3}$  г/т в породах (минеральных массах) должно очевидно считаться как минимальные концентрации, открывающие возможности для обнаружения промышленно интересных концентраций золота.

Униформность золотой минерализации Бассейна Витватерсранд определяется функционированием простых мульти-камерных флюидных мегасистем в течение более чем 300 млн. лет по продолжительности (2,8-2,5 млрд. лет назад). Основываясь на бортовых содержаниях золота 3-5 г/т, а также последующих рудопродуктивных фазах и установление золотых концентраций в кварцитах 1-2 г/т и других данных получены выводы о том, что объём рассеяния золота оценивается приблизительно в  $n \cdot 10^4$  тонн. Вероятно, только ограниченная часть общего золота в бассейнах может считаться как эрозионно-связанное и отложенное в течение нормальных осадочных процессов. Возможно, перераспределение золота в процессах метаморфизма в известных моделях метаморфического происхождения золота рифов Витватерсранд определяют концентрации Au более вероятно, чем механизмы его рассеяния. Наша модель формирования золотых рифов определяет их, как первичные коллоидно-дисперсионные рудоформирующие системы, периодически воздымающиеся в течение инверсионных фаз бассейна поблизости от каналов флюидопотоков в малоглубинной обстановке морского дна, как результат эндогенного функционирования рудосодержащих флюидных потоков, позволяющих одновременно создавать повышенные концентрации золота и осуществлять процессы рассеяния в промышленных объёмах, что обеспечивалось открытостью системы. Дигенез, катагенез, проградирующий и ретроградный метаморфизм и приразломные процессы в большинстве случаев позволяют отличать дисперсионные ореолы, которые сопровождают повышенные концентрации минерализованных зон от ореольного рассеяния, ассоциированного с отсутствием условий, благоприятных для рудоконцентраций. Появление тонких струй золото-содержащих слоёв, изолированных от рудных тел могут считаться как эффект высокой миграционной способности малоглубинных малообъёмных и слабоминерализованных флюидных потоков.

Только 3 золоторудных гиганта, чьи первичные концентрации оценены более чем 2000 т, сравнимы с крупнейшими золотыми рифами Витватерсранд: Мурунтау (3200 т; 4600 т с потенциальными ресурсами), Грассберг (3450 т) и Калгурли (1950 т кумулятивной продукции плюс демонстрируемые запасы золоторудных полей). Те же самые параметры половины из других 15 известных золоторудных гигантов оценены в 1200-1500 т (Лихир, Ашанти, Хоумстейк, Алмалык, Олимпик-Дам, Янакоча). В этот класс мы включаем и золоторудное поле Поркьюпайн. Мы также классифицируем месторождения Колар и Бингхем, как гиганты с инициальными запасами 900 т каждый.

Приведена таблица главных геолого-генетических типов золотых месторождений с определением максимального золоторудного потенциала рудоформирующих систем.

1. Золотосодержащие рифы Витватесранд – 5000 т Au.
2. Au (сульфидно)-кварцевые в чёрных соанца (Мурунтау, Сухой Лог) – 4000 т.
3. Au-содержащие порфировые (Грассберг, Алмалык) – 3500 т.
4. Au-(сульфидно)-(карбонат)-кварцевые в зеленокаменных комплексах (Калгурли, Колар) – 3000 т.
5. Au-сульфидно-силикатные в сланцевых комплексах (Хоумстейк) – 2500 т.
6. Эпитермальные Au-Ag ((Янакоча, Балей) – 1500 т.
7. Au- сульфидные в карбонатно-сланцевых комплексах (Карлин, Голдстрайк) – 1400 т.
8. Au- феррооксид- золото-медные (Олимпик-Дам) – 1400 т.
9. Au – (сульфидно) –кварцевые, ассоциированные с интрузивами (Киркленд-Лейк, Дублин Галч) – 1200 т.
10. VMS (Вулканогенно-осадочные массивно-сульфидные) – (Риддер-Сокольный) – 1000 т.
11. Au-урановые (Элькон) – 700 т.

В докладе *Анкушевой Н.Н., Зайкова В.В.* «Физико-химические условия формирования гематит-кварцевых образований их золото-содержащих рудных полей Магнитогорской палеоостровной дуги (Южный Урал)» отмечено, что гематит-кварцевые постройки являются важной частью золото-содержащих месторождений района палеоостровных дуг Урала. По флюидным включениям формирование гематит-кварцевых пород происходило из хлоридно-натровых растворов с низкой солёностью (3-3,5 вес. % NaCl). Температуры гомогенизации газово-жидких включений варьировали от 280°C в подводящих каналах до 200°C в кровле построек. Гематит-кварцевые породы (джаспероиды) встречаются в пределах окремнённых алевролитов, перекрываемых вулканогенными породами. Они формируют линзо-холмисто-подобные тела до 40-200 м в диаметре, мощностью 3-15 м и протяжённостью 40-200 м. На месторождении Лисьи Горы микроструктуры руд микроглобулярные, комковатые, коккардовые и колломорфные с различными гематит-кварцевыми соотношениями. Имеются подводящие каналы для формирования гематит-кварцевых построек. В таких каналах прожилки кварца: птитимитовые, конформные слоистости, ветвящиеся. Метаморфизм пород относится к пренит-пумпеллиитовой стадии метаморфизма.

В сообщении *А.С. Борисенко, А.Э. Изоха, А.А. Оболенского, В.И. Сотникова, Е. Полякова* «Плюм-связанная металлогения и магматизм Азии в пермо-триасе» показаны различные типы минерализации Таримского, Эймейшанского и Сибирского плюмов (Т), которые устанавливаются в областях проявления плюмовой активности. Прямая связь между магматизмом мантийного плюма и рудной минерализацией выявлена для Cu-Ni-PGE, Fe-Ti, Fe-

F-REE карбонатитами, Fe-скарновыми (Ангаро-Илимский тип), но не прямая связь обнаруживается для гидротермальных Ni-Co-As, Au-Hg, Hg и порфировых Cu-Mo месторождений. В районах влияния мантийных плюмов Mo-W, Sn-W, Ag-Sb, REE-Ta-Nb, флюоритовых и других типов минерализации встречаются в связи с анорогенным гранитоидным магматизмом. Обычно крупнейшие промышленные месторождения локализуются в центральных частях активности мантийных плюмов и подчинены внутриконтинентальным рифтовым структурам или зонам глубинных разломов (Норильский, Маймеча-Котуйский районы). Формирование типичных рудных месторождений, не прямо связанных с плюмовым магматизмом (Ni-Co-As, Au-Hg, Hg и т.д.) имеют пространственные взаимоотношения с внутриплитными рифтовыми обстановками. Анорогенные гранитоиды и связанные с ними месторождения являются типичными для структур «пассивного» рифтинга и активного мантийно-корового взаимодействия.

Специфический магматизм и металлогения Азиатского континента в пермо-триасе во многом определялись крупномасштабными геологическими процессами, связанными с активностью Сибирского суперплюма, так же как и с внутриплитным рифтингом, формированием горячих зон сдвига и других процессов воздымания в районах супер-плюм-литосферного взаимодействия (Dobretsov, 2003; Dobretsov et al., 2005).

Выше указанный обзор показывает, что Р-Т металлогения Азии определяется широким распространением специфических комплексов различных типов эндогенной минерализации, включая крупные и уникальные месторождения: Cu-Ni-Pt – Норильска, Талнаха (СЗ Сибирской платформы), Калатонг, Хаанг-Шань (СЗ Китай); Янглиуринг, Джан Вао Шан (ЮВ Китай); Ван Фук (Сев. Вьетнам); Ni-Co-Ag-As – Актепе (Тянь-Шань); Hg, Sb-Hg – Хайдаркан, Кадамджай (Тянь-Шань); Акташ, Чаган-Узун (Горный Алтай); Au-Hg – Воронцовское (Урал); Терексай, Скальное (Тянь-Шань); порфировые Cu-Mo – Эрденет-Обо (Сев. Монголия); Кальмакыр (Тянь-Шань).

Мы установили последовательность формирования этих типов минерализации для некоторых рудных районов: Норильска, Кольвань-Томской складчатой зоны (КТФС), ЮВ Алтая - СЗ Монголии, Орхон-Иленчинского бассейна и т.д. Древнейшими типами минерализации являются Cu-Ni-Pt и Ni-Co-As, наиболее молодыми - порфировые Cu-Mo, Au-Hg, Hg, Ag-Sb. В некоторых рудных районах (Алтай, Восточный Тянь-Шань, КТФС и т.д.) Mo-W, Sn-W, Li-Ta-Nb типы минерализации были сформированы последними. Местами эти рудные комплексы образовались после порфировых Cu-Mo (Тянь-Шань, КТФС). В трёх вышеуказанных районах влияние мантийных плюмов (Сибирского, Таримского и Эмейшанского) приводило к формированию указанного рудного комплекса за 30 млн. лет.

Изученная минерализация сформировалась в результате активных функционирования мантийных и мантийно-коровых магматических систем. Для Cu-Ni-Pt магматических месторождений мантийный источник рудного вещества очевиден и эффект коровых факторов выражен в присутствии экзогенных флюидов и сульфатной серы, Cl и S из включённых осадочных пород. Решающая роль мантийных флюидов в формировании гидротермальных Ni-Co-As и Cu-Co-As месторождений подтверждается пространственно-временной связью этих руд с базитовыми и щёлочно-базитовыми дайковыми комплексами, присутствием мантийных компонентов Hg и Sb (Hg-содержащее золото, Hg-содержащие блёклые руды) в них и изотопным составом гелия ( $3\text{He}/4\text{He} \approx 6,16 \cdot 10^{-6}$ ). Ag-Sb (+Hg) месторождения также сформированы с участием мантийных флюидов, что устанавливается по изотопному составу He в рудах. Мантийная природа была установлена и для Hg в рудных образованиях. Это вытекает из распределения Hg в Земной коре и мантийных породах, её поведения в различных геологических процессах (метаморфизм, магматизм, рудоформирование) и взаимоотношения Hg с щёлочно-базитовыми дайковыми комплексами, так же как и данных по изотопному составу He в ртутных и Au-Hg месторождениях. Следует отметить, что Hg является упорным проходящим элементом во всех типах минерализации, которые подтверждаются присутствием нотарита (PdHg) в Cu-Ni месторождениях; Hg-содержащего серебра и блёклых руд в Ni-Co-As рудах; и Hg сульфиды и сульфосоли в Hg, Au-Hg месторождениях. Важная роль мантийных флюидов была установлена для порфировых Cu-Mo месторождений, основанная на изотопии Sg и S в рудах и их минералах и геохимических составах, включая присутствие PGE минералов.

**Константиновым М.М.** в сообщении «Золоторудные гиганты: проблемы и решения» намечены основные признаки гигантских месторождений:

1. Роль геологического времени. Для архейского цикла характерны зеленосланцевые пояса со своими крупными месторождениями золота. Для протерозойского цикла специфичны медно-никелевые месторождения, а также комплексные месторождения золота и других металлов (Хоумстейк, Олимпик Дам).

2. Рассматривается роль триады: рифтогенез – аккумуляция угля- золотые гиганты. Ронов, Холодов, Милановский установили эмпирическую корреляцию между пиком рифтогенеза в истории Земли (события максимального растяжения Земли), максимумов угленакопления и формирования золоторудных гигантов.

3. Трого-продолгающие рудоконтролирующие структуры на окраины континентов. Универсальное значение трого-продолгающихся трансформных разломов, как контролирующий фактор присутствия гигантских золотых месторождений было продемонстрировано на примерах Зап. Забайкалья (Балей-Дарасунская разломная зона) и частично для Урала, Тянь-Шаня и С-В России.

4. Благоприятная длительная эволюция, особенно геологической истории, которая предшествует рудо-формирующим событиям: полициклические Плутоны, вулcano-плутонические купола и кальдеры, полифазные дайковые системы, иногда включающие ранние тектоно-магматические циклы. В этом смысле считается, что золоторудные гиганты являются продуктами длительной истории развития – как геологических аномалий.

5. Бимодальные окисдно-сульфидные рудо-формирующие системы. Сосуществование крупных сульфидных и окисдных (существенно кварцевых) отложений в то же самое время, или их близкие структурные позиции подтвер-

ждают существование длительно формирующихся рудо-формирующих систем, продуцирующих месторождения в процессе эволюции и дифференциации трогов, осаждение сульфидных и оксидных компонентов. Это может быть продемонстрировано на примерах Мурунтау, Даугызтау (Зап. Узбекистан).

6- Существование крупнотоннажных месторождений. Благоприятные экономические условия и новые технологии делают возможным эксплуатировать месторождения с низкими концентрациями (0,9-4 г/т золота) открытыми карьерами. Крупнотоннажные месторождения встречаются как сульфидные, в различно метаморфизованных карбонатно-сланцевых формациях (Олимпиада, Голд Квори), поздние вулканические высоко-сульфидизированные минерализованные породы (Янакоча), трещинные штокверки в разломах (Раунд Маунтин), штокверки в гранитных интрузиях (Форт Нокс).

7- Эффект редукции пространства. Хорошо известен факт, что очень крупные месторождения (Крипл Крик, Хоумстейк, Мурунтау и др.) занимают ограниченные пространства. Фактор обогащения золотом в таких месторождениях в 1000 раз выше, чем фоновые значения в породах.

8- Динамическая природа рудовмещающих формаций. Осадочные, вулканические и плутонические ассоциации, которые вмещают гигантские золоторудные месторождения показывают свидетельства динамической природы геологического развития, непосредственно предшествующие рудо-формированию.

В другом сообщении **М.М. Константинова** - «Серебряные гиганты России» - указано, что такие месторождения встречаются на Северо-Востоке России в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса и Верхоянской провинции.

Дукатское серебряное месторождение контролируется вулканогенно-интрузивной куполовидной структурой. В выделенных рудных зонах и жилах с кварц-хлорит-адуляровыми рудами и акантитом золото-серебряное отношение варьирует от 1:340 до 1: 550. Акантит является главным концентратором серебра.

Мангазейское месторождение относится к серебро-свинцовому типу. Оно локализуется в нижне пермских песчано-сланцевых отложениях. Месторождение представлено рудной зунной длиной 17 км, сопровождающейся березитами и аргиллизитами.

---