

**Азовскова Оксана Борисовна**



**УГЛЕРОДИСТЫЙ МЕТАСОМАТОЗ, ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОГО  
ОРУДЕНЕНИЯ И САМОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ МРАМОРСКОЙ ЗОНЫ  
СМЯТИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

**Специальность: 25.00.11 - «Геология, поиски и разведка твердых  
полезных ископаемых, минерагения».**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Екатеринбург**

**2005**

Работа выполнена в ОАО «Уральская геолого-съёмочная экспедиция»

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук  
Грабежев Анатолий Иванович  
(ИГГрОРАН)

**Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Спиридонов Эрнст Максович  
(МГУ им. Ломоносова)

доктор геолого-минералогических наук  
Мурзин Валерий Васильевич  
(ИГТУрОРАН)

**Ведущая организация:** Уральский государственный горный университет

Защита диссертации состоится *5 апреля 2005 г. в 10<sup>00</sup>*  
на заседании диссертационного совета 004.021 02 при Институте геологии и  
геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН (620151, г. Екатеринбург,  
Почтовый пер., 7). Факс: (343) 3715252; e-mail: root@igg.e-burg.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геологии и  
геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН.

Автореферат разослан

*22.02.05*

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах с подписью, заверенные печатью,  
просим направлять по адресу:  
620151 г. Екатеринбург, пер. Почтовый, ИГГ УрО РАН

Ученый секретарь  
Диссертационного совета

*Чашухин*

И.С. Чашухин

## Введение

**Актуальность работы** Отработанность большей части россыпей в старых горно-рудных районах Урала повышает интерес к поискам золоторудных месторождений, доступных для эксплуатации современными технологичными методами. Территория, включающая Мраморскую зону смятия, издавна славилась как один из богатейших золотороссыпных районов Среднего Урала. Несмотря на неоднократную постановку поисковых работ в 1970-х - 1990-х годах и общую положительную оценку перспективности зоны, до недавнего времени рудные объекты здесь обнаружены не были. При этом каждый раз на площади обосновывались разные типы предполагаемого оруденения (золотосодержащий сульфидно-никелевый, «воронцовский» или «светлинский» типы). В результате проведенных в 1999-2003 гг. поисковых работ, при непосредственном участии автора, на Мраморской площади открыто золоторудное проявление Водораздельное и ряд перспективных золотоносных зон. Они связаны с сопряженными проявлениями различных метасоматических процессов, характеризующих существенно восстановительный режим рудообразования. Изучение особенностей Мраморской рудно-метасоматической системы позволяет определить условия и закономерности локализации золотого оруденения в пределах зоны, уточнить критерии прогнозирования на рудное золото значительной территории в западном (сланцевом) обрамлении Сысертско-Ильменогорской структуры и других аналогичных шовных зон Урала,

**Цель и задачи исследований.** Основная цель работы состояла в выявлении условий формирования установленного золотого оруденения, определении его геолого-генетических особенностей. Для этого решались следующие задачи:

- Изучение особенностей проявления магматических и метаморфических процессов в Мраморской зоне смятия, которые могут определять локализацию Au-оруденения.
- Изучение и типизация метасоматических процессов, выявление рудно-метасоматической зональности и взаимосвязей различных метасоматических процессов с этапами формирования и типами золотого оруденения.
- Исследование условий нахождения рассеянного органического вещества (РОВ) в различных типах пород, комплексное изучение его вещественного состава и анализ возможных связей с золотым оруденением.
- Изучение сопутствующей золотому оруденению ассоциации самородных металлов и их комплексных соединений, а также закономерностей их связи с золотом.

**Фактический материал и методы исследований.** В основу диссертации положены материалы, собранные автором в процессе проведения полевых и камеральных работ в качестве ведущего геолога Мраморского отряда Уральской геолого-поисковой партии ОАО УГСЭ. Работы выполнялись в рамках поискового проекта на рудное золото в пределах Мраморско-Кособродской площади в период с января 1999 г. по декабрь 2003 г. Автором изучено более 1000 шлифов, выполнен сокращенный минералогический анализ с отбором монофракций золота и сопутствующих самородных металлов по 3000 шлиховых проб. В процессе обработки материалов проведены следующие аналитические исследования: рентгеноструктурный анализ метасоматически измененных пород - 5 проб (Т.Я. Гуляева, ИГР УрО РАН); рентгеноструктурный и термический анализы проб,

содержащих УВ - 6 проб (Т.Я. Гуляева, В.Г., Петрищева, ИГТ УрО РАН); химический анализ на суммарное содержание углеводов в мраморах (флюориметрический метод) - 3 пробы (Н.В. Филиппова, ОАО «УЦЛ»); элементный «CHNS»-анализ искусственно обогащенных проб с УВ - 8 проб (Л.Н. Баженова, ИОС УрО РАН); рентгеноструктурный анализ отдельных минералов - 15 определений (С.Г. Суставов, УИ У). Под руководством И.Я. Кошеевой (Лаборатория геохимии и аналитической химии благородных металлов, ГЕОХИ РАН) выполнены следующие исследования пород, содержащих ОВ: элементный анализ «CHNS» (10 проб), атомно-абсорбционный анализ на Аи и РGE (6 проб) и ИК-спектроскопия (2 определения). Самородные металлы и частично золото (всего 60 определений) изучены с помощью электронного микроскопа с энергодисперсионной приставкой «JSM-5300 LINK ISIS» (Л.О. Магазина, ИГЕМ РАН). Отдельные анализы самородных металлов выполнены на микроанализаторах «Cameca-MS» (В.Н. Ослоповских, УГГУ), и «JXA-5» (Е.С. Шагалов, ИГТ УрО РАН). В диссертации использованы результаты исследований, проведенных в рамках работ по поисковому проекту: изучение гранулометрических и морфометрических особенностей золота (А.А. Малюгин, УГГУ); 250 анализов золотин на РСМА «Cameca-MS» (В.Н. Ослоповских, УГГУ); минерографическое изучение 120 аншлифов (В.В. Александров, Мраморский отряд, УГСЭ); нейтронно-активационный анализ содержания Аи в монофракции пирита - 1 сводная проба (Т.А. Глушкова, ИИСМС при УГГУ); фазовый анализ золота (Г.Г. Амигуд, Уралмеханобр) и данные массовых анализов - полуколичественного спектрального на 31 элемент, атомно-абсорбционного и пробирного анализов на Аи, полного полуколичественного минерального анализа.

#### Защищаемые положения

1. Мраморская зона смятия представляет собой крупную долгоживущую шовную структуру в северо-западном обрамлении Сысертско-Ильменогорского жесткого блока (Восточный склон Среднего Урала). Зона характеризуется сопряженностью полихронного магматизма, метаморфизма и рудно-метасоматических процессов, протекавших преимущественно в условиях восстановительного режима преобразования полигенного субстрата.

2. Установлено многоэтапное наложение углеродистого метасоматоза на все комплексы пород Мраморской зоны смятия. Отличительными чертами его являются: несоответствие степени преобразования РОВ уровню метаморфизма вмещающих пород; наличие различных типов органического вещества (ОВ) от легких углеводов и битумов (кериты и антракосолиты) до графита разной степени кристалличности и высокоотражающего графитоида; отсутствие четкой приуроченности углеродистого вещества пород к конкретным литологическим или стратиграфическим таксонам.

3. Выделяется два типа продуктивного эндогенного золотого оруденения. Первый (россыпеобразующий) тип аналогичен золото-сульфидно-кварцевому оруденению в ореолах метасоматитов березит-лиственитовой формации и связан с дайковым комплексом тоналит-плагиогранитового состава. Второй - нетрадиционный тип, представлен тонкодисперсным золотом, ассоциирующим с углеродистым веществом, теллуридами,

самородными металлами и их комплексными соединениями. Этот тип распространен во всех породных комплексах зоны.

4. Впервые для Среднего Урала установлена ассоциация акцессорных самородных металлов Си, Zn, Pb, Sn, Fe, Cr, Al, их интерметаллидов и природных сплавов, образование которых генетически связано с процессом углеродистого метасоматоза на завершающих этапах рудогенного процесса. Выявлены пространственные закономерности (элементы зональности) в распространении самородного золота и цинкистой меди. Магнитная разновидность последней установлена впервые.

Научная новизна. В результате проведенных исследований автором значительно уточнено геологическое строение территории, выявлены отличительные черты истории развития Мраморской зоны смятия, закономерности проявления метаморфических и метасоматических процессов: 1) установлен и детально изучен процесс углеродистого метасоматоза, проанализирована его связь с другими метасоматическими процессами и золотым оруденением; 2) выделено два типа (этапа) золоторудных процессов, которые разделены проявлениями метаморфизма (первый связан с березит-лиственитовой формацией, а второй определяется развитием низкотемпературного углеродистого метасоматоза и отличается своеобразием минеральных ассоциаций и признаками перераспределения Au первого рудного этапа); 3) открыта и изучена обширная ассоциация самородных металлов, интерметаллидов и природных сплавов, которые непосредственно связаны со вторым этапом оруденения, а также установлена генетическая связь самородного Au и ЦИНКИСТОЙ меди, выявлены не известные ранее разновидности последней; 4) доказано значительное распространение в пределах Мраморской зоны даек и малых тел гранитоидов, установлены новые признаки существования на глубине не вскрытого гранитного плутона, в значительной степени определяющего характер метаморфических и метасоматических процессов.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования способствовали открытию рудопоявления золота Водораздельное, по которому подсчитаны ресурсы категории  $P_1$  и  $P_2$ , а сам объект выставлен на конкурсное лицензирование (оценочные работы с последующей добычей). Установлено несколько перспективных участков с аналогичными проявлениями рудно-метасоматических процессов. Выделено пять протяженных золотоаномальных зон, выходящих за пределы изученной территории. Проведенные работы, анализ материалов по ряду известных золоторудных месторождений позволяют установить комплекс типоморфных признаков золотого оруденения, связанного с существенно восстановительными условиями формирования и углеродистым метасоматозом, и уточнить прогнозную оценку значительных территорий.

Реализация результатов исследований и апробация работы. Значительная часть материалов проведенных исследований вошла составной частью в отчет по результатам поисковых работ на рудное золото на Мраморско-Кособродской площади (2003 ф), написанный совместно с В.Н. Кузнецовым при участии В.В. Александрова и А.А. Малюгина. Результаты исследований докладывались на сессии Уральского отделения ВМО в 2001 году; на Всероссийском симпозиуме «Геология, генезис и вопросы освоения

комплексных месторождений благородных металлов» (ИГЕМ РАН, 2002); на Всероссийском совещании по современным проблемам формационного анализа, петрологии и рудоносности магматических образований (Новосибирск, 2003); на конференции «Аналитическая химия Сибири» (Новосибирск, 2004).

По теме диссертации опубликовано 14 статей и тезисов, 1 - в печати.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из пяти глав, введения и заключения и содержит 237 стр. текста, 22 таблицы, 135 рисунков и фотографий. Список литературы включает 215 наименований.

Автор неизменно благодарен выдающемуся геологу д. г.-м. н. М.С. Рапопорту, сотрудничеству с которым во многом определило направление исследований. Автор признателен за поддержку и ценные советы главному геологу ОАО УГСЭ члену-корреспонденту РАН, д. г.-м. н, К.К. Золоеву и директору музея им. Ферсмана РАН, д. г.-м. н. М.И. Новгородовой. Автор выражает благодарность всем специалистам, с которыми обсуждались отдельные вопросы, входящие в тему диссертации: докторам геолого-минералогических наук - ЛА Банниковой (ГЕОХИ РАН), А.А. Ефимову, В.Н. Сазонову, Г.Б. Ферштатеру (ИГГ УрО РАН), ЛА Николаевой (ЦНИГРИ), В.П. Алексееву, А.Г. Баранникову, И.А. Малахову, С.Г. Паняку (УГГУ), В.Л. Левину (ОАО УГСЭ), кандидатам геолого-минералогических наук - В.В. Середину (ИГЕМ РАН); А.Ю. Кисину, Е.В. Пушкареву, В.С. Рахову (ИГТ УрО РАН), В.С. Балахонову, С.Т. Суставову (УГГУ), ведущим специалистам ОАО УГСЭ - З.М. Глебовой, ГА Глушковой, КА Зубареву и Н.И. Рудице. Автор благодарен за большую помощь в проведении анализов и плодотворное сотрудничество: к. г.-м. н. И.Я. Кошеевой (ГЕОХИ РАН), д. г.-м. н. Н.Г. Патык-Каре, и к. г.-м. н. Н.В. Гореликовой (ИГЕМ РАН), к. г.-м. н. - Т.Я. Гуляевой и В.Г. Петрищевой (ИГГ УрО РАН). Подготовка и оформление работы были бы невозможны без поддержки и помощи ближайших коллег и друзей: В.Н. Кузнецова, В.В. Александрова и А.А. Некрасовой (ОАО УГСЭ), к. г.-м. н. А.А. Малюгина и минералога С.В. Акуловой (УГГУ), к. х. н. М.Ю. Янченко (ИХТТ УрО РАН), к. г.-м. н. - Е.А. Зиньковой и ТА Осиповой (ИГГ УрО РАН), а также С.Ю. Кропанцева.

Автор искренне признателен своему научному руководителю д. г.-м. н. А.И. Гра-

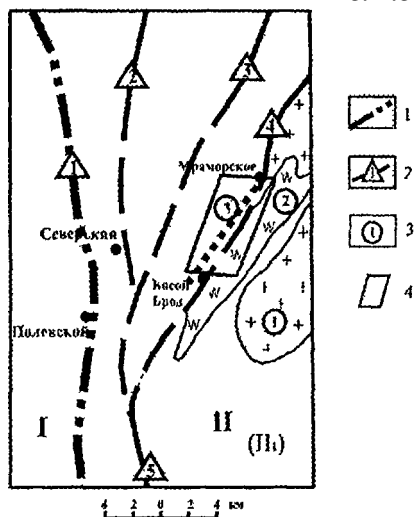
### **Содержание работы**

Мраморская зона смятия как обособленное структурное подразделение была выделена в 2001 году (Рапопорт и др., 2001). Рассматриваемый район находится на восточном склоне Среднего Урала против Уфимского выступа (тектоноконцентра) Русской платформы (Рапопорт, Рудица, 2001), в западном обрамлении Сысертского гранитоидно-гнейсового комплекса или СГМК (Кейльман, 1968, 1974), который является составной частью Сысертско-Ильменогорского жесткого блока. Он принадлежит тектонически напряженной структуре на сочленении Тагильской и Магнитогорской мегазон. В геологическом строении Уральской складчатой системы этот район определяется как наиболее суженное его место, с максимальными горизонтальными напряжениями земной коры. Его положение между Уфимским тектоноконцентром и СГМК обусловило чередование здесь периодов интенсивного сжатия и кратковременных относительных растяжений, а

также определило многие особенности тектоники, в частности, развитие субмеридиональных сдвиго-надвиговых нарушений с проявлениями транстенсии и субширотных нарушений типа взбросо-сдвигов, радиально расходящихся от Уфимского тектоноконцентра на восток. Наиболее крупные из них ограничивают с севера и юга блок земной коры с приуроченным к нему СГМК, на северном замыкании которого находится Осиновский гранитоидный массив (рис. 1). В современной геодинамике Урала эта часть уральской структуры также выделяется максимальными напряжениями земной коры и относительно высокой сейсмичностью (Кононенко и др., 1990). С запада и востока Сысертско-Ильменогорский жесткий блок, ограничен соответственно Мраморской и Щелкунской (Рапопорт, 1971) зонами смятия.

***Петое защищаемое положение*** Мраморская зона смятия представляет собой крупную долгоживущую шовную структуру в северо-западном обрамлении Сысертско-Ильменогорского жесткого блока (Восточный склон Среднего Урала). Зона характеризуется сопряженностью полихронную магматизма, метаморфизма и рудно-метасоматических процессов, протекавших преимущественно в условиях восстановительного режима преобразования полигенного субстрата.

Мраморская зона обладает всеми основными признаками, характерными для при-сдвиговых зон смятия и является структурным элементом одноименного глубинного



I - Тагильская мегазона; II - Восточно-Уральская мегазона (II<sub>1</sub> - Сысертско-Ильменогорская зона); 1-2 - глубинные разломы первого и второго порядка (1 - Серовско-Мауский, 2 - Белостановский, 3 - Кургановский, 4 - Мраморский, 5 - Миасско-Полевской). 3 - некоторые интрузивные тела (1 - Осиновский гранитоидный массив, 2 - Мраморский серпентинитовый массив, 3 - дайка Водораздельная) 4 - Мраморская площадь.

разлома. Горные породы в зоне смятия расланцованы, смяты в типичные приразломные складки, неоднократно метаморфизованы (дислокационный метаморфизм зон смятия, сиалический плутонометаморфизм, контакто-термальный метаморфизм, связанный со становлением средне-верхнепалеозойских гранитоидных интрузивов) и метасоматически изменены. Широко развиты также системы молодых (послекаменноугольных) нарушений северо-западного, субширотного, северо-восточного направлений, создающие мозаично-блоковое строение (см. рис. 2). С Мраморским глубинным разломом связана Мраморско-Кособродская эрозионно-структурная депрессия (ЭСД), в пределах которой широко развиты

коры выветривания и элювиально-делювиальные образования (нередко сопряженные с низкотемпературными метасоматитами), мощность которых достигает 100-170 м.

В геологическом строении Мраморской зоны смятия принимают участие интенсивно метаморфизованные и метасоматически измененные вулканогенно-осадочные образования *андреевской свиты* ( $S_2 - D_{1an}$ ) и производные нескольких интрузивных комплексов: серпентиниты и метальтрабазиты *восточно-тагильского комплекса* ( $\Sigma O_{2-3vt}$ ) *дунит-гарибуржитовой формации*; пироксениты, габбро и габбро-диориты (до диоритов), отнесенные к *балтымскому комплексу* ( $D_3B$ ) *габбро-диорит-плагιοгранитовой формации*; кварцевые диориты, гранодиориты, плагιοграниты и гранит-порфиры *тоналит-граноБиоритовой формации верхисетской серии* ( $D_3-C_3v$ ). Нами впервые установлены для данной территории дайки лампрофиров и гранитоидов *субщелочного состава* ( $\gamma \xi P_1?$ ). Их формационная принадлежность пока не ясна, а возраст принят по аналогии со смежными территориями (Рапопорт и др., 2001).

Андреевская свита представлена следующими основными литологическими разновидностями метаморфогенно-метасоматических сланцев: карбонат-биотит-полевошпат-кварц-амфиболовыми, кварц-амфиболовыми до амфиболитов (иногда с гранатом, эпидотом) с зонами углеродисточлюдисто-кварцевых сланцев; углеродисто-слоидисто-кварцевыми, слоидисто-кварцевыми до кварцитов, иногда с гранатом; гранат-амфибол-полевошпат-кварц-биотитовыми; кварц-эпидот-полевошпат-амфиболовыми, хлорит-актинолит-эпидот-полевошпатовыми. Дм сланцев, особенно углеродсодержащих (углеродистые метасоматиты), характерны различные проявления пластических деформаций, часто неоднократных и разнонаправленных: неоднородная микроскладчатость, гофрировка кливажа, дифракция, пересечение кливажем слоистости или наложение двух осложнённых кливажных систем, которые фиксируют деформации сдвига. Стратиграфически выше указанных метаморфитов залегают битуминозные и обогащенные углеродистым веществом (УВ) серые кристаллические мраморы. Это неоднократно перекристаллизованные средне- и крупнозернистые породы с характерным запахом битума на свежем сколе. Количество определяемого петрографически УВ от менее 1% до 7-10%. Степень изменения пород свиты соответствует эпидот-амфиболитовой фации, но на отдельных участках уровень метаморфизма достигает амфиболитовой и более высоких ступеней.

Ультрабазиты восточно-тагильского комплекса слагают серию линейно вытянутых интрузивных тел, наиболее крупным из которых является Мраморский массив. Характерно преимущественное развитие перекристаллизованных и десерпентинизированных пород, а также метальтрабазитов тальк-карбонатного, хлорит-тальк-карбонатного, талькового состава, реже - тремолитовых разностей. Наименее изменёнными ультраосновными породами являются антигоритовые серпентиниты (с ранним антигоритом I-ой генерации), которые сохраняются в виде небольших участков среди более метаморфизованных образований. Десерпентинизированные разности представлены оливин-антигоритовыми породами, с которыми ассоциируют перекристаллизованные антигоритовые серпентиниты с характерным крупнолистоватым антигоритом II-ой генерации. Более высокотемпературные оливин-энстатитовые породы известны в северо-восточной части зоны. В оливин-антигоритовых породах обычно в разной степени выражена поздняя



серпентинизация. Процессы регенерации проявились также в образовании специфических антигорит-тальк-карбонатных и (тальк)-карбонат-антигоритовых пород, в которых поздний антигорит П развивается по Fe-Mg карбонату тальк-карбонатной породы..

Таким образом, серпентиниты Мраморской зоны претерпели по меньшей мере 3-х этапный метаморфизм: 1 - образование тальк-карбонатных, хлорит-тальк-карбонатных пород и талькитов; 2 - частичную регенерацию с образованием оливин-антигоритовых, перекристаллизованных антигоритовых и антигорит-тальк-карбонатных пород; 3 - наложение регрессивной хризотил-лизардитовой серпентинизации на оливин-антигоритовые породы. С неоднократно преобразованными ультраосновными породами связано своеобразное по составу хромитовое оруденение.

В пределах Мраморской зоны смятия установлено широкое распространение малых гранитоидных тел, в их числе - расположенная в центре площади линейно вытянутая на ~ 7 км Водораздельная дайка и несколько дайковых полей, с которыми тесно связано золотое оруденение. По данным петрографических исследований гранитоиды площади относятся преимущественно к малокалийевому типу с вариациями от средне-мелкозернистых и порфиридных кварцевых диоритов и тоналитов до плагио- и гранит-порфиров, реже встречаются адамелиты и их порфиновые разности. Гранитоидам также свойственны характерные черты метаморфизма зон смятия. В некоторых случаях при наложении термально-контактового метаморфизма и интенсивных динамических нагрузок они превращены в сланцеподобные или гнейсовидные образования, сохраняющие только отдельные реликты исходных пород. Интенсивные изменения характерны для гранитоидов тоналитового ряда. В гранит-порфирах и субшелочных гранитоидах метаморфизм проявлен значительно слабее или почти не выражен.

К основным проявлениям термального метаморфизма можно отнести ореолы базификации, наблюдаемые в различных породных комплексах зоны. Ранняя базификация (сине-зеленая роговая обманка + биотит I + гранат I) выражена только в метасланцах андреевской свиты. Она может быть связана как с региональным сиалическим плутонометаморфизмом, так и с контактными ореолами интрузивов, сформировавшихся на границе доорогенного (островодужного) и раннеорогенного этапов. Базификация второго этапа (биотит П или биотит П + эпидот ± гранат П) фиксирует воздействие установленного по геофизическим и петрологическим данным нескрытого гранитного плутона, который может быть сопоставлен с поздними фазами осинового массива. Этот ореол базификации наложен как на сланцы андреевской свиты, так и на интрузивные образования балтымского комплекса и гранитоиды верхисетской серии, в том числе - метасоматически измененные. С проявлениями контактивно-термального метаморфизма связаны процессы перекристаллизации гранитоидов тоналитового ряда и метаультрабазитов, а также частичная регенерация серпентинитов и их производных. Особенности рудно-метасоматических процессов в пределах Мраморской зоны следующие:

1. Широкое распространение углеродистого метасоматоза, определяющее общую обогатенность пород органическим веществом и его участие в рудных процессах.

2. Развитие высокоглиноземистых метаморфитов и метасоматитов, среди которых доминируют корундсодержащие породы, генетически связанные с углеродистыми

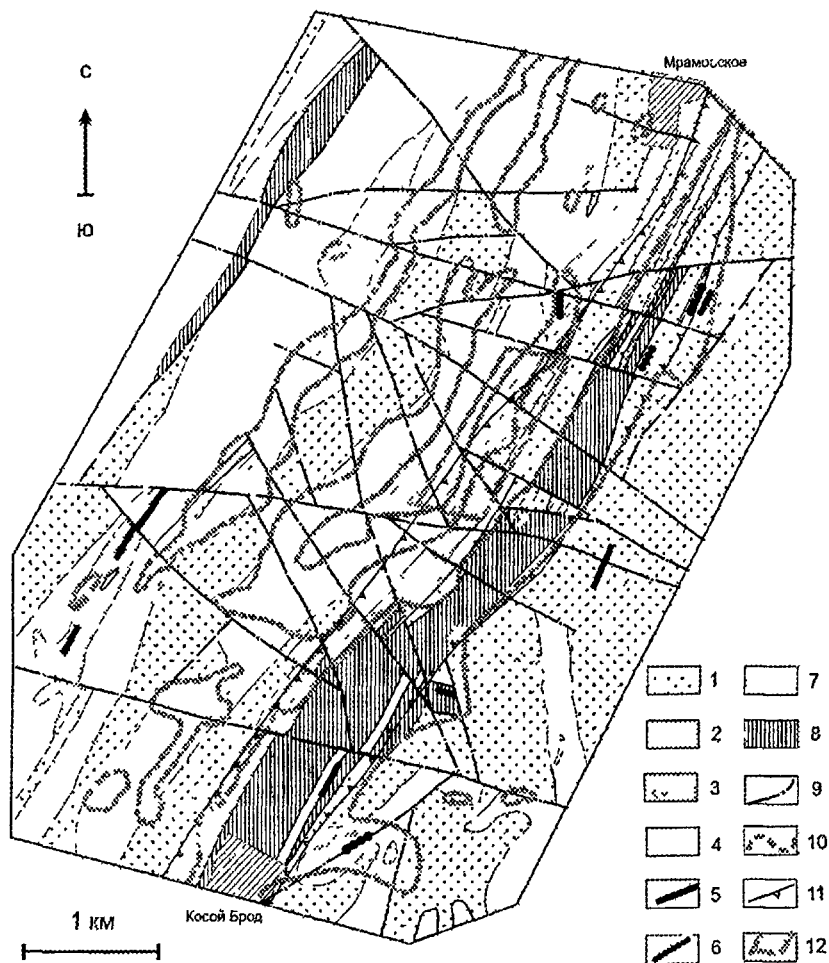


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Мраморской площади

1 - серпентиниты и их производные *восточно-тагильского комплекса* ( $\Sigma O_2 \text{ зvt}$ ); пироксениты, 2 - габбро и габбро-диориты (до диоритов), отнесенные к *балтыскому комплексу* ( $D.b$ ); 3 - кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты и гранит-порфиры, преимущественно *тоналит-гранодиоритовой формации верхисетской серии* ( $D3-C3V$ ); 4 - внемасштабные дайки того же состава; 5 - дайки субщелочных гранитоидов ( $\gamma^{\xi} P_1?$ ); 6 - лампрофиры; 7 - метаморфизованные метасоматически измененные до сланцев и амфиболитов вулканогенно-осадочные образования *андреевской свиты* ( $S2 - Djan$ ); 8 - мраморы кристаллические, насыщенные УВ ( $Djan$ ); 9 - тектонические нарушения; 10 - ореолы развития углеродистых метасоматитов; 11 - восточная ветвь Мраморско-Кособродской ЭСД; 12 - рудопроявление Водораздельное.

битуминозными мраморами и с умереннощелочными гранитоидами. Высокоглиноземистые метасоматиты характерны для зон смятия, ограничивающих Сысертско-Ильменогорский жесткий блок. Если в Щелкунской зоне развиты кианитовые алюмокварциты, образовавшиеся в окислительной обстановке в условиях придвигового растяжения (Рапопорт, 1970), то в Мраморской зоне высокоглиноземистые метасоматиты представлены наждаками, сформированными при восстановительных условиях зон сжатия.

3. Присутствие в метаморфических и метасоматических породах Мраморской зоны и, особенно, в сопряженных с низкотемпературными метасоматитами породах выветривания, широкой ассоциации самородных металлов (Си, Zn, Pb, Sn, Fe, Al), их интерметаллических соединений и природных сплавов. Наблюдается значительное распространение аксессуарного свежего пирита в рыхлых образованиях (коры выветривания на всех уровнях и, частично, миоцен-нижнеплейстоценовые осадки).

Для Мраморской зоны смятия характерен существенно восстановительный режим на всех этапах ее эндогенной активности. К признакам такого режима относятся: 1) процессы регенерации серпентинитов и их производных, связанное с этими метасоматитами специфическое хромитовое оруденение; 2) проявления углеродистого метасоматоза, в целом типичные для глубинных разломов и связанных с ними зон смятия или шовных зон (Иванкин, 1988, 1991; Метасоматизм..., 1998; Савельева, 1998; Данилова, 2001; Русинова, 2003); 3) проявления наждаков - специфических метаморфогенно-метасоматических образований, характеризующих восстановительные условия зон сжатия; 4) определенные отличия минеральных ассоциаций средне- и низкотемпературных метасоматитов от «классических» аналогов; 5) ореолы аксессуарного свежего пирита в породах выветривания и перекрывающих осадках.; 6) присутствие определенного комплекса самородных металлов и их соединений, устойчивых в рамках «умеренно окислительных—сильно восстановительных условий» (по Н.С. Никольскому, 1987).

***Второе защищаемое положение.*** Установлено многоэтапное наложение углеродистого метасоматоза на все комплексы пород Мраморской зоны смятия. Отличительными чертами его являются: несоответствие степени преобразования РОВ уровню метаморфизма вмещающих пород; сонахождение нескольких разновидностей органического вещества (ОВ) от легких углеводов и битумов (кериты и антракосолиты) до графита разной степени кристалличности и высокоотражающего графитоида; отсутствие четкой приуроченности углеродистого вещества пород к конкретным литологическим или стратиграфическим таксонам.

Углеродистое вещество в тех или иных количествах установлено во всех породах и комплексах Мраморской зоны (см. рис. 2). Наиболее обогащены им мраморы и метаморфические сланцы. В метасоматитах интенсивная углеродистость связана с контактовыми и тектоническими зонами. В гранитоидах отмечается присутствие УВ на участках выраженного расщепления (краевые части интрузивных тел и даек), в оторочках некоторых кварцевых и полевошпат-кварцевых жил, в секущих тектонических зонах. Значительно распространено органическое вещество в породах выветривания по различным породам, где оно присутствует в виде гнезд черного матового сажистого

материала, обогащенных зон и слоев, или в виде рассеянной минерализации, придающей породе темно-серый и черный цвет. При промывке проб здесь нередко выделялось легко флотируемое хлопьевидное и вязкое маслянистое ОВ.

Видовой состав ОВ достаточно широк и представляет собой непрерывно-дискретный ряд: керит - антраксолит - шунгит - графит (преимущественно, скрытокристаллический и тонкочешуйчатый) и высокоотражающий графитоид, характерный для зон сжатия (Волкова, 1990). Кроме твердых УВ отмечается постоянная примесь легких и летучих углеводородных фракций. Как правило, совместно присутствуют три-четыре типа УВ, среди которых преобладают слабокристаллизованные графитовые разновидности. И только в зоне максимального проявления динамометаморфизма и сдвиговых деформаций (западная полоса развития углеродистых пород, см. рис. 2) большая часть УВ представлена графитоидом. Это разнообразие отражено в результатах термического анализа пространственно разобнесенных проб мраморов (табл. 1):

Табл. 1. Результаты термического анализа нерастворимого остатка мраморов

Проба № п/п	Температура максимумов экзоэффектов (°С)	Температура начала выгорания (°С)	Состав ОВ	Содержание ОВ в % от навески	Содержание ОВ в пробе, %	
					по видам	общее
1	750	600	графит (1-5 мкм)**	31	0,23	0,25
	540	510				
	470	390	ОВ	2,7-3,5	0,02	
	340	250				
2	730	560	графит (1-5 мкм)**	31-32	0,56	0,63
	480	455	битумоидное ОВ	~1	0,01	
	440	430	битум	5	0,06	
	340 (305*)	280 (240*)				
3	710	580	графит	18	0,37	0,42
	(600)					
	445		шунгит + ОВ	2,5	0,05	
	295					
4	760	580	графит (5-10 мкм)**	33-34	0,08	0,085
	550*	500				
	480	390	битумоидное ОВ	1,3-1,8	0,005	
	340	250				
* по ДТА обработанных проб (проба + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; графит ~3%)			** Расчётные размеры (отмечается завышение значений по сравнению с данными минераграфических исследований)			

Во всех случаях наблюдается четыре экзотермических эффекта на ДТА, которые соответствуют одной структурной разновидности графита и разным видам битумоидов, в целом идентичным для всех проб. Близкие результаты были получены и для флотируемой части двух проб из коры выветривания. В одной из них присутствуют слабовыраженные экзоэффекты с Tmax = 245 и 530°С, в другой - отчетливый пик на ДТА, соответствующий выгоранию битумоидного ОВ типа низшего керита. При пробоподготовке в этих пробах отмечалось присутствие легкой спирто-бензольной (?) фракции.

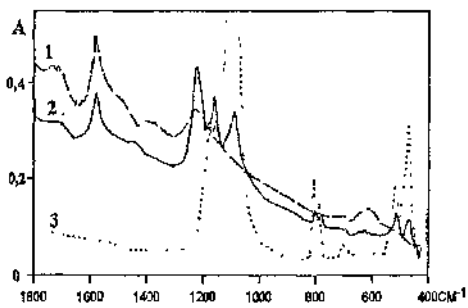
К сожалению, в процессе обработки проб (растворение карбоната в 10% HCl при нагреве) происходили неизбежные потери части лёгких ОВ, Этим объясняется, что количество ОВ, рассчитанное по ДТА, в 1,5-2 раза ниже значений, полученных для этих же проб методом «CHNS» (табл. 2).

**Табл. 2. Результаты хроматографического элементного анализа углеродисто-слюдисто-кварцевых метасоматитов**

№ п/п	Место отбора	Элементы, %				Примечание
		N	C	H	S	
1	Западная зона	0,022	3,021	0,125	н.о.	Au – 0,8 г/т (промывка хвоста)
2	Западная зона	0,015	2,207	0,173	н.о.	Au – < 0,05; Pd – 0,1 г/т (ОАО “УКЛ”)
3	Р/пр. Водораздельное,	0,006	1,017	0,070	н.о.	Au – нет данных Pt – 0,4; Pd – 0,05 г/т**;
4	Р/пр. Водораздельное,	0,005 0,011*	1,110 1,089*	0,069 0,099*	н.о. н.о.*.	Au – 0,12 г/т (УКЛ) Pt – 2,7; Pd – 0,07 г/т**;
5	Р/пр. Водораздельное,	0,005 0,005*	1,057 0,987*	0,068 0,073*	н.о. н.о.*.	Au – 0,02 г/т (ГЕОХИ РАН)
6	Восточная зона	0,002 0,005*	1,357 1,269*	н.о. 0,047*	н.о. н.о.*	Au – 0,05 г/т (ГЕОХИ РАН)

\* После обработки HCl; \*\* по определениям Ю.А. Волченко

В целом результаты хроматографического «CHNS»-анализа мраморов, углеродистых метасоматитов (табл. 2) и концентрата из коры выветривания указывают на постоянное присутствие комплексных соединений в составе РОВ. О сложном составе битумоидов свидетельствуют результаты флюориметрического анализа мраморов и ИК-спектроскопия



**Рис. 3 Инфракрасные спектры поглощения**  
(A – оптическая плотность поглощения; 1 – концентрат РОВ; 2 – легкая фракция; 3 – кварцит, эталон ГЕОХИ)

Следует отметить, что спирто-бензольные смолы являются наиболее активными компонентами битумоидов по отношению к Au и другим металлам (Банникова, 1990).

Таблица 3. Результаты ИК-спектроскопии углеродистых метасоматитов (сланцев)

Пики и области поглощения	Типы ОБ
1750 см <sup>-1</sup>	соединения типа >C=CH <sub>2</sub>
1590 см <sup>-1</sup>	ароматические соединения, гидроксильные группы COO <sup>-</sup>
1350-1415 см <sup>-1</sup>	алифатические альдегиды
1270-1230 см <sup>-1</sup>	ароматические и простые эфиры, =C-O-
700 см <sup>-1</sup>	предположительно, группы -CH=CH-
660-630 см <sup>-1</sup>	сульфоорганические соединения C-S; RCH <sub>2</sub> -S- и т.п
<b>Примечание:</b> Совмещенные пики 1090, 800-780 и 520-470 см <sup>-1</sup> на кривой ИКС соответствуют кварцу (кварцит, эталон ГЕОХИ). Содержание C <sub>орг</sub> в легкой фракции – 40.7% и в концентрате – 63.4%.	

Сонахождение нескольких разновидностей УВ, состав которых не зависит от типа вмещающих пород, наблюдалось во всех изученных анпшифах (>50). Варьировали только их общее и относительные количества. Углеродистое вещество здесь представлено: 1) тонкочешуйчатый графитом и агрегатами графит - бесструктурное УВ с размерами отдельных выделений < 1 мкм; чешуйками и чешуйчатыми агрегатами графитоида со средним размером выделений 24 мкм (до 30 мкм); 2) веерообразными, ленточными, сферолитовыми выделениями битумоидов группы антраксолитов размером от 2-4 до 10 мкм; 3) гнездовидными скоплениями (размером 0.2-0.3 мм) керитоподобного ОБ. С агрегатами углеродистого вещества часто связана тонкая вкрапленность Аи (см. рис. 5 Б), других самородных металлов, теллуридов. Нередко наблюдается развитие агрегатов УВ в псевдоморфозах гидроокислов железа по сульфидам и периферийные углеродистые оторочки вокруг свежих сульфидов, что также можно рассматривать как признак углеродистого метасоматоза (Русинова, Русинов, 2003).

При анализе *соотношений характера преобразования РОВ пород и степени метаморфизма вмещающих толщ* автором использованы установленные закономерности изменения УВ пород на различных уровнях регионального метаморфизма и особенности этого процесса в условиях повышенных давлений (Паняк, 1973; Иванова, 1974; Волкова, 1990 и др.). В составе углеродистого вещества из исследованных образцов Мраморской зоны преобладает графит, иногда - переходные разности шунгит-графит, которые всегда фиксируются одним выраженным пиком на ДТА (см. табл. 1). Температуры начала выгорания графита находятся в интервале от 560 до 610°С, что по степени преобразования (графитизации) ОБ соответствует зеленосланцевой фации метаморфизма. Таким образом, степень преобразования УВ, даже в его максимально графитизированной части, на порядок ниже уровня регионального метаморфизма пород зоны, что свидетельствует о наложенном, более позднем по отношению к вмещающим метаморфитам, характере не только битумоидных составляющих РОВ, но и их графитовых разностей. Это, а также характер распространения, разнообразие видов и сложный вещественный состав органического (углеродистого) вещества позволяет говорить о значительном проявлении углеродистого метасоматоза в широком временном интервале. Совместное нахождение не связанных последовательными переходами нескольких разновидностей РОВ, в целом однотипных для всех разновидностей горных

пород и кор выветривания, постоянная примесь легких углеводородных фракций свидетельствуют о неоднократности проявлений процесса, отражая, вероятно, разорванные во времени этапы эндогенной флюидной активности зоны

*Метасоматическая зональность при углеродистом метасоматозе* установлена в результате проведенных петрографических исследований и детальных полевых наблюдений и является одним из факторов, определяющих этот процесс. Общие закономерности развития углеродистого метасоматоза, его физико-химические условия обосновывались многими авторами (Летников, 1982; Новгородова, 1983; Буслаева, Новгородова, 1989; Иванкин, Назарова, 1989; Данилова, 2001 и др.). Наиболее детально его проявления, связь с другими метасоматическими процессами и с золотым оруденением рассмотрены на примере рудного поля Мурунтау (Русинова, Русинов, 2003). Автором использованы некоторые теоретические и методические разработки, приведенные в указанных работах, а также учтен уральский опыт картирования метасоматитов (Сазонов, 1975, 1984, 1998; Грязнов, Золоев, 1994).

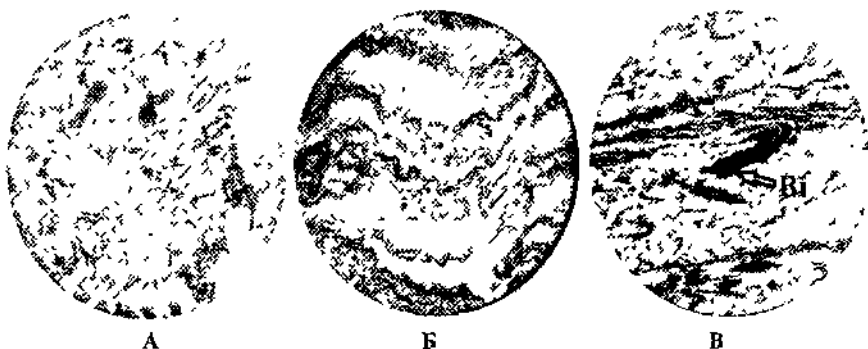
Наиболее отчетливо метасоматическая зональность выражена в метаморфитах андеевской свиты, что позволило составить принципиальную схему развития углеродистого метасоматоза (табл. 4).

Таблица 4. Проявления зональности при углеродистом метасоматозе

I. Углеродистые породы (УП)	II. Углеродистые метасоматиты (УМ)	
<i>Обобщенная характеристика</i>		
<p>Выраженные признаки обогащения УВ (в т.ч. по расщеплению и в виде тонких «вуалевых» скоплений); локальные участки перекристаллизации с образованием микрофлюидального УВ-кварцевого агрегата. Но в целом порода сохраняет первичные (метаморфические, иногда метаморфогенно-метасоматические и магматические) структуры и состав (разновидности I-0 и I-1) или их отчетливые реликты <math>\geq 10\%</math> (I-2).</p> <p style="text-align: center;">Рис 4А</p>	<p>Полностью перекристаллизованные метасоматические породы, в различной степени обогащенные УВ (от <math>\sim 1</math> до <math>n*10</math> об.%), иногда с реликтами минералов первичной породы: гранат, амфибол и пр.(II-1). Углеродисто-слюдисто-кварцевые сланцы с биотитом II (II-2) или его реликтами (II-3); углеродистомусковит/серицит (фуксит/хлорит)-кварцевые породы и сланцы (II-4); кварциты углеродистые с переменным количеством слюды (мусковит/серицит или фуксит) и УВ (II-5).</p> <p style="text-align: center;">Рис.4Б</p>	
<i>Метасоматические зоны</i>		
Внешняя I-0 и I-1(2)	Промежуточная I-2; II-1, 2, 3	Внутренняя II-4 и II-5

Предваряется процесс, как и на Мурунтау, широким фронтом биотитизации (базификация П этапа). В зависимости от степени изменения исходной породы выделено две группы метасоматически измененных пород: углеродизированные породы (УП) и углеродистые метасоматиты (УМ). При этом не всегда наблюдается прямая зависимость между количеством УВ и характером метасоматической проработки породы. В метасоматитах промежуточной и внешней зон нередко переменные количества карбонатов и

сульфидов. Текстуры апосланцевых и апоамфиболитовых углеродистых метасоматитов обычно флюидалные, волнистые, реже волнисто-полосчатые. Иногда в этих метасоматитах наблюдается прямое замещение биотита углеродистым веществом с образованием опацитоподобных псевдоморфоз (рис. 4В). Интенсивно обогащенные УВ катаклазиты из зон брекчирования и тектонических контактов преимущественно отнесены к промежуточной зоне. Для кварцитов внутренней зоны характерны массивные, полосчатые, пятнисто-полосчатые текстуры.



**Рис. 4** Проявления углеродистого метасоматоза: А - развитие микрофлюидалных текстур (УВ<sup>+</sup>-кварц) в метаморфическом сланце (1-1); Б - углеродисто-слюдисто-кварцевый метасоматит (П-4), В - замещение биотита УВ, углеродистый метасоматит (П-2)

Ширина различных метасоматических зон может быть от первых мм до десятков метров, что свидетельствует о проявлении зональности как на микро- так и на макроуровне. В качестве примера наблюдавшейся в полевых условиях метасоматической зональности можно привести закономерности развития углеродистых метасоматитов, которые образуют несколько выдержанных субмеридиональных полос, среди метаультрабазитов Мраморского массива. Вкрест простирания (с востока на запад) указанных полос установлены следующие зоны: 1) тальк-карбонатные породы → 2) углеродизированные (до >30% УВ) хлорит-тальк-карбонатные породы с примесью кварца (5-8%) → 3) листовитоподобные углеродистые кварциты (УВ до 30%, фуксит до 5%) → 4) охристые или бурожелезняковые образования по сульфидизированным метасоматитам ± фуксит (примесь УВ 1-2%) → 5) хлоритолиты, тальк-хлоритовые или хлорит-актинолит-тальковые породы → 6) талькиты → 7) тальк-карбонатные породы. В этом случае ширины внутренних зон варьирует от п х 0,01 до п х 1 м, внешних - до п х 10 м.

В процессе работы был проведен анализ относительного поведения химических элементов при углеродистом метасоматозе в ряду: *метаморфические сланцы и амфиболиты, незатронутые процессом или со слабыми его проявлениями (1-0,1) ⇒ углеродистые метасоматиты промежуточной зоны ⇒ углеродистые сланцы и кварциты (метасоматиты внутренней зоны П-4,5)*. Использована методика Г.А. Вострокнутова (1973), основанная на сопоставлении достоверных интервалов отдельных статистик



при различных уровнях надёжности, которая позволяет оперативно оценить относительный привнос-вынос элементов (использовались данные полуколичественного спектрального анализа на 31 элемент). В результате установлено: 1. При образовании углеродистых метасоматитов по метаморфическим сланцам наблюдается **относительный вынос Mn, Sc, Sr и относительное накопление Co, V, Ti, P, Pb, Ag, As, Sb, Bi, Mo, Ba, W, Sn, Y, (La), Nb, В. 2.** Для метасоматитов внутренней зоны характерны **относительное накопление Mn и относительный вынос As, Sb, Cd, Ba, Sr, Ga, Y, La.**

Рассматривая вероятные источники органического вещества в процессе углеродистого метасоматоза большинство исследователей принимает «флюидную» (мантийную) или «магматическую» (коровую, термокрекингую) модели. Учитывая имеющийся фактический материал, можно предположить, что в Мраморской зоне работала вторая или совмещенная модель.

Углеродистый метасоматоз, как это было показано выше, обладает всеми характерными чертами метасоматических процессов. С другой стороны, его наличие свидетельствует о поступлении в систему восстановленных флюидов, обогащенных компонентами CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и др., что значительно влияет на физико-химические условия многих геологических процессов, формируя их существенно восстановительный профиль. В этом случае принципиальная схема Au-рудных средне- и низкотемпературных метасоматических процессов будеа следующей (табл. 5):

**Таблица 5. Стадийность золоторудных метасоматических процессов в условиях восстановительного режима**

<b>Стадии метасоматоза</b>	<b>Характеристика процесса</b>
<b>Щелочно-восстановительная стадия</b>	<b>Биотитизация, постепенное окисление компонентов флюида с выделением свободного углерода (по реакциям диспропорционирования).</b>
<b>Стадия кислотного выщелачивания (кремнисто-щелочная стадия)</b>	<b>Образование метасоматитов по типу «вязких стекол» типичной ассоциации УВ+кварц; завершение связывания избыточных CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в карбонатных и гидратных минералах</b>
<b>Вторая восстановительная (поздняя щелочная) стадия</b>	<b>Отличается относительно низкими температурами, существенно водородным режимом и более высоким восстановительным потенциалом</b>

(по материалам Новгородовой, 1983; Иванкина, 1989; Савельевой, 1998; Русиновой, 2003)

Проведенные исследования подтверждают реальность этой схемы: типоморфные минеральные ассоциации березит-лиственитовой и низкотемпературной (аргилизитовой) метасоматических колонок Мраморской площади отличаются от «классических» аналогов. Ранее такие же закономерности были отмечены для района Кумакского месторождения и рудного поля Мурунтау (Буслаева, Новгородова, 1989; Русинова, Русинов, 2003). В березит-лиственитовых метасоматитах эти различия частично затуманены наложением метаморфических процессов.

Низкотемпературный гидротермальный метасоматоз тесно связан с поздними проявлениями углеродистого процесса, который, кроме того, способствует своего рода «консервации» восстановительных условий в самых верхних горизонтах коры выветривания. Для низкотемпературных метасоматитов и сопряженных с ними кор выветривания характерны: 1) наличие зон и участков, обогащенных сажистым УВ и слабо преобразованным ОВ, содержащим легкие фракции; 2) присутствие большой группы самородных металлов и их соединений; 3) наличие интервалов, насыщенных новообразованным Fe-Mg карбонатом (четкие ромбоэдры без признаков окисления); 4) обычное присутствие (в том числе, на самых верхних горизонтах) нескольких разновидностей свежего пирита, количество которого варьирует от единичных и редких знаков до первых процентов. На поверхности нескольких зерен такого пирита обнаружены металлические выделения размером до 30 мкм, диагностированные первоначально как самородный Мо (Азовскова и др., 2003). Проведенные исследования не позволяют пока однозначно определить этот минеральный вид. Возможно, что он аналогичен установленной недавно минеральной фазе MoSC с идеализированной формулой  $Mo_3S_6C_{10}$  (Kao, 2001).

В целом, установленные особенности проявления углеродистого и сопряженных с ним других метасоматических процессов могут рассматриваться как факторы прогноза золотого оруденения как в Мраморской зоне, так и за ее пределами.

***Третье защищаемое положение.*** Выделяется два типа продуктивного эндогенного золотого оруденения. Первый (россыпеобразующий) тип аналогичен золото-сульфидно-кварцевому оруденению в ореолах метасоматитов березит-лиственитовой формации и связан с дайковым комплексом тоналит-плаггиогранитового состава. Второй - нетрадиционный тип, представлен тонкодисперсным золотом, ассоциирующим с углеродистым веществом, теллуридами, самородными металлами и их комплексными соединениями. Этот тип распространен во всех породных комплексах зоны.

Для всех складчатых поясов мира характерна приуроченность золотого оруденения к интенсивно дислоцированным толщам - зонам сжатия (рассланцевания), а в их пределах - к локальным областям растяжения и трещинным структурам, где в условиях инверсии геодинамического режима происходит значительная концентрация рудообразующих растворов (Буряк, 1998). Золотое оруденение Мраморской зоны смятия отвечает структурам этого типа (золотое оруденение шовных зон по В.Н. Сазонову и др., 2001). Кроме того, важную рудоконтролирующую роль играет магматический фактор.

В пределах Мраморской зоны выделяется два основных этапа формирования золотого оруденения (табл. 6): 1 - оруденение **I этапа** золотосульфидно-кварцевого типа, связанное с березит-лиственитовой метасоматической формацией; 2 - оруденение **II этапа** золото-теллуридного типа, связанное с поздними проявлениями углеродистого метасоматоза (неконтрастное, захватывает большие площади и все комплексы пород). Проявления этих этапов часто пространственно совмещены, в том числе наблюдается наложение рудных ассоциаций II этапа на гипергенно измененные, интенсивно лимонитизированные метасоматиты I этапа.

**Таблица 6. Характеристика двух этапов золотого оруденения Мраморской зоны смятия (Использованы схемы В.А. Коротеева, К.С. Иванова, 1995; В.Н. Сазонова и др., 2001)**

<b>Геодинамическая обстановка</b>		<b>Активная окраина континента</b>	
<b>Геодинамические этапы</b>		Коллизионный	Постколлизионное растяжение и эпиплатформенная активизация
<b>Рудоносные геологические формации</b>		Тоналит-гранодиоритовая	Не установлено
<b>Тип оруденения</b>	<i>Генетический</i>	Магматогенно-гидротермальный	Флюидогенный (гидротермально-флюидогенный)
	<i>Формационный</i>	Золото-сульфидно-кварцевый	Золото-теллуридный с самородными металлами и УВ
<b>Околорудные метасоматические формации</b>		Березит-лиственитовая (восстановительного режима)	Низкотемпературных углеродистых метасоматитов
<b>Морфологический тип</b>		Жилы, жильные штокверки, приконтактные минерализованные зоны	Широкие, протяженные минерализованные зоны
<b>Россыпеобразование</b>		Да	Нет
<b>Рудные этапы</b>		I-й	II-й

Предполагается, что формированию собственно березит-лиственитового Аи-оруденения предшествовало обогащение проницаемых, подготовленных метаморфическими процессами зон и отдельных тектонических блоков рассеянным органическим веществом. Источником РОВ мог быть передовой флюидный фронт насыщенный восстановительными фазами метан-углеводородного, углекислого, водородного состава, которые характеризуются высокой растворяющей способностью и значительной металлоемкостью (Никольский, 1989; Банникова, 1990 и др.). При наложении последующего среднетемпературного (березит-лиственитового) метасоматоза органическое вещество играло роль геохимического барьера и определяло формирование богатых рудных зон или столбов, как это показано на золоторудном поле Аксу (Спиридонов, 2002), и косвенно подтверждается аналитическими данными о составе битумов в пирите золоторудных кварцевых жил ряда уральских месторождений (С.Н. Иванов, 1960).

Отличительная черта Мраморской зоны смятия - формирование гетерогенного поля метаморфически и метасоматически измененных пород вследствие пространственно-го совмещения процессов, связанных с разными периодами эндогенной активности зоны, в том числе и нескольких импульсов проявления углеродистого метасоматоза. Можно предположить, что образование преобладающей массы графита, который по температурному уровню соответствует зеленосланцевой фации метаморфизма, в какой-то степени фиксирует внешние зоны основной золотопродуктивной березит-лиственитовой стадии. Во внутренних зонах УВ выгорает или образует относительно

крупнокристаллический графит. С другой стороны, его присутствие может отражать внешний ореол контактово-термального воздействия не вскрытого гранитного плутона.

Золотое оруденение I этапа, связанное с березит-лиственитовой формацией, представлено двумя морфологическими типами: *приконтактовыми минерализованными зонами*, которые приурочены к гранитоидным дайкам, и *секущими кварцевожильными зонами* типа лестничных жил или линейных штокверков. Для первых характерны слабые проявления березитизации-лиственитизации, вторые связаны с хлорит/мусковит - кварцевыми ( $\pm$ Fe-Mg карбонат) метасоматитами и представляют собой внутренние части березитовой колонки. Наиболее выдержанные *приконтактовые минерализованные зоны* установлены для Водораздельной дайки ( $> 6$  км). Отмечаются следующие характерные черты таких зон: 1) они приурочены к дайковым полям или сложно построенным дайкам тоналит-гранодиоритовой формации, захватывают экзо- и эндоконтакты и не зависят от состава вмещающих пород; 2) ширина минерализованных зон составляет 5-100 м (иногда до 200-300 м); 3) оруденение часто приурочено к зонам сопряженного развития гидротермально изменённых пород березит-лиственитовой формации и углеродистых метасоматитов, сопровождается субогласными кварцевыми и полевошпатовыми прожилками; 4) золотое оруденение представлено исключительно самородным металлом и сопровождается убогой сульфидной минерализацией (часто окисленной), в составе которой преобладает пирротин (+ пентландит, халькопирит, пирит; второстепенные - герсдорфит, гематит, сфалерит, борнит, миллерит, линнеит, кобальтин; редкие - блеклые руды и теллуриды); 5) минерализованные зоны сопровождаются шлиховым ореолом самородного золота и литогеохимическими ореолами Au, Ag, As, 2a, W; 6) оруденение не контрастное, прерывистое; характеризуется невысокими содержаниями золота: 0.2-2.5 г/т (пробирный анализ) и 100-200 мг/м<sup>3</sup>, редко до 1000 мг/м<sup>3</sup> и выше (данные промывки). *Секущие кварцевожильные зоны* наблюдались преимущественно в западном экзоконтакте дайки Водораздельной. Они представлены серией секущих пологозалегающих, иногда субгоризонтальных зон метасоматитов мусковит-кварцевого, хлорит-мусковит-кварцевого ( $\pm$  карбонат) состава с прожилками обохренного полупрозрачного кварца. Мощность зон небольшая -  $n \times 10$  см. К их центральным частям иногда приурочены скопления видимого золота (рис. 5 А) с ураганными содержаниями (90 г/т и более). Общая ширина ореолов развития этого типа оруденения составляет 30 - 50 м. В пределах рудопроявления Водораздельное и на его продолжении приконтактовые минерализованные и секущие кварцевожильные зоны образуют единую полосу минерализации и золотого оруденения шириной 50-150 метров, которая прослеживается на всём протяжении дайки гранодиоритов.

Самородное золото минерализованных приконтактовых и секущих кварцевожильных зон выделено при шлиховом опробовании кор выветривания и интенсивно дезинтегрированных пород, и частично - из протолок коренных пород. Это золото, в основном, является унаследованным (остаточным) металлом Au-березит-лиственитовой формации. Результаты изучения его типоморфных особенностей и химического состава отражены в некоторых публикациях (Малюгин, Азовскова, 2001; Азовскова и др., 2002).

Изученное золото на 80% и более относится к классам тонкого и мелкого (< 0,25 мм). Его главная морфологическая особенность - преобладание кристаллов (кубы, октаэдры, кубооктаэдры, пентагон-додекаэдры и т.п.). Высока доля пластинчатых форм и золотин гемидиоморфного типа, нередко дендриты и дендритоиды. Незначительные признаки обработанности (псевдоокатанность или округленность, связанная с частичным растворением ребер и других выступов при гипергенной электрохимической коррозии) наблюдались менее чем у 20% золотин. Наличие кристаллов сложных габитусных форм с развитием ступенек роста и отрицательных граней, широкое развитие дендритоидных и проволоковидных частиц могут свидетельствовать о неравновесных условиях рудообразования, что характерно для малоглубинного оруденения. Большая часть изученного металла не несет признаков воздействия гипергенных процессов. Нередки пленки и налеты, а также включения и сростки с другими минералами. Состав их следующий: кварц, светлые слюды, хлорит, рутил, гематит, карбонат; редко - пирит, тальк, цинкистая медь. Все это не характерно для типичного золота из кор выветривания (Барников, 1998).

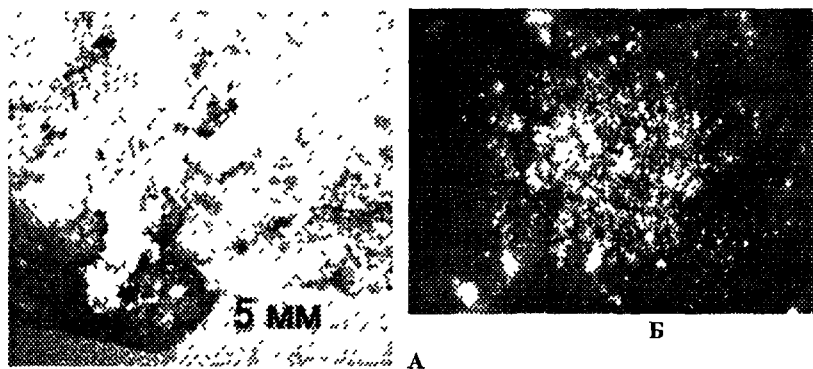
По своему химическому составу исследованное золото достаточно однородно и относится к среднепробному, умеренно высокопробному и весьма высокопробному (пробность 850 - 950). Определенные различия наблюдаются в содержании микропримесей и в величине средней пробности золота для приконтактных минерализованных зон (927) и секущих кварцевожильных зон (874). В восточной части площади, где вмещающими породами являются метакальтрабазиты, в золоте отмечаются повышенные содержания Си (до 1.29%) и Hg. В одном случае на рудопроявлении Водораздельное была установлена примесь родия в Au (около 2%). Кроме того, здесь наблюдаются признаки зональности в изменении морфогранулометрических особенностей золота. Все это может быть связано с различной глубиной эрозионного среза, локальными особенностями формирования оруденения, или с наложением второго этапа оруденения и низкотемпературных метасоматических процессов.

Золотое оруденение П этапа связано с последней по времени фазой (или несколькими импульсами) углеродистого процесса, отличительной чертой которого является формирование широких «факельных» ореолов углеродизации, захватывающих разнообразные комплексы пород Мраморской зоны. Поздние проявления углеродистого метасоматоза наблюдаются во всех геологических образованиях, включая коры выветривания. Связанное с этим процессом РОВ представлено, в основном, различными битумоидами, а также - сажистым и шунгитоподобным УВ. По данным минераграфических исследований в рамках И золоторудного этапа выделяется две минеральные ассоциации которые предположительно относятся к различным стадиям процесса. *Состав первой ассоциации* - углеродистое вещество (битумоиды), золото, теллуриды, самородные металлы (из них в аншлифах диагностированы медь, цинкистая медь и алюминий).

*В составе второй ассоциации* главным минералом является пирит П, сопутствующими - халькопирит П и марказит, второстепенными - грейгит, магнетит, сульфиды никеля, изредка наблюдаются теллуриды (алтаит? и креннерит?). Часто наблюдается наложение этих минеральных ассоциаций на гипергенно измененные породы и

окисленные руды I этапа Золотая минерализация II этапа (рис 5 Б) представлена, преимущественно, самородным золотом, в подчиненном количестве - теллуридами (иногда в сростании с Au), среди которых из-за малых размеров выделений на микроанализаторе подтвержден только калаверит. Золото тонкое и субмикроскопическое, наблюдается в виде рассеянной каплевидной вкрапленности, пленок, чешуек с размером выделений < 10 мкм (редко до 2040 мкм), иногда скоплений частиц до  $p \cdot 10$  в пределах аншлифа. Характерны сопряженные выделения агрегатов УВ с золотом и/или другими самородными металлами.

Содержания золота (пробирный анализ) обычно составляют 01-04 г/т, редко до 0 8 г/т. Пирит Б, который является основным минералом второй ассоциации, образует как самостоятельные выделения ( $\pm$  халькопирит), так и псевдоморфозы по другим минералам (пирротин и гидроокислы железа, замещающие сульфиды I этапа). Характерны проявления дисульфидизации - замещение пирротина пиритом II + марказит, грейгит, магнетит. Этот пирит не затронут гипергенными процессами и, вероятно, аналогичен акцессорному пириту, распространенному в корках выветривания.



**Рис. 5. Самородное золото I (А) и II (Б) этапов оруденения. А - видимое золото в кварце (рудопоявление Водораздельное), Б - каплевидная вкрапленность золота (яркое) в агрегате тонкочешуйчатого УВ (светло серое), иммерсия, ув 2000.**

Для Мраморской зоны характерно пространственное совмещение различных рудно-метасоматических этапов и их стадий. Минералогическим критерием этого может служить часто наблюдаемое наложение поздних рудных ассоциаций на выветрелые породы с окисленными сульфидами I-го этапа оруденения. Золоторудные процессы II-го этапа способствовали перераспределению и, вероятно, концентрации сформированного ранее Au-оруденения. Это отражается в закономерностях распределения в пределах коры выветривания ( $\pm$  низкотемпературные метасоматиты) «гравитационного» золота и различных самородных металлов, детально охарактеризованных ниже. Наиболее отчетливая связь наблюдается между золотом и цинкистой медью, которая сопоставима с ним по широте распространения. Зональность в распространении Au и  $Ci \wedge Zn$  установлена по восьми профилям горных выработок в южной части рудопоявления Водораздельное.

(см. рис. 7), аналогичные закономерности отмечаются и в разрезе (данные опробования колонковых скважин). Другие самородные металлы менее распространены, однако, в пределах выделенных рудоносных зон наблюдается большее разнообразие их видового состава и увеличение общего количества. Следует также отметить, что в центральной части секущей кварцевозильной зоны с богатым (видимым) золотом установлены высокие содержания самородного железа.

Пространственное совмещение двух рудных этапов в пределах одной проницаемой и геодинамически активной структуры привело к вовлечению сформированного ранее золотого оруденения в последующий рудный процесс, который отличается ярко выраженным восстановительным характером и неравновесными условиями.

Четвертое защищаемое положение Впервые для Среднего Урала установлена ассоциация аксессуарных самородных металлов Си, Zn, Pb, Sn, Fe, Cr, Al, их интерметаллидов и природных сплавов, образование которых генетически связано с процессом углеродистого метасоматоза на завершающих этапах рудогенного процесса. Выявлены пространственные закономерности (элементы зональности) в распространении самородного золота и цинкистой меди. Магнитная разновидность последней установлена впервые.

В настоящее время те или иные ассоциации самородных металлов описаны для самых разнообразных геологических объектов и природных обстановок: от кимберлитов и различных гидротермальных рудных месторождений до областей современного вулканизма и глубоководной гидротермальной активности. Их видовой состав и отдельные характеристики отражают особенности условий образования и являются индикаторами режима эндогенной геологической активности.

Самородные металлы и их соединения выделены автором при минералогическом изучении шлиховых проб из кор выветривания и протолок. Детально рассмотренная в диссертации методика опробования, обработки проб и отбора монофракций практически исключала заражение посторонним материалом. Всего из ~ 3000 просмотренных проб самородные металлы установлены более чем в 500 пробах. При этом количество выделенных зерен варьировало от единичных до десятков и сотен знаков. Самородные металлы присутствуют и в аншлифах из коренных пород, однако, точно диагностированы здесь были только отдельные выделения меди, цинкистой меди и алюминия. В целом, установленная ассоциация самородных металлов включает *медь, цинкистую медь, цинк, олово, свинец, природные сплавы системы Sb-Sn-Pb, железо и его никелистую разновидность (камасит), хром, соединение близкое к феррохромиду, алюминий*. Из сопутствующих минералов следует отметить муассант и карбиды железа. Характеристика основных свойств наиболее распространенных на изученной площади самородных металлов и их соединений приведена в таблице 7. Выявленная самороднометалльная минерализация по своему видовому составу и обобщенным параметрам наиболее близка к детально изученной в районе Кумакского рудного поля (Новгородова, 1983, 1994), что отражает общие закономерности рудных процессов (золотое оруденение шовных зон) с выраженными проявлениями углеродистого метасоматоза.

Таблица 7. Основные свойства самородных металлов Мраморской площади

Металл		Медь	Цинкистая медь Cu <sub>2</sub> Zn	Цинк	Олово	Свинец	Железо	Алюминий
Свойства								
Физические свойства	цвет	красноватый	латуно-желтый до темно желтого	светло-серый	серый, светло-серый	темно-серый, серый	стально-серый, синевато-серый	серебр. белый, светло-серый
	размер, мм	0.05 – 0.2 [до 1.0]	от 0.02 до 1.2; обычно 0.1-0.2	п*0.01-п*0.1 [до 1-3]	п*0.01	0.05-0.5 [до 1.0]	обычно 0.1-5.0	п*0.01-0.5 [до 1.0-2.0]
	масштаб, по	н/м	н/м и магн.: I-II эл/магн. фракции	н/м	н/м	н/м	сильно магнитно	н/м
	морфология	пластинчатая, сферидная, стержневиды [дендриты]	пластинчатые сростки, [пластинки, сфероиды]	пластинки, пласт. сростки или комки и сфероиды	сфероиды, пластинки	комки, сфероиды, пластинки	пластинки, пластинчат. сростки, сфероиды	пластинки, пласт. сростки [стержневиды]
	пластичность, микротвердость, кгс/мм <sup>2</sup>	мягкая, пластичная, ковкая. 79.9	мягкая, пластичная, ковкая (слабовковкая) Типы: 105-140 (15%) 150-190(53%) >190(32%)	мягкий, ковкий, пластич. 8.4-10 пластинчатый, 24.4 объемный	мягкий, ковкий, пластичный	очень мягкий, ковкий, пластичный	мягкое, ковкое, пластичное 216.4 (пластинчат.)	мягкий, ковкий, пластичный
Налеты, включения	часто: куприт и др.	I генер.: часто налеты, пленки, включения	цинкит, карбонаты		темные окисные пленки	пленки, налеты, сростки		
Химсостав, микропримеси, вес. %	химически чистая [Fe]	Zn 13-25 (I-я) Zn 27-36 (II-я) Au (до 5.6%), Ag, Al, Fe [As, Pt, Ni, Cr, Sn, Hg]	химически чистый [Al, Fe]	Pb до 17 Sb до п*1; Al [Fe, Ag, Cu, Zn]	Sn до 24 Sb до 11; Al [Fe, Cu, Zn]	Sn, Sb, Co	химически чистый [Zn, Fe, Cu, Sn]	
Свойства в отраженном свете	цвет	розоватый, розовато-красный	яркожелтый до кремового	белый	не опр.	не опр.	белый, голубоватый оттенков	ярко белый
	изотропия	изотропна	изотропна, иногда аномальная анизотропия	объемный анизотропен	не опр.	не опр.	изотропно	изотропен
	отраж. способность	высокая	высокая	высокая	не опр.	не опр.	высокая (< Au)	высокая (> Au)
Параметры элемент. ячейки	не опр.	3.67	A <sub>0</sub> = 2.67-2.68 C <sub>0</sub> = 4.94-4.95	не опр.	4.93	2.87	4.05	
Рентген. плотность	не опр.	8.72-8.74	6.15-6.22	не опр.	11.60	7.92	2.72	

[ ] Встречается редко



В то же время, указанная ассоциация имеет свои особенности:

1. Самородные металлы широко распространены в корах выветривания (вплоть до самых верхних горизонтов и независимо от эдукта), что свидетельствует об относительно молодом возрасте оруденения и об активности восстановительных фаз.

2. Практически у всех выявленных самородных металлов встречаются уплощенные и объемные формы (см. табл. 7), обычно они разобщены в пространстве (Zn) или явно преобладает какой-то один тип ( $Cu_2Zn$ , Fe). В целом, наиболее характерны уплощенные пластинчатые формы и сложные сростки пластинок, нередко формирующие довольно крупные объемные зерна. Установлено два морфологических типа самородного цинка: пластинчатые выделения близкие к «кумакским» и объемные, в том числе сфероидные зерна, отличающиеся большей микротвердостью и анизотропией в отраженном свете.

3. Самым распространенным самородным металлом Мраморской площади является цинкистая медь. Все установленные ее разновидности соответствуют обобщенной формуле  $Cu_2Zn$ . Преобладающим морфологическим типом являются пластинчатые сростки различных видов, отличающиеся взаиморасположением пластинок. Примечательно, что часто встречаемые зерна  $Cu_2Zn$  пакетовидной гребенчатой формы характерны и для многих других геологических объектов (Ковальский, Олейников, 1985; Главатских, 1990; Середин, 2002, 2004 и др.).

По значениям микротвердости (Н, кгс/мм<sup>2</sup>; прибор ПМТ-3, нагрузка 20 г) исследованная цинкистая медь условно разделена на три группы: с низкой (105-140), средней (150-190) и высокой (> 200) Н. Минимальные значения этого параметра характерны для  $Cu_2Zn$  ранней генерации. Микротвердость цинкистой меди Кумакского месторождения соответствует первой группе с низкой Н.

На Мраморской площади установлена разновидность цинкистой меди с магнитными - слабо магнитными свойствами, которая при разделении проб попадала в I и II электромагнитные фракции. По внешнему облику она практически не отличается от немагнитных разновидностей. Микротвердость ее в среднем выше, чем у немагнитной  $Cu_2Zn$  (185-239 кгс/мм<sup>2</sup>), характерна сильная анизотропия этого параметра. В отраженном свете тоже наблюдается аномальная анизотропия с цветным эффектом от голубоватого до желтовато-коричневого. Природа магнитных свойств пока не ясна: каких-либо микровключений в полированных зернах этой разновидности  $Cu_2Zn$  не установлено, не наблюдается также и существенных отличий в микроэлементном составе.

По содержанию Си и Zn большая часть цинкистой меди Мраморской площади отвечает параметрам, установленным для гидротермальных золоторудных месторождений (Новгородова, 1983, 1994). Исключение составляют зерна ранней генерации с низкими содержаниями цинка (12.8-25.4% вес). Такие составы указываются, например, для Аи-рудных метасоматитов Закавказья (Новгородова, 1994), пелагических осадков активной зоны Центральной Атлантики (Dekov, 1999) и для девонских вулканогенно-осадочных отложений западного склона Среднего Урала с признаками флюидно-гермального воздействия (Лазур, 1988). По видимому, последнее и является объединяющим фактором для столь разных объектов. По составу и количеству микропримесей цинкистая медь Мраморской зоны заметно отличается от аналогичных минеральных видов из других

объектов. Прежде всего это касается значимых содержаний благородных металлов (рис. 7): третья часть проанализированных зерен  $\text{Cu}_2\text{Zn}$  содержит золото от 1.4 до 5.6% вес. и серебро (до 0.81% вес), кроме того в одном зерне из центральной части рудопроявления Водораздельное вместе с золотом присутствует платина (1.72% вес).



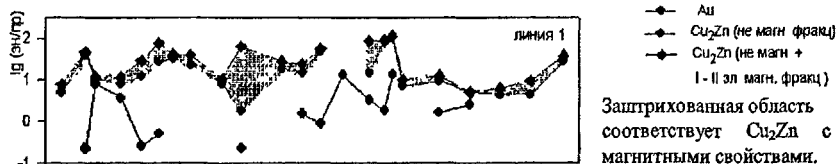
**Рис. 7. Цинкистая медь с высокими содержаниями золота, платины и серебра, рудопр. Водораздельное (% вес) А - Au 5.6, Ag 0.54; Б - Au 3.13, Ag 0.81; В - Au 2.12, Pt 1.72.**

Примесь Pt установлена в цинкистой меди впервые, высокие содержания Au также не имеют пока земных аналогов. Аномально высокие содержания золота отмечались только в лунных образцах (Богатиков и др., 2002). Обычной примесью в цинкистой меди является Fe что характерно и для южноуральских месторождений. В зернах  $\text{Cu}_2\text{Zn}$  на периферии рудной зоны (рудопроявление Водораздельное) наблюдается устойчивая примесь мышьяка (0.43-1.61% вес.) и присутствие хрома, а в одном из зерен определена ртуть (1.71% вес.) Все эти элементы ранее в цинкистой меди не устанавливались.

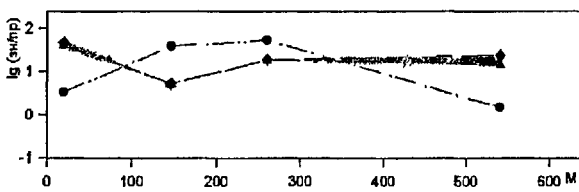
В целом, по ряду признаков выделяются две генерации цинкистой меди. Самородная латунь ранней (I-ой) генерации встречается реже, для нее характерны более крупные зерна обычно с признаками частичного растворения, пленками и налетами вторичных продуктов. Она отличается минимальной (для Мраморской площади) микротвердостью, низким содержанием цинка и практически полным отсутствием микропримесей. В отраженном свете зерна  $\text{Cu}_2\text{Zn}$  I-ой генерации имеют более яркий цвет и всегда изотропны. Для них характерно развитие самородной меди и куприта, включения нерудных минералов и теллуридов (?) по периферии зерен. В составе цинкистой меди поздней (II-ой) генерации выделяется две разновидности, отличающиеся по особенностям внутреннего строения и оптическим свойствам. *Первая разновидность* (в ее состав входит и  $\text{Cu}_2\text{Zn}$  с магнитными свойствами) умеренно яркая, желто-кремовая в отраженном свете, для нее типичны пакетовидные структуры, она изотропна или аномально анизотропна. По периферии зерен часто наблюдается неровное обрастание латунью *второй разновидности*, а также микровключения нерудных и рудных (теллуриды?) минералов размером ~ 1-3 мкм. Изредка наблюдается замещение самородной медью в виде каемок. *Вторая разновидность* более тусклая в отраженном свете, часто насыщена нерудными и каплевидными рудными (теллуриды?) микровключениями, всегда изотропна.

4. Цинкистая медь часто образует выдержанные шлиховые ореолы в корках выветривания, которые сопоставимы с литогеохимическими аномалиями и шлиховыми ореолами золота. Отражением электрохимического родства этих металлов и их связи в

едином процессе (П этап рудобразования, табл. 6) являются установленные закономерности распространения самородных Au и  $Cu_2Zn$  (рис. 8) в южной части рудопроявления и на продолжении рудоносной зоны. Отчетливо видны противоположные тенденции распределения металлов. В периферийных частях наблюдается довольно резкое увеличение содержания соединений цинкистой меди одновременно со снижением (иногда до нуля) содержания золотая. Цинкистая медь с магнитными свойствами характерна для крайней периферии рудной зоны и отсутствует в ее центральной части. Аналогичные закономерности наблюдались и в разрезе (по скважинам колонкового бурения). Все это свидетельствует об определенной зональности, отражающей условия П золоторудного этапа.



—●— Au  
 - - -●- -  $Cu_2Zn$  (не магн. фракц.)  
 - · - ·  $Cu_2Zn$  (не магн. +  
 I - II эл. магн. фракц.)  
 Заштрихованная область  
 соответствует  $Cu_2Zn$  с  
 магнитными свойствами.



**Рис. 8.** Распределение средних содержаний Au и  $Cu_2Zn$  на северной периферии (А – широтный профиль) и в центральной продольной части (Б) рудопр. Водораздельное

5. Самородные металлы системы Sb-Sn-Pb представлены как практически чистыми свинцом и оловом (редко) так и сложными соединениями с характерными эвтектическими структурами, где отдельные фазы соответствуют оловянистому свинцу, свинцовистому олову или почти чистым Sn и Pb, всегда со значительной примесью сурьмы (до > 10% вес). Для самородного железа пластинчатых форм обычны тесные срастания со слоистыми силикатами, что наблюдалось и на Кумакском месторождении. Максимальные скопления такого железа установлены в центральной части секущей кварцевожильной зоны, насыщенной видимым золотом. Самородный Al, в основном, подобен описанному по другим объектам. Примечательно, что находки его в коренных породах связаны с наждаками, где минеральные ассоциации второго этапа оруденения наложены на интенсивно лимонитизированные образования «зоны сульфидных наждаков».

6. Установлено, что почти все самородные металлы Мраморской площади (за исключением цинка) отличаются от аналогичных образований Кумакского рудного поля большими значениями рентгеновской плотности и повышенной микротвердостью.

Морфологические особенности большинства самородных металлов указывают на их кристаллизацию в относительно свободном пространстве. Важное значение имеет присутствие сферических форм, которые характерны для месторождений с многоэтапным режимом формирования руд, особенно при наложении поздней близповерхностной

минерализации (Гамянин, Жданов, 2002). Образование их может быть связано с кавитационными эффектами, вызванными локальными температурными скачками и «взрывной» разгрузкой перегретого флюида (Новгородова и др., 2003). Об этом свидетельствует, в частности, пористая поверхность цинковых и некоторых других сферидов. В подобных условиях могла быть реализована как «хлоридная», так и «элементоорганическая» модели переноса металлов (Буслаева, Новгородова, 1989). Косвенно об этом свидетельствуют постоянная ассоциация самородных металлов с УВ и примесь С1 (0.23 – 1.62% вес.) в некоторых зернах цинкистой меди, меди и самородного железа. Сохранению легкоокисляемых самородных металлов в приповерхностных условиях может способствовать слабо преобразованное ОВ, присутствие которого даже в небольших количествах поддерживает восстановительный потенциал среды (Gmelin's..., Zink, 1956)

### **Заключение**

Мраморская зона смятия представляет собой крупную долгоживущую структуру, которая характеризуется сопряженностью полихронного магматизма, метаморфизма и рудно-метасоматических процессов. Она принадлежит одному из наиболее напряженных геотектонических блоков Урала на сочленении Тагильской и Магнитогорской мегазон, активность которого сохраняется и на современном этапе. Ее отличительной чертой является существенно восстановительный режим в течение длительного периода геологического развития. Это определило особенности формирования золотого оруденения и сопутствующих ему проявлений метасоматоза. В пределах Мраморской зоны выделяется два типа продуктивного эндогенного золотого оруденения, которые соответствуют различным этапам рудообразования. Первый тип, характерный для Урала, связан с проявлениями тоналит-гранодиоритового магматизма и сопровождается метасоматитами березит-лиственитовой формации. Золотое оруденение второго типа развито во всех породных комплексах зоны и представлено тонкодисперсным золотом, ассоциирующим с теллуридами, органическим веществом, разнообразными самородными металлами и их соединениями. Формирование этого нетрадиционного золотого оруденения связано с глубинными восстановительными флюидными импульсами на этапе постколлизийного растяжения и эпиплатформенной активизации зоны. Пространственное совмещение двух рудных этапов привело к частичному перераспределению и концентрации металла.

Установленная на Мраморской площади ассоциация самородных металлов, интерметаллидов и природных сплавов по набору минеральных видов и основным характеристикам наиболее близка аналогичной минерализации Кумакского рудного района. Это свидетельствует об определенных общих закономерностях развития региональных зон смятия (шовных зон) в пределах Уральской структуры. В то же время, выявленная ассоциация имеет свои особенности, в частности, здесь выделено несколько разновидностей цинкистой меди и установлена их генетическая связь с самородным золотом

Проявления углеродистого метасоматоза характерны для многих придвиговых зон смятия. Отличительными чертами этого процесса на изученной территории являются: несоответствие степени преобразования РОВ уровню метаморфизма вмещающих толщ, сонахождение в породах ОВ различных типов, отсутствие его четкой приуроченности к

конкретным литологическим и/или стратиграфическим разностям пород, проявления метасоматической зональности и прямое замещение минералов углеродистым веществом, интенсивное обогащение углеродистым веществом зон тектонических нарушений.

### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. *Азовскова О.Б., Александров В.В., Кузнецов В.Н., Зинькова Е.Л.* Связь высокоглиноземистых метасоматитов с умеренно-щелочными жильными гранитоидами и особенности их рудной минерализации (Западное обрамление Сысертской структуры, Средний Урал). // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований (Матер. Всеросс. совещ.) - Новосибирск, 2003. - С. 12-13.

2. *Азовскова О.Б., Баженова Л.Н., Корякова О.В., Коцеева И.Я., Сомова Л.М., Янченко М.Ю.* Изучение структуры и состава органического вещества в золотоносных комплексах Мраморской зоны смятия (Средний Урал). // VН конфер. «Аналитика Сибири и Дальнего Востока». (Тезисы докл.). Т.1 - Новосибирск, 2004. - С. 173.

3. *Азовскова О.Б., Малюгин А.А., Сустанов С.Т.* Самородные металлы и интерметаллиды Мраморской зоны, их генезис и возможная прогнозная оценка. // Вестник Ур. отд. ВМО № 1. - Екатеринбург, УПТА, 2002. - С.7-12.

4. *Азовскова О.Б., Малюгин А.Л., Кузнецов В.Н., Александров В.В.* Новый тип гипогенно-гипергенного золотого оруденения на Среднем Урале. Особенности минералогии. // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов (Матер. Всеросс. симпозиума). - Москва, 2002. - С. 100-102.

5. *Азовскова О.Б., Некрасова А.Л., Сустанов С.Г., Магазина И.О., Гореликова Н.В.* Типоморфизм и особенности вещественного состава самородных металлов из кор выветривания Мраморской площади (Средний Урал). // Вестник Ур. отд. ВМО № 2. - Екатеринбург, УПТА, 2003. - С.17-24.

6. *Азовскова О.Б., Некрасова А.А., Сустанов С.Г., Гореликова Н.В., Магазина Л.О.* Самородные металлы в корях выветривания Мраморской площади (Средний Урал). // Природные и техногенные россыпи (Матер, междунар. конференции). - Симферополь, 2004г. - С. 272-277.

7. *Азовскова О.Б., Янченко М.Ю.* Необходимость комплексного аналитического исследования при изучении и типизации рудных систем. // Международн. Форум: Аналитика и Аналитики (Тезисы докладов). - Воронеж, 2003. - С.515.

8. *Гореликова Н.В., Патык-Кара Н.Г., Наумов В.А., Азовскова О.Б., Магазина Л.О.* Признаки ремобилизации самородных металлов в областях молодой активизации в складчатых поясах. // Матер, междунар. конференции «Metallogeny of the Pasific northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins». - Владивосток: Дальнаука, 2004. - С. 686-689.

9. *Зинькова Е.Л., Азовскова О.Б.* Минералогические и петрохимические особенности гранитоидов Осиновского массива, расположенных среди высокометаморфизованных пород Сысертского комплекса (Средний Урал). // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований (Матер. Всеросс. совещ.). - Новосибирск, 2003. - С.146-147.

10. Зинькова ЕЛ., Азовскова О.Б., Ферштатер Г.Б. Высокобарические плагиогранитогаейсы северо-западной части Сысертского блока (Средний Урал). // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей (Матер, межд. конф.). - Екатеринбург: ИГР УрО РАН, 2004. - С.335-336.

11. Малюгин АЛ., Михайлов А П., Азовскова О.Б. Происхождение золота полигенных и разновозрастных россыпей Мраморско - Кособродской эрозионно-структурной депрессии// Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейской территории России и Урала (Матер, регион, конф.), кн.П. - Екатеринбург, 2000. - С.117-118.

12. Малюгин АЛ., Азовскова О.Б., Кузнецов ВЛ., Малюгин ВЛ. Использование морфометрических особенностей золота при поисках коренных месторождений. // Известия УПТА, Серия: Геология и геофизика. - Екатеринбург, 2001. - С.94-98.

13. Патык-Кара Н.Г., Гореликова Н.В., Наумов ВЛ. Азовскова О.Б., Магазина И.О. Природные амальгамы, интерметаллиды и самородные металлы в золотоносных россыпях и корах выветривания. // Природные и техногенные россыпи. (Материалы П междунар. научно-пр. конф.). - Симферополь, 2004г. - С. 207-212.

14. Раппопорт М.С., Азовскова О.Б., Кузнецов В.Н. Геологическое строение, метаморфизм и золотое оруденение Мраморской зоны смятия (Средний Урал). /Проблемы геологии. Рудообразование в геологической истории Урала (Ежегодник-2001 под ред. К.К Золоева). - Екатеринбург, Минприроды РФ ДПР по УрР, 2001. - С.55-72.

Подписано в печать 15.02.2005 г.  
Усл. печ. л. - 1.1. Бумага «Гознак»

Формат 60x84 1/16  
Тираж 100 экз. Заказ №44

Институт геологии и геохимии УрО РАН  
620151, г. Екатеринбург, пер. Почтовый, 7  
Отпечатано в типографии ООО «ИРА УТК»  
620219, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42



25.00



1286

27 1115 7035