



УДК 553.411 (574.4)

**Б.А. Дьячков, З.И. Черненко, С.Ф. Петров, Н.П. Майорова, Н.А. Зимановская,
О.Н. Кузьмина**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА
НА РУДОПРОЯВЛЕНИИ БАЙБУРА (ЗАПАДНАЯ КАЛБА)**

Авторами в процессе минералогического исследования мономинеральных фракций самородного золота, извлеченных из двух проб-протолочек, выявлены локальные типоморфные характеристики золота – размеры, уплощенность, особенности скульптуры и срастаний с другими минералами. Для идентификации золота применялись морфологические классификации, разработанные сотрудниками ЦНИГРИ - Л.А. Николаевой, С.В. Яблоковой и др.

Основная часть золотин фотографирована с помощью цифровой микрофотокамеры Motic 352 на бинокулярном стереомикроскопе ЛОМО МБС-10 и, частично, с помощью фотокамеры Olimpus M780. Каждая иллюстрация снабжена размерной меткой, откалиброванной по объект-микрометру.

Результаты изучения золотоносных бурых железняков (проба № П-20)

В составе монофракции золота установлен 61 знак, каждый из которых был осмотрен и количественно охарактеризован. По пробе получены следующие результаты. Минимальная длина золотины в пробе составляет – 0,04 мм, максимальная – 0,359 мм. Среднее значение – 0,161 мм. Минимальная ширина золотины – 0,03 мм, максимальная – 0,262 мм. Среднее значение – 0,100 мм. Минимальная толщина золотины – 0,012 мм, максимальная – 0,228 мм. Среднее значение – 0,056 мм. Расчет размеров зерен с использованием среднего геометрического показывает изменение значений от 0,027 до 0,267 мм. Среднее геометрическое всех измеренных параметров по выборке составляет - 0,085 мм. Крупность золота, оцененная по шкале ЦНИГРИ с применением средних геометрических размеров, показана на рис. 1. Как видно из диаграммы, основная масса золота относится к весьма мелкому и тонкому (суммарно – 93,5 %).

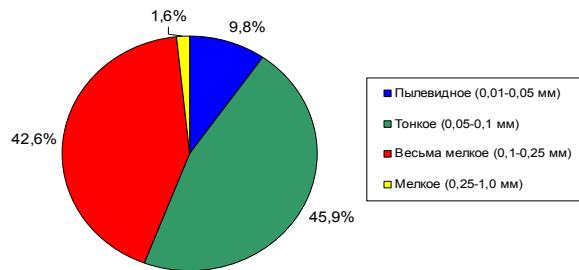


Рисунок 1 – Распределение самородного золота по крупности.

Участок Байбура, проба П-20 (N=61)

Расчетный стандартный коэффициент уплощенности зерен варьируется от 1,255 до 5,929. Среднее значение – 2,76, что говорит о ведущей роли пластинчатых золотин (рис. 2).

Расчетный коэффициент уплощенности, недавно предложенный П.Н. Самородским (2010) и облегчающий оценку потенциальной флотируемости золота, варьируется от 0,203 до 0,831. Среднее значение – 0,571. Из расчетов следует, что 75,4 % исследованных золотин обладают высокой флотационной способностью (коэффициент уплощенности более 0,5). Только 24,6 % золота может извлекаться гравитационными методами. Обе разновидности хорошо выявляются графически (рис. 2, 3).



Рисунок 2 - Распределение самородного золота по стандартному коэффициенту уплощенности.
Участок Байбура, проба П-20 (N=61)

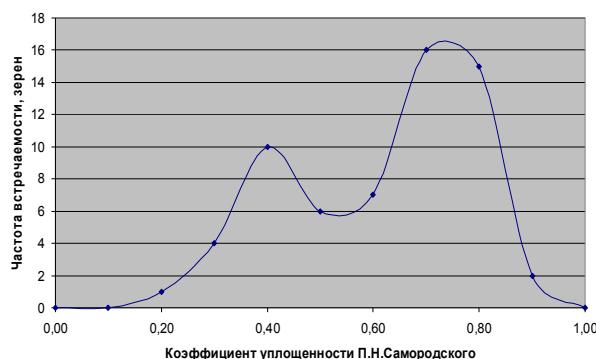


Рисунок 3 - Распределение самородного золота по коэффициенту уплощенности П.Н. Самородского. Участок Байбура, проба П-20 (N=61)

Несмотря на основной пластинчатый мотив золотин, в большинстве случаев они образованы смешанными морфологическими разновидностями – интерстициально-каркасными, каркасно-листовидными, интерстициально-пластинчатыми, комковидно-интерстициальными и уплощенно-комковидными зернами, гемиидиоморфными кристаллами и их сростками, рис. 4 (4.1-4.4). Соотношение разновидностей представлено на рис. 5.

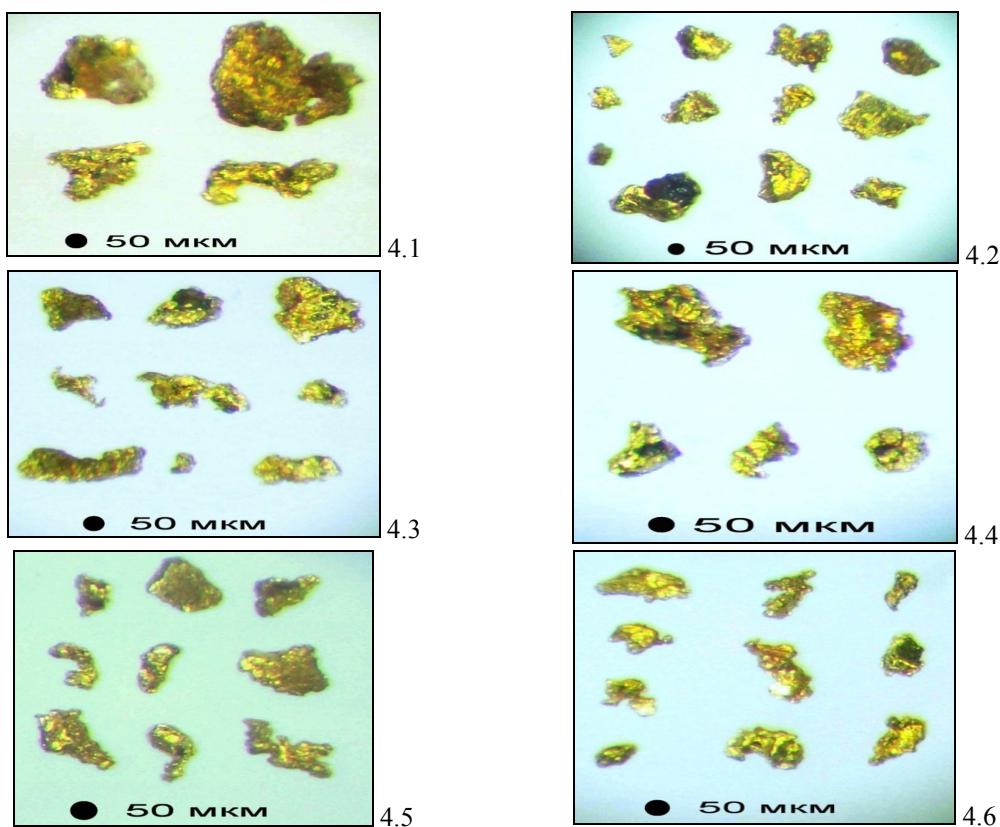


Рисунок 4 - Морфология самородного золота участка Байбура (4.1-4.4. – пробы П-20; 4.5-4.6 – пробы П-21). Диаметр черной метки соответствует числовому значению, указанному справа

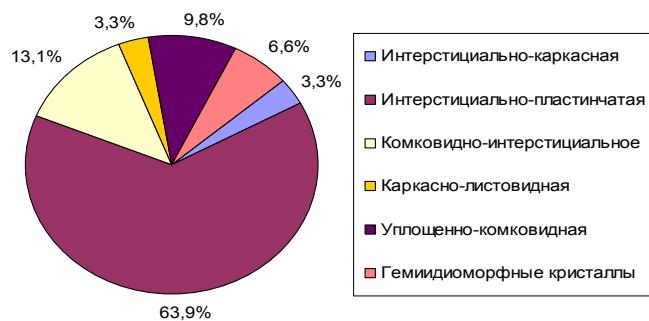


Рисунок 5 - Соотношение морфологических разновидностей самородного золота.
Участок Байбура, пробы П-20 (N=61)

При более детальном рассмотрении монофракции установлено, что у 26,2 % зерен наблюдаются в той или иной степени развитые гранные формы, для 90,2 % зерен характерны отпечатки вмещающей матрицы. Сростки с жильным материалом типичны для 21,3 % золотин, а для 60,7 % установлены пленки и включения гидрооксидов железа. В 13,1 % случаев на золотинах выявлены гидрооксидные «рубашки». Отмечены 2 зерна, в

которых доля жильного материала (кварц) составляет 40-50 %. Основные морфологические типы золота представлены на рис. 6, 7.

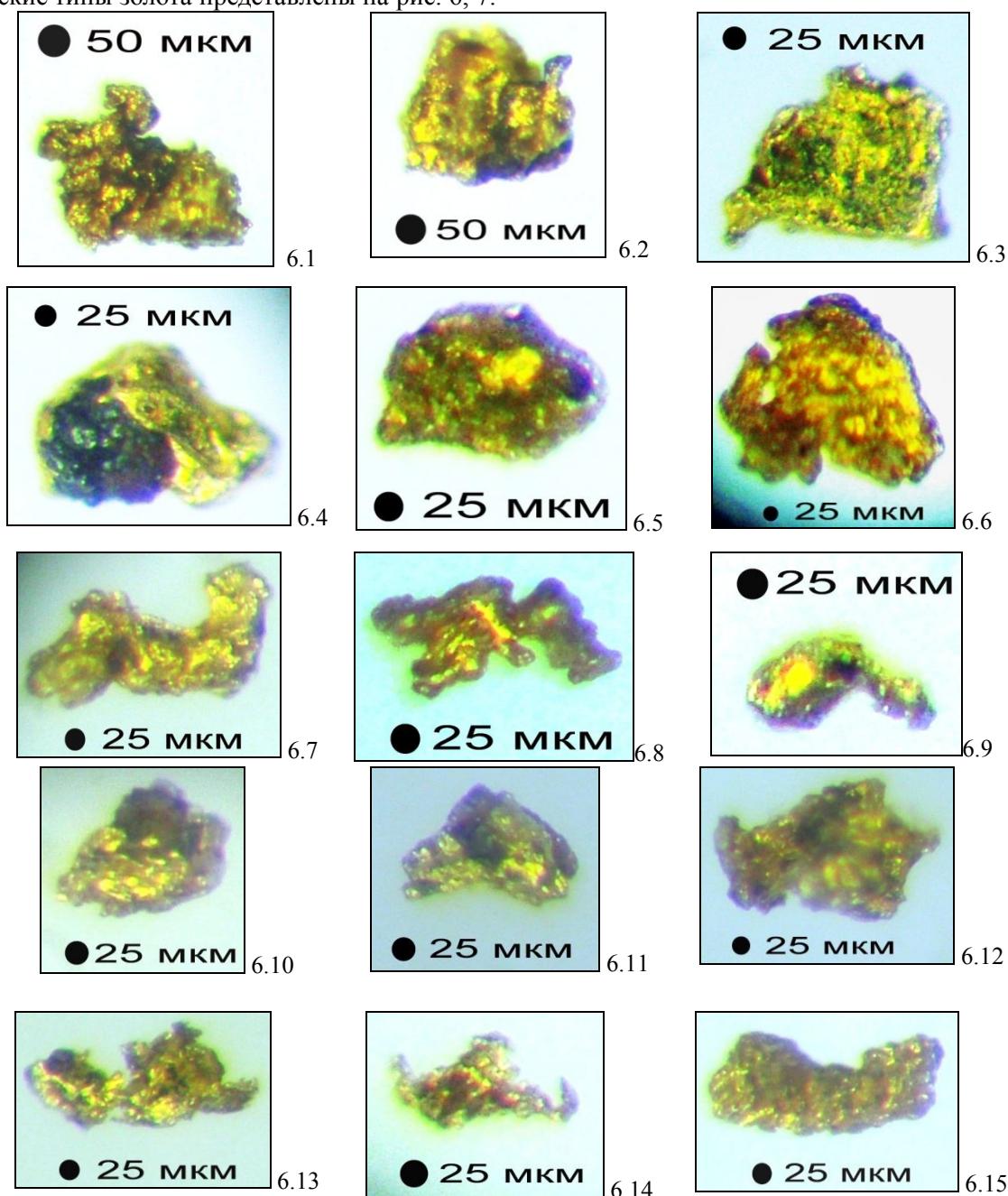


Рисунок 6 - Морфологические разновидности самородного золота участка Байбура: 6.1-6.9. – проба П-20; 6.10-6.15 – проба П-21. Диаметр черной метки соответствует числовому значению, указанному справа. Комковидно-интерстициальное золото – 6.1, 6.2, 6.12. Интерстициально-пластинчатое золото – 6.3, 6.6, 6.15. Интерстициально-каркасное золото – 6.8, 6.13, 6.14. Уплотненно-комковидное золото – 6.4, 6.5, 6.10, 6.11. Гемидиоморфные кристаллы – 6.7, 6.9. Золотины, покрытые окристой гидрооксидной «рубашкой» - 6.5, 6.6, 6.15. Золотины с включениями чер-

ных гидрооксидов железа – 6.1, 6.2, 6.4, 6.5, 6.10, 6.11, 6.12

При изучении золота предпринята попытка предварительной экспертизы его классификации по пробе (только для поверхности) с учетом цветовой гаммы и загрязнения посторонними включениями.

Результаты исследования показывают, что с учетом возможных цветовых переходов в пределах одного зерна в монофракции присутствуют четыре разновидности золота – весьма высокопробное, высокопробное, средней пробы и относительно низкопробное. Соотношение их представлено на рис. 7.

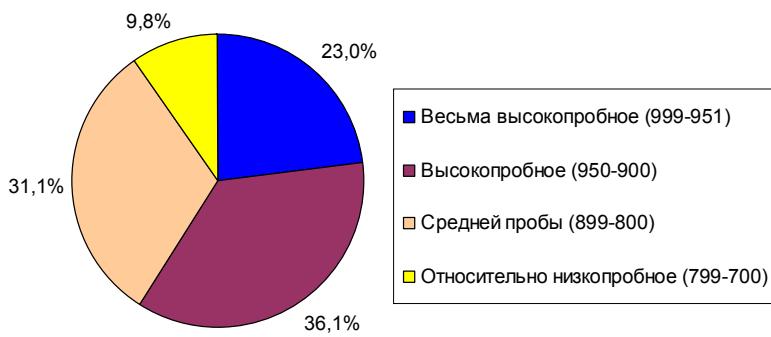


Рисунок 7 - Распределение самородного золота по пробе (поверхность зерен).
Участок Байбура, проба П-20 (N=61)

Как видно из диаграммы, поверхности 59,1 % золотин являются весьма высокопробными и высокопробными, что говорит о достаточно долгом нахождении зерен в пределах зоны гипергенеза. Основная масса золота изначально имела среднюю пробу. Предполагается нахождение серебристых разновидностей, вплоть до электрума, в ядерных частях золотин.

Результаты изучения золотоносных бурых железняков с метасоматическим кварцем (проба № П-21)

В составе монофракции золота установлено 16 знаков, каждый из которых был осмотрен и количественно охарактеризован. По пробе получены следующие результаты.

Минимальная длина золотины в пробе составляет 0,069 мм, максимальная – 0,311 мм. Среднее значение – 0,190 мм. Минимальная ширина золотины – 0,041 мм, максимальная – 0,186 мм. Среднее значение – 0,114 мм. Минимальная толщина золотины – 0,029 мм, максимальная – 0,124 мм. Среднее значение – 0,055 мм. Расчет размеров зерен с использованием среднего геометрического показывает вариации значений – от 0,043 до 0,190 мм. Среднее геометрическое всех измеренных параметров по выборке составляет 0,103 мм. Крупность золота, оцененная по шкале ЦНИГРИ с применением средних геометрических размеров, основная масса золота относится к весьма мелкому и тонкому (суммарно – 93,8 %).

Основные выводы:

В двух пробах по участку Байбура установлено 77 знаков золота различной морфологии и крупности.

По крупности основная масса изученного самородного золота весьма мелкая и тонкая, средний геометрический размер которых составляет 0,109 мм.

По уплощенности золото лепешковидное и пластинчатое (трещинное). Установлены интерстициально-каркасные, каркасно-листовидные, интерстициально-пластинчатые, комковидно-интерстициальные, уплощенно-комковидные зерна, гемидиоморфные кристаллы и их сростки. Доля последних не превышает 6,5 отн. %.

Срастаний золота с первично гипогенными сульфидами не выявлено. Основные его спутники в пробах – кварц, ярозит(?)–лимонитовые охры, смоляно-черные псевдоморфозы гидрооксидов железа по пириту.

Оценка пробы металла показывает широкое развитие на поверхности зерен весьма высокопробных и высокопробных пленок (61,1 отн. %), возможно это результат длительного нахождения золота в зоне гипергенеза. Предполагается, что первично гипогенное золото имело среднюю пробу.

Определение свойств золота, для целей обогащения, проведенное с использованием коэффициента уплощенности П.Н. Самородского показывает, что 66,2 % исследованных золотин обладают высокой флотационной способностью (коэффициент уплощенности более 0,5), а 33,8 % золота можно извлекать обычным гравитационным методом.

По выявленным в настоящее время признакам, генезис исследованного самородного золота определяется как плутоногенный гидротермальный. По установленной минеральной ассоциации данное золото относится к убого- или малосульфидной золото-кварцевой формации средних глубин. Морфологический тип рудных тел – минерализованные зоны с тонким, возможно, сетчатым золото-пирит-кварцевым прожилкованием.

Для обоснованной оценки объекта необходимо проведение дополнительных минералогических исследований как по имеющимся пробам, так и по вновь отобранным. Требуется сделать минерографический анализ, структурное травление золота, определение пробы и микропримесей с использованием РМА или РЭМ.

Список литературы

1. Дьячков Б.А. Геологические условия формирования и размещение золоторудных месторождений апокарбонатного типа Восточного Казахстана / Б.А. Дьячков, З.И. Черненко, Н.П. Майорова, М.А. Мизерная, О.Н. Кузьмина. - ВКГТУ. - Усть-Каменогорск, 2011. - 136 с.
2. Дьячков Б.А. Золотоносные структуры Восточного Казахстана / Б.А. Дьячков, З.И. Черненко, Н.П. Майорова // Матер. II Междунар. горно-геологического форума «Золото северного обрамления ПАЦИФИКА», посвященного 110-летию со дня рождения Ю.А. Вилибина, 3-5 сент. - Магадан, 2011. - С. 94-95.

Получено 10.04.2012

УДК 553.411 (574.4)

А.И. Мизерный, М.С. Рафаилович
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ЗАПАДНО-КАЛБИНСКАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ЗОНА: ПОТЕНЦИАЛ ЗОЛОТА, ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Западно-Калбинская металлогеническая зона (ЗКМЗ) – важнейший элемент архитектуры Большого Алтая, лидер по потенциалу золота среди складчатых поясов Казахстана. ЗКМЗ сформировалась в позднем палеозое в виде полосы северо-западного простирания

между Казахстанским и Алтае-Монгольским палеоконтинентами. На северо-востоке ЗКМЗ граничит с Калба-Нарымским редкометальным поясом, на юго-западе – с Жарма-Саурской металлогенической зоной. Линией раздела между ЗКМЗ и Жарма-Сауром служит Чарско-Горностаевская офиолитовая сутура, погружающаяся под золотоносную Калбу.

ЗКМЗ – золотоносная структура многоступенчатого развития с оригинальной комбинациейrudоподготовительных и рудоформирующих факторов. Знаменательные рубежи ее металлогенической истории: 1) C_{1-2} и C_2 – прибрежно-морская и дельтовая седиментация, образование обширных полей донорской углеродисто-терригенной формации (аркалыкская, буконьская свиты); 2) C_{2-3} – метаморфизм, покровно-складчатые преобразования, локализация зон смятия и экранов, реовинация первичного золота; 3) C_3 – флюидно-магматогенная активность (кунушский комплекс), гидротермальный метасоматоз и концентрированное оруденение прожилково-вкрашенного, жильного и штокверкового типов как результат коллизионно-аккреционных процессов; 4) K_2 и Q – внутриконтинентальная пенепленизация региона, формирование продуктивных кор выветривания и россыпей золота.

На территории ЗКМЗ известны золоторудные объекты различной крупности, многие из которых недоизучены. Геолого-промышленные типы золотого оруденения по приоритетности подразделяются на три уровня.

Первый уровень мировой значимости представлен бакырчикским золото-сульфидным прожилково-вкрашенным типом руд. Второй уровень слагают объекты суздальского комбинированного типа с вкрашенными рудами эндогенного класса и ярко выраженной золотоносной корой выветривания. Третий уровень приоритетности составляют золото-сульфидно-кварцевые жильные, жильно-прожилковые и штокверковые месторождения Акжал, Кулуджун, Сенташ, Эспе, Баладжал, Джумба и др. Соотношения ресурсов по уровням составляют (8-10):(2-3):1.

Бакырчикский золото-сульфидный прожилково-вкрашенный тип. Эталоном этого типа является гигантское месторождение Бакырчик, для которого характерны трансформированность источников питания, унаследованное концентрирование золота, контрастная структурная, метасоматическая и минералого-геохимическая зональность. Бакырчик и сопровождающие его аналоги (Большевик, Загадка, Промежуточное, Глубокий Лог и др.) локализованы в Кызыловской зоне смятия широтного направления.

Руды Бакырчика залегают в углеродисто-терригенных породах одноименной свиты (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты), содержащих пирит-пирротиновую, карбонатно-железистую (сидерит, анкерит) и фосфатную минерализацию. Характерны тектоно-гравитационные микститы – грубокластические, несортированные и нестратифицированные комплексы пород, обломки которых (песчаники, алевролиты, сланцы) скементированы углисто-глинистым материалом, игравшим роль коллектора и геохимического барьера в формировании и распределении золотой минерализации [9].

Интрузивные образования, с которыми парагенетически сопряжены руды бакырчикского типа, представлены малыми штокообразными телами и дайками пестрого состава. Отдельного внимания заслуживают золото-платиноносные «углеродистые флюидизаты» взрывного происхождения – продукты эволюции глубинных базит-гипербазитовых источников [5].

В суммарном балансе золота ведущую роль играет прожилково-вкрашенная золото-

пирит-арсенопиритовая ассоциация (пирит 1,5-22,0 %, арсенопирит 3,0-15,0 %). Пириты и арсенопириты содержат Au (пирит - десятки, редко сотни г/т; арсенопирит - сотни г/т), Sb до 0,0 n - 0, n %, Pb до 0, n %, Cu до 1,0-1,5 %, Ag первые г/т, Sn, Mo, W, Bi тысячные, сотые доли % и др. Сульфиды верхних горизонтов обогащены Pb, Sb, Ag, средних – Cu, Zn, нижних – Cu, Mo, Sn, Bi, Co, Ni. Содержания As в пирите сверху вниз снижаются более чем в 5 раз (1,0-1,5 % на верхних горизонтах, 7-8 % на нижних). Самородное золото имеет пленочную, капельную, шаровую, амебообразную, комковую, дендритовую, прожилковую формы. Превалируют микроскопические и субмикроскопические (менее 10 мкм) пыле- и амебовидные выделения золота в пирите и арсенопирите. Пробность тонкого золота в сульфидах верхнего горизонта равна 760, свободного самородного (средний и глубокий горизонты) – 960.

Руды Бакырчика представляют интерес и как источник металлов платиновой группы. По А.Ф. Коробейникову [2] в сульфидизированных алевропесчаниках и прожилково-вкрашенных пирит-арсенопиритовых рудах содержание Pt, Os и Ir достигает первых г/т (инверсионный вольтамперометрический анализ). Необходимы дополнительные исследования по оценке воспроизводимости содержаний платиноидов, углубленное изучение форм их нахождения и извлечения [11].

Значение Бакырчика как прототипа руд в углеродисто-терригенных толщах, модели геологического гиганта с длительной историей развития и реального источника золота трудно переоценить. Существующее долгие годы пороговое значение золота 3,0 г/т представляется завышенным – особенно в свете современных достижений в переработке бедных и убогих руд. Переход на бортовое содержание золота 1,0-1,5 г/т (как на Мурунтау, Сухом Логе, Кумторе и других крупнообъемных эталонах), переоценка на этой основе глубоких горизонтов и недостаточно изученных «окон» между разведенными месторождениями более чем вдвое увеличат запасы полезного компонента, усилият геолого-экономическую ценность объекта, позволят Кызыловскую зону перевести в единую гигантскую залежь протяженностью 4-5 км и более с вертикальным размахом оруденения до 2,5-3,0 км [9, 13]. Привлекательность руд бакырчикского типа резко возросла в результате комплексного подхода к изучению их состава (золото, шунгит, платиноиды) [3-6].

Сузdalский (карлинско-сузdalский, по [13] промтип с богатыми рудами эндогенного и экзогенного классов – вторая по значимости геолого-экономическая категория ЗКМЗ. Прообразы Карлин в штате Невада (США) и месторождение Сузdalское в Семипалатинском Прииртышье подобны по ряду ключевых позиций. *Сузdalское месторождение золота* находится в висячем боку Чарско-Горностаевской офиолитовой сутуры, в юго-восточной части Семейтауской вулканоструктуры, в зоне Сузdalского северо-восточного разлома. Как и зарубежный эталон Карлин, Сузdalское месторождение содержит руды эндогенного и экзогенного классов [3].

Площадь Сузdalского месторождения сложена углеродисто-терригенно-карbonатными породами аркалыкской свиты нижнего карбона (известняки, мергели, углистые алевролиты, песчаники, туфопесчаники), перекрытыми алевролитами серпуховского яруса и вулканитами семейтауского комплекса (Р-Т). Рудовмещающий горизонт, по М.М. Старовой, содержит углеродистое вещество (лейсты, стяжения, пигментация, прожилки), сингенетические глобулы пирита, марказита и пирротина, минерализованные органические остатки. Минеральный состав эндогенных рудных тел: пирит, пирротин, марказит, леллингит, глаукодот, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит, самородное Au, блеклая руда, киноварь, антимонит, шеелит, флюорит, барит, кварц, карбонат.

Науки о Земле

Количество сульфидов до 5-15 %.

Минеральные ассоциации: ранняя вкрапленная золото-арсенопирит-пирит-пирротин-марказитовая и поздняя штокверково-гнездово-вкрапленная золото-арсенопирит-блеклорудно-антимонит-полиметаллическая. Золото первичных руд – тонкие и мелкие зерна от 0,1-10 мкм до 0,1 мм, рассредоточенные в ранних сульфидах, на участках замещения пирита и пирротина арсенопиритом, в кварц-карбонат-серцицит-сульфидных жилках. Золото образует частые скопления на стыке крупных гнезд ранних сульфидов с поздними прожилками. Нередки ажурные выделения тонкокристаллического Au по арсенопириту. Преобладающие формы Au – пылевидные знаки, округло-изометричные зерна и кристаллы кубической, октаэдрической и пентагондодекаэдрической огранки. Цвет эндогенного Au ярко-желтый, с красноватым оттенком, пробность 930-950. В краевых частях золотин отмечаются каймы с содержанием Au - 68÷70 %, Ag - до 32,3 %, Hg - 0,2 %.

На Сузdalском месторождении развита линейно-площадная кора выветривания мел-палеогенового возраста мощностью 10-80 м. В ней выделяются три зоны: верхняя глинистая, средняя щебнисто-глинистая и нижняя щебнистая с подчиненной долей глинистых минералов [3].

Короврудные кулисообразные залежи с поверхности представлены железными шляпами и телами джаспероидов северо-восточного простирания протяженностью до 0,8-1,0 км и мощностью десятки метров. На глубине они сопряжены с первичным источником Au – телами сульфидизированных железисто-карбонатных метасоматитов. Содержание золота в коре выветривания от 0,1 до 60-80 г/т, редко более. В крупном рудном теле № 1 диапазон концентраций Au от 0,1 до 125 г/т. Наиболее часто встречающиеся значения 1,2÷10,5 г/т, среднее - 9,8 г/т. Рудные столбы Au 30-100 г/т приурочены к пересечениям трещинных зон северо-восточного и субширотного направлений. Содержания As от 0,33 до 1,38 %.

По всему разрезу коры выветривания отчетлива корреляция золота с SiO_2 и As. Во всех зонах устойчива геохимическая ассоциация Au-As-Sb-W.

Гипергенное Au Суздаля детально освещено в работах [1]. Выделяются три основные формы его нахождения: 1) самородная; 2) тонкодисперсная в продуктах окисления сульфидов и магнетита; 3) сорбированная глинистыми частицами пелитовых фракций. Доминирует золото пылевидное до 50 мкм, очень мелкое до 0,1 мм и мелкое до 1,0 мм. Основная масса Au в классе крупности –0,1 мм. Отличительная черта гипергенного Au – чрезвычайно высокая пробность (963-1000). Для золота характерны идиоморфные зерна, кристаллы, сростки кристаллов, друзовидные агрегаты, грозевидно-бутончатые и чешуйчатые выделения.

Сузdalское месторождение – пример унаследованности корой выветривания многих признаков первичных пород и руд. Преобладающая часть самородного Au – это достаточно глубоко проработанное золото остаточного типа. Преемственность типоморфных свойств благородного металла – диагностическая черта рассматриваемых объектов, наглядный поисковый признак.

Потенциал недр ЗКМЗ на карлинско-сузdalский тип месторождений оценивается очень высоко. В Сузdalско-Мукурском и Жанан-Майбулак-Жайминском районах Семипалатинского Прииртышья, содержащих более 100 неоцененных проявлений, точек минерализации, геохимических ореолов Au, As, Sb и других элементов, ожидаются новые открытия. Не исчерпан ресурс глубоких горизонтов и флангов разрабатываемых, частич-

но отработанных и законсервированных месторождений Сузdalское, Жанан, Жерек, Центральный Мукур, Миляны [8]. Аналоги данного типа прогнозируются в центральной части Западно-Калбинской металлогенической зоны – на участке Байбура в районе Сен-таш-Курчумского островодужного поднятия.

Золото-сульфидно-кварцевые жильные, жильно-прожилковые и штокверковые месторождения ЗКМЗ (третий уровень приоритетности) заслуживают коренной переоценки. Благоприятная конъюнктура золота, снижение бортового содержания, новые технологии обогащения повышают геолого-экономические показатели и ресурс этих месторождений, их коммерческую ценность. В качестве объекта дополнительного изучения рассмотрим законсервированное жильное месторождение Казан-Чункур, находящееся в Бакырчикском рудном районе в 20 км на юго-восток от месторождения Бакырчик.

Месторождение Казан-Чункур приурочено к системе пологих ($20\text{--}45^\circ$) и крутопадающих ($65\text{--}85^\circ$) разрывов, оперяющих зону Западно-Калбинского глубинного разлома. Площадь его сложена вулканогенно-осадочными породами нижнекаменноугольного возраста: массивными туфопесчаниками, косо- и линзовиднослоистыми туфогенными алевролитами и неяснослоистыми алевропелитами, смятыми в складки северо-западного простирания [7, 10]. В центральной части месторождения закартирована серия даек измененных плагиогранит-порфиров и диорит-гранодиоритов кунушского комплекса (Сз), расположенных по периферии ореола интенсивного термального метаморфизма вулканогенно-осадочных пород (250x250 м).

Область интенсивно ороговикованных вулканогенно-осадочных пород маркирует положение залегающего на глубине штока плагиогранитов, с которым связывается происхождение даек и продуктов гидротермальной деятельности. Эпицентр максимальной пробы эндогенного самородного золота в кварцевых жилах совпадает с проекцией кровли массива на дневную поверхность [10].

Золотое оруденение представлено кварцевыми, альбит-кварцевыми или карбонат-кварцевыми жилами. Простиранье жил запад-северо-западное, реже восток-северо-восточное. Количество сульфидов 5% (пирит более 90 отн. %, арсенопирит, халькопирит, галенит). В зоне окисления развиты ярозит, малахит, азурит, церуссит, ковеллин, гетит, лимонит.

Самородное золото слагает самостоятельные выделения среди нерудных минералов, а также ассоциирует с сульфидами. Доминирует весьма мелкое золото (62,5 %) при подчиненной роли тонкого (19,8 %) и мелкого (15,2 %).

В зоне окисления присутствуют четыре разновидности самородного золота - относительно низкопробное (среднее значение пробности 776) умеренно высокопробное (847), высокопробное (922) и весьма высокопробное (среднее 986). Две наиболее высокопробные разновидности интерпретируются как эпигенетические, формирующие каймы, пленки и бесформенные пятна в зернах эндогенного золота (рис. 1).

Эндогенное золото отлагалось в две стадии: золото-полиметаллическую и ртутисто-золотую. С первой стадией связано образование пирита, халькопирита, галенита, сфалерита и умеренно-высокопробного самородного золота (847). Минералы этой стадии развиты в жилах Параллельная, Магистральная, Банная, Безымянная. Геохимический спектр стадии – Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

Ртутисто-золотая стадия установлена на западном фланге месторождения в жиле Лазурная. В ее составе присутствуют пирит, относительно низкопробное золото (776), ртутистый электрум (Hg 5,9 %). Индикаторы стадии – Au, Ag, Hg.

На основании структурных, петрохимических и минералого-geoхимических данных

месторождение Казан-Чункур – слабоисследованный объект, заслуживающий дополнительной оценки на разные морфологические типы оруденения. Сульфидизированные, гидротермально измененные и окварцованные дайки плагиогранит-порфиров и диорит-гранодиоритов представляют интерес как нетрадиционный источник золота. Заслуживают внимания зоны пиритизации и кварц-сертицитовых изменений в вулканогенно-осадочных породах. С погребенным штоком гранитоидов и связанным с ним ореолом ороговикования могут быть сопряжены золото-кварцевые и золото-кварц-сульфидные штокверки мурунтауского и зармитанского типов. Все вышеотмеченное подтверждает тезис о необходимости ревизии золото-сульфидно-кварцевых объектов ЗКМЗ с расширением их потенциала и возобновлением на них геологоразведочных и добывчих работ.

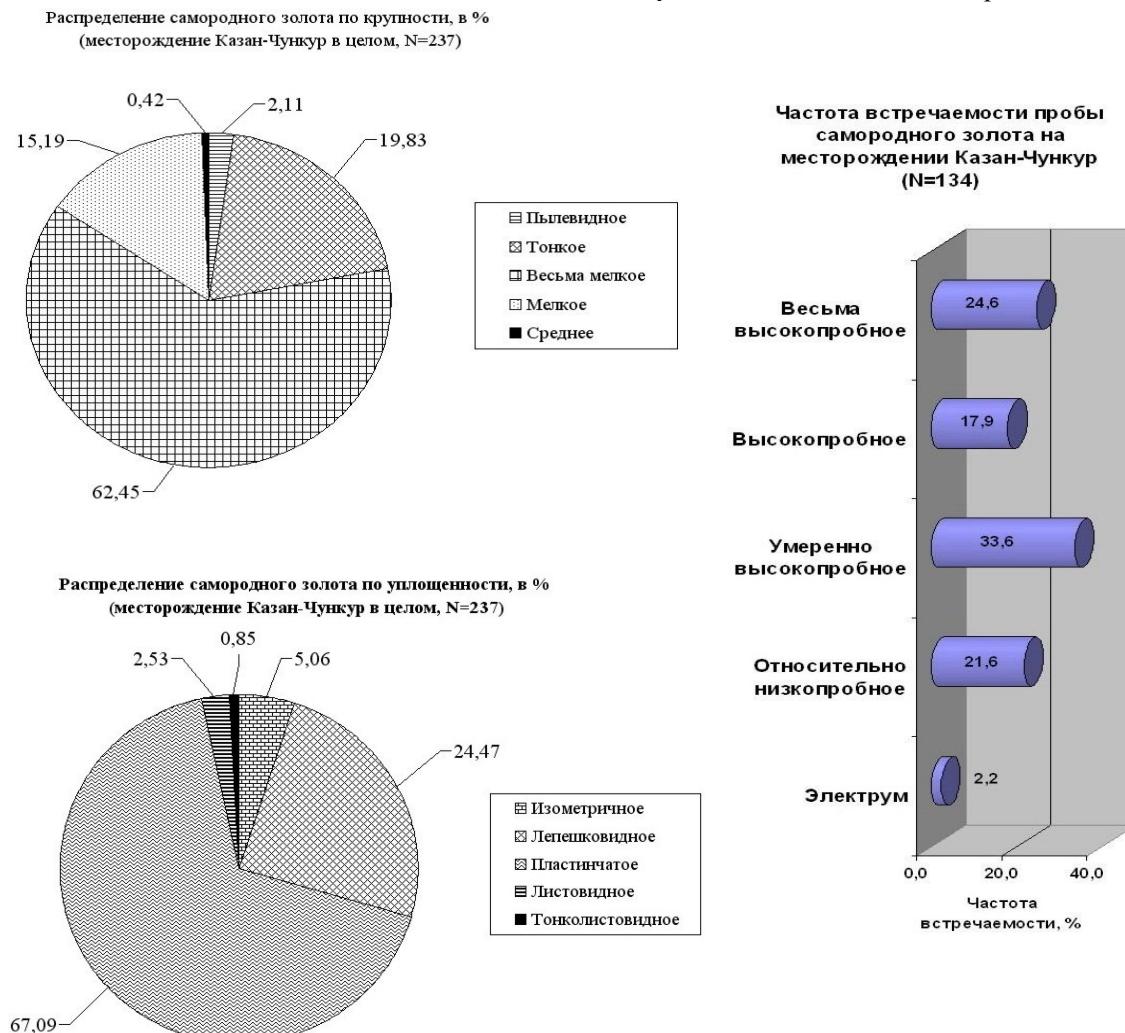


Рисунок 1 - Типоморфные особенности самородного золота Казан-Чункурского рудного узла

Список литературы

1. Калинин Ю.А. Золото коры выветривания Сузdalского месторождения (Казахстан) / Ю.А. Калинин, К.Р. Ковалев, Е.А. Наумов, М.В. Кириллов // Геология и геофизика. –

- т. 50. - № 3. - С. 241-257.
2. Малыгин А.А. Золотоносность Семейтауской вулкано-плутонической структуры Семипалатинского Прииртышья / А.А. Малыгин, Г.П. Нахтигаль, И.В. Бегаев // Геология и разведка недр Казахстана. - 1995. - № 2. - С. 20-24.
3. Марченко Л.Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. - Алматы, 2010. - 146 с.
4. Марченко Л.Г. Модель формирования месторождений благородных металлов с тонкодисперсными рудами в черных сланцах // Геология и охрана недр. - 2007. - № 1. - С. 33-41.
5. Мизерная М.А. Шунгиты Западной Калбы (особенности формирования, закономерности размещения, критерии прогнозной оценки): Автореф. дисс... канд. г.-м. наук. - Усть-Каменогорск, 2001. - 30 с.
6. Мизерный А.И. Минералогическое моделирование как современный метод прогноза и оценки золоторудных месторождений / А.И. Мизерный, С.Ф. Петров // Мат. Междунар. науч.-технич. конф. «Узбекгеоинновация-2010». - Ташкент, 2010. - С. 94-96.
7. Нарсеев В.А. К дискуссии о генезисе руд карлинского типа. Сузdalь-тренд. Юго-Западный Алтай // Руды и металлы. - 2002. - № 1. - С. 67-70.
8. Нарсеев В.А. Бакырчик (геология, геохимия, оруденение) / В.А. Нарсеев, Ю.В. Гостев, А.В. Захаров и др. - М., 2001. - 174 с.
9. Петров С.Ф. Золотое оруденение и дайки Казан-Чункурского рудного узла (Восточный Казахстан) / С.Ф. Петров, А.И. Мизерный // Рудно-магматические системы орогенных областей. - Ташкент, 2010. - С. 231-234.
10. Рафаилович М.С. Платиноносность недр Казахстана // Руды и металлы. - 2003. - № 2. - С. 19-29.
11. Рафаилович М.С. Крупное золото-сульфидное месторождение Бакырчик в Казахстане: геологическое строение, прогнозно-поисковая модель // Геология и минеральные ресурсы. - 2009. - № 5. - С. 31-38.
12. Рафаилович М.С. Золото недр Казахстана: геология, металлогения, прогнозно-поисковые модели. - Алматы, 2009. - 304 с.

Получено 13.04.2012

УДК 669.018

А.А. Чаплыгина, М.Д. Старostenков

Алтайский государственный технический университет им. И. Ползунова, г. Барнаул

Н.Ф. Денисова

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

И.А. Дёмина, Г.В. Попова

ВКГУ им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск

УПОРЯДОЧЕННЫЕ ФАЗЫ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ CuPt

Сплавы системы Cu-Pt образуют непрерывный ряд твёрдых растворов. При определённых условиях отжига в твёрдом состоянии в данной системе может возникать целый спектр упорядоченных сверхструктур в определенных интервалах концентраций при температурах отжига ниже 6450 °C и выше 8120 °C. Было экспериментально обнаружено, что наибольшая степень упорядочения достигается при концентрациях платины 22,5; 50; 72,5; 86 % (ат.), что соответствует сверхструктурам L₁₂ (Cu₃Pt), L₁₁ (CuPt), L₁₃ (CuPt₃), сверхструктуре состава CuPt₇ [1].

Следует отметить, что сплавы Cu-Pt являются единственной двойной системой, переходящей в упорядоченном состоянии в целый ряд кристаллографических структур из неупорядоченного состояния регулярного раствора на основе ГЦК решётки. Сплав состава CuPt₃ упорядочивается в сверхструктуру L₁₂ на основе симметрии ГЦК решётки. Сплав эквиатомного состава при переходе беспорядок-порядок трансформируется из кри-

сталлографии ГЦК решётки в кристаллографию ромбоэдрической решётки, соответствующую сверхструктуре L₁₁, тогда углы α, β, γ отличны от π/2. Сплав Cu₃Pt упорядочивается в соответствии со сверхструктурой L₁₂ на основе ГЦК решётки регулярного твёрдого раствора. Была обнаружена возможность существования наиболее упорядоченной фазы сплава с 20% Pt, что соответствует фазе Cu₄Pt [2]. Однако тип сверхструктуры не был определен. Кроме того, в области концентрации 12,5% Pt была предсказана возможность существования упорядоченного соединения Cu₇Pt [3].

Таким образом, сплавы системы Cu-Pt имеют множество реализаций упорядоченных сверхструктур в широком диапазоне концентраций компонент. Следует отметить разнообразие структурных превращений, имеющих место в данной системе при фазовом переходе беспорядок-порядок, таких, как ГЦК-ГЦК, ГЦТ-ромбоэдрическая структура. При этом реализуются такие сверхструктуры: L₁₂, L₁₀, L₁₁, L₁₃. В настоящее время имеется мало информации относительно структурно-фазовых превращений данной системы в зависимости от концентрации компонент. Поэтому исследование возможных типов сверхструктур, реализуемых при упорядочении, в зависимости от концентрации компонент сплавов системы CuPt, представляется актуальным.

Модель компьютерного эксперимента. Компьютерный эксперимент проводили по методу Монте-Карло [4]. Стартовая конфигурация представляла собой разупорядоченный твёрдый раствор. Размеры кристалла составляли 24×24×24 атомных слоёв (55 296 атомов). Межатомное взаимодействие задавалось с помощью парных потенциалов Морзе [5-7]. Использовались периодические граничные условия. Для активизации процесса диффузии в кристалл случайным образом вводилась одна вакансия, что соответствовало концентрации примерно равной 1,81·10⁻⁵. Диффузия атомов происходила по вакансионному механизму методом Монте-Карло. Состояние сплава изменялось в дискретные моменты времени, за одну итерацию принимался один акт самодиффузии, соответствующий перескоку атома в вакантный узел.

Конфигурационная энергия кристалла рассчитывалась по следующей формуле

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \varphi(r_i - r_j), \quad (1)$$

где $r_i - r_j$ – расстояние между атомами i и j ; N – количество атомов в кристалле; M – количество ближайших соседей.

Согласно выбранной модели, при каждой итерации рассчитывалась вероятность перескока ближайшего к вакантному узлу атома i , находящегося от него на расстоянии одной-двух координационных сфер, на место этой вакансии по формуле:

$$p_i = A^{-1} e^{\frac{-E_{\max}^i - (E_h^i - E_k^i)}{kT}}, \quad (2)$$

где E_h^i – энергия атома в начальном положении; E_k^i – энергия того же атома после перескока на место вакансии, $E_{\max}^i = \max_i (E_h^i - E_k^i)$; k – постоянная Больцмана; T – температура, К; A – нормирующий множитель; $1 \leq i \leq M$, M – количество ближайших соседей на двух координационных сферах.

В начале всех экспериментов каждый модельный сплав находился в разупорядоченном состоянии. Были рассчитаны средняя конфигурационная энергия и значение параметров решётки в зависимости от концентрации атомов меди в системе Cu-Pt. Концен-

трация атомов *Cu* в сплаве изменялась от 0 % до 100 % с шагом 5 %.

В компьютерных экспериментах рассматривается процесс изменения структуры двух неупорядоченных модельных сплавов системы *Cu-Pt* в процессе охлаждения. Рассматриваются сплавы состава Cu_3Pt , $CuPt_3$. Расчётный блок кристалла задавался путём случайного распределения атомов *Cu* и *Pt* по узлам гранецентрированной кубической решётки в соответствии с заданными концентрациями компонент. Элементарные ячейки упорядочённых фаз, перечисленных выше составов, приведены на рис. 1. Температура сплава изменялась от 2000 К до 200 К с шагом 100 К.



Рисунок 1 - Элементарная ячейка сверхструктур типа: а) $L1_2$ (Cu_3Pt); б) $L1_3$ ($CuPt_3$)

Сплав Cu₃Pt. По узлам кристаллической решётки случайным образом распределялись 75 % *Cu* и 25 % *Pt*. По значениям средней конфигурационной энергии был построен график зависимости энергии от температуры в процессе охлаждения (рис.2). В сплаве Cu_3Pt перестройка кубической решётки в ромбодрическую не происходит.

Как видно из рис. 2 при температуре выше 1800 К сплав разупорядочен. При дальнейшем понижении температуры значение энергии уменьшается, что говорит о перестройке к более выгодной структуре. Энергия стабилизируется при $T=1000$ К.

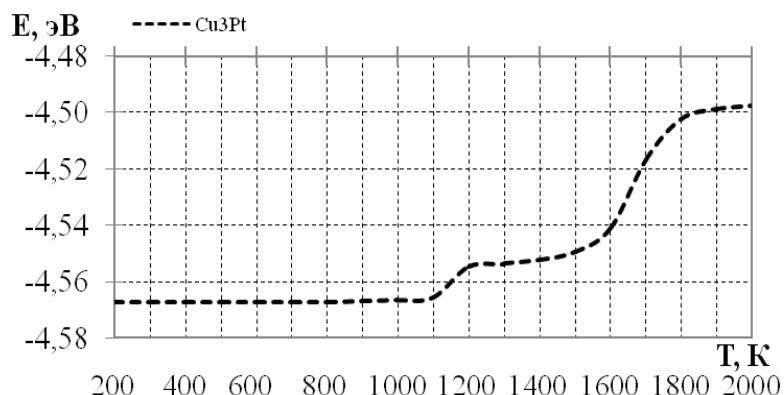
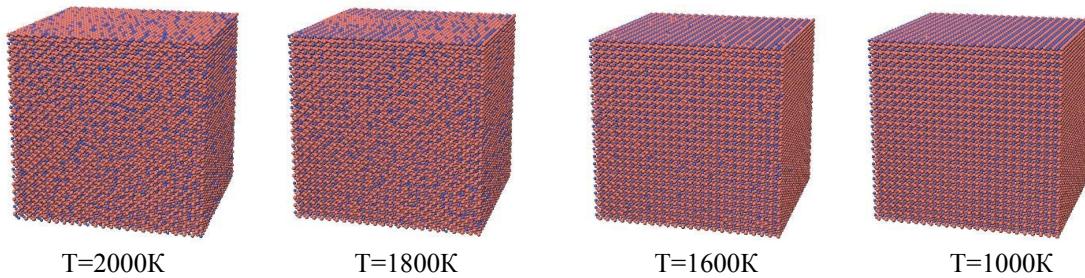


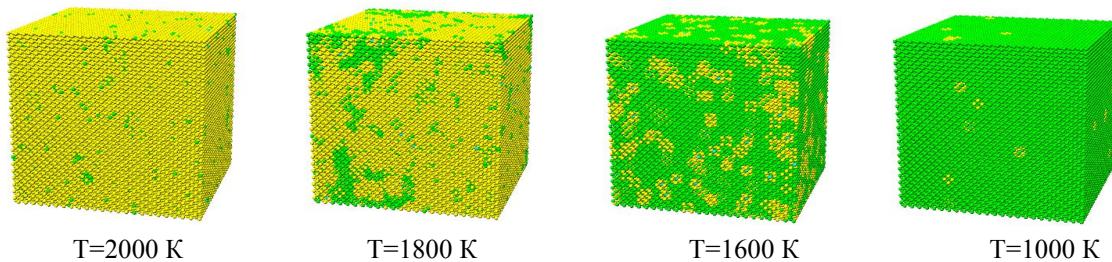
Рисунок 2 - Температурная зависимость средней конфигурационной энергии в объёме кристалла на атом в сплаве Cu_3Pt

Изменение атомной структуры сплава представлено на рис. 3. Тёмным цветом обозначены атомы - *Pt*, светлым - *Cu*.

Рисунок 3 - Атомная структура сплава Cu₃Pt в зависимости от температуры

При T=2000 К сплав полностью разупорядочен. При T=1600 К заметны области, упорядоченные в соответствии со сверхструктурой L1₂. При T=1000 К практически весь кристалл упорядочен, сверхструктура - L1₂. При дальнейшем понижении температуры сверхструктура сохраняется.

На рис. 4 представлено изменение доменной структуры сплава в зависимости от температуры. При T=2000 К сплав разупорядочен, наблюдаются зародыши антифазных доменов, соответствующие сверхструктуре L1₂. При понижении температуры до 1600 К формируется один домен со сверхструктурой L1₂. При дальнейшем понижении температуры этот домен сохраняется.

Рисунок 4 - Картина распределения атомов по упорядоченным и неупорядоченным фазам в сплаве Cu₃Pt в процессе охлаждения

Сплав CuPt₃. По узлам кристаллической решётки случайным образом распределялись 25% Cu и 75% Pt. По значениям средней конфигурационной энергии был построен график зависимости энергии от температуры в процессе охлаждения (рис.5). В сплаве CuPt₃ перестройка кубической решетки в ромбоэдрическую не происходит.

Из графика видно, что до T=1800 К сплав находится в разупорядоченном состоянии, но при понижении температуры до 1600 К наблюдается снижение значения энергии, что говорит о частичном упорядочении структуры. Энергия стабильна до T=1200 К, затем наблюдается резкое снижение, что говорит о перестройке к более энергетически выгодной структуре. Энергия стабилизируется при T=800 К.

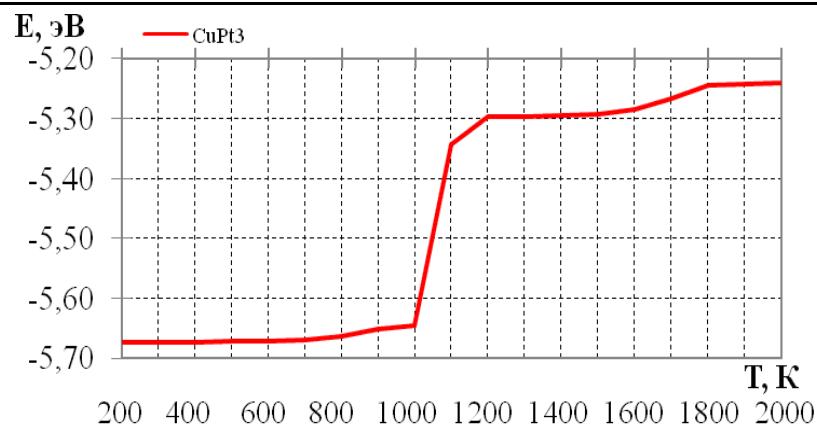


Рисунок 5 - Температурная зависимость средней конфигурационной энергии в объеме кристалла на атом в сплаве CuPt_3

На рис. 6 представлено изменение атомной структуры сплава в зависимости от температуры. При $T=2000$ К сплав находится в разупорядоченном состоянии. При понижении температуры до 1600 К наблюдается упорядочение в соответствии со сверхструктурой $L1_2$. При $T=1000$ К сплав снова приходит в разупорядоченное состояние и начинается перестройка в соответствии со сверхструктурой $L1_3$. При $T=800$ К хорошо видны области, упорядоченные в соответствии со сверхструктурой $L1_3$. При дальнейшем понижении температуры весь кристалл упорядочивается в соответствии со сверхструктурой $L1_3$.

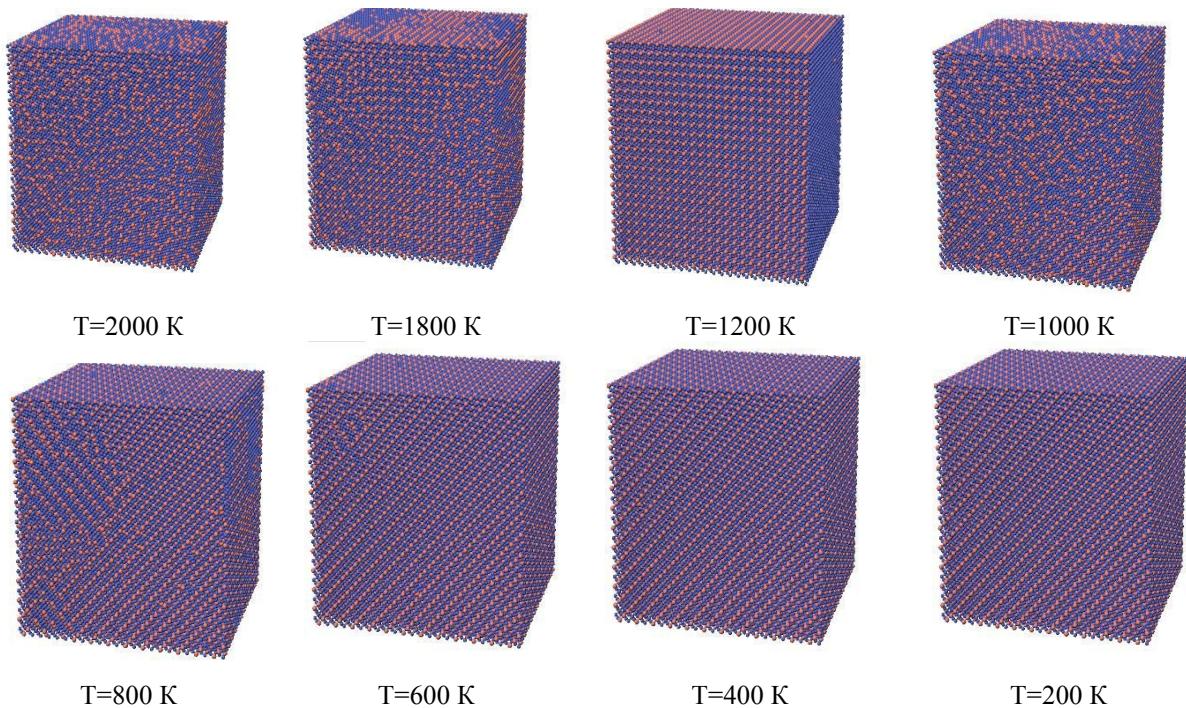


Рисунок 6 - Атомная структура сплава CuPt_3 в зависимости от температуры

На рис. 7 представлено изменение доменной структуры сплава в зависимости от температуры. Для сверхструктур L1₃ существует три типа антифазных домена в направлениях <100>, <010> и <001>. На рис. 7 неупорядоченные области обозначены 1, домены, соответствующие сверхструктуре L1₂, – 2, антифазные домены, соответствующие сверхструктуре L1₃, – 3.

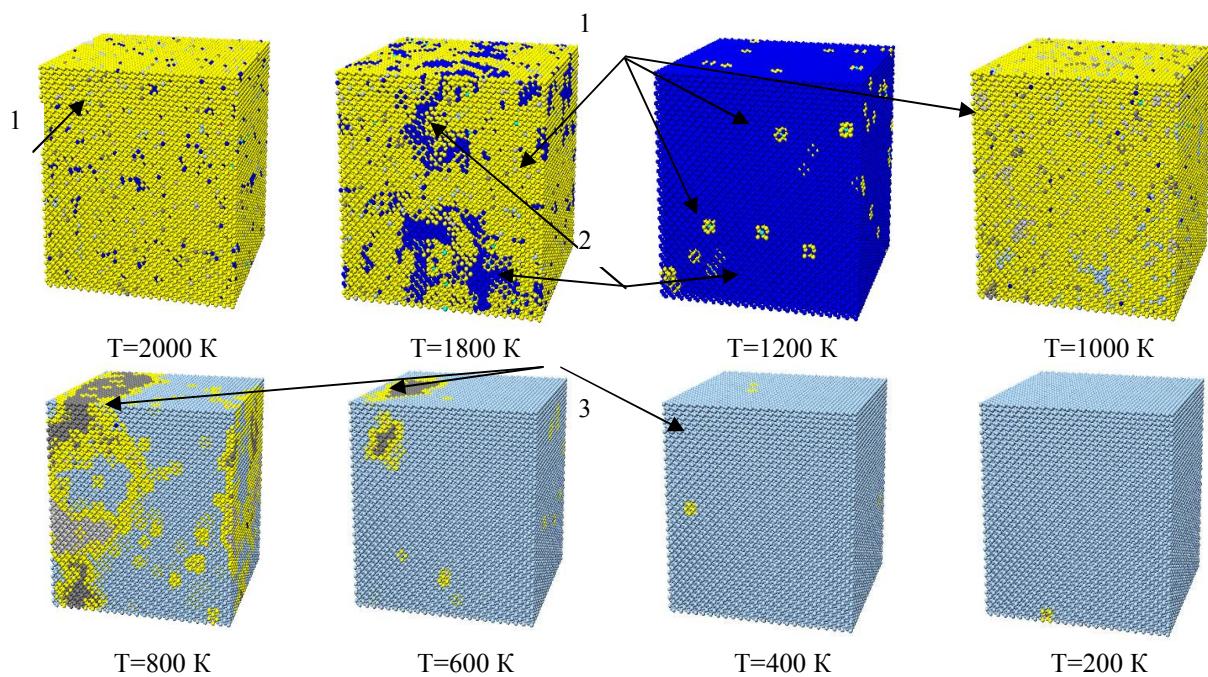


Рисунок 7 - Картинки распределения атомов по упорядоченным и неупорядоченным фазам в сплаве CuPt₃ в процессе охлаждения

При Т=2000 К сплав разупорядочен, наблюдаются мелкоразмерные домены и кластеры, соответствующие сверхструктурам L1₂ и L1₃. При понижении температуры до 1800 К становится заметным преобладание домена, соответствующего сверхструктуре L1₂. При понижении температуры до 1200 К весь кристалл упорядочивается в соответствии со сверхструктурой L1₂. При Т=1000 К кристалл переходит в разупорядоченное состояние с формированием зародышей антифазных доменов сверхструктуры L1₃, т.е. происходит сверхструктурная перестройка из L1₂ в L1₃. С понижением температуры до 800 К количество неупорядоченных областей сокращается, наблюдаются все три типа антифазных до-

мена сверхструктуры L1₃. При дальнейшем понижении температуры весь кристалл переходит к домену одного типа.

Список литературы

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 Справ.: В 3 т., Т.1 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. - М.: Машиностроение, 1996. - 992 с.
2. Козлов Э.В. Структуры и стабильность упорядоченных фаз / Э.В. Козлов, В.М. Дементьев, Н.М. Кормин, Д.М. Штери. - Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994. - 248 с.
3. Гейченко В.В. Теория упорядочения сплавов типа Cu-Pt / В.В. Гейченко, А.К. Канюка // УФЖ. - 1976. - Т. 21. - № 10. - С. 1648-1653.
4. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Пер. с англ.; Под ред. С.А. Ахманова. - М.: Наука, 1990. - 176 с.
5. Горлов Н.В. Моделирование на ЭВМ плоских дефектов в упорядоченных сплавах типа А3В: Дисс. ... канд. физ.-мат. н. - Томск: ТГУ, 1987. - 214 с.
6. Бакалдин А.В. Планарные дефекты в сверхструктуре L11. Дисс. ... канд. физ.-мат. н. - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - 1994. - 177 с.
7. Старostenков М.Д. Кристаллогеометрическое описание планарных дефектов в сверхструктурах. Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. н. - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - 1994. - 86 с.