

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора геолого-минералогических наук Горбатовой Елены Александровны на диссертационную работу Коломоец Александры Вячеславовны, выполненную на тему: «Золотоносность черносланцевой формации Кумакского рудного поля (Южный Урал)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Актуальность диссертационной работы

По данным Министерства финансов производство золота в России по итогам 2020 года составило 340,17 тонн, из них на долю рудных и россыпных месторождений приходится 291,21 тонны золота, а на долю комплексных месторождений и вторичного золота – 17,35 и 31,61 тонн золота соответственно. Наблюдается уверенная тенденция увеличения производства золота, по оценке Минпромторга России, к 2030 году достигим показатель производства 427 тонн (без учета золота из вторичного сырья), что на 25% превышает факт 2020 года.

Рост производства возможен за счет поэтапного выхода на проектную мощность новых рудных месторождений, включая крупные проекты, такие, как месторождение Сухой Лог. Рост добычи будет сопровождаться снижением количества крупных рудников и ростом удельного веса добычи из месторождений со сложными горно-геологическими условиями и упорными рудами углеродсодержащих комплексов. Доля упорных руд в запасах золота оценивается в диапазоне 15–20%.

Черносланцевая формация Кумакского рудного поля Оренбургской области относится к золоторудным объектам, поэтому появляется необходимость во всестороннем изучении благороднометалльного оруденения черносланцевого типа на предмет целостного представления о закономерностях размещения, формах нахождения золота, вещественном составе углистых сланцев и их генетических особенностях.

Целью работы является оценка перспектив золотоносности углеродистых отложений брединской свиты Оренбургской части Южного Урала.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Типизация углеродистых отложений Кумакского рудного поля, реконструкция условий их накопления.
2. Установление формы нахождения углеродистого вещества в черных сланцах, оценка степени его метаморфизма.
3. Выяснение геодинамических условий черносланцевой формации; петрографических, геохимических и минералогических особенностей.
4. Оценка перспектив углеродсодержащих черносланцевых толщ на благороднометалльное оруденение.
5. Выделение типов минеральных ассоциаций золоторудной минерализации Кумакского рудного поля.
6. Изучение состава коренного золота из зоны окисления рудных тел, распределения

главных и второстепенных элементов в пределах золотин. 7. Установление формационной принадлежности золотого оруденения. 8. Уточнение истории формирования золоторудных объектов Кумакского рудного поля.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа объемом 156 страниц состоит из оглавления, введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 165 наименований. Основная часть работы содержит 25 таблиц и 41 рисунок.

Во **введении** автором обоснована актуальность выбранной темы, поставлены цели и задачи исследований, показаны научная новизна и практическое значение работы, сформулированы защищаемые научные положения, выносимые на защиту. Представлены фактический материал и комплекс методов исследований, позволяющие оценить глубину проведенных исследований. Приведены сведения о публикациях по теме диссертации и данные о выступлениях на конференциях.

Первая глава диссертации является постановочной и дает полное представление о геологическом строении Кумакского рудного поля и одноименного месторождения с оценкой влияния тектоники, интрузивного магматизма и метаморфизма на формирование месторождений и рудопроявлений золота. Ретроспективный анализ геологической изученности рудного поля и месторождения автором выполнен грамотно и квалифицированно, апеллируя многочисленными литературными источниками (книгами, статьями и фондовыми материалами) и геологическими картами.

Во **второй главе** автор приводит петрографическую характеристику вмещающих горных пород – черных сланцев Кумакского месторождения, подразделяющихся на серицит-кварцево-углеродистые, кварцево-углеродисто-турмалиновые, оттрелито-углеродистые и кварцево-углеродисто-оттрелитовые. Оптико-петрографические исследования черных сланцев включают анализ текстурно-структурных особенностей пород и минерального состава. Приведено подробное описание минералов, слагающих вмещающие горные породы, с выделением их разновидностей.

К сожалению, автор не проводит сопоставление текстурно-структурных особенностей и минерального состава петрографических разновидностей черных сланцев, а дает обобщенную характеристику горных пород. В приведенном минеральном составе черносланцевых пород (стр. 53) отсутствуют данные о содержании в них оттрелита, турмалина и хлорита, хотя они являются главными породообразующими минералами. В тексте нет описания оттрелита.

Третья глава посвящена анализу углеродистого вещества черносланцевых отложений. В результате оптико-петрографических исследований установлено, что углеродистое вещество встречается в виде тонко рассеянных частиц, прослоев, цементирующей массы и мелких включений в зернах турмалина. По генетическому признаку углеродистое вещество

представлено осадочной органикой и метаморфическим графитом, что подтверждается изотопным составом углерода $\delta^{13}\text{C}$.

По данным технологии Rock-Eval и экстракции хлороформенного битумоида определено, что органическое вещество претерпело высокую стадию катагенеза и обладает низким нефтематеринским потенциалом. По температуре экзотермического эффекта органического углерода черных сланцев установлено, что углерод подвергся высокой степени метаморфизма, сопоставимой с высшими керитами, антраксолитами и шунгитом, что соответствует эпидот-амфиболитовой фации.

По определению фации метаморфизма в тексте диссертации наблюдается явная неопределенность, используются три понятия: «эпидот-амфиболитовая фация» (стр. 8), «эпидот-амфиболитовая субфация зеленосланцевой фации метаморфизма» (стр.74) и «высокотемпературная субфация зеленосланцевой фации» (стр. 75). Хочется заметить, что для определения фации метаморфизма необходимы данные не только температурного интервала, но также парагенетической минеральной ассоциации и особенностей элементного состава минералов. Предложенный температурный интервал 560-700°C характерен для минеральных ассоциаций эпидот-амфиболитовой (500-550°C – 600-650°C) и амфиболитовой (650°C – 750-800°C) фаций регионального метаморфизма (Добрецов Н.Л. и др., 1970; Добрецов Н.Л. и др., 1972). Поэтому требуется более аргументировано обосновать фацию метаморфизма.

В **четвертой главе** по петрохимическим и геохимическим особенностям горных пород Кумакского рудного поля автором установлено, что: углеродистые отложения принадлежат терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формациям и относятся к нормально-калиевому формационному типу, характерному для месторождений преимущественно с золото-сульфидным оруденением; терригенный высокоглиноземистый осадочный материал претерпел минимальный перенос и формировался преимущественно за счет разрушения горных пород основного состава, а также продуктов размыва кислых вулканитов; терригенный осадочный материал подвергся высокой степени выветривания в условиях влажного гумидного климата; осадконакопление происходило в переходной от рифтогенной к коллизионной геодинамической обстановке.

Следует подчеркнуть, что применение классификационных диаграмм (A-S-C, $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{K}_2\text{O})$, F1-F2, DF1-DF2) и модулей (гидролизатного и алюмокремниевое) позволило автору обосновано интерпретировать условия накопления углеродистых отложений Кумакского рудного поля.

По представленному материалу затруднительно установить какие разновидности углеродистых пород относятся к терригенно-углеродистой формации, а какие к кремнисто-углеродистой. Серия фигуративных точек, расположенных по оси S в интервале от 500 до 600 ед., не попадают в зону выделенных полей. Возникает вопрос – к какой формации они относятся?

Выводы третьей и четвертой глав обеспечивают обоснование первого положения.

В **пятой главе** рассмотрены золотоносные минеральные ассоциации: золото-висмут-теллуридная; самородное золото, ассоциирующее со всеми петрографическими разновидностями сланцев; полиметаллическая; тонкодисперсное самородное золото, связанное с мелкокристаллическим пиритом, арсенопиритом и приуроченное к участкам обильной турмалинизации. Последняя является преобладающей минеральной ассоциацией приуроченной к кварц-слюдисто-турмалиновым горным породам. Тонкое срастание турмалина и золота свидетельствует о синхронности их образования, что позволяет выделить в пределах Кумакского месторождения кварцево-турмалиновую золоторудную формацию. Автором установлено, что золото относится к высокопробному (919-1000) типу, в зоне гипергенеза происходит вторичное переотложение золота и очищение от элементов-примесей.

Турмалин встречается во всех разновидностях углеродистых сланцев Кумакского месторождения. Автором установлена структурная и фазовая неоднородность турмалина, выраженная в изменении морфологии, структуры и элементного состава. По составу турмалин близок к метаморфогенному дравиту орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений. Выводы пятой главы обеспечивают обоснование второго и третьего положений.

В **шестой главе** предложена модель формирования Кумакского золоторудного месторождения в черносланцевых толщах, включая этапы накопления, перераспределения и концентрации. Автором на основании изучения геологического строения месторождения, минерального состава руд и околорудных метасоматитов выделены основные геологические факторы, играющие важную роль в локализации золотого оруденения: тектонический – наличие Аниховской зоны глубинных разломов и зон смятия; литологический – приуроченность золотого оруденения к углеродистым породам брединской свиты; минералогический – ассоциация сульфидной минерализации с глинисто-углистыми породами; метаморфический – проявление регионального метаморфизма.

Седьмая глава посвящена концепции промышленного освоения месторождений Кумакского рудного поля методом подземного выщелачивания. Рассмотрены горно-геологические характеристики рудного поля, позволяющие обосновать возможность отработки месторождения физико-химическими геотехнологиями. Приведен опыт освоения месторождений Уральского региона методом скважинного подземного выщелачивания. Предложена адаптированная технология подземного выщелачивания методом гидрохлорирования применительно к Кумакскому рудному полю.

По данным Хадкевича К.А. «Разведка золоторудного месторождения Васин в восточном Оренбуржье»: выщелачивание интенсивнее протекает в кислых средах при рН менее 3% при этом увеличивается расход кислоты (эти данные хорошо согласуются с работами Панченко А.Ф., Харламовой Т.А., Лодейщикова В.В., Провалова С.А. и др., а также диаграммами равновесия

Пурбэ Eh-pH системы «вода-золото-хлор»); извлечение золота из продуктивного раствора на ионообменную смолу составляет 81,5%, что в 1,8 раз больше, чем на активированный уголь. При этом ионообменная смола имеет низкую способность к регенерации, что приводит к одноразовому использованию сорбционной колонны и увеличению себестоимости извлечения золота.

К сожалению, в диссертационной работе рассматривается только скважинное подземное выщелачивание методом гидрохлорирования. Указанный вариант должен сопоставляться с другими процессами, преследующими аналогичные цели. Например, для углистых руд такими процессами являются окислительный обжиг с цианированием огарков или тиосульфатное выщелачивание золота, возможности которого также оцениваются достаточно высоко.

В **заключении** суммируются основные результаты работы и отмечена их научная и практическая значимость.

Список цитируемой **литературы** (165 ссылок) отвечает современному уровню исследований по теме диссертации и адекватно отражает весь спектр исследований по теме диссертации, включая работы последних лет.

Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 26 страниц. Материалы, изложенные в автореферате, и научные публикации полностью отражают содержание диссертационной работы Коломоец А.В. Тематика, методы исследований и результаты работы соответствуют формуле и пункту 1 паспорта специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Научная новизна исследований и полученных результатов

1. Черносланцевые отложения брединской свиты Кумакского рудного поля обосновано отнесены к терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формациям.
2. Впервые проведена реконструкция условий накопления углеродистых толщ.
3. Установлены формы нахождения углеродистого вещества, биогенная его природа и степень метаморфизма (эпидот-амфиболитовая фация).
4. Доказана приуроченность золоторудной минерализации преимущественно к кварц-слюдисто-турмалиновым метасоматически измененным углеродистым сланцам брединской свиты.
5. Изучен состав золота и турмалина, показана их близость к таковым орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений.
6. Предложена модель формирования золоторудных объектов Кумакского рудного поля.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Автором выполнен большой объем исследований с применением современного комплекса минералого-аналитических методов (силикатного, атомно-абсорбционного,

термогравиметрического, изотопного, микроанализа ИСП-масс-спектрологии, пиролитического метода анализа нефтегенерационных свойств пород на установке Rock-Eval, определения Сорг, оптико-петрографического, рентгеноспектрального микроанализа). Достоверность и обоснованность научных положений диссертации подтверждены результатами полевых, лабораторных и научно-исследовательских работ, использованием опубликованных и фондовых материалов геолого-съёмочных, тематических, поисковых и геологоразведочных работ, выполненных в разные годы на изучаемой территории.

Грамотная постановка задач и хорошо спланированная методическая часть исследований позволили автору достичь заявленной цели работы. Анализ геологической ситуации Кумакского месторождения и комплексное исследование петрографических разновидностей черных сланцев, углеродистого вещества, основных золотоносных минеральных ассоциаций, а также петрохимических и геохимических особенностей отложений позволили обосновать основные этапы формирования месторождения и условия накопления углеродистых отложений.

Результаты диссертационной работы были апробированы на научных конференциях, в том числе международных, опубликованы в соответствующих сборниках материалов конференций. Основные положения диссертационной работы изложены и представлены в 26 печатных работах, из них 9 статей в изданиях, рекомендованных перечнем Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ, 7 статей проиндексированы в международных базах цитирования Scopus и WoS.

Практическая значимость работы

1. Полученные результаты и установленные закономерности размещения золотого оруденения, ассоциирующего с углеродистыми отложениями брединской свиты, могут быть востребованы при постановке поисково-оценочных работ на изученной площади и позволяет с позиций новых знаний подойти к ее прогнозу на золото.

2. Обоснована возможность извлечения золота из углеродистых отложений золоторудных месторождений Кумакского рудного поля подземным выщелачиванием с применением метода гидрохлорирования.

Заключение

Диссертация Коломоец А.В. «Золотоносность черносланцевой формации Кумакского рудного поля (Южный Урал)», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, является законченной научно-квалифицированной работой, в которой изложены результаты всестороннего изучения благороднометалльного оруденения черносланцевого типа Кумакского рудного поля, позволяющие оценить перспективы золотоносности углеродистых отложений брединской свиты Оренбургской части Южного Урала.

Диссертационная работа Коломоец Александры Вячеславовны соответствует критериям, изложенным в Постановлении Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» и требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Горбатова Елена Александровна,
доктор геолого-минералогических наук (25.00.05), доцент,
заместитель заведующего Минералогическим отделом Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»,

119017, г. Москва, Старомонетный пер., 31

www.vims-geo.ru

lena_gorbatova@mail.ru

+7 (495) 950 34 07

Я, Горбатова Елена Александровна, даю свое согласие на включение своих данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

«30» июля 2021 г.

