

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На правах рукописи



Коломоец Александра Вячеславовна

**ЗОЛОТОНОСНОСТЬ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ФОРМАЦИИ КУМАКСКОГО
РУДНОГО ПОЛЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Специальность: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Панкратьев Пётр Владимирович

Оренбург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КУМАКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.....	10
1.1. История изученности.....	13
1.2. Геологическое строение Кумакского месторождения	19
1.3. Месторождения и рудопроявления золота Кумакского рудного поля.....	32
1.4. Элементы структуры и тектоники.....	38
1.5. Влияние интрузивного магматизма и метаморфизм	44
Глава 2. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА	53
Глава 3. УГЛЕРОДИСТОЕ ВЕЩЕСТВО ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.	68
Глава 4. УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	76
Глава 5. РУДОНОСНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ	90
Глава 6. ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУМАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ	108
Глава 7. КОНЦЕПЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУМАКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ.....	117
7.1. Особенности геолого-промысловых характеристик рудного поля	117
7.2. Технология разработки методами подземного и кучного выщелачивания	123
7.3. Опыт освоения месторождений Уральского региона методом скважинного подземного выщелачивания.....	125
7.4. Рекомендуемая технология метода подземного выщелачивания и этапы её адаптации применительно к Кумакскому рудному полю	128
7.5. Условия экологического контроля	139
7.6. Предварительные выводы по опытно-технологическим исследованиям подземного выщелачивания.....	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	141
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	143

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Одной из актуальных задач современного экономического развития является необходимость восполнения рудно-сырьевой базы золотодобывающей отрасли. Золоторудные месторождения во всём мире – один из наиболее привлекательных минерально-сырьевых объектов. Промышленными запасами благородного металла обладают месторождения черносланцевой формации, которые распространены на значительных территориях мира. Это углеродосодержащие в различной степени регионально метаморфизованные терригенно-вулканогенно-карбонатные комплексы, в которых локализованы крупнейшие золоторудные месторождения России – Сухой Лог, Олимпиадинское, Нежданинское, Майское, Наталкинское, Светлинское и др. В них заключено более половины всех запасов золота нашей страны, что позволяет говорить о золоторудных месторождениях в черносланцевых формациях, как о важном источнике золота не только в настоящее время, но и в ближайшие десятилетия, чем определяется перспективность исследований по данной проблеме.

Основные перспективы расширения отечественной минерально-сырьевой базы золота связаны с обнаружением типичных рудных объектов в пределах распространения продуктивных черносланцевых толщ в Оренбургской части Южного Урала. Решение этой задачи в существенной мере связано с открытием, оценкой и вовлечением в промышленное освоение золоторудных месторождений, залегающих в черносланцевых толщах. Их практическую значимость, на основе существующих представлений, можно рассматривать в нескольких аспектах: в первую очередь, это возможный источник металлов для образования рудных концентраций, второе – они являются восстановительным геохимическим барьером для осаждения рудного вещества глубинных флюидов. Образования черносланцевой формации являются благоприятной геохимической средой для первичной концентрации золота, элементов группы платины, вольфрама, молибдена и других металлов. Важное значение представляют участки

проявления тектонической активности, зонального и контактового метаморфизма, дайкового комплекса. Более того, углеродистые отложения представляют собой весьма информативный материал для реконструкции физико-химических условий их накопления.

В этой связи рудовмещающие черные сланцы Кумакского месторождения, породы которого имеют специализацию на золото, представляются очень привлекательным объектом для всестороннего изучения рудоносности. Они могут иметь важное практическое значение для поисков новых месторождений на Южном Урале и в других регионах со сходным геологическим развитием.

Цель работы заключается в оценке перспектив золотоносности углеродистых отложений брединской свиты Оренбургской части Южного Урала.

Актуальность настоящей работы определяется необходимостью разработки целостного представления о закономерностях размещения, формах нахождения, вещественном составе и генетических особенностях благороднометального оруденения черносланцевого типа, определением перспектив наращивания запасов стратегически важных металлов.

Основные задачи исследования

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 образования черносланцевой формации; петрографических, геохимических и минералогических её особенностей;
4. Оценка перспектив углеродсодержащих черносланцевых толщ на благороднометальное оруденение;
5. Выделение типов минеральных ассоциаций среди 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.

Фактический материал и методы исследований. Фактической основой диссертации послужили результаты полевых, лабораторных и научно-исследовательских работ на золото, проведенных автором в 2018–2020 гг в пределах Кумакского рудного поля. Использованы также опубликованные и фондовые материалы геолого-съёмочных, тематических, поисковых и геологоразведочных работ, выполненных в разные годы на изучаемой территории.

Исследования носят комплексный характер и включают в себя анализ и научное обобщение геологических материалов. Из основных методов исследований, в процессе изучения Кумакского месторождения, использовались следующие: **силикатный** – 30 проб углеродистых пород (Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа), **атомно-абсорбционный** – 81 штучная проба на Au, 62 на Ag (Оренбургская многопрофильная компания, г. Оренбург), **термогравиметрический** – 10 проб углеродистых сланцев на дериватографе Q-1500 (Венгрия) (ИГ УНЦ РАН, г. Уфа), **изотопный** анализ углерода (орг.) – 10 проб (ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН), **микроанализ методом ИСП-масс-спектрометрии** на приборах ELAN 900 и Nex-ION300 на редкие (14 РЗЭ) и рассеянные элементы (26 элементов Li, B, Be, Sc, Ti, Cr, Ni, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U) – 20 проб (Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург), **пиролитический метод анализа нефтегенерационных свойств пород на установке Rock-Eval** на масс-спектрометрическом анализаторе «Литотерм-1000» (АО «НВНИИГТ», г. Саратов), **определение Сорг** выполнялось с использованием экспресс-анализатора на углерод «АН-7529» (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

Фотографии поверхности золоти́н, изучение состава золота а также микронзондовый анализ полированных препаратов выполнены на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-act в ЦКП (М. А. Рассомахин, ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс). Для **петрографического описания шлифов** пород брединской свиты использован поляризационно-оптический микроскоп Olimpus bx51 с цифровой видеокамерой (Е.О. Калистратова, г. Уфа).

При анализе геохимических данных и геологическом картировании использованы современные геоинформационные системы (ArcGIS 10, CorelDRAW X8).

Научная новизна работы заключается в следующем:

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

Практическое значение работы:

- Полученные результаты и установленные закономерности размещения золотого оруденения могут быть востребованы при постановке поисково-оценочных работ на изученной площади и позволят с новых позиций подойти к её прогнозу на золото.

– Обоснована возможность использования метода скважинного подземного выщелачивания золота на золоторудных объектах Кумакского рудного поля.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационной работы представлены автором в научных докладах на следующих конференциях: IV Российской молодёжной научно-практической школе с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (г. Москва, 2014 г.), IV Всероссийской молодёжной геологической конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий» (г. Уфа, 2016 г), IX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» (г. Пермь, 2016 г), V Всероссийской молодёжной геологической конференции «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий» (г.Уфа, 2017 г), Международной научно-практической конференции «Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ» (г. Магнитогорск, 2018 г), Всероссийской научно-практической конференции «Генезис, миграция и формирование месторождений углеводородного сырья в контексте их поиска, разведки и разработки» (г. Оренбург, 2018 г), III Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Практика геологов на производстве» (г. Ростов-на-Дону, 2018), Международной молодёжной научной конференции «Студенческие научные общества – экономике регионов» (г.Оренбург, 2018 г), Всероссийской научно-практической конференции «Новые направления работ на нефть и газ, инновационные технологии разработки их месторождений, перспективы добычи нетрадиционного углеводородного сырья» (г. Оренбург, 2019 г), Всероссийской научно-практической конференции «Геологические науки» (г. Саратов, 2019 г), Всероссийской молодёжной конференции «Геологические исследования Урала и Поволжья» (г. Уфа, 2020 г), Международной молодёжной стратиграфической конференции памяти Головкинского «Осадочные планетарные системы: стратиграфия, геохронология, углеводородные ресурсы» (г. Казань, 2020 г).

По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ, 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.

Объем и структура работы. Диссертационная работа общим объемом 156 страниц состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературы из 165 наименований. Текст сопровождается 25 таблицами и 41 рисунком.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю – д.г.-м.н., профессору Панкратьеву П.В. за наставления, внимание и неоценимую помощь на всех этапах подготовки работы.

Особую благодарность автор выражает к.г.-м.н. Сначёву А.В. за активную поддержку в научном и творческом плане, ценные советы и помощь при проведении аналитических исследований.

Автор искренне благодарит д.г.-м.н. Сначёва В.И., д.г.-м.н. Навроцкого О.К., д.э.н. Воробьёва А.Г., к.г.-м.н. Политыкину М.А., к.г.-м.н. Тюрина А.М., к.г.-м.н. Багманову С.В., к.х.н. Раздобреева Д.А., Рассомахина М.А., Донецкову А.А. за советы при написании работы, д.г.н. Петрищева В.П., к.т.н. Степанова А.С., Репкина В.А. за помощь в решении организационных вопросов. Также автор выражает большую благодарность геологам Пантелееву В.С. и Кисилёву Р.С. за помощь в проведении полевых работ и оформлении графических материалов диссертации.

За всестороннюю поддержку при подготовке работы автор сердечно благодарит свою семью.

Защищаемые научные положения

1. Черносланцевые отложения Кумакского рудного поля принадлежат терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формациям. Углеродистое вещество представлено тонкой рассеянной осадочной органикой и метаморфическим графитом, имеет биогенную природу и испытало метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации.

2. Золоторудная минерализация приурочена преимущественно к кварц-слюдисто-турмалиновым метасоматически измененным углеродистым сланцам и принадлежит кварцево-турмалиновой золоторудной формации. По своему химическому составу турмалины относятся к дравиту и фойтиту и близки к таковым орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений.

3. Золото на объектах Кумакского рудного поля в основном тонкодисперсное, относится к высокопробному (919–1000) типу и связано с двумя главными минеральными ассоциациями: золото-висмут-теллуридной и самородным золотом в сростании с турмалином. В зоне гипергенеза происходит вторичное переотложение золота и очищение от элементов – примесей.

Глава 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КУМАКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Черносланцевые отложения, широко распространенные во всем мире, являются одной из наиболее развитых литофаций среди осадочных толщ. В последние годы интерес к черносланцевым объектам только нарастает, это обусловлено тем, что они представляют собой благоприятную геохимическую среду для первичного накопления золота, его мобилизации и переотложения, а также генерируют обширные россыпные поля в зоне их денудации [Сазонов В.Н. и др., 1985; Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., 1986; Коробейников А.Ф. и др., 1990; Коробейников А.Ф. 1999; Буряк В.А., 1985; Масленников В.В., 1990; Буряк В.А., Хмелевская Н.А., 1997; Парада С.Г., 2002; Emsbo P. et al., 2003; Groves D.I. et al., 2003; Арифудов Ч.Х., 2005; Рыкус М.В. и др., 2009; Large R.R. et al., 2011; Сначёв А.В. и др., 2013; Сначёв В.И., Сначёв А.В. , 2014; Сначёв А.В. и др., 2015, Петров Г.А., 2014; Петров Г.А. и др., 2015; Паленова Е.Е. и др., 2015; Shumilova, T. G. et al., 2016; Иванов А.И., 2017; Кряжев С.Г., 2017; Groves D.I. et al., 2018; Gadd M. G. et al., 2019, Сначёв А.В. и др., 2020].

Черносланцевые формации Оренбургской части Южного Урала фиксируются в меридиональных и субмеридиональных разрывах второго порядка, представленных с севера на юг Аниховским, и на его южном продолжении, – Старо-Карабутацким грабенами глубинного заложения (Рисунок 1.1). Геологические особенности их формирования являются отражением цикличности геодинамической эволюции литосферы, в которую вошли геологические события от заложения океана до его закрытия. Важнейшим структурным элементом цикличности при формировании золоторудных месторождений черносланцевой формации сланцах является рифтогенез, который в пределах Восточно-Уральского поднятия повторяется дважды – в ордовикское и нижнекаменноугольное время. Формировались внутренние прогибы в локальных зонах растяжения, в виде мелководных бассейнов седиментации синхронных с рифтогенезом, ограниченных разломами. В них в сравнительно

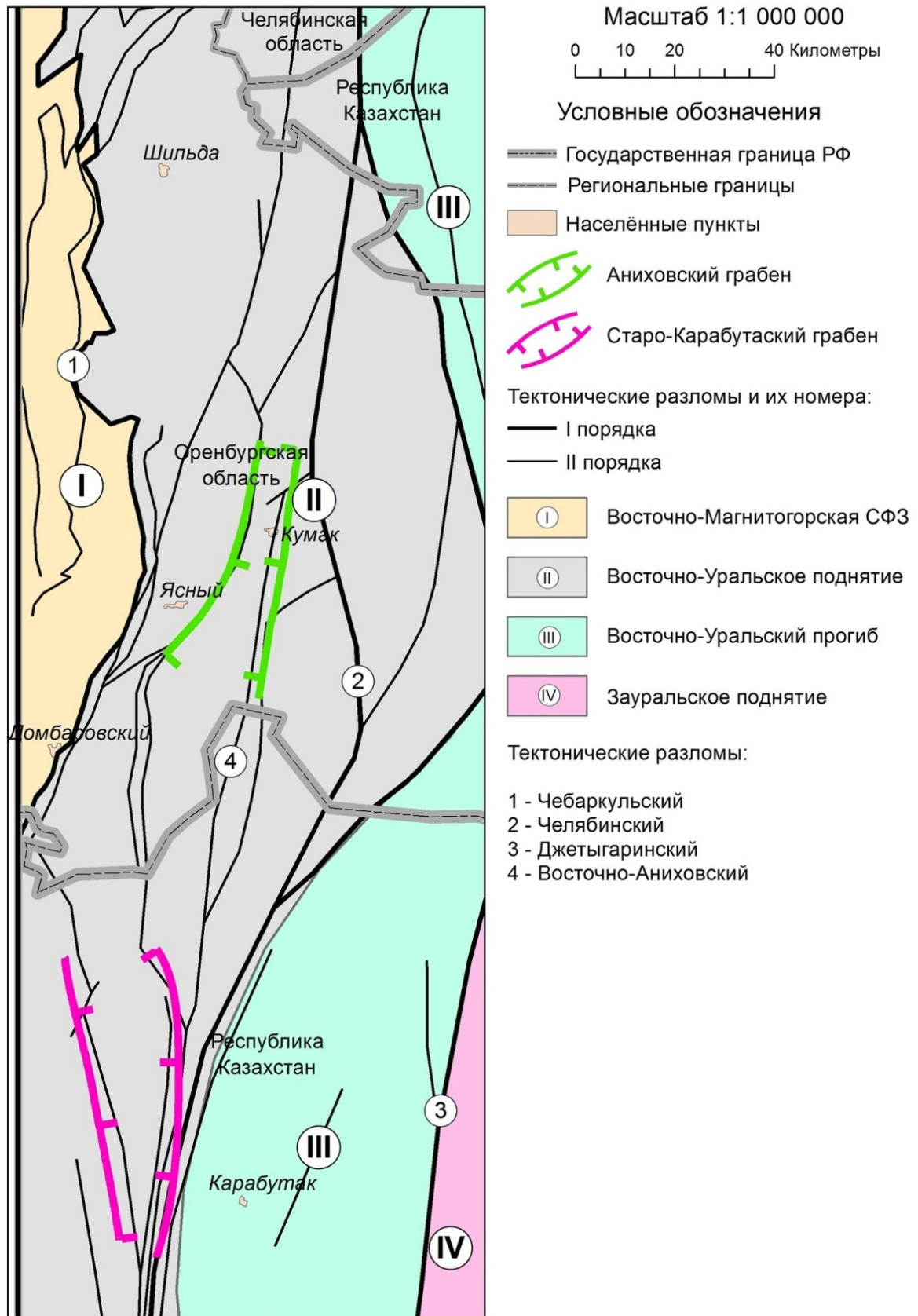


Рисунок 1.1 – Структурно-тектоническая схема Восточно-Уральского поднятия (составлена автором)

теплых условиях шло накопление органического вещества, которое создавало благоприятную восстановительную обстановку для отложения сульфидов и благородных металлов. В таких условиях формировались черносланцевые углеродисто-карбонатно-терригенные отложения грабенов [Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 2006]. Образовавшийся бассейн первоначально был нешироким и состоял из нескольких впадин, разобщенных выступами микроконтинентальных блоков раннерифейских пород. В подножьях склонов этих выступов зрелыми турбидитами с высокими содержаниями обломков кварца и полевого шпата формировались флишевые толщи. Источником обломочного материала служили участки суши поднятий, сложенных рифейскими образованиями, с хорошо развитой корой выветривания [Лядский П.В. и др, 2018].

Широким развитием в черносланцевых отложениях Оренбургской части Южного Урала пользуются углеродистые породы (песчаники, алевролиты, сланцы), достигающие 50% от общего объема. Они характеризуются наличием карбонатных пород (10–50%), содержанием органики (1 до 11,2%), наличием сульфидов пирита и арсенопирита (в рудных зонах достигает 2–5%), представляют собой плотные породы с присутствием значительного количества углеродистого вещества [Усатая Е.С., 1938; Сорокин В.Н. и др., 1965ф; Болтыров В.Б. и др, 1980ф; Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 2011; Пономарева Г.А., Лощинин В.П., 2013; Панкратьев П.В. и др., 2018; Коломоец А.В. и др., 2018]. Более того, они имеют особый практический интерес в отношении золотого оруденения – в них фиксируются многочисленные проявления с промышленными концентрациями благородного металла [Месторождения золота Урала..., 1999; Буряк В.А., 2002; Панкратьев П.В. и др., 2004; Арифуров Ч.Х. и др., 2006; Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 2006; Сазонов В.Н. и др., 2011; Коломоец А.В., 2018; Коломоец А.В., Сначёв А.В., 2020].

Среди золоторудных месторождений Оренбургской области выделяются две основные группы, отличающиеся по условиям формирования и закономерностям их размещения – комплексные золотосодержащие колчеданные и другие месторождения, из которых золото извлекается с попутными

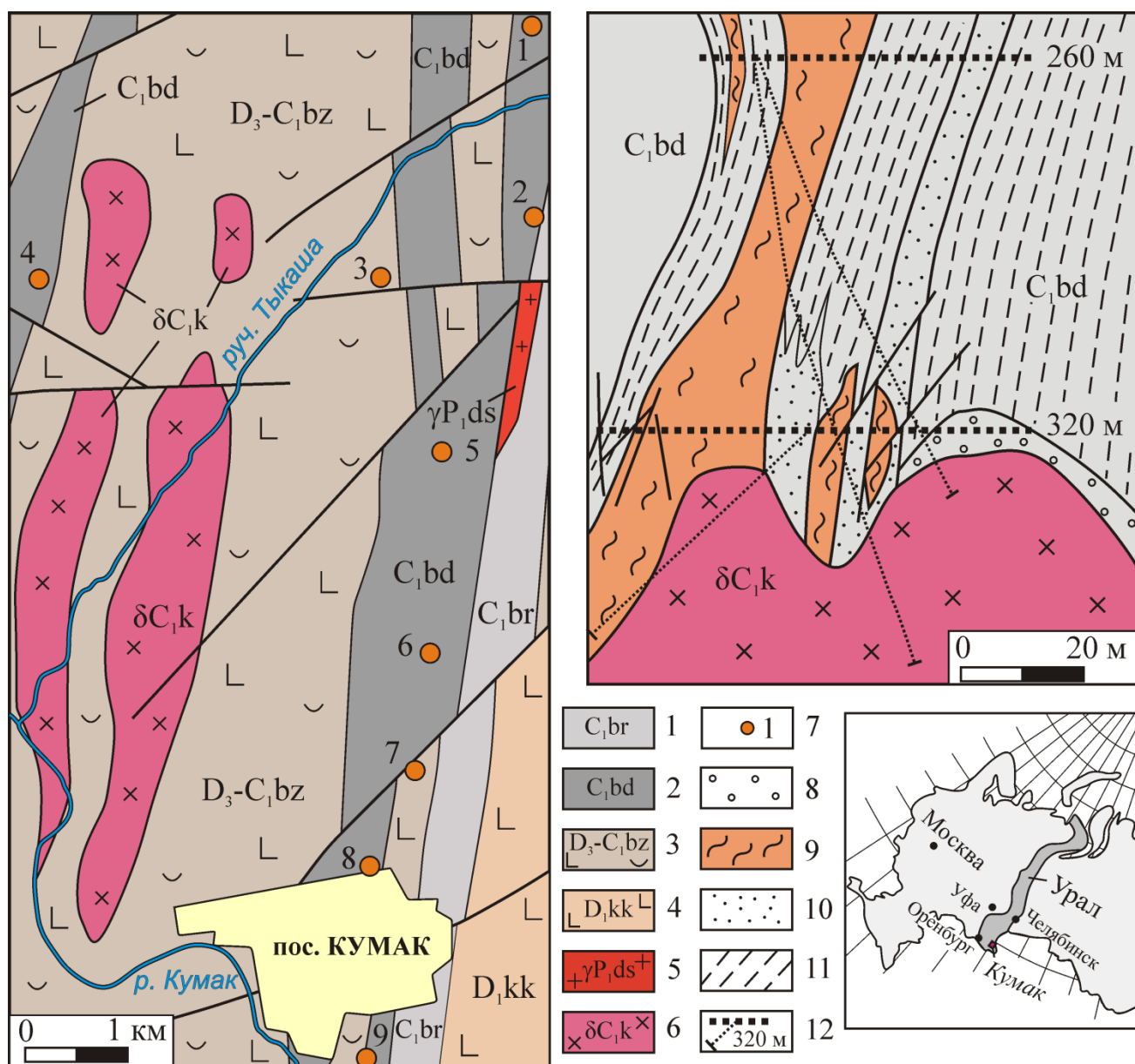
компонентами, а также собственно золоторудные месторождения. Последние включают следующие промышленные типы:

- золото-кварцевый жильный и штокверковый, относящиеся к золотокварцевой и золото-кварц-сульфидной формациям;
- залежи прожилково-вкрапленного руд в черносланцевых формациях;
- вкрапленно-прожилковые руды в корах выветривания.

Наиболее перспективные золотопроявления с повышенным содержанием золота прожилково-вкрапленного типа в черносланцевых толщах развиты в Аниховском грабене. В центральной части зоны смятия, на десятикилометровом интервале по ее простиранию, расположен ряд золоторудных проявлений Кумакского рудного поля, приуроченных к брединской свите (C_1bd) (Рисунок 1.2). Основным промышленным объектом рудного поля является Кумакское золоторудное месторождение, главные перспективы которого связаны с углеродисто-карбонатно-терригенными отложениями.

1.1. История изученности

Кумакское месторождение является одним из основных в Оренбургской области золоторудным объектом. Ввод его в эксплуатацию определил начало развития золотой промышленности области. Первые отводы на золото, расположенные в 20 км к востоку от Кумакского месторождения, получены золотопромышленником И.М. Чертыковским в 1914 году. Повышенное содержание благородного металла обнаружено в кварцево-сланцевых толщах среди углеродисто-графитистых пород. Это открытие вызвало повышенный интерес к Кумакскому золоторудному полю и в 1924 году Геологический комитет организывает проведение геологической и топографической съемок золотоносного района площадью 570 км² в масштабе 1:42000 под руководством А.Н. Гейслера.



Условные обозначения: 1 – биргильдинская толща (конгломераты, песчаники, известняки); 2 – брединская свита (углеродистые сланцы, песчаники, алевролиты); 3 – березняковская толща (туфы основного и кислого состава, прослои алевролитов); 4 – кокпектинская толща (лавы и туфы базальтов); 5 – джабыкско-санарский гранит-лейкогранитовый комплекс; 6 – кумакский диорит-плагиогранитовый комплекс; 7 – проявления и месторождения золота: 1 – Восточно-Тыкашинское, 2 – Коммерческое, 3 – Миля, 4 – Тамара, 5 – Забайкальское, 6 – Байкал, 7 – Центральное, 8 – Кумак, 9 – Кумак-Южный; 8 – ороговикованные сланцы; 9 – рудовмещающие кварц-слюдисто-турмалиновые углеродистые сланцы, 10 – песчаники с углеродистым цементом, 11 – углеродистые серицит-кварцевые сланцы; 12 – подземные горные выработки, их глубина, скважины.

Рисунок 1.2 – Геологическая карта Кумакского месторождения (составлена автором по Лядскому П.В. и др. [2018] с упрощениями) и схематический разрез Кумакского месторождения (составлен по Сорокину В.Н. и др. [1965ф])

В последующие годы с различной степенью детальности район Кумакского месторождения изучался М.Н. Альбовым (1928–1930), Н.В. Куклиным (1931–1938), В.И. Борсуком (1935–1936), Н.Г. Кассиным, В.И. Филиповым (1935), Е.А. Усатой (1935), Н.А. Никифоровым (1939), М.Г. Руб, В.И. Рожанец (1938–1939), Т.В. Билибиной, Ю.В. Богдановым (1955–1956), А.П. Ларченко (1940), Н.И. Бородаевским (1966), С.А. Заводчиковым (1960), М.В. Лозовым и др. (1961), А.Ф. Шашкиным (1960–1961), П.Г. Исаевым (1961), М.И. Воиным, В.Н. Вихтером (1963), И.Г. Дубенко (1963–1965), М.Н. Альбовым (1965), В.А. Максимовым (1963–1965), Ю.А. Бурминым (1964), В.Н. Сорокиным, С.М. Германом (1965), Я.А. Рихтером (1964–1966), П.В. Лядским (1979), Е.Е. Мироновым, М.И. Новгородовой (1974–1979), В.Б. Болтыровым, В.Г. Рудским, Е.А. Слободчиковым (1980), Е.И. Якобсом и др. (1974–1978), В.П. Лоцининым, П.В. Панкратьевым (2006), В.Н. Сазоновым, В.А. Коротеевым, В.Н. Огородниковым и др. (2011), И. Б. Серавкиным, С. Е. Знаменским (2007) [Альбов М.Н., 1930; Кассин Н.Г., 1935; Альбов М.Н., 1960; Альбов М.Н. и др., 1965ф; Билибина Т.В., Богданов Ю.В., 1959; Болтыров В.Б. и др., 1978; Болтыров В.Б. и др., 1980ф; Бородаевский Н.И. и др. 1966ф, Борсук В.И., 1936ф; Бурмин Ю.А., 1965ф; Воин М.И. и др., 1962ф; Дубенко И.Г., Воин М.И., 1965; Воин М.И., 1967ф; 23. Воин М. И., Казак А. П., 1973; Дубенко И.Г., 1962ф; Лозовой М.В. и др., 1961ф; Максимов В.А., 1965ф; Миронов Е.Е. и др., 1980ф; Никифоров Н.А., 1939ф; Сорокин В.Н. и др., 1965ф; Шашкин А.Ф. и др., 1961ф; Якобс Е.И., 1978ф; Новгородова М.И. и др., 1981; Рудский В.Г., 1982; Лоцинин В.П., Панкратьев П.В., 2006; Сазонов В.Н. и др., 1999, 2011; Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., 2007; Чен-Лен-Сон Б.И., 2008]. Многочисленные тематические работы позволили уточнить геологию рудного поля, а также провести металлогенические построения.

В 1928 году М.Н. Альбов привел краткое описание месторождения и кварцевых жил Джабыгасайского гранитного массива. Работами впервые дана промышленная оценка Кумакского месторождения как перспективного золоторудного месторождения. Выполнен подсчет запасов. С 1930 года на

руднике Кумак организовано постоянное геологоразведочное бюро, которое вело геологическую документацию и занималось обобщением результатов буровых, горно-разведочных и эксплуатационных работ. В 1935–1936 гг. Б.И. Борсук составил геологическую карту масштаба 1:200000 листа М-41-VII. В эти же годы, Е.С. Усатая занималась геохимией Кумакского золоторудного месторождения, которая установила, что золото ранней генерации связывается с сульфидами, а поздней – с тетрадимитом. В.М. Филиппов подробно описал геологию Кумакского месторождения и впервые разработал генетическую схему его образования. Многие из его представлений до сих пор не потеряли своего значения. В 1936 году Н.В. Куклин в районе Кумакского месторождения провел геологическую съемку масштаба 1:5000. На основании проведенных работ автор дал заключение о генезисе месторождения. Он связывает золотое оруденение с интрузией кварцевых диоритов, апикальная часть которой прослеживается горными выработками на участке Центральном. В 1938 году М.Г. Руб и В.М. Рожанец провели большую работу по изучению петрографического и минерального состава рудных тел Кумакского месторождения и составили геологическую карту черносланцевой полосы в масштабе 1: 10 000. В 1939 году геофизической партией научно-исследовательского горно-разведочного института золота (НИГРИ) под руководством Н.А. Никифорова методом естественного электрического поля прослежена по простиранию нижнекаменноугольная сланцевая полоса. Этими работами довольно четко оконтурены углеродисто-графитистые отложения и выявлен ряд аномальных участков с повышенными значениями напряженности электрического поля.

В период 1954–1956 гг. на Северных Мугоджарах, охватив и Кумакское рудное поле, проводила работу партия Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) под руководством Т.В. Билибиной с целью уточнения металлогении района. По их мнению, главные рудные тела развиваются преимущественно по рассланцованным пластовым инъекциям диоритов адамовского комплекса. С 1959 года поисковыми работами на площади рудного поля занималась партия

Оренбургского геологического управления, обнаружившая ряд новых рудопроявлений и детально разведавшая Коммерческое месторождение. В 1958–1960 гг. проводились геолого-съемочные работы масштаба 1:50000 Кумакской партией под руководством М.В. Лозового. В результате составлена геологическая карта Кумакского района, где наиболее детально разработана схема стратиграфии по сравнению с предыдущими. В 1960 году в юго-восточной части района, в поле развития вулканогенных образований Кумакская партия Балканской экспедиции Министерства радиотехнической промышленности проводила поиски пьезооптического сырья. Этой партией на участках развития кварцевых жил выполнен большой объем работ по проходке легких горных выработок. Но кварцевые жилы не подвергались опробованию на золото. В 1960–1961 гг. Кумакская геофизическая партия Южно-Уральской геофизической экспедиции под руководством А.Ф. Шашкина выполнила в районе комплексные геофизические работы с целью картирования углеродисто-графитистых сланцев, уникальной дайки гранит-порфиров и поисков пегматитовых и кварцевых жил. В результате этих работ получены ценные сведения о распространении черных сланцев на протяжении свыше 40 км.

С 1962 года на месторождении отряд Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) под руководством М.И. Воина занимался изучением геологических структур района и связи с ними золотого оруденения. В 1963–1964 гг. партия проводила буровые разведочные работы в пределах западной черносланцевой полосы, где также было открыто несколько мелких рудопоявлений золота. В 1964 году на месторождении начал работы отряд Свердловского Горного института под руководством М.Н. Альбова с задачей изучения петрографического и химического состава пород и руд Кумакского месторождения. Проведена металлометрическая съемка поверхности месторождения, а также детально изучено слепое диоритовое тело, с которым М.Н. Альбов генетически связывал золотое оруденение черносланцевой полосы.

Выявленные металлометрические аномалии золота также подтвердили наличие уже известных рудопроявлений и минерализованных зон.

Изучением минералогии рудных тел месторождения в 1962–1964 гг. занималась группа геологов ЦНИГРИ под руководством Н.И. Бородаевского. Этой группой установлена принципиально новая схема стадийности минералообразования (три стадии: кварцево-шеелитовая, сульфидная и золоторудная). В этом же году Кумакский поисково-разведочный отряд совместно с Орской геофизической партией проводили работы на участке ближайшей периферии (отвод Тамара, месторождение Васин), которые выявили серию рудных тел с промышленным содержанием золота.

В связи с ликвидацией эксплуатационного предприятия тематические, а также поисково-разведочные работы на месторождении с 1965 года прекращены всеми организациями. Причину связывали с нерентабельностью производства.

В 1980 году Болтыровым В.Г., Рудским В.Г. и др. Кумакское рудное поле изучалось с целью перспектив выявления золота в углеродисто-сульфидной формации (черносланцевого типа). Авторами представлена структурно-тектоническая и литолого-геохимическая характеристика терригенно-осадочных толщ, выявлены особенности размещения и локализация золотого оруденения. Работами М.И. Новгородовой [1981], В.Г. Рудским [1982], В.Н. Сазоновым с соавторами [1999; 2011], В.П. Лощининым, П.В. Панкратьевым [2006], И.Б. Серавкиным, С.Е. Знаменским [2007], выявлены следующие отличительные черты Кумакского месторождения:

- присутствие углеродсодержащих толщ, которые служили одним из источников золота и одновременно локализатором рудной минерализации;
- интенсивный региональный и приразломный метаморфизм на уровне зеленосланцевой фации;
- неоднократное проявление гранитоидного магматизма (главным образом, в форме малых интрузий и даек) раннекаменноугольного, позднепалеозойского и триасового возраста;

- разнообразный состав золотопродуктивных метасоматитов, относящихся к эйситовой, березит-лиственитовой и серицит-кварцевой формациям;
- контроль оруденения узлами пересечения разрывов близмеридионального, северо-западного и северо-восточного простираний.

В пределах Кумакского рудного поля в разное время старателями открыты многочисленные рудопроявления золота кварцево-жильного типа. Наиболее богатые из них, известные в западной части поля (Миля, Амур, Танин, Тамара, Октябрь и др.), разрабатывались в 20–40-х годах. В восточной части района изучены рудопроявления Березитовый Увал и Чудское. Упоминания о них встречаются в отчетах М.Н. Альбова (1928), М.Г. Руб и В.М. Рожанца (1938–1939), П.Г. Исаева (1961), Е.И. Якобса (1978).

С 1980 года в районе возобновились поисковые работы на золото [Миронов Е.Е. и др, 1980ф], охватившие значительную площадь (более 250 км²) в пределах Аниховского грабена, сосредотачиваясь, главным образом, на месторождениях и проявлениях: Васин, Заречный, Проливной, Коммерческое, Ермак, Миля, Октябрь, Танин, Березитовый увал и др. Работы включали наклонное бурение, проходку канав, скважинные геофизические исследования. Результаты подтвердили высокую перспективность рудного района. В 2002 году лицензию на изучение и добычу золота на участке Васин получила ООО «Оренбургская Горная Компания», которая в 2005–2007 гг. провела разведку главной рудной зоны, с подсчетом запасов и их утверждением в ГКЗ Роснедра [Харькевич К.А. и др., 2007ф]. Балансовые запасы золота по месторождению составляют 44,3 т по категориям С₁₊₂.

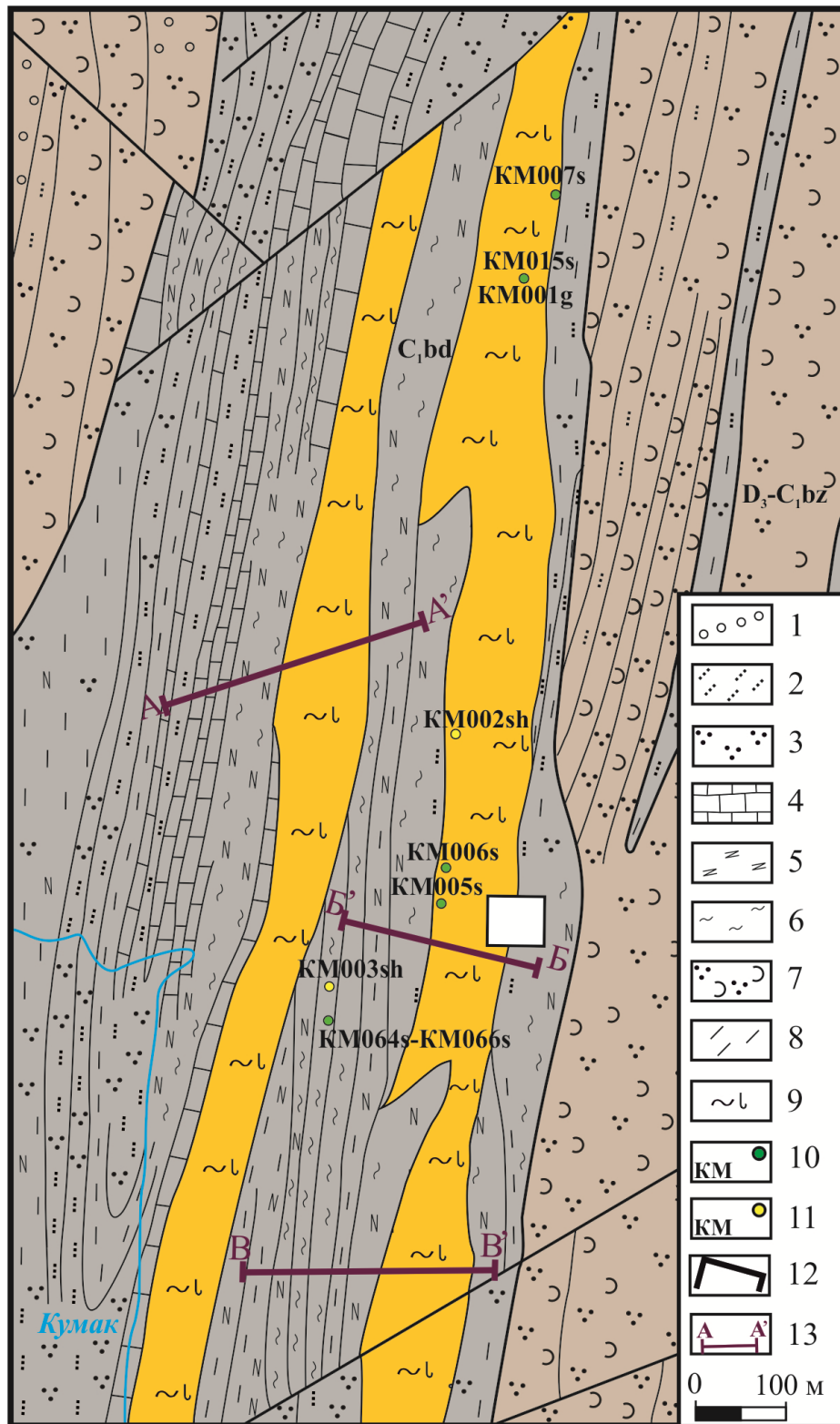
В настоящее время в пределах Кумакского рудного поля ведутся только научно-исследовательские работы.

1.2. Геологическое строение Кумакского месторождения

Кумакское рудное поле расположено в восточной части Аниховского грабена и приурочено к Кумакско-Котансийской зоне смятия, сложенной

преимущественно черносланцевыми образованиями брединской свиты (C_1bd) [Сазонов В.Н. и др., 2011]. Она впервые выделена А.А. Петренко в 1946 году и названа по поселку Бреды в Челябинской области. В её разрезе преобладают углеродсодержащие терригенно-осадочные образования: алевролиты, углеродисто-глинистые сланцы и песчаники, а также редкие прослои известняков и углей. Подчиненное значение имеют эффузивы типа дацитовых и андезитовых порфиритов и их туфы. Возраст отложений свиты установлен по определениям фораминифер в прослоях известняков и остаткам микрофауны и спор древних папоротников, каламитов и других растений [Лядский П.В. и др., 2018]. Мощность составляет 350–700 м. Брединская свита с размывом залегает на березняковской толще (D_3-C_1bz) и с размывом перекрывается биргильдинской толщей (C_1br). Карбонатные породы последней (C_1br) развиты в восточной и южной частях рудного района и представлены в основном известняками, мраморами, при подчиненном количестве доломитов, известковистых аргиллитов. В нижней части разреза толщи преобладают темно-серые углеродисто-глинистые органогенные и органогенно-детритовые известняки. Выше их залегают серые, светло-серые известняки со слабо выраженной слоистостью, обычно в разной степени перекристаллизованные, мраморизованные, реже доломитизированные.

Промышленные концентрации золота в рудном поле связаны как с сериями кварцевых жил и прожилков, так и с зонами прожилково-вкрапленной минерализации в породах, обогащенных углеродистым веществом. Последний тип оруденения имеет ведущую роль, что и предопределило повышенный интерес со стороны геологов к этому объекту. Углеродсодержащие терригенно-осадочные образования образуют мощную рудовмещающую пачку мощностью в 70–120 м на протяжении нескольких километров (Рисунок 1.3; Рисунок 1.4). Она имеет меридиональную вытянутость, с резкими колебаниями мощности; падение вертикальное. На востоке рудовмещающая черносланцевая толща контактирует с метаморфизованными дацитовыми порфиритами и альбитово-хлоритовыми сланцами по ним, а на западе – с парасланцами пачки хлоритовых сланцев.



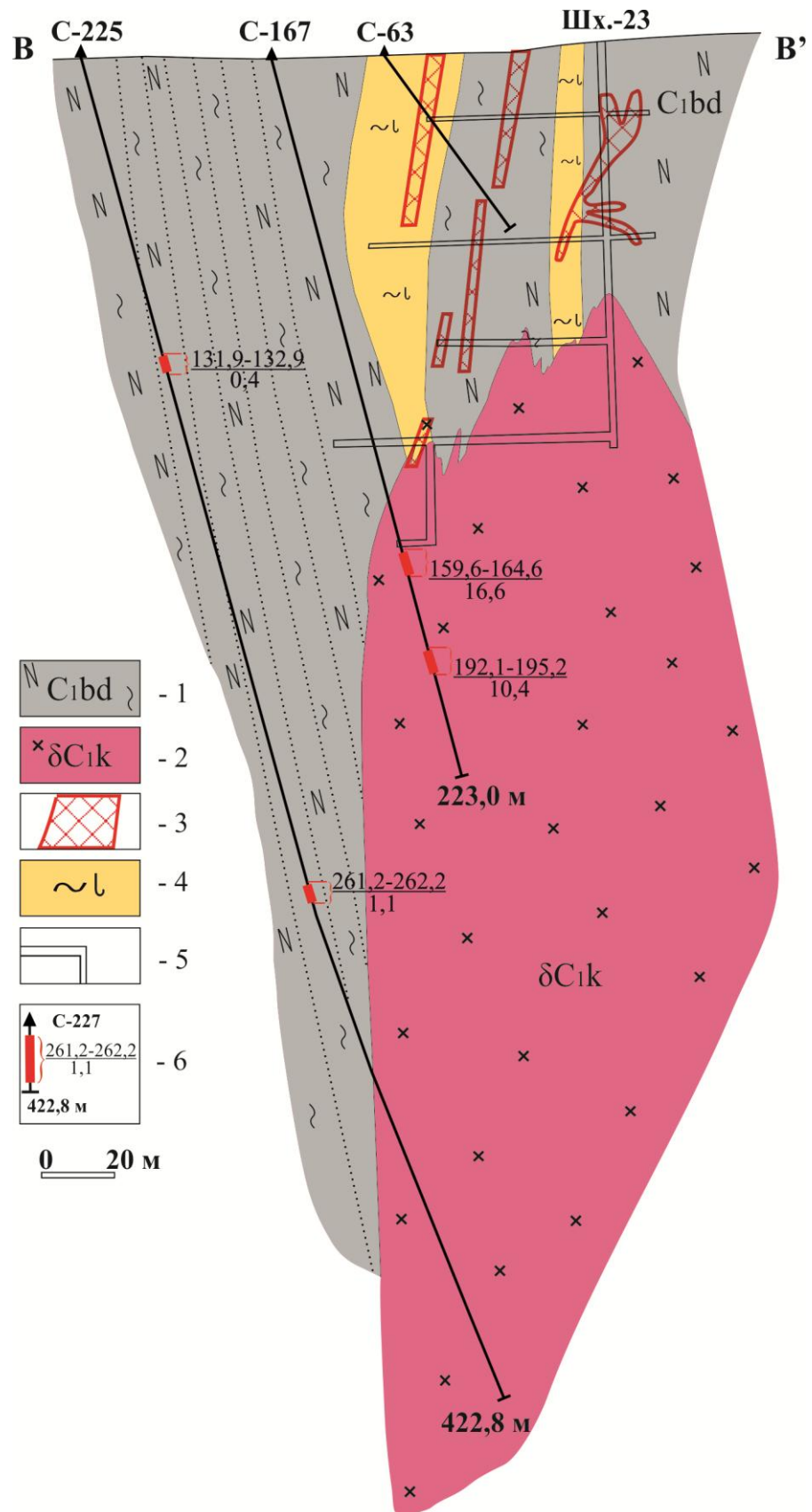
Условные обозначения: 1 – конгломераты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – известняки, 5 – углеродистые сланцы, 6 – серицитовые сланцы, 7 – туффиты, туфоалевролиты и туфопесчаники, 8 – глинистые, зеленые сланцы, 9 – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы, 10– штурфовые пробы, 11 – шлиховые пробы, 12 – положение шахты Новокапитальная, 13 – линии разрезв

Рисунок 1.3 – Геологическая карта Кумакского месторождения (составлена по Миронову Е.Е. [1980ф] с добавлениями автора)

Распространение сланцев на глубину ограничивается слепой интрузией кварцевых диоритов с несколько повышенной щелочностью ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ до 6–7%) и железистостью (до 10–12%). Породы состоят из плагиоклаза (до 70%), кварца (15–25%), биотита, магнетита, изредка встречается роговая обманка и ортоклаз [Миронов Е.Е., 1980ф]. Интрузивный массив подходит близко к поверхности в районе шахты № 23 – на горизонте 132 м западным квершлагом на общем протяжении 38 метров вскрыты гидротермально-измененные, рассланцованные кварцевые диориты (Рисунок 1.5). По контакту с ними углеродистые кварцево-оттрелитовые сланцы ороговикуются. Они становятся более светлыми за счет выноса углеродистого вещества из сланцев и массивными вследствие перекристаллизации основной ткани.



Рисунок 1.4 – Борт отработанного карьера (Кумакское месторождение). Проведение полевых работ, 2019 г.



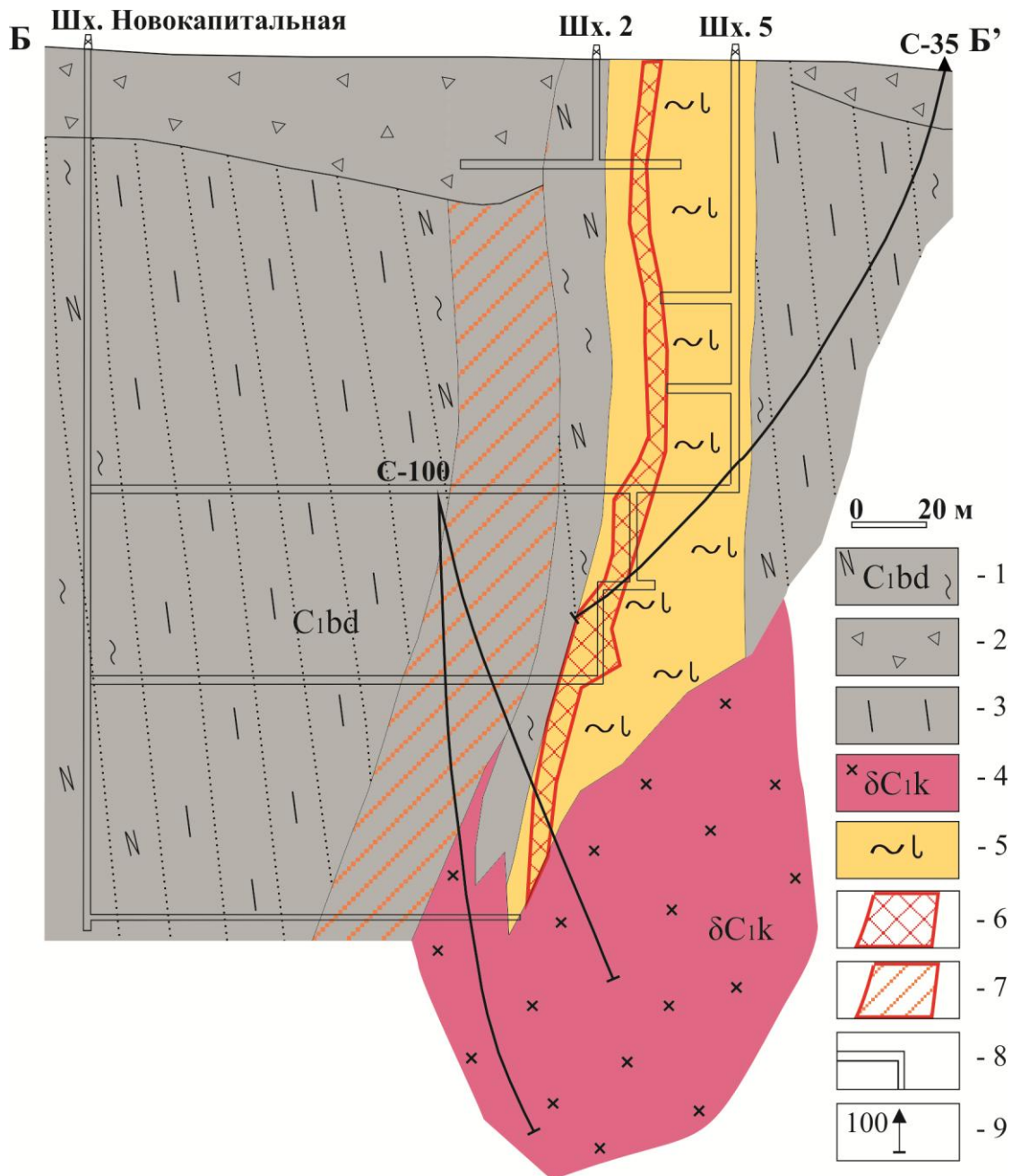
Условные обозначения: 1 – углеродистые сланцы брединской свиты, 2 – диориты Кумакского комплекса, 3 – рудные тела, 4 – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы, 5 – горные выработки, 6 – скважины на разрезах, их глубина, номер и результаты опробования (над чертой – интервал, м; под чертой – сред.содержание Au , г/т)

Рисунок 1.5 – Геологический разрез по линии В–В' (положение см. на рисунке 1.3). Составлен автором по Миронову Е.Е. [1980ф].

Рудные тела на Кумакском месторождении представлены кварцево-хлорит-серицитовым и кварцево-турмалиновым составом в виде жил, линз и пластообразных залежей и апофиз, приуроченных к толще углеродсодержащих сланцев, с пластами которых они, в основном, залегают согласно, имея меридиональное простирание (Рисунок 1.6), [Миронов Е.Е., 1980ф]. По морфологическим признакам выделяются следующие типы рудных тел:

- Пластообразные и линзовидные рудные залежи в сланцах;
- Кварцевые жилы;
- Минераллизованные зоны смятия в сланцевых толщах.

Рудные тела приурочиваются к зонам проявления интенсивного метасоматоза и минерализации. Участки развития минерализации коррелируются с местами интенсивно смятых, рассланцованных пород, в которых фиксируется большое количество кварцевых, кварц-карбонатных жил, кварц-карбонатно-сульфидных прожилков. Общая протяженность зон метасоматитов, вмещающих оруденение, достигает первых десятков километров, при ширине до 400–600 м и характеризуются кулисообразно-прерывистым размещением. Метасоматиты по черносланцевым отложениям на месторождении образуют осветленные рудные сланцы кварцево-серицит-хлоритового состава, часто с турмалином и оттрелитом [Миронов Е.Е. и др, 1980ф; Сорокин В.Н. и др., 1965]. По минеральному и химическому составу они очень сходны с контактирующими с ними углеродистыми породами и отличаются от них небольшим содержанием углеродистого вещества (а отсюда и светлой окраской). В таких породах значительно больше железа, а глинозема и щелочей меньше, чем в углеродистых сланцах (Таблица 1.1). Гидротермальные изменения на Кумакском месторождении выражены развитием полос серицита, перекристаллизацией и обособлением кварца, присутствием карбоната, цементирующего кварц. Выделены следующие продукты гидротермального метасоматоза [Миронов Е.Е. и др., 1980ф; Сазонов В.Н. и др., 2011]: фельдшпатолиты, эйситы, эпидозиты, березиты-листвениты, кварц-серицитовые метасоматиты, зоны развития биотита, хлоритоида, а также кварцевых жил.



Условные обозначения: 1 – углеродистые сланцы брединской свиты, 2 – дресвяно-щебнистая кора выветривания, 3 – кварцево-хлоритовые сланцы, 4 – диориты Кумакского комплекса, 5 – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы, 6 – рудное тело, сложенное кварц-серицитовыми метасоматитами с бедной вкрапленностью пирита и самородным золотом, 7 – приконтактовая вкрапленность сульфидов, 8 – горные выработки, 9 – скважины на разрезах и их номер)

Рисунок 1.6 – Геологический разрез по линии Б–Б' (положение см. на рисунке 1.3). Характер залегания и морфология рудного тела и вмещающих углеродистых сланцев Кумакского месторождения. Составлен автором по Миронову Е.Е. [1980ф] и Харькевичу К.А. [2007ф].

Таблица 1.1 – Химический состав вмещающих пород и рудных сланцев [Бородаевский Н.И. и др., 1966ф]

№ проб	Место взятия	Характеристика пробы	Весовые %															
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	CO ₂	Σ
1	гор. 320 м	Углеродистый серицитово-оттрелитовый сланец с турмалином	41,84	36,76	1,59	1,29	–	0,93	1,35	1,17	4,13	сл.	–	0,13	0,28	5	0,42	98,81
2	37-48 м	Кварцево-серицово-хлоритовый сланец	48,44	20,52	3,32	11,23	2,41	3,05	0,72	1,81	1,8	сл.	0,18	0,1	0,44	4,06	1,14	99,85
3	64-74 м	Кварцево-хлоритовый сланец с реликтами вкрапленников плагиоклаза	59,62	15,42	1,45	4,39	4,12	5,5	0,32	3,31	1,76	сл.	0,07	0,08	0,2	2,16	1,72	100,14
4	гор. 320 м	Турмалиново-серицитовый сланец	47,26	35,26	2,02	0,42	0,22	0,7	1,03	1,35	6,33	сл.	–	0,01	сл.	4,46	0,62	99,68
5	гор. 320 м	Турмалиново-серицитовый сланец	42,64	38,11	2,79	0,58	–	0,87	1,15	1,43	6,56	сл.	–	0,01	сл.	4,48	0,48	99,1
6	гор. 320 м	Кварцево-турмалиново-оттрелитовая порода	48,02	26,6	9,21	6,12	0,28	1,1	0,31	0,74	сл.	0,06	0,11	0,24	4,46	0,56	0,56	99,34

Типоморфными минералами метасоматитов являются калиевый полевой шпат, альбит, анкерит, мусковит, биотит [Миронов Е.Е. и др., 1980ф;].

Скважинами №№ 221 и 228 вскрыт контакт углеродистых сланцев с метасоматитами кварц-серицитового и кварц-слюдисто-турмалинового состава (Рисунок 1.7). Линия контакта имеет вертикальное падение, параллельна общему рассланцеванию пород. В скважине № 288 в интервале 110,9–111,9 м содержание золота 4,8 г/т (Таблица 1.2). Зона метасоматитов представлена обеленными кварц-серицитовыми и кварц-слюдисто-турмалиновыми породами. Промышленное содержание золота (41 г/т) вскрыто в интервале 126,9–127,9 м. Углеродистоглинистые сланцы интенсивно прокварцованы, содержат оруденения золота. В скважине № 221 вскрыты маломощные интервалы 274,7–278,4; 281,6–290,0; 295,0–297,0 м с содержанием золота соответственно 3,0 г/т, 1,1 г/т, 0,5 г/т (Таблица 1.3). В интервале 351,0–588,2 м вскрыты кварцевые диориты, которые на контакте с метасоматитами (351,0–382,5 м) интенсивно рассланцованы, окварцованы и минерализованы.

Установлено, что на глубоких горизонтах северного фланга месторождения рудные сланцы образовались при региональном метаморфизме слоев и линз осадочных пород, содержащих углеродистое вещество [Бородаевский Н.И., 1966ф]. Сланцы, образовавшиеся за счет осадочных и эффузивных пород, очень четко различаются по составу: первые имеют преимущественно турмалиново-серицитовый и турмалиново-кварцево-серицитовый состав; вторые – альбитово-кварцево-хлоритовый. В состав последних не входит турмалин. Сланцы с турмалином, образовавшиеся при метаморфизме осадочных пород, широко развиты в углеродистой толще на всем протяжении рудного поля. Бородаевским Н.И. с соавторами [1966ф] зафиксировано, что на глубоких горизонтах месторождения турмалин в кварцевых жилах появляется лишь там, где жилы пересекают сланцы, содержащие турмалин. Причем турмалин, наблюдающийся в жилах, представляет собой остаточный минерал переработанных сланцев.

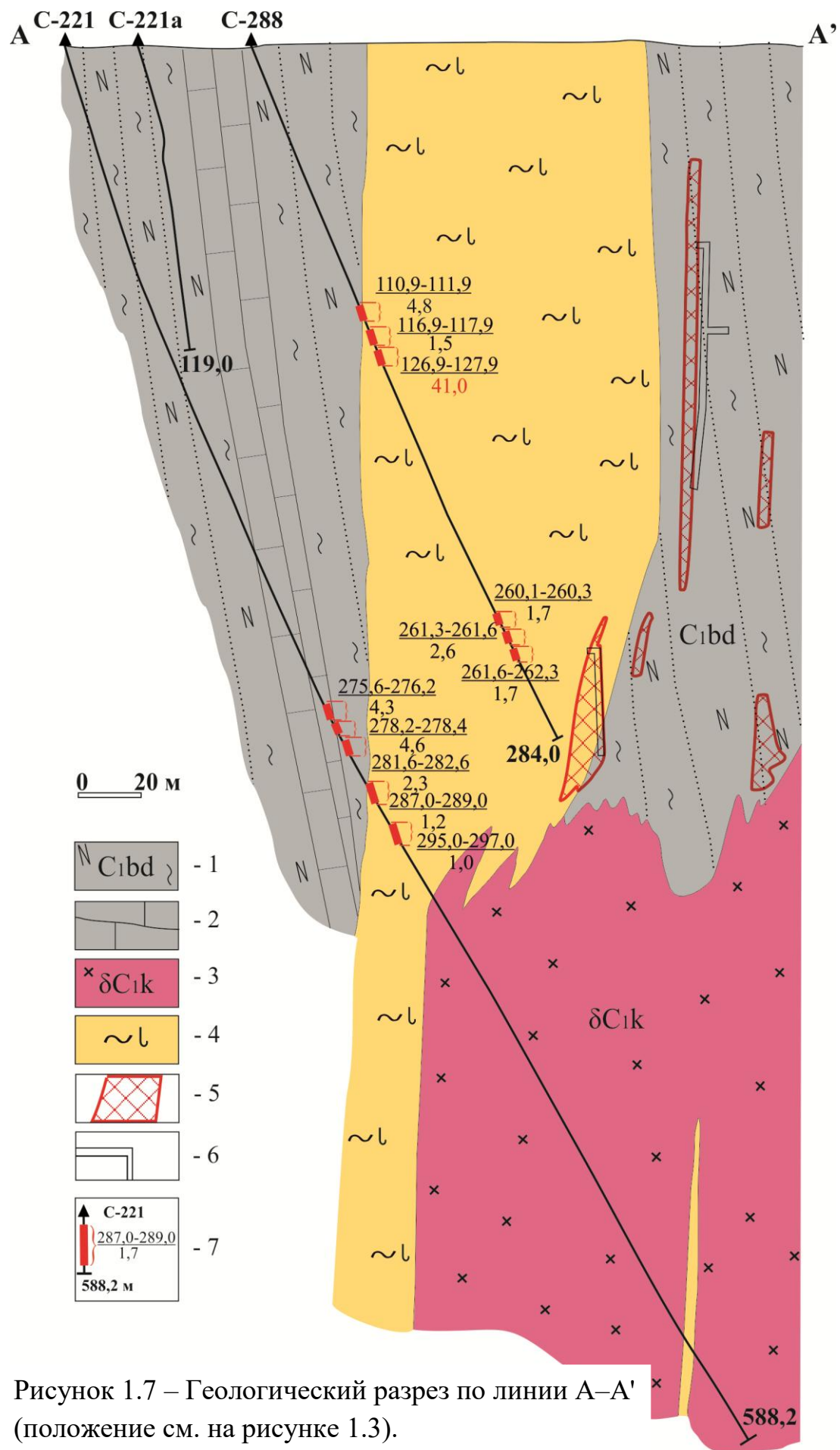


Рисунок 1.7 – Геологический разрез по линии А–А' (положение см. на рисунке 1.3).

Составлен автором по Миронову Е.Е. [1980ф].

Условные обозначения к рисунку 1.7 : 1 – углеродистые сланцы брединской свиты, 2 – известняки, 3 – диориты Кумакского комплекса, 4 – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы, 5 – рудные тела, 6 – горные выработки, 7 – скважины на разрезах, их глубина, номер и результаты опробования (над чертой – интервал, м; под чертой – среднее содержание Au, г/т).

Таблица 1.2 – Содержание золота в скважине № 288 по данным пробирного анализа [Миронов Е.Е. и др., 1980ф]

№№ проб	Интервал опробования		Всего	Результаты опробования Au г/т	№№ проб	Интервал опробования		Всего	Результаты опробования Au г/т
	от	до				от	до		
1	109,6	110,2	0,6	0,1	29	165,1	166,1	1,0	сл
2	110,2	110,9	0,7	сл	30	166,1	167,1	1,0	0,1
3	110,9	111,9	1,0	4,8	31	167,1	168,1	1,0	сл
4	111,9	112,9	1,0	сл	32	168,1	169,1	1,0	0,1
5	112,9	113,9	1,0	0,1	33	169,1	172,1	3,0	сл
6	113,9	114,9	1,0	0,4	34	172,1	173,1	1,0	0,1
7	114,9	115,9	1,0	0,2	35	173,1	175,1	2,0	сл
8	115,9	116,9	1,0	сл	36	175,1	176,1	1,0	0,1
9	116,9	117,1	0,2	1,5	37	176,1	189,1	13,0	сл
10	117,1	118,1	1,0	сл	38	189,1	190,1	1,0	0,1
11	118,1	119,1	1,0	0,1	39	190,1	191,1	1,0	сл
12	119,1	120,1	1,0	сл	40	191,1	193,1	2,0	0,1
13	120,1	121,9	1,8	0,1	41	193,1	195,1	2,0	сл
14	121,9	122,9	1,0	сл	42	195,1	196,1	1,0	0,1
15	122,9	125,9	3,0	0,1	43	196,1	202,1	6,0	сл
16	125,9	126,9	1,0	сл	44	202,1	203,1	1,0	0,1
17	126,9	127,9	1,0	41,0	45	203,1	246,1	43,0	сл
18	127,9	128,9	1,0	0,2	46	246,1	247,1	1,0	0,1
19	128,9	129,9	1,0	0,1	47	247,1	256,2	9,1	сл
20	129,9	131,9	2,0	сл	48	256,2	258,0	1,8	0,9
21	131,9	132,9	1,0	0,2	49	258,0	259,0	1,0	1,7
22	132,9	138,6	5,7	сл	50	259,0	260,1	1,1	0,2
23	138,6	141,0	2,4	0,1	51	260,1	260,3	0,2	1,7
24	141,0	141,8	0,8	0,3	52	260,3	261,3	1,0	0,7
25	141,8	152,1	10,3	сл	53	261,3	261,6	0,3	2,6
26	152,1	153,1	1,0	0,1	54	261,6	262,3	0,7	1,7
27	153,1	164,1	11,0	сл	55	262,3	263,3	1,0	0,1
28	164,1	165,1	1,0	0,1	56	263,3	264,3	1,0	0,2

Таблица 1.3 – Содержание золота в скважине № 221 по данным пробирного анализа [Миронов Е.Е. и др., 1980ф]

№№ проб	Интервал опробования		Всего	Результаты опробования	№№ проб	Интервал опробования		Всего	Результаты опробования
	от	до		Аu г/т		от	до		Аu г/т
1	222,5	226,5	4,0	сл	36	304,4	305,4	1,0	сл
2	226,5	228,5	2,0	0,1	37	305,4	308,7	3,3	0,1
3	240,1	249,1	9,0	сл	38	308,7	310,7	2,0	сл
4	249,1	251,5	2,4	0,1	39	310,7	311,7	1,0	0,1
5	251,5	255,0	3,5	сл	40	311,7	318,7	7,0	сл
6	255,0	257,0	2,0	0,2	41	318,7	320,7	2,0	0,1
7	257,0	258,0	1,0	сл	42	320,7	322,7	2,0	сл
8	258,0	259,9	1,9	0,1	43	322,7	323,7	1,0	0,1
9	259,9	261,0	1,1	сл	44	323,7	327,7	4,0	сл
10	261,0	261,9	0,9	0,1	45	327,7	329,7	2,0	0,1
11	261,9	262,9	1,0	0,1	46	329,7	331,7	2,0	сл
12	262,9	265,0	2,1	0,1	47	331,7	332,7	1,0	0,1
13	265,0	268,7	3,7	сл	48	332,7	334,7	2,0	сл
14	268,7	274,7	6,0	0,1	49	334,7	335,7	1,0	0,1
15	274,7	275,6	0,9	0,8	50	335,7	336,7	1,0	0,3
16	275,6	276,2	0,6	4,3	51	336,7	337,7	1,0	сл
17	276,2	277,2	1,0	0,4	52	337,7	338,7	1,0	0,1
18	277,2	278,2	1,0	1,0	53	338,7	341,7	3,0	сл
19	278,2	278,4	0,2	4,6	54	341,7	347,0	5,3	0,1
20	278,4	280,0	1,6	0,3	55	347,0	348,0	1,0	сл
21	280,0	281,6	1,6	сл	56	348,0	349,0	1,0	0,1
22	281,6	282,6	1,0	2,3	57	349,0	351,3	2,3	сл
23	282,6	283,6	1,0	0,7	58	351,3	352,6	1,3	0,1
24	283,6	284,8	1,2	1	59	352,6	354,0	1,4	сл
25	284,8	286,0	1,2	0,8	60	457,8	459,8	2,0	сл
26	286,0	287,0	1,0	0,4	61	459,8	460,8	1,0	0,1
27	287,0	289,0	2,0	1,2	62	460,8	461,7	0,9	сл
28	289,0	290,0	1,0	1	63	461,7	462,7	1,0	0,1
29	290,0	293,0	3,0	0,2	64	462,7	463,3	0,6	сл
30	293,0	295,0	2,0	0,1	65	463,3	478,4	15,1	0,1
31	295,0	297,0	2,0	1	66	478,4	480,1	1,7	0,1
32	297,0	299,0	2,0	сл	67	480,1	492,4	12,3	сл
33	299,0	302,2	3,2	0,1	68	492,4	493,4	1,0	0,1
34	302,2	303,4	1,2	сл	69	493,4	495,4	2,0	сл
35	303,4	304,4	1,0	0,1	70	513,0	514,4	1,4	0,1

Через все рудное поле протягиваются две полосы развития даек северо-восточного направления. Минерализация в дайках отсутствует, метасоматоз проявлен слабо, они являются послерудными [Сазонов В.Н. и др., 2011]. Это подтверждается и тем, что тектонические нарушения, ориентированные параллельно дайкам, смещают продуктивные кварцевые жилы.

На месторождении широко развиты разрывы меридионального и субмеридионального простирания. Они представлены трещинами сланцеватости, наблюдающимися во всех породах черносланцевой толщи, и развивающимися на их фоне зонами смятия и зонами повышенной трещиноватости. Простирание сланцеватости совпадает с простиранием слоистости, реже наблюдаются секущие взаимоотношения. Меридиональные нарушения представлены 1–2 – метровыми зонами сближенных трещин с крутым падением на запад (реже на восток). По нарушениям развиваются кварцевые жилы и многочисленные прожилки. Пояса кварцевых жил контролируются зонами разломов второго и третьего порядков, а системы и кулисы жил, образующие пояса, непосредственно связаны с более мелкими тектоническими нарушениями – зонами смятий и рассланцевания более низких порядков. Кулисы кварцевых жил локализуются в оперяющих по отношению к зонам смятий трещинах разрыва или скола и развиваются чаще всего в породах, непосредственно примыкающих к зоне, или в участках между двумя кулисообразными зонами, или в местах сопряжения зон различных простираний. Расположение и ориентировка кварцевых жил в пределах таких кулис четко согласуется с ориентировкой контролирующих их нарушений и определяется расположением систем оперяющих трещин разрыва или скола, в подавляющем большинстве – первых (Рисунок 1.8).

В работе [Месторождения золота Урала..1999] приведены определения температурного режима образования кварцевых жил углеродистой полосы и состав содержимого вакуолей методом криогомогенизации. Разнообразный состав включений с большими колебаниями содержаний газовой и жидкой фаз, наличие включений с жидкой CO_2 свидетельствует о большом давлении рудообразующих флюидов, их насыщенности газовой составляющей.



Рисунок 1.8 – Кварцевая жила в углеродистых сланцах брединской свиты Кумакского месторождения. Фото автора (2018 г).

Приведенные данные позволяют однозначно отнести Кумакское рудное поле к полихронным и полигенным образованиям.

1.3. Месторождения и рудопроявления золота Кумакского рудного поля

В пределах Кумакского рудного поля выявлены несколько золоторудных месторождений и проявлений, которые представлены *золото-кварцевой* и *золото-сульфидно-кварцевой* формациями [Лядский П.В. и др., 2018]. Последняя является типичной для рудного поля.

Золото-кварцевая рудная формация представлена проявлениями Тамара и Октябрь (Рисунок 1.9; Рисунок 1.10). Они залегают в березняковской толще (D_3-C_1bz), сложенной туфами от основного до кислого состава, часто перекристаллизованными в туфосланцы; ксенотуфами, туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туфопелитами с горизонтами лав базальтов, андезитов, дацитов и прослоями туффитов, углеродисто-глинистых сланцев, алевролитов, песчаников, редко известняков. Породы претерпели динамотермальный метаморфизм в условиях фации зеленых сланцев и

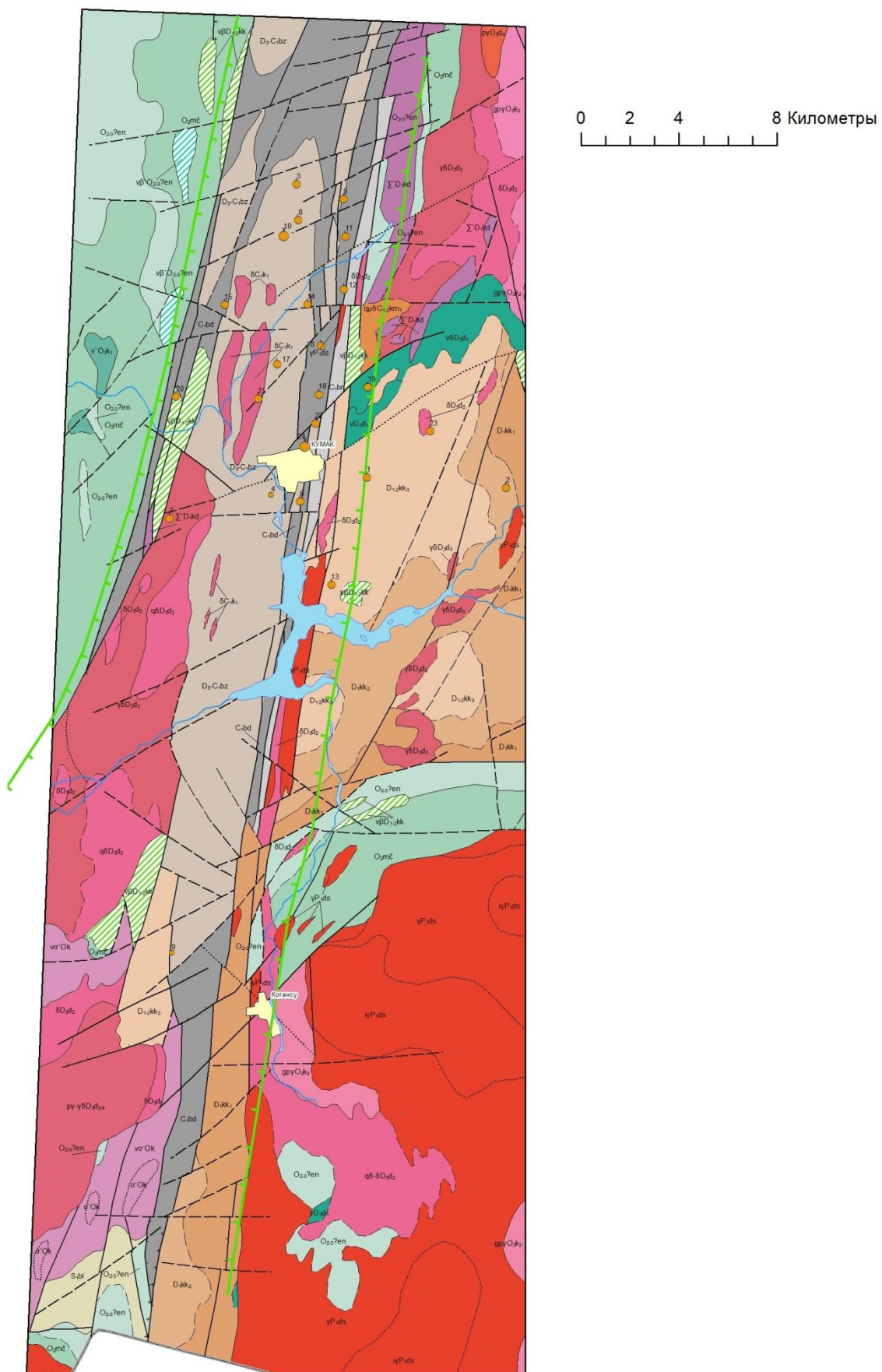


Рисунок 1.9 – Геологическая карта района Кумакского рудного поля
(составлена автором по П.В. Лядскому и др. [2018])

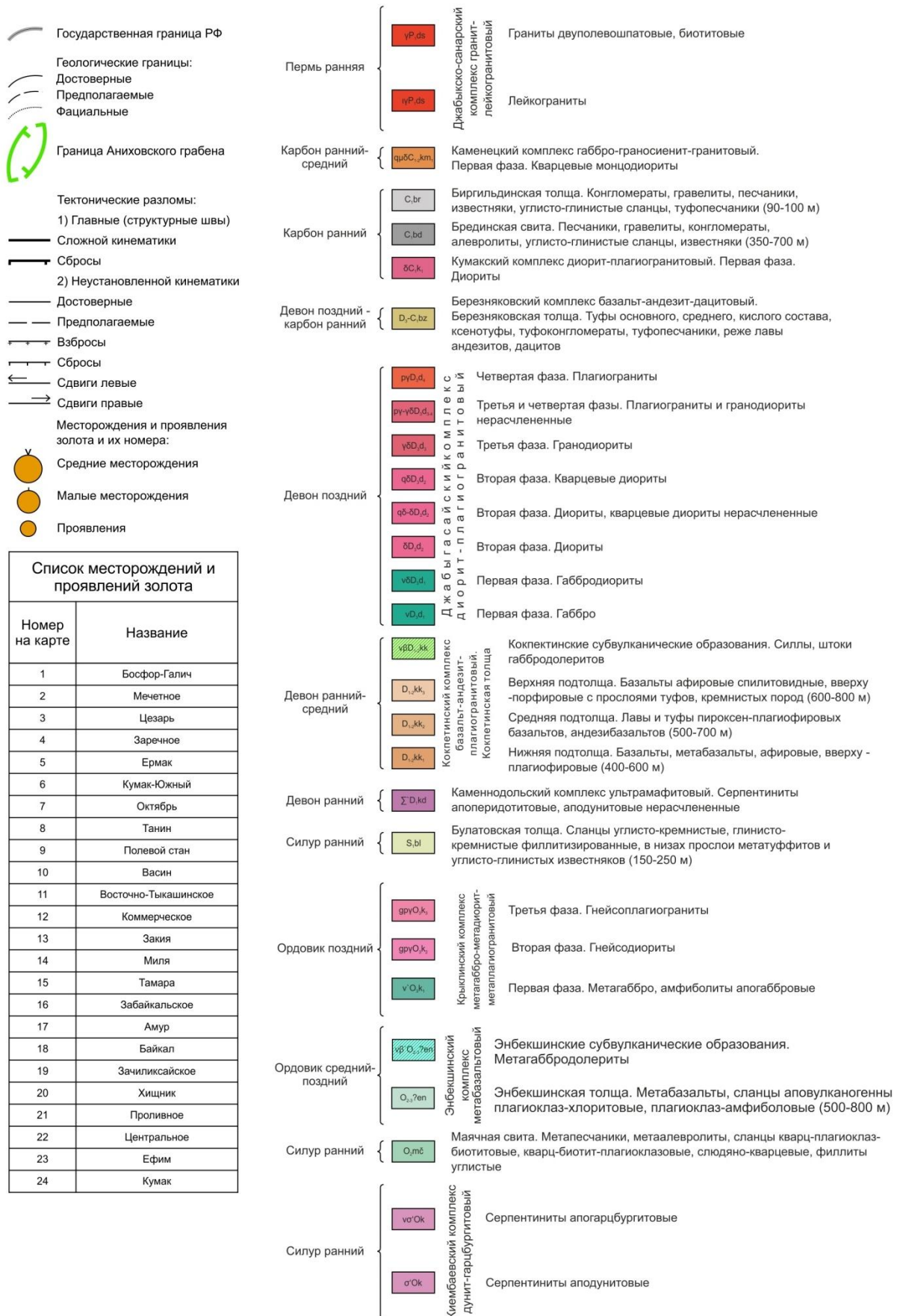


Рисунок 1.10 – Условные обозначения к геологической карте района Кумакского рудного поля

ороговикование в экзоконтактах интрузии с образованием биотит-кварцевых и биотит-плагиоклазовых роговиков [Лядский П.В. и др., 2018]. Мощность толщи составляет 1000–1300 м. Органические остатки в её породах не обнаружены. Нижняя граница – тектоническая, выше ее с разрывом залегают отложения фаунистически охарактеризованной брединской свиты.

Проявление *Октябрь* расположено в 5,5 км к юго-западу от п. Кумак в северо-западном эндоконтакте Акжарского массива гранодиоритов. Старателями до 1937 года разрабатывались на проявлении пять сближенных кварцевых жил до глубины 15–17 м. Средние содержания золота в жилах по разным блокам колебались от 11,7 г/т до 21,5 г/т. Неоднократно наблюдалось тонкодисперсное золото в пирите и халькопирите. По результатам поисковых работ, выполненных на проявлении при геологическом доизучении масштаба 1:50000 [Якобс Е.И. и др., 1978ф], выявлена основная рудоносная зона, приуроченная непосредственно к эндоконтакту гранодиоритов с габброидами. Скважинами в гидротермально-измененных гранодиоритах с прожилками кварца выявлено три рудных зоны с крутым восточным падением. Вскрытая мощность рудных зон достигает 4,3 м при содержании золота 7,7 г/т. Рудоносные зоны четко фиксируются линейными аномалиями магнитного поля и комплексными литохимическими ореолами золота, вольфрама, висмута, серебра, свинца.

Проявление *Тамара* находится в полосе развития пород нижней толщи верхнетурнейско-нижневизейских отложений. Толща слагает крутое восточное крыло синклинальной структуры и представлена кварцевыми песчаниками и гравелитами с редкими прослоями углеродисто-алевритистых сланцев. Проявление относится к кварцево-жильному типу [Альбов М.Н., 1930; Максимов В.А. и др., 1965ф]. До глубины 25–30 м старателями отработывались кварцевые жилы, содержание золота в жилах в трехсотметровой зоне старательских выработок колебалось от 2,4 до 21,7 г/т, при среднем значении 8 г/т. Длина жил составляла от 20 до 130 м при мощности 0,15–2,0 м, падение жил восточное крутое (70°). Рудная минерализация представлена золотом и лимонитизированными сульфидами. Основные перспективы проявления

связывают с возможным развитием золотого оруденения типа минерализованных зон (зон прожилкового окварцевания). Такая зона вскрыта канавой в центральной части проявления. Здесь в интервале 64–65 м, расположенном в 56 м восточнее зоны старых разработок, в прожилково-окварцованных и рассланцованных алевропесчаниках содержание золота составляет 11 г/т [Якобс Е.И. и др, 1978ф].

Золото-сульфидно-кварцевая рудная формация представлена следующими месторождениями и проявлениями: Коммерческое, Забайкальское, Кумак-Южный, Миля, Хищник, Байкал и др. Севернее в 9 км от Кумакского в меридиональной черносланцевой толще залегает *Коммерческое* месторождение. В его пределах развиты нижнепалеозойские порфиритоиды и среднепалеозойские терригенные отложения – углеродистые сланцы, гравелиты и известняки. Они прорваны крупным интрузивным телом – Кумакской (Уникальной) дайкой гранит-порфиров и рядом мелких даек трех петрографических групп – гранитов, диоритов и сиенитов. Месторождение на глубине 100 м вскрыто горными выработками, которыми подсечено несколько мелких разрозненных линз с невысоким содержанием золота. Они залегают в рассланцованных дацитовых порфиритах по их контакту с западной пачкой углеродистых пород, местами контакт осложнен тектоническими подвижками и насыщен большим количеством кварцевых жил и прожилок. Как правило, такие участки и являются наиболее золотоносными. В состав золотоносных линз входят очень небольшие количества сульфидов, которые выделяются в виде мелкой рассеянной вкрапленности и прожилок как в рассланцованных дацитовых порфирах, так и в насыщающих их кварцевых прожилках.

Проявление Хищник находится в 5 км к северу от проявления Октябрь, на правом борту долины р. Кумак. На рудопроявлении установлено оруденение типа минерализованных зон [Якобс Е.И. и др., 1978ф] среди интенсивно окварцованных и тектонически перемятых серицит-полевошпат-хлоритовых сланцев, которые пронизаны прожилками кварца мощностью до 5–10 см, образующими золоторудную зону окварцевания шириной до 50 м. Канавами зона прослежена на 350 м, морфологически она представляет собой сужающийся к югу

клин гидротермально-измененных и окварцованных зеленых сланцев, залегающих среди габбро-диабазов. На всем простирании жилы контролируются меридиональным тектоническим нарушением. Всего среди описанной зоны в окварцованных сланцах выявлено семь рудных интервалов со средним содержанием золота от 1,0 до 3,2 г/т при мощности от 2 до 7 м, слагающих три самостоятельных рудных тела. Распределение золота по зоне крайне неравномерное. Максимальные его содержания приурочены к участкам интенсивного дробления, смятия и прожилкового окварцевания пород, а также к зальбандам более мощных кварцевых жил.

Проявление *Закия* расположено в 5 км южнее Кумакского месторождения. Представлено оно кварцевыми жилами протяженностью 5–100 м и мощностью 0,2–1,0 м, с крутым северо-западным или юго-западным падением среди спилитовидных диабазов. Некоторые жилы разрабатывались старателями, среднее содержание золота в кварце достигало 11 г/т.

Месторождение *Васин* находится в 9 км к северо-западу от месторождения Кумакское. Оно сложено средне-верхнедевонскими туфогенно-осадочными породами и контролируется субмеридиональной тектонической зоной, а также сопровождается широким развитием рудоносных метасоматитов. На месторождении золотоносное оруденение приурочено к крутопадающим метасоматическим зонам субмеридионального простирания, мощностью до 60 м и протяженностью по простиранию до 2,0–2,5 км. Метасоматиты насыщены прожилками кварцевого, кварц-полевошпат-анкерит-хлоритового, кварц-турмалинового состава с тонкой вкрапленностью пирита, халькопирита, магнетита. Среди главных рудных минералов на месторождении Васин можно отметить сульфиды (пирит, халькопирит), количество которых обычно не превышает 2%, магнетит, титаномagnetит, гематит и самородное золото. Проявление *Танин* рассматривается как северо-восточный фланг месторождения Васин.

На большинстве мелких месторождений и проявлений отрабатывалась зона окисления до появления грунтовых вод (10–30 м), где золото освобождалось из сульфидов и происходила его гипергенная концентрация и укрупнение.

1.4. Элементы структуры и тектоники

Как отмечалось выше, Кумакское месторождение приурочено к Аниховскому грабену, расположенному в южной части Восточно-Уральского поднятия, на его южном продолжении локализуется Старо-Карабутацкий – в пределах Восточно-Мугоджарской структурно-формационной зоны (Рисунок 1.1). Последний протягивается в субмеридиональном направлении более чем на 200 км между Шолак-Кайрактинским и Текельды-Таусским антиклинориями Восточно-Мугоджарского мегантиклинория [Абдулин А.А. и др., 1969; Болтыров В.Б., 1980ф; Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 2006]. В пределах Оренбургской области грабен имеет вид оперяющей структуры, ответвляющейся к северо-западу от Восточно-Мугоджарского разлома. Он выполнен нижнепалеозойскими, нижнекаменноугольными и нижнепермскими образованиями (Рисунок 1.11). Границы между указанными комплексами тектонические. В разрезе строение грабена ступенчатое – более опущенным является восточный блок, выполненный нижнекаменноугольными черносланцевыми отложениями.

Аниховский грабен, ориентированный в субмеридиональном направлении, делит Восточно-Уральское поднятие на два крупных мегаблока II порядка: Адамовский и Текельды-Таусский антиклинории и является зоной смятия на границе двух антиклинальных структур. В пределах каждого из мегаблоков выделяются мелкие структуры III и более порядков. Тектоническая граница Аниховского грабена с мегантиклинориями прямолинейна на всем протяжении, смещаясь лишь на 0,5–1 км при пересечении грабена северо-восточными молодыми разломами.

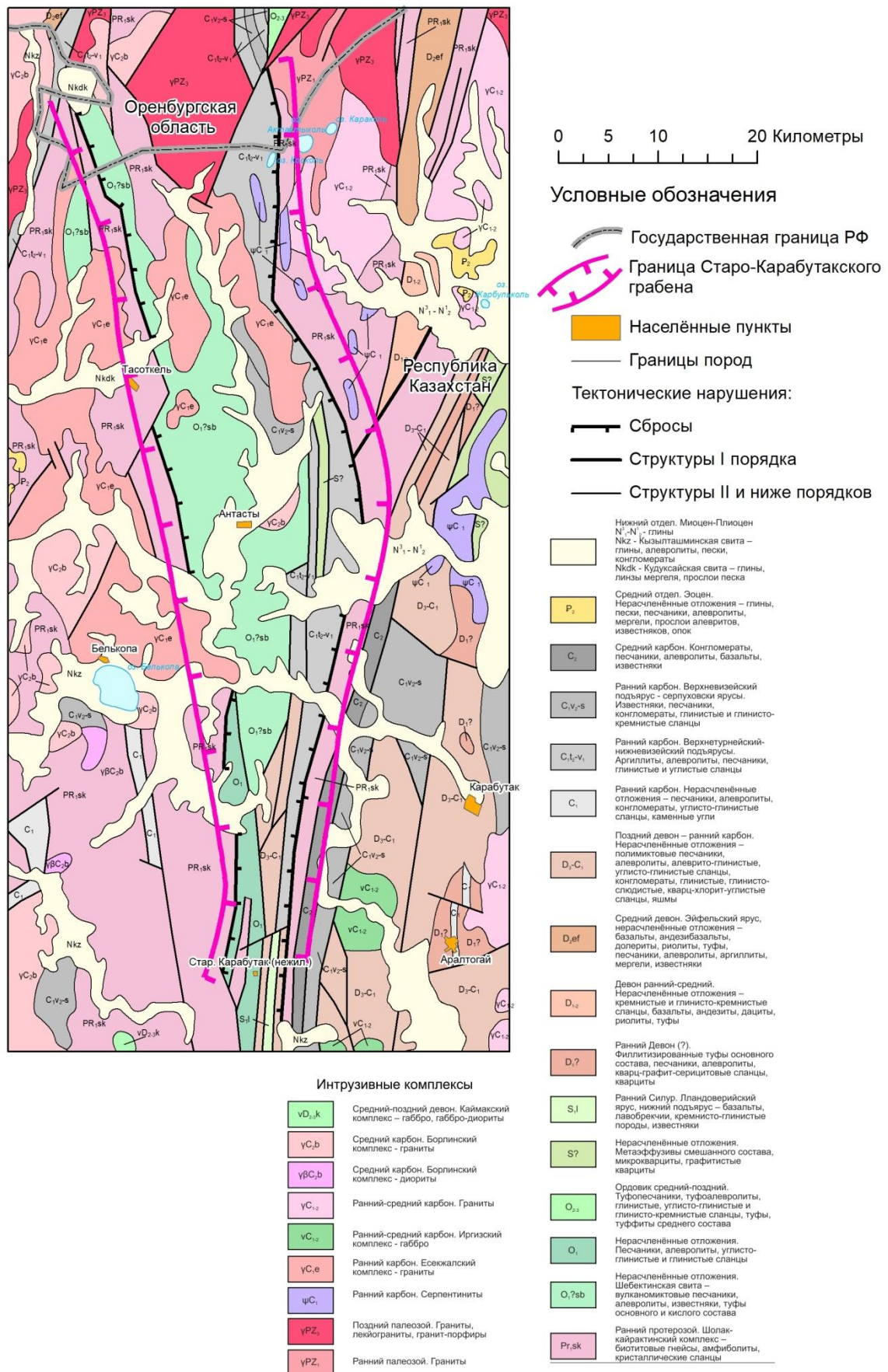


Рисунок 1.11 – Геологическая карта Старо-Карабутакского грабена (составлена автором по Болтырову В.Б. [1980ф])

Аниховский и Старо-Карабутацкий грабены приурочены к крупному тектоническому шву Челябинского разлома на участках рифтовидного типа. Его особенностью является то, что он состоит из нескольких кулис, заходящих друг за друга с небольшим смещением в северном направлении. Каждая кулиса представляет крупное разрывное нарушение: Баландинский разлом, Западное ограничение Челябинского грабена, Тарутинско-Наследнинский разлом [Болтыров В.Б. и др., 1980ф]. Расширение обоих грабенов в северо-западном направлении указывает на лево-сдвиговое движение крыльев тектонического шва. К субмеридиональным разрывам, ограничивающие Аниховский и Старо-Карабутацкий грабены, относятся: с востока Восточно-Аниховский и Восточно-Мугоджарский разломы; разломы, ограничивающие с запада южные части грабенов; и группа параллельных им разломов внутренней части грабенов. Наиболее значительные – Восточно-Аниховский и Восточно-Мугоджарский, являющихся кулисами Челябинского шва. Левосдвиговые перемещения по этим разломам привели к формированию грабенов. Разломы северо-западного направления развиты преимущественно в их северных частях. По своей природе они являются сбросами, оперяющими сдвиг, и сформировались благодаря левосдвиговым перемещениям вдоль главных субмеридиональных разломов.

Строение Аниховского грабена в современном плане сложное и неоднородное по простиранию структуры, что обусловлено сочетанием в ее пределах участков, резко различных по степени дислоцированности. Отдельные полосы, в которых породы рассланцованы или смяты в системы сложных складок, чередуются с участками массивного строения. Такие зоны смятия прослеживаются на расстоянии от 2-х до 10 км при мощности 10–100 м, располагаются кулисообразно, имеют субмеридиональное или северо-северо-восточное направление и обнаруживают приуроченность к контактам различных по механическим свойствам пород. Ориентировка складчатости в зоне грабена меняется с северо-западной на севере на северо-восточную на юге. Продуктивная толща месторождения морфологически выделяется повышенным рельефом и представляет собой увал, вытянутый в меридиональном направлении. Отмечается

серия субширотных разломов и надвигов, а также ряд сдвигов и разломов северо-восточного простирания, находящихся отражение в рельефе (Рисунок 1.12). В структуре выделяются 4 группы разрывных нарушений: граничные прибортовые разломы; широтные расколы допалеозойского фундамента; зоны трещиноватости, обусловившие локализацию жильных и дайковых поясов и диагональные нарушения послевизейского возраста [Болтыров В.Б. и др., 1980ф, Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 2006]. Мелкие складки имеют ориентировку шарниров, параллельную основным разрывам, ограничивающим грабен. Ширина зон интенсивной приразломной складчатости составляет 1,5–2 км. Помимо складчатых структур широко проявлены разрывные нарушения всех рангов, от трещин до глубинных разломов, вследствие чего его строение приобретает мозаично-блоковый характер.

Граничные прибортовые разломы Аниховского грабена являются рудоконтролирующими для золотого оруденения типа минерализованных зон. Заложение системы нарушений относится к поздне-среднедевонскому времени, однако разломы в их современном виде образовались в результате деятельности верхнепалеозойского орогенеза [Болтыров В.Б. и др., 1980ф]. Зоны неодинаково отображаются в физических полях. Восточно-Аниховские разломы в виде многочисленных параллельно ориентированных нарушений общей шириной до 1,5 км четко выделяются в магнитном и гравитационном полях и подтверждаются геологическими наблюдениями в виде зон дробления, катаклаза, выполнения трещинными интрузиями. Падение Восточно-Аниховских разломов западное, крутое под углом порядка 70° . Западно-Аниховские разломы отображаются хорошо только в магнитном поле. Предполагаемое падение зон этих разломов крутое восточное. Амплитуда сброса порядка 1000 метров. С граничными бортовыми нарушениями связаны параллельно идущие им разломы внутри Аниховского грабена. *Субширотные нарушения* верхнедевонского возраста являются сквозными, выходящими за пределы структуры. Вдоль нарушений отмечаются смещения геологических границ.

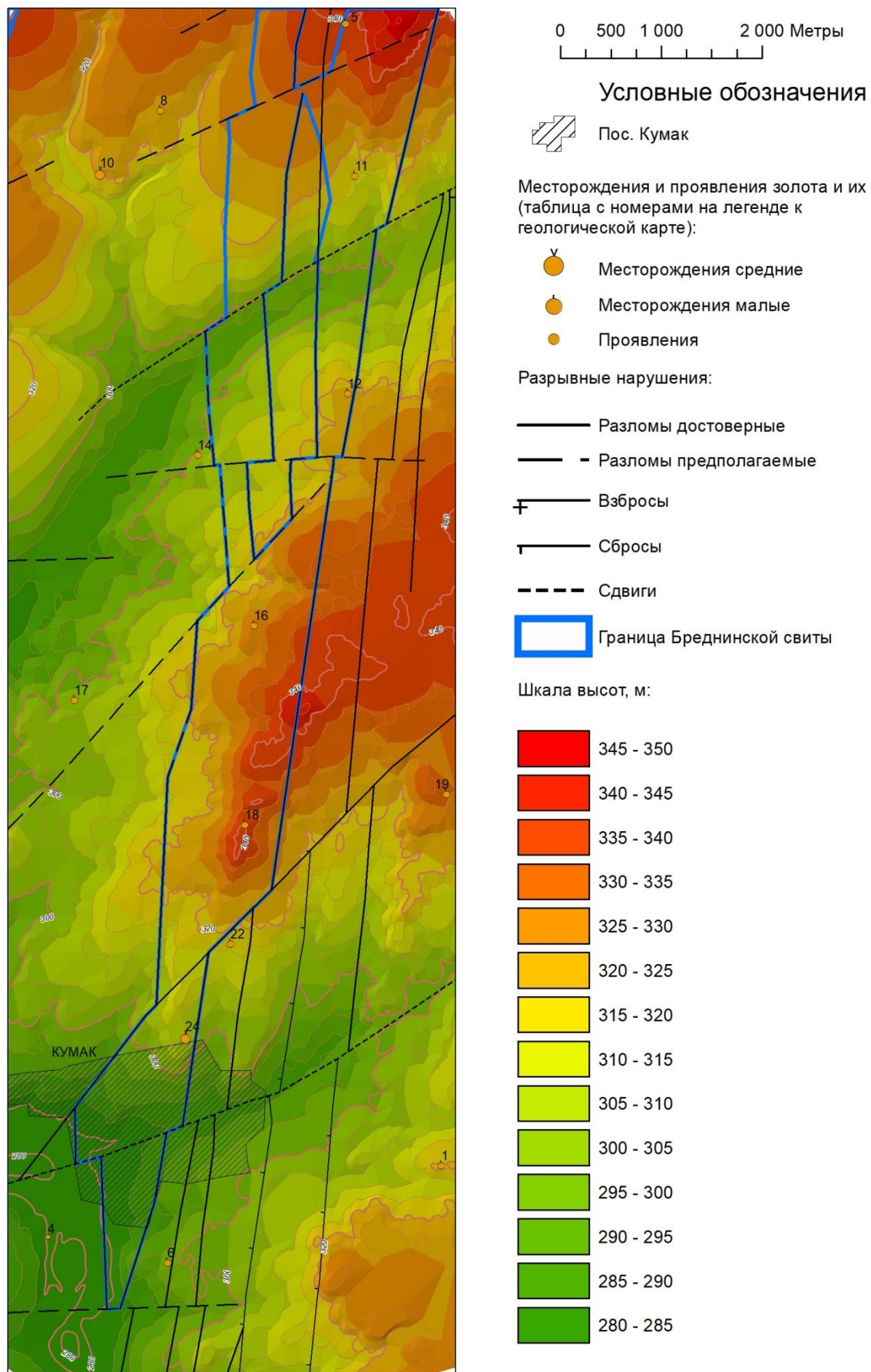


Рисунок 1.12 – Карта рельефа Кумакского рудного поля (составлена автором)

Почти повсеместно отмечен правосторонний сдвиг с амплитудой перемещения в плане от 20–30 до 180 метров.

На месторождении широко развиты *разрывы* меридионального и субмеридионального простирания. Они представлены трещинами сланцеватости, наблюдающимися во всех углеродистых породах и развивающимися на их фоне зонами смятия и отдельными тектоническими нарушениями. Нарушения всех направлений неоднократно повторялись. Вследствие подвижек кварцевые прожилки, развивающиеся по нарушениям, сильно подроблены. Часто по контактам кварцевых жил и в разновозрастных минеральных агрегатах наблюдаются многочисленные зеркала скольжения. В ряде случаев наблюдалось изгибание оперяющих их трещин.

Породы черносланцевой полосы смяты в складки с незначительной амплитудой. Падение пластов крутое и в общей сложности западное под углом 70° – 80° , имеются отдельные участки, где падение пластов на незначительных площадях восточное. Эта изоклиная складчатость, вероятно, формировалась в связи с движением стенок грабена и наложена на более ранние и сравнительно пологие складки. В горных выработках рудника также наблюдается складчатость разных амплитуд. Метаморфизм, изменивший породы, затушевал слоистость пород и границы между пластами, которые наблюдаются довольно редко. Слоистость, подчеркнутая интенсивной сланцеватостью, отмечается на многих участках месторождения. *Сланцеватость* присуща всем породам, участвующим в сложении месторождения, и, как правило, она легко устанавливается макроскопически, благодаря преобладанию в породах слюдистых минералов. Основное направление сланцеватости колеблется в пределах северо-восточного направления с азимутом простирания от 0 до 10° . Падение сланцеватости 60° – 80° в обе стороны.

Важную роль в локализации оруденения играют серии зон повышенной трещиноватости пород север – северо-западного направления. Они развиты внутри блоков, ограниченных поясами кварцевых жил. Таких серий зон трещиноватости на рудном поле несколько. В некоторых из них, в узких блоках

пород мощностью в несколько метров и протяженностью в сотни метров, кроме трещиноватости, проявилось интенсивное рассланцевание. Породы в сильно рассланцованных блоках окварцованы или пронизаны прожилками кварца. На месторождениях Кумакского рудного поля отмечается прямая зависимость между интенсивностью и масштабом проявления минерализации и сложностью построения структур оруденелого блока. Послерудные разрывы развиты весьма слабо [Сазонов В.Н. и др., 2011]. В верхней части месторождения не известны значительные смещения рудных тел, а на глубоких горизонтах послерудные подвижки проявились лишь в образовании небольших зеркал скольжения на самых поздних минеральных агрегатах. Благоприятным условием для локализации золотого оруденения Кумакского типа следует также считать интенсивное рассланцевание и обусловленную им высокую проницаемость пород сланцевой толщи Аниховского грабена для рудоносных растворов, которая еще более увеличивается на участках развития субмеридиональных зон смятия, накладывающихся на рассланцованные породы [Коломоец А.В. и др., 2019].

Диагональные (северо-восточные и северо-западные) нарушения развиты незначительно по сравнению с меридиональными и не являются важным фактором локализации золотого оруденения в пределах Аниховского грабена, поскольку роль их в увеличении проницаемости рудовмещающих толщ мала по сравнению с ролью рассланцевания и других меридиональных нарушений.

1.5. Влияние интрузивного магматизма и метаморфизм

В пределах изучаемого района магматическая деятельность проявилась весьма интенсивно в форме интрузивных и эффузивных комплексов самого разнообразного состава.

Развитие магматизма имело направленный характер: от массовых излияний базальтоидов к локальным проявлениям кислого вулканизма и широкому развитию плутонических комплексов [Якобс Е.И. и др., 1978ф]. На ранних стадиях формировались формации офиолитового комплекса и базальтов

железистого уклона ($\Sigma'D_1kd$). Позднее, одновременно с накоплением продуктов тефро-турбидитной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации, сформировались субвулканические тела и интрузивные массивы тоналит-гранодиорит-плагиогранитной субформации ($\nu\delta D_3d$) *Акжарского интрузивного массива*. С накоплением осадков прибрежной терригенно-угленосной молассовой формации происходило формирование интрузивных образований гранитной формации *Котансинского массива* (Рисунок 1.13). Комплекс малых интрузий и даек диоритового, гранодиоритового состава ($\gamma\delta\pi C_1k$), образованием которых завершается формирование интрузий тоналит-гранодиорит-плагиогранитной субформации, пространственно приурочен к центральной части *Тыкашинской антиклинали*.

Кайрактинский ($\zeta;\nu\beta C_1kr$) гипербазитовый массив расположен в зоне Восточно-Аниховских разломов, в северной части рудного поля. Он простирается в виде дайкообразного тела в северо-восточном направлении, занимая площадь около 20 км², сложен аподунитовыми, апогарцбургитовыми серпентинитами и пироксенитами. В тесной пространственной связи с ультрабазитами находятся полосчатые амфиболиты, полевошпат-кварцевые сланцы с магнетитом. Жильные образования офиолитового комплекса представлены родингитами, пироксенитами и габброидами. Массив прорывает долериты девонского (D_{1-2}), сланцы и известняки нижнекарбонового возрастов. В строении массива важную роль играют перидотиты, подчиненную – пироксениты и дуниты; последние образуют шапкообразное тело в южной части массива и относятся к гарцбургитовым разностям. Породы комплекса метаморфизованы в условиях фации зеленых сланцев. Химические составы габбродолеритов характеризуются высоким (более 7) отношением Na_2O/K_2O , повышенными содержаниями титана, суммарного железа [Бородаевский Н.И. и др., 1965ф].

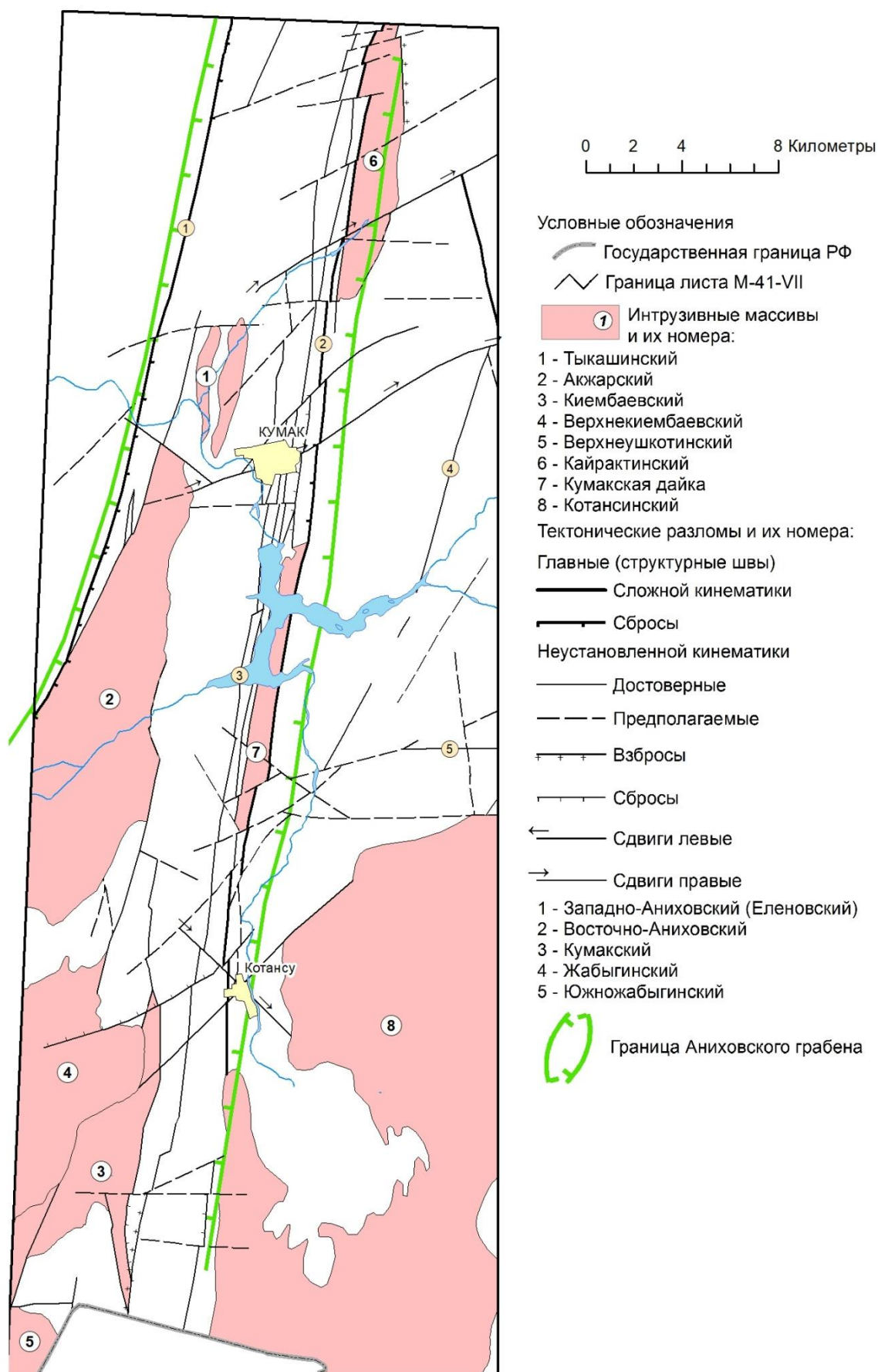


Рисунок 1.13 – Тектоническая схема Кумакского рудного поля (составлена автором по П.В. Лядскому и др. [2018])

Акжарский и Верхнекиембаевский массивы входят в джабыгасайский комплекс диорит-плагиогранитовый ($v, v\delta D_3 d_1$; $\delta, m\delta, q\delta, q\delta - \delta D_3 d_2$; $\gamma\delta, p\gamma\delta D_3 d_3$; $p\gamma - \gamma\delta D_3 d_{3-4}$; $p\gamma, l\gamma; \gamma, p\gamma\pi, p\gamma D_3 d_4$), который состоит из многочисленных интрузий разных размеров и формы. Фрагментарно породы комплекса развиты по периферии и в провесах кровли Котансинского массива. *Акжарский массив* расположен в юго-западной части Аниховского грабена (входит северной своей частью в пределы Кумакского рудного поля), образуя в плане вытянутое клиновидное тело длиной около 18 км (**Рисунок 1.13**). Слагающие массив породы представлены кварцевыми диоритами, тоналитами, гранодиоритами. Среди жильных образований наблюдаются плагиограниты, диоритовые порфириды и спессартиты. Простираание контактов северо-восточное 20° , согласное с простираанием вмещающих его пород. Горными выработками в районе проявления Октябрь вскрыт западный контакт массива с кварцевыми порфирами нижнекарбонового возраста. По контакту отмечается интенсивное рассланцевание как вмещающих кварцевых порфиров, так и гранодиоритов, интенсивная гидротермальная переработка их с образованием березитов. На востоке гранодиориты контактируют с рассланованными дацитовыми порфирами и альбитофирами. Породы массива подвергнуты на отдельных участках катаклазу и рассланцеванию, в них наблюдаются многочисленные кварцево-турмалиновые жилы с золотом. Характерной особенностью пород джабыгасайского комплекса является повышенное содержание бора в постмагматических образованиях.

Кумакский комплекс диорит-плагиогранитовый ($\delta; \delta\pi C_1 k_1$; $p\gamma C_1 k_2$) развитый в пределах Кумакского золоторудного поля представлен *Тыкашинской интрузией* (Рисунок 1.13) и *слепым телом шахты Новокапитальной*, а также мелкими телами диоритов, восточнее Акжарского массива, и золотоносными дайками диоритов и плагиогранитов. Наиболее крупные тела имеют удлиненную дайкообразную форму и при ширине 0,5–0,8 м вытянуты в субмеридиональном направлении на 4–5 км [Лядский П.В. и др., 2018]. Интрузии сложены в основном альбитизированными диоритами, переходящими иногда постепенно в гранодиориты. Состоят из плагиоклаза альбитизированного, эпидотизированного,

иногда полностью замещенного серицитом – 50–60 %, калиевого полевого шпата – 0–10%, занозистого альбита – 10–15%, кварца – 4–20%, биотита, часто хлоритизированного, – 12–15%; акцессорных: апатита, сфена, циркона, граната и рудных: пирита, хромита, ильменита. Формирование пород комплекса сопровождалось интенсивным метасоматозом с образованием альбититов, лиственитов, березитов, кварцевых и анкерит-кварцевых золотоносных жил и обогащением пород магнетитом, гематитом, оттрелитом, мышьяком, ураном. Породы кумакского комплекса прорывают отложения березняковской толщи, брединской свиты и гранитоиды Акжарского массива. Гальки сильно измененных диоритов и диоритовых порфириров встречаются в базальных конгломератах биргильдинской толщи. По этим данным в серийной легенде принят раннекаменноугольный возраст комплекса [Лядский П.В. и др., 2018].

Кварцевые диориты комплекса, по внешнему виду, представляют плотные зеленовато-серые кристаллические среднезернистые породы, иногда имеющие гнейсовидный облик. Под микроскопом в их составе различаются плагиоклаз, кварц, хлорит, биотит, роговая обманка, ортоклаз. Из рудных минералов установлены магнетит, из акцессорных – апатит, циркон и кальцит. Наблюдаются рудные жилы в апикальной части интрузии кварцевых диоритах, на переходе этих жил в породы кровли [Альбов М.Н. и др., 1965ф]. Имеются фактические данные о золотоносности кварцевых диоритов, вскрытых горными выработками и бурением (Таблица 1.4; Рисунок 1.5).

Таблица 1.4 – Содержание золота в кварцевых диоритах в скважине № 167 по данным пробирного анализа [Альбов М.Н. и др., 1965ф]

<i>№№ проб</i>	<i>Интервал опробования, м</i>	<i>Уход, м</i>	<i>Содержание золота</i>
1	159,60–164,55	4,95	16,6
2	164,55–165,35	0,80	2,4
3	165,35–165,85	0,50	2,0
4	165,85–171,45	5,60	следы
5	171,45–173,15	1,70	0,9
6	173,15–187,15	14,00	следы
7	187,15–187,30	0,15	следы

Продолжение таблицы 1.4

8	187,30–189,45	2,15	следы
9	189,45–190,90	1,45	0,5
10	190,90–192,10	1,20	следы
11	192,10–195,20	3,10	10,4
12	195,20–196,70	1,50	следы
13	196,70–197,95	1,25	1,0
14	197,95–200,55	2,60	следы
15	200,55–205,25	4,70	3,8
16	205,25–206,95	1,70	следы
17	206,95–211,80	4,85	1,0
18	211,80–218,60	6,80	следы
19	218,60–222,95	4,35	1,6

Верхнепалеозойский интрузивный комплекс ($\gamma, g\gamma, l\gamma; \gamma, l\gamma, a, pP_1ds$) на изучаемой площади представлен гранитным *Котансинским интрузивом и Кумакской (Уникальной) дайкой гранит-порфиров*.

Котансинский массив вытянут в северо-северо-восточном направлении (Рисунок 1.13). На востоке он контактирует с гнейсами и кварцитами докембрия, на севере и западе – с долеритами, порфиритами и туфами девона, в которых образуется широкая зона магматизации. В северной части массива вдоль контакта с вулканогенной толщей девона образуется узкая полоса гибридных приконтактных пород диоритового, гранодиоритового, плагиогранитного состава, постепенно переходящих в амфиболовые, а затем и в биотитовые граниты. Порфировидные биотитовые граниты развиты преимущественно в южной части массива; в северной части распространены, в основном, средне-равномернозернистые биотитовые, мусковитовые и двуслюдяные граниты, постепенно сменяющие друг друга [Бородаевский Н.И. и др., 1965ф]. Состав гранитов: кварц – 37%, калиевый полевой шпат (микроклина) – 28%, плагиоклаз – 25%, мусковита – 7%, биотит – 2%, акцессорные (циркон, апатит, гранат) – 1%. Граниты слабо затронуты вторичными процессами. К котансинскому комплексу относятся также небольшое тело нормальных гранитов, расположенное в юго-восточной части Джабыгасайского массива.

Кумакская (Уникальная) гранитная дайка вытянута в меридиональном направлении на протяжении 32 км [Лозовой М.В. и др., 1961ф]. Она заполняет

крупный меридиональный разлом, по обе стороны которого залегают различные группы пород: к востоку – долерито-порфирировая толща, а к западу золотоносная черносланцевая толща. Преобладающими породами в составе дайки являются плагиоклазовые гранит-порфиры и микроклиновые граниты, менее распространены аплитовидные граниты. По внешнему виду микроклиновые граниты имеют розоватый цвет, среднезернистую, иногда грубозернистую структуру. В их составе кварц, микроклин, олигоклаз и слюда. Максимальную мощность дайка имеет в районе Кумакского месторождения (750–960 м); к северу ее мощность постепенно убывает до 50 м, и в 4 км к северу от р. Кайракты – выклинивается. Количественный минералогический состав гранитов: кварц – 25–40%, микроклин – 10–40%, плагиоклаз – 20–50%, мусковит – до 10%, биотита не более 5%. Уникальная дайка обладает собственной жильной серией, представленной аплитами, пегматитами и гранит-порфирами. Эти породы слагают дайки и жилы небольшой (5–20 см) мощности, разного простирания, часто изгибающиеся, ветвящиеся. Контакты жил с вмещающими их гранитами и гнейсами резкие интрузивные, реже неясные расплывчатые.

Наиболее характерной чертой интрузивных пород Кумакского рудного поля является пересыщенность алюминием и преобладание железа над магнием. Во всех породах, кроме гранитов Уникальной дайки, натрия преобладает над калием. В кварцевых жилах всех массивов в значительных количествах постоянно присутствуют Co, Ni, Cr, Cu, Mn, Ti, V, Zr, Pb, Zn, реже встречаются Ag, La, Nb, Ge, W и в единичных случаях – Bi, As и Be отсутствуют [Бородаевский Н.И. и др., 1966ф].

По результатам опробования на золото, проведенным пробирным и количественным спектральными методами Н.И. Бородаевским с соавторами [1966ф] определено, что пробы Котансинских гранитов не содержат золота, а в Уникальной дайке из 37 проб оно обнаружено только в одной (0,002 г/т). Для указанных комплексов золотая специализация не характерна, им присуща редкометальная: повышенные содержания ниобия, иттрия, присутствие монацита и колумбита в шлихах. Чаще золото встречается в гранодиоритах и

плагиогранитах Акжарского массива и Кумакского комплекса, что некоторые авторы связывают с явлениями ассимиляции и контаминации [Бородаевский Н.И. и др., 1966ф]. Так, в дайках гранодиорит-порфиров Акжарского массива золото содержится в количестве 0,002-0,006 г/т. Девяносто процентов проб, взятых из даек гранит-аплитов, фельзитов и гранит-порфиров Джабыгасайского массива, содержат золото от 0,006 до 1,0 г/т. Как Джабыгасайские, так и Акжарские гранитоиды несут многочисленные кварцево-турмалиновые жилы с золотом (совершенно отсутствующие в пределах Уникальной дайки).

Породы, выполняющие Аниховский грабен, подверглись различным видам метаморфических преобразований [Дубенко И.Г. и др., 1962ф; Миронов Е.Е. и др., 1980ф; Якобс Е.И. и др., 1978ф]. Помимо регионального метаморфизма, сопровождавшегося интенсивным расщеплением и катаклизмом, на них накладывались контактовые изменения, связанные с внедрением Акжарского, Кумакского и слепого диоритового массивов, их дайковых серий и Уникальной дайки. Высокая проницаемость расщепленных пород способствовала циркуляции различного рода растворов, порождаемых упомянутыми интрузивными образованиями. Наиболее интенсивно протекали процессы динамометаморфизма, которые развиваются в условиях бокового давления и приводят к образованию тектонических брекчий, катаклизмов и милонитов. Процессы динамометаморфизма широко развиты в районе вдоль зон разломов, особенно они характерны для прибортовых зон Аниховского грабена, где проявились неоднократно в верхнем палеозое.

Широко развиты в районе гидротермально-метасоматические преобразования. В связи с *позднедевонским-раннекаменноугольным гранодиоритовым магматизмом* развивается широкий фронт метасоматоза. Для его ранней щелочной стадии характерны процессы фельдшпатизации (микроклинизации и альбитизации), признаки которых установлены для гранодиоритов Акжарского массива, диоритов малых тел и вулканогенно-осадочных пород тефротурбидитной формации. Последующие стадии кислотного и позднего щелочного метасоматоза выразились в формировании оксеталитов

(березитов, гумбеитов и кварц-альбитовых метасоматитов), сопровождаемых кварцевыми прожилками с турмалином, сульфидами и золотом, поздняя щелочная стадия выразилась в новообразованиях кальцита, альбита, кварца.

С *магматизмом верхнепалеозойского возраста* связываются метасоматические процессы калишпатизации, альбитизации и биотитизации. Процессы кремнещелочного метасоматоза приводят к образованию диоритоподобных пород [Миронов Е.Е. и др., 1980]. Последние в виде дайкообразных и линзовидных тел залегают в зоне контакта песчано-сланцевой (C_1) и вулканогенно-осадочной толщ (D_{2-3}). В отличие от вмещающих их тонкорассланцованных пород метасоматиты характеризуются массивным сложением, для некоторых разностей с зернистой структурой. Другим характерным типом преобразований пород песчано-сланцевой толщи являются изменения, приводящие к образованию метасоматитов березит-лиственитовой формации, вариации состава которых определяются составом тех пород, на которые они накладываются. По данным документации керн скважин развитие этих метасоматитов контролируется крутопадающими тектоническими нарушениями. В зонах нарушений и вблизи них зеленые сланцы осветляются вследствие интенсивной мусковитизации; наиболее яркие представители таких мусковитизированных пород являются типичными березитами с большим количеством крупнозернистого пирита.

Глава 2. ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

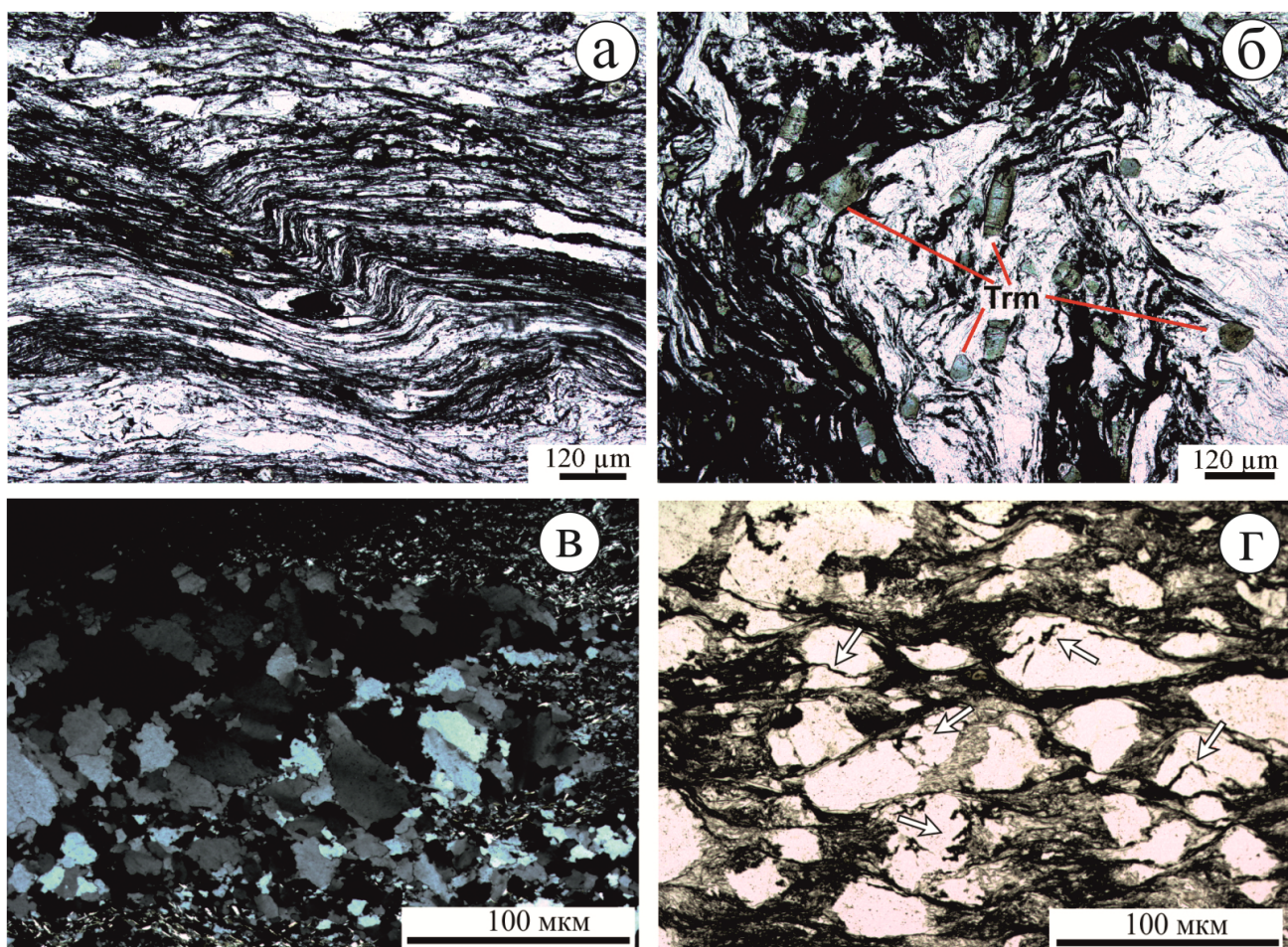
Черные сланцы Кумакского месторождения являются вмещающими породами рудных тел. В зависимости от состава и соотношения слагающих компонентов они подразделяются на серицито-кварцево-углеродистые, кварцево-углеродисто-турмалиновые, оттрелито-углеродистые и кварцево-углеродисто-оттрелитовые. Первые распространены наиболее широко и представляют собой породы серовато-чёрного, иногда чёрного цвета, тонкозернистые, со слабо выраженной сланцеватостью, легко раскалывающиеся по плоскостям сланцеватости с угловатым изломом. В западной части поля широко распространены породы со значительным содержанием оттрелита. Большое количество рассеянного углеродистого вещества придаёт породам тёмную окраску (Рисунок 2.1).

Средний минеральный состав черносланцевых пород: кварц (до 40%), серицит (5–10%), углеродистое вещество (до 50%), карбонаты (5–30%) и сульфиды (до 5%). Петрографически сланцы имеют микролепидобластовые, лепидогранобластовые и гетерогранобластовые структуры и большей частью сланцеватые текстуры. Последние характеризуются наличием полос углерод-серицитового (преимущественно слюдисто-кварцевого) состава, прослоев и удлинённых линз кварца, послойным скоплением кварца размерности от мелкой до грубозернистой. Мощность прослоев различная. Полосчатая текстура осложнена серией ассиметричных субпараллельных складочек, отражающих, по-видимому, кливаж (Рисунок 2.2а). Встречаются текстуры пород, обусловленные наличием гранобластовых зёрен кварца крупного размера в основной массе тонкозернистого кварца. Гранобласты кварца огибаются чешуйчатыми агрегатами мусковита, хлорита и вытянутыми призматическими, шестоватыми кристаллами маргарита. Текстура подчёркнута рассеянным углеродистым веществом (Рисунок 2.2б). Структура углеродистых пород обусловлена присутствием зёрен кварца, турмалина, а также чешуек, лейст и чешуйчатых агрегатов слюды.



Образцы: а, в, г – кварцево-углеродистые сланцы; б – ожелезненный кварцево-углеродистый сланец; д, е, ж, з, и – углеродистые сланцы.

Рисунок 2.1 – Углеродистые сланцы рудовмещающей толщи Кумакского месторождения



Образцы: а – Км-026s, без анализатора, увеличение 100х.

б – Км-025s, без анализатора, увеличение 100х.

в – Км-026s, без анализатора, увеличение 40х.

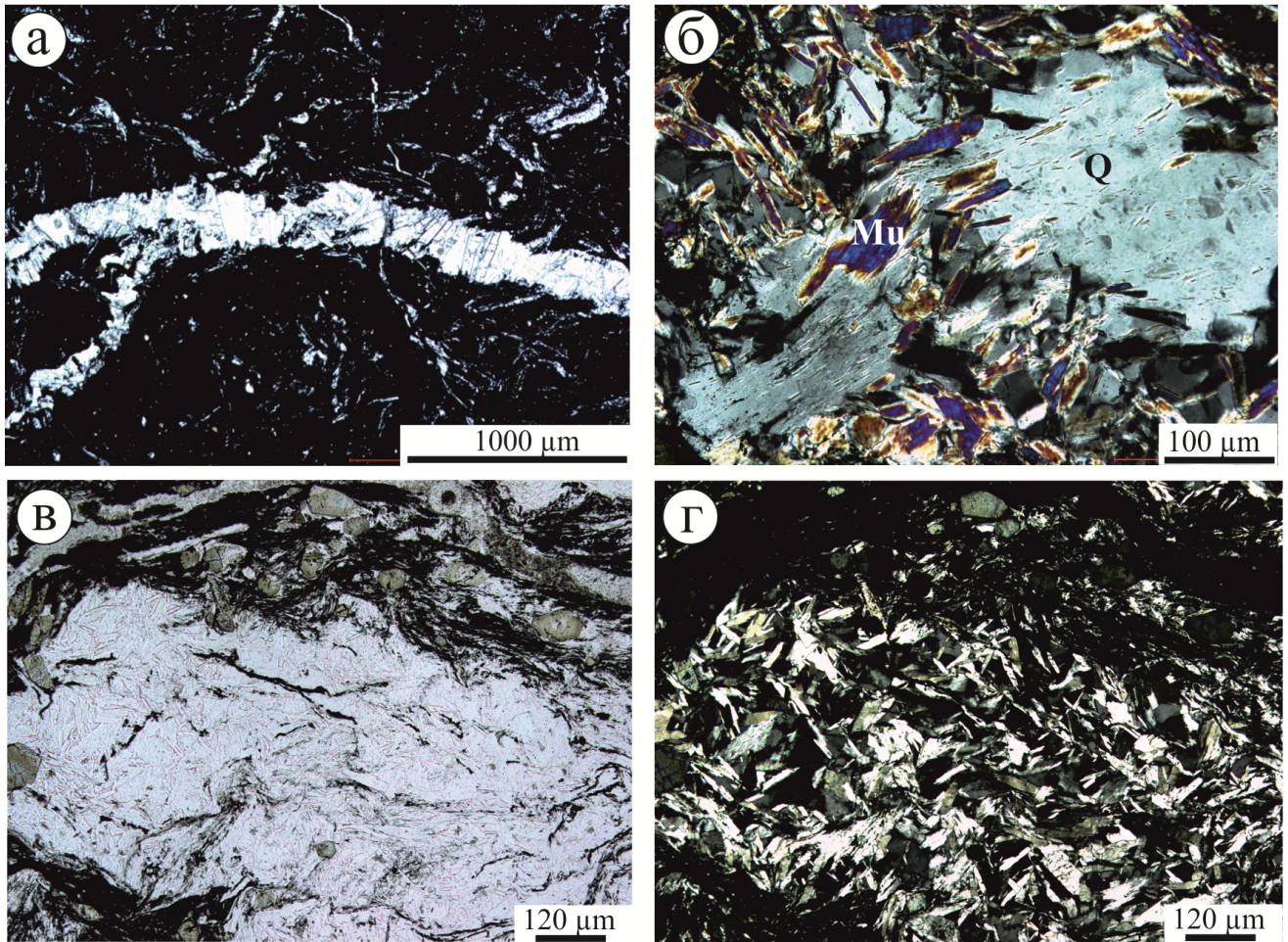
г – Км-026s, без анализатора, увеличение 40х.

Рисунок 2.2 – Полосчатая текстура породы, осложнённая кливажом (а), и кварц-слюдисто-турмалиновые прожилки в углеродистом сланце (б); инкорпорационные контакты между зёрнами кварца в прослоях и линзах (в) и послойные скопления кварца (стрелками показаны включения углеродистого вещества по трещинам) (г).

Кварц, по результатам микроскопического изучения, отмечается неравномернозернистый, в основной массе микротонкозернистый с однородным погасанием и конформными границами между зёрнами. Как правило, в основной массе он ассоциирует со слюдистыми минералами, которые развиты в интерстициальном пространстве между его зёрнами. В отдельных прослоях и вытянутых линзах кварц отмечается размером от 0,02 до 1,2 мм, где он имеет

неоднородное, часто волнистое погасание, а также инкорпорационные границы между зёрнами за счёт зазубренных, лапчатых контуров зёрен (Рисунок 2.2в). В целом, кварц в таких прослоях и линзах чистый, без включений, а также практически не ассоциирует с другими минералами. Крайне редко в интерстициях между зёрнами кварца встречаются лейсты мусковита. Отмечена ещё одна генерация кварца, – это зёрна различного размера (от 0,05 до 0,9 мм), неправильной, угловатой формы, иногда с изрезанными контурами, с неоднородным, волнистым погасанием, трещиноватый, с включениями по трещинам углеродистого вещества, реже слюдистых минералов и хлорита (Рисунок 2.2г). Вокруг таких зёрен кварца отмечается изгибание слюдистых чешуй, что наряду с включениями углеродистого вещества свидетельствует о более позднем характере выделения минерала. Выделяются также разнонаправленные извилистые его прожилки мощностью 0,01–0,3 мм (Рисунок 2.3а). Причём отчетливо выделяются две системы прожилков, расположенных под углом друг к другу таким образом, что получается рисунок из фрагментов породы близких к ромбической форме. Вероятно, такие системы прожилков характеризуют плейчатость и наложенный на породу кливаж. Кроме того, в кварце из прослоев хорошо наблюдаются пойкилитовые включения тонких иголок мусковита и реже углеродистого вещества, первые из них имеют часто линейную ориентировку, однонаправленны (Рисунок 2.3б). Это может свидетельствовать о гранобластезе кварца, синхронным с текстурной перестройкой породной матрицы.

Отмечается закономерность в распределении кварца различного размера: в основной массе кварц тонкозернистый, редко с зёрнами крупнее 0,2 мм, с однородным погасанием (Рисунок 2.3в,г). Кроме основной кварц-слюдистой массы кварц крупного размера наблюдается в отдельных прослоях, по-видимому, более позднего происхождения. В таких прослоях он имеет волнистое либо облачное погасание, а контакты между зёрнами часто инкорпорационные за счёт лапчатых, зазубренных контуров зёрен. В основной же массе чаще наблюдаются конформные контакты между зёрнами.

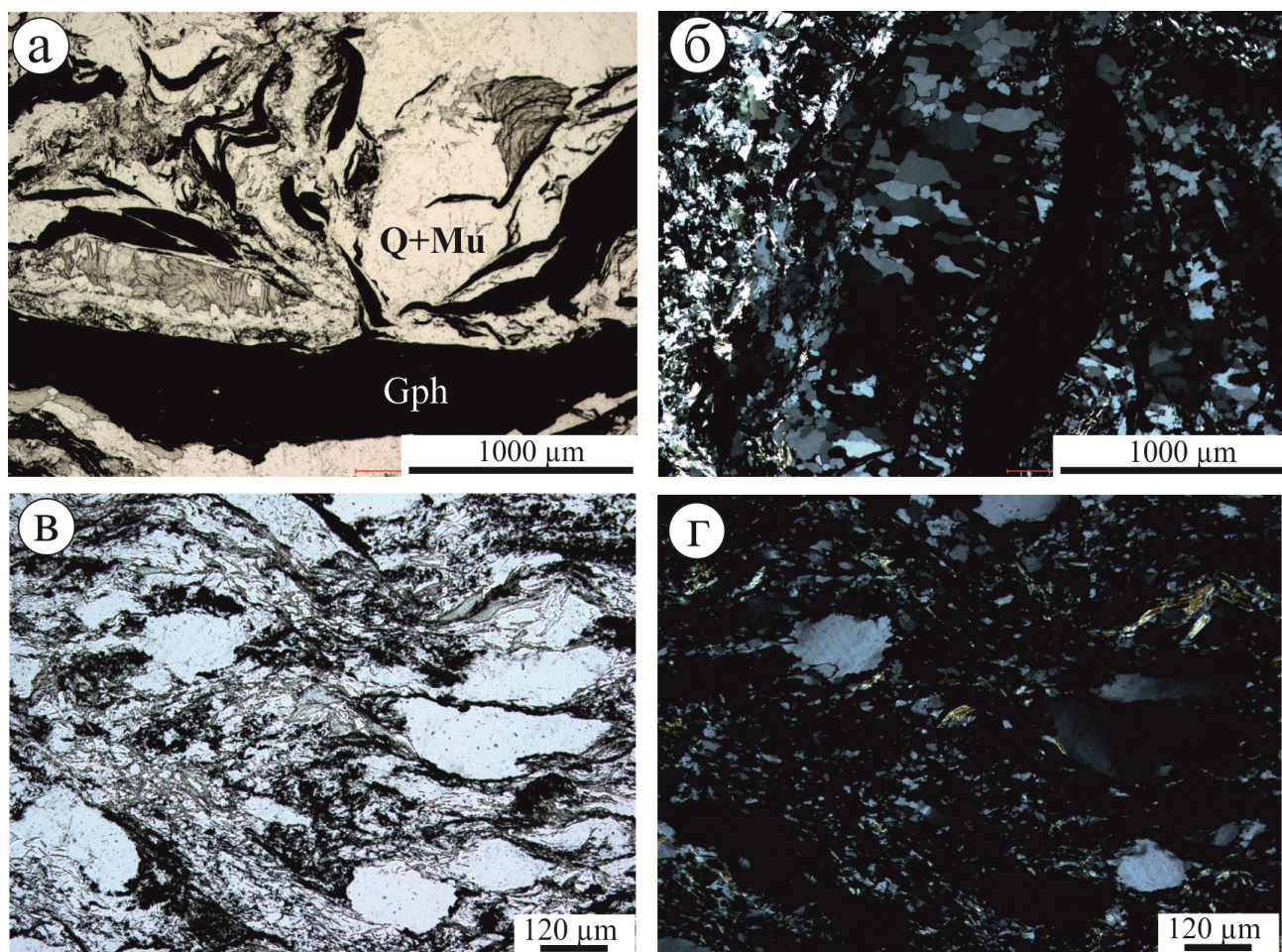


Образцы: а – КМ015g, увеличение 40, без анализатора.
 б – КМ025s, увеличение 200, с анализатором.
 в – КМ025s, увеличение 100, без анализатора.
 г – КМ025s, увеличение 100, с анализатором.

Рисунок 2.3 – Прожилки в кварц-слюдисто-углеродистом сланце (а), пойкилитовые включения мусковита в кварце, имеющие линейную ориентировку (б), основная слудисто-кварцевая масса (в, г)

В некоторых породах характерной особенностью кварца является плотная упаковка вплоть до инкорпорационных взаимоотношений между зёрнами. Текстура пород обусловлена наличием полос и неясных вытянутых линз и нодулей разнокристаллического кварца, подчёркнута выделениями углеродистого вещества вытянутой, веретёнообразной, червеобразной и линзовидной формы, размерами до 4 мм. Текстура осложнена многочисленными деформациями и смятием в складки (Рисунок. 2.4а). Контуры зёрен часто лапчатой, зазубренной

формы. Зёрна наиболее крупного размера (0,3–1,5 мм) обособляются, образуя линзы (нодули) со структурами кварцитов (Рисунок 2.4б).



Образцы: а– Км-044s, увеличение 40, без анализатора.
 б– Км-044s, увеличение 40, с анализатором.
 в– Км-020g, увеличение 100, без анализатора.
 г– Км-020g, увеличение 100, с анализатором.

Рисунок 2.4 – Общий вид породы (а) и обособления с внутренней кварцитовой структурой (б), неясно выраженная волнисто-слоистая текстура породы (в, г)

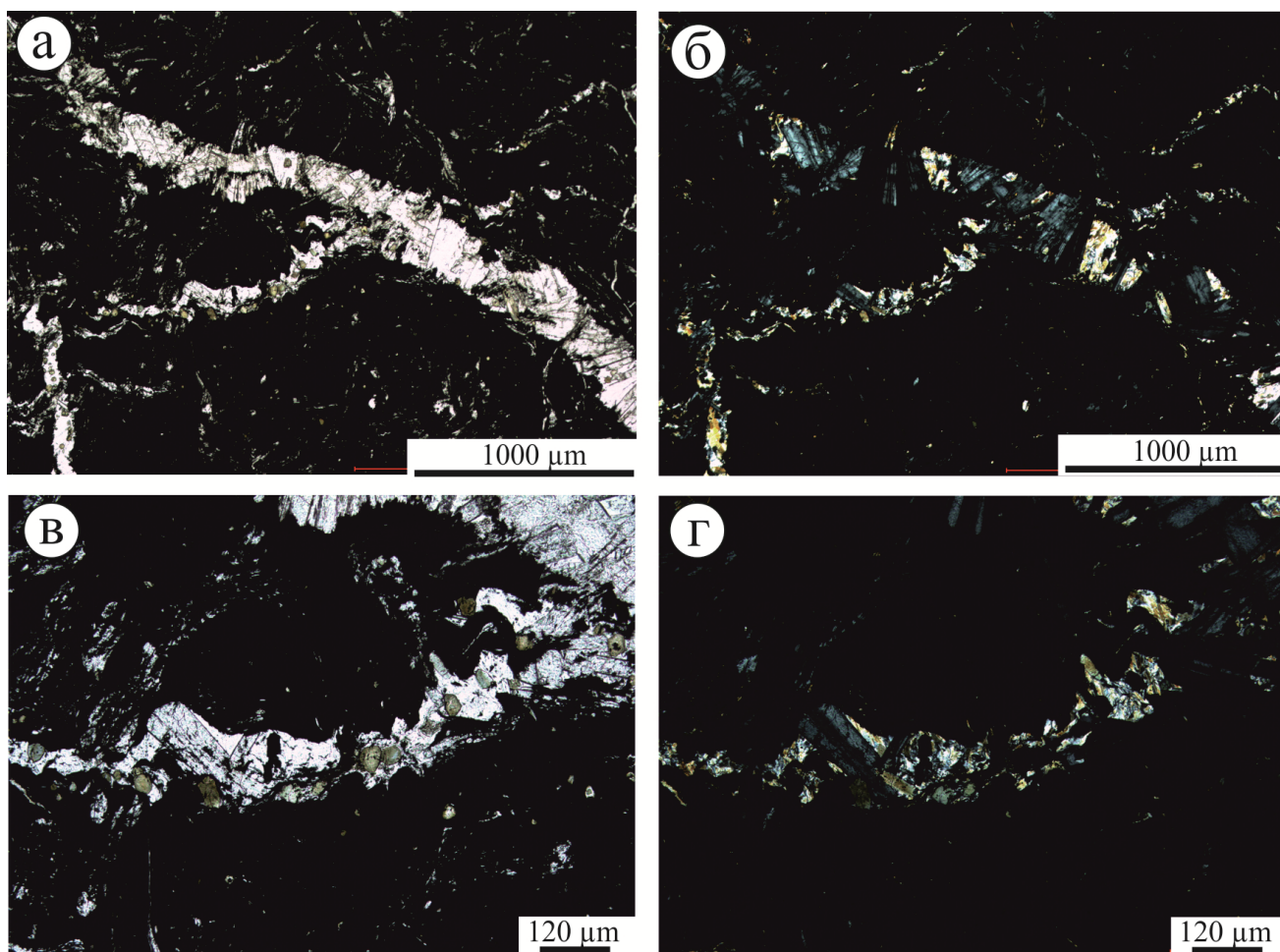
Кварц развит в виде зёрен размерами от 0,02 до 1,5 мм, чистый, без включений. По контуру таких обособлений, как правило, наблюдаются линзовидные, веретёнообразные и червеобразные выделения углеродистого вещества. Внутри обособлений породы, как правило, мономинеральны, то есть

состоят практически только из кварца. Для зёрен кварца на таких участках характерно неоднородное, волнистое погасание.

Также отмечены породы, текстура которых, обусловлена наличием гранобластовых зёрен кварца крупного размера в основной массе тонкозернистой его генерации. Гранобласты кварца огибаются чешуйчатыми агрегатами мусковита, хлорита и вытянутыми призматическими, шестоватыми кристаллами маргарита. Текстура подчеркнута рассеянным углеродистым веществом (Рисунок 2.4в,г).

Мусковит и хлорит отмечаются в основной массе пород. Мусковит в виде мелких лейст (до 0,05 мм по удлинению), до перехода в серицит. Хлорит (делессит) развит в виде редких радиально-лучистых и сноповидных агрегатов размерами до 0,3 мм в ассоциации с углеродистым веществом. Количество прожилок в породе столь велико, что они играют значимую роль в минеральном составе породы. Прожилки, относящиеся к разным системам, одинаковы по минеральному составу, сложены кварцем, маргаритом и мусковитом. Кварц и мусковит развиты в виде мелкозернистых и мелкочешуйчатых агрегатов, в то время как маргарит – призматических, частично сноповидных агрегатов веерообразной либо строго поперечной ориентировки по отношению к стенкам прожилок (Рисунок 2.5а,б).

Особенностью прожилок в породе является приуроченность к ним турмалиновой и титанитовой минерализации (Рисунок 2.5в,г; Рисунок 2.6в,г). Для Кумакского месторождения характерно постоянное содержание *турмалина* в углеродистых сланцах. Его количество колеблется от единичных зерен до 15–20% вблизи турмалиново-серицитовых сланцев. Турмалин развит неравномерно в породе – преобладает в прослоях, обогащённых углеродистым веществом, редко отмечается в прослоях кварц-слюдистого состава, причём вытянутые призматические кристаллы в продольном сечении демонстрируют нарушение плейчатой текстуры, то есть турмалин расположен под углом к плейчатости.



Образцы: а– Км – 015g, увеличение 40, без анализатора.

б– Км – 015g, увеличение 40, с анализатором.

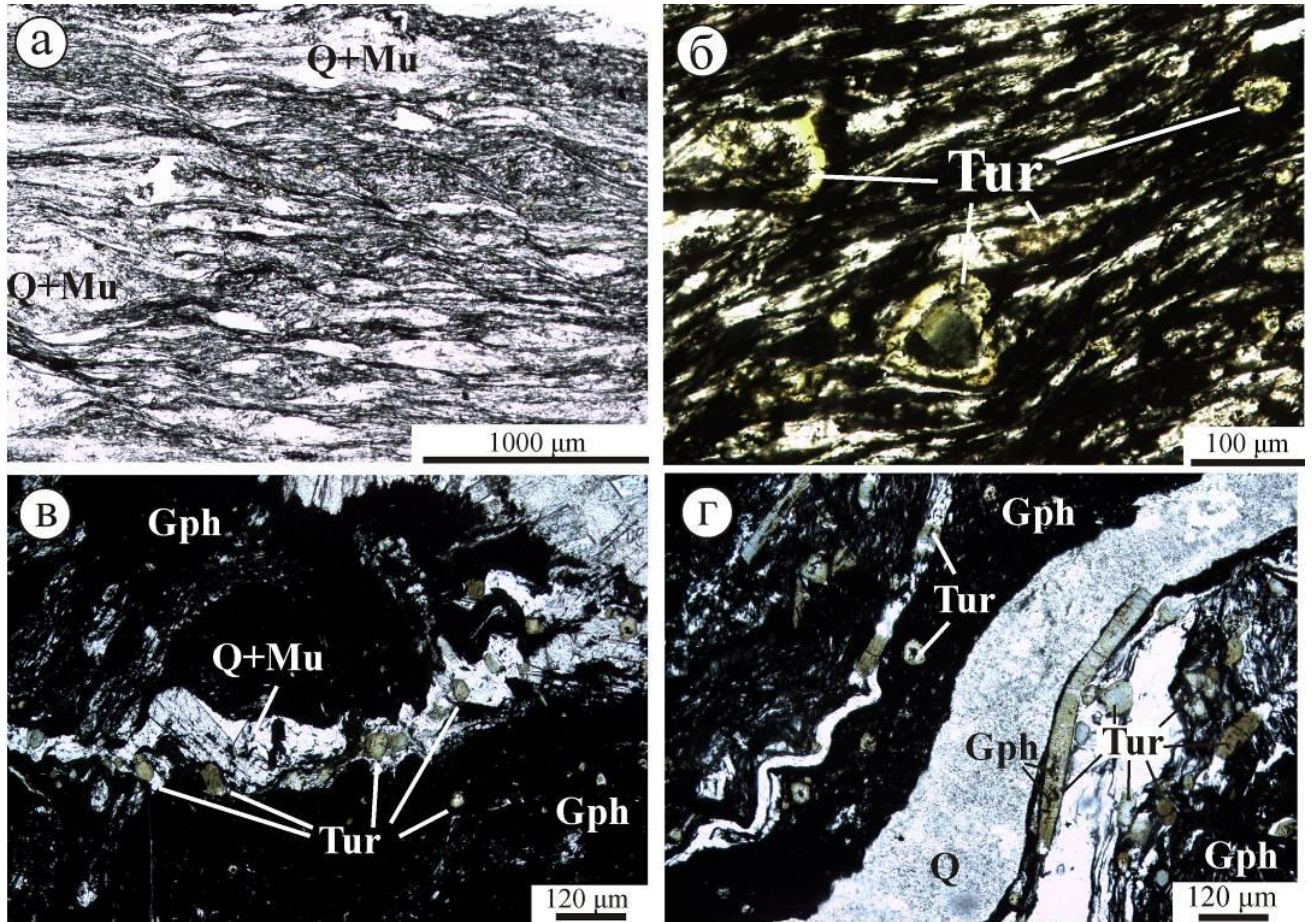
в– Км – 015g, увеличение 100, без анализатора.

г– Км – 015g, увеличение 100, с анализатором.

Рисунок 2.5 – Пржилки кварц-мусковит-маргаритового состава (а,б), турмалиновая и титанитовая минерализация в прожилках (в,г)

В продольных сечениях он представлен тонкими, вытянутыми, узкопризматическими кристаллами размерами до 0,8 мм, часто с поперечными трещинками, в поперечном сечении – в виде разнообразных шестиугольников. Поперечные трещинки в кристаллах турмалина, сомкнутые и слабо раскрытые, могут свидетельствовать о хрупких деформациях турмалина. Часто в кристаллах наблюдается зональное строение турмалина, подчеркнутое окраской минерала: в центральной части – синевато-зелёный, на периферии – грязно-зелёный (Рисунок 2.2б, Рисунок 2.6б). Постоянно в центральных частях зерен присутствуют мелкие частицы углеродистого вещества, захваченные ими при росте. *Титанит* отмечен в

виде неправильных и призматических вытянутых кристаллов, часто с клиновидными окончаниями, тёмно-бурой окраски. Размеры кристаллов до 0,1 мм по удлинению.

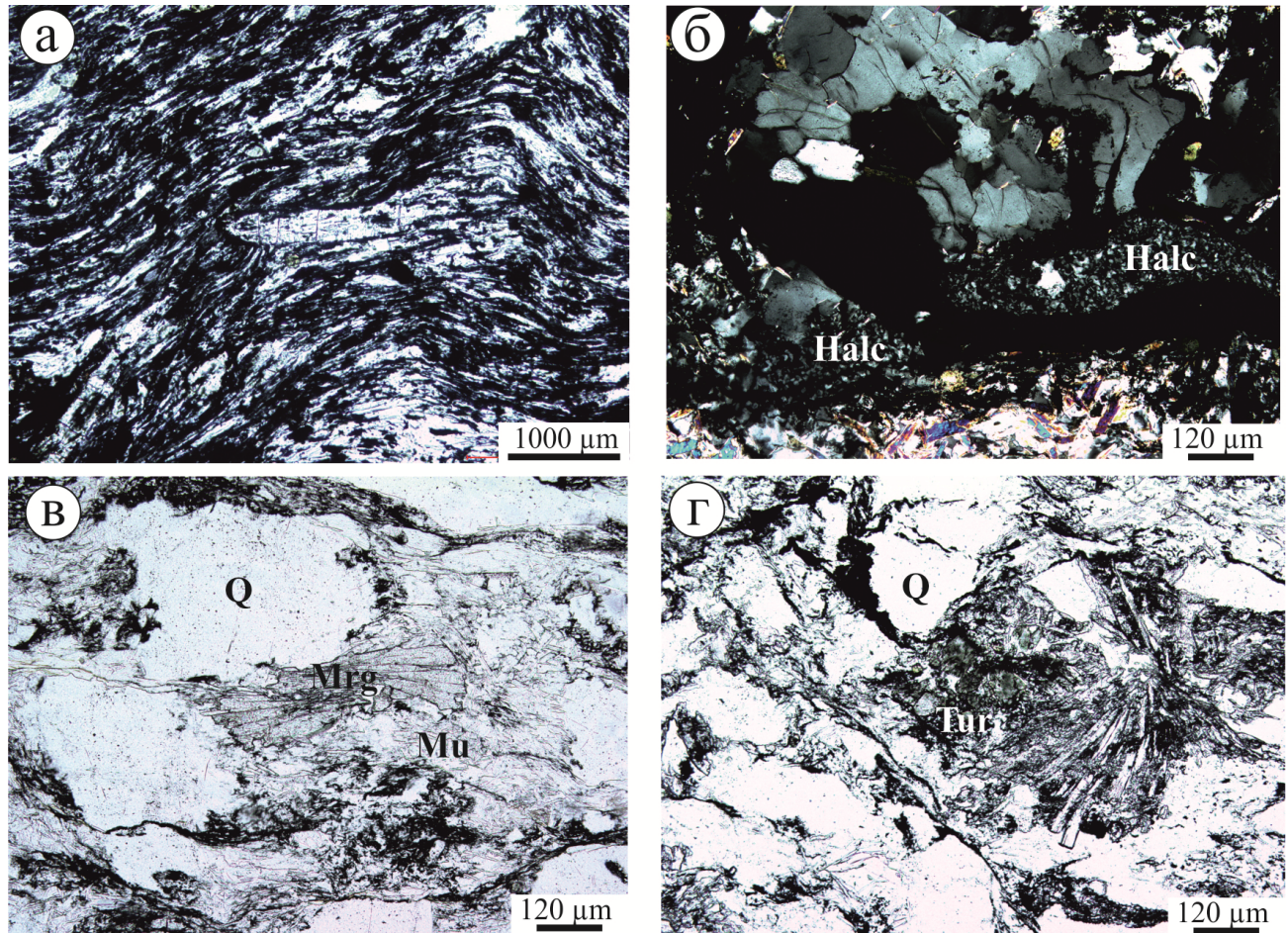


Образцы: а – КМ026s, б – КМ009s, в – КМ015g, г – КМ025s; без анализатора;
минералы: Q – кварц, Му – мусковит, Gph – графит, Tur – турмалин.

Рисунок 2.6 – Полосчатая текстура (а), зональность турмалина с включениями графита (б), кварц-слюдисто-турмалиновые прожилки (в) и хрупкая деформация кристаллов турмалина (г) в углеродистых сланцах

В незначительном количестве в породах отмечен минерал группы хрупких слюд – *маргарит*. Это бесцветные призматические, удлинённые кристаллы с ясным рельефом и двупреломлением порядка 0,01–0,012. По контуру и в виде микропайкилитовых включений в маргарите встречается углеродистое вещество. Расположение кристаллов, как правило, под углом к плейчатости (Рисунок 2.7а),

что свидетельствует, по-видимому, о более позднем выделении в последовательности минералообразования.



Образцы: а– Км – 009s, увеличение 200, без анализатора.

б– Км – 025s, увеличение 100, с анализатором.

в– Км – 026s, увеличение 100, без анализатора.

б– Км – 020g, увеличение 100, без анализатора

Рисунок 2.7 – Кристаллы маргарита, расположенные под углом к плейчатости (а), агрегаты халцедона, развитые вдоль трещины (б), призматические лейсты маргарита на участках слюдисто-кварцевого состава (в) и сноповидные агрегаты маргарита и кристаллы турмалина (г)

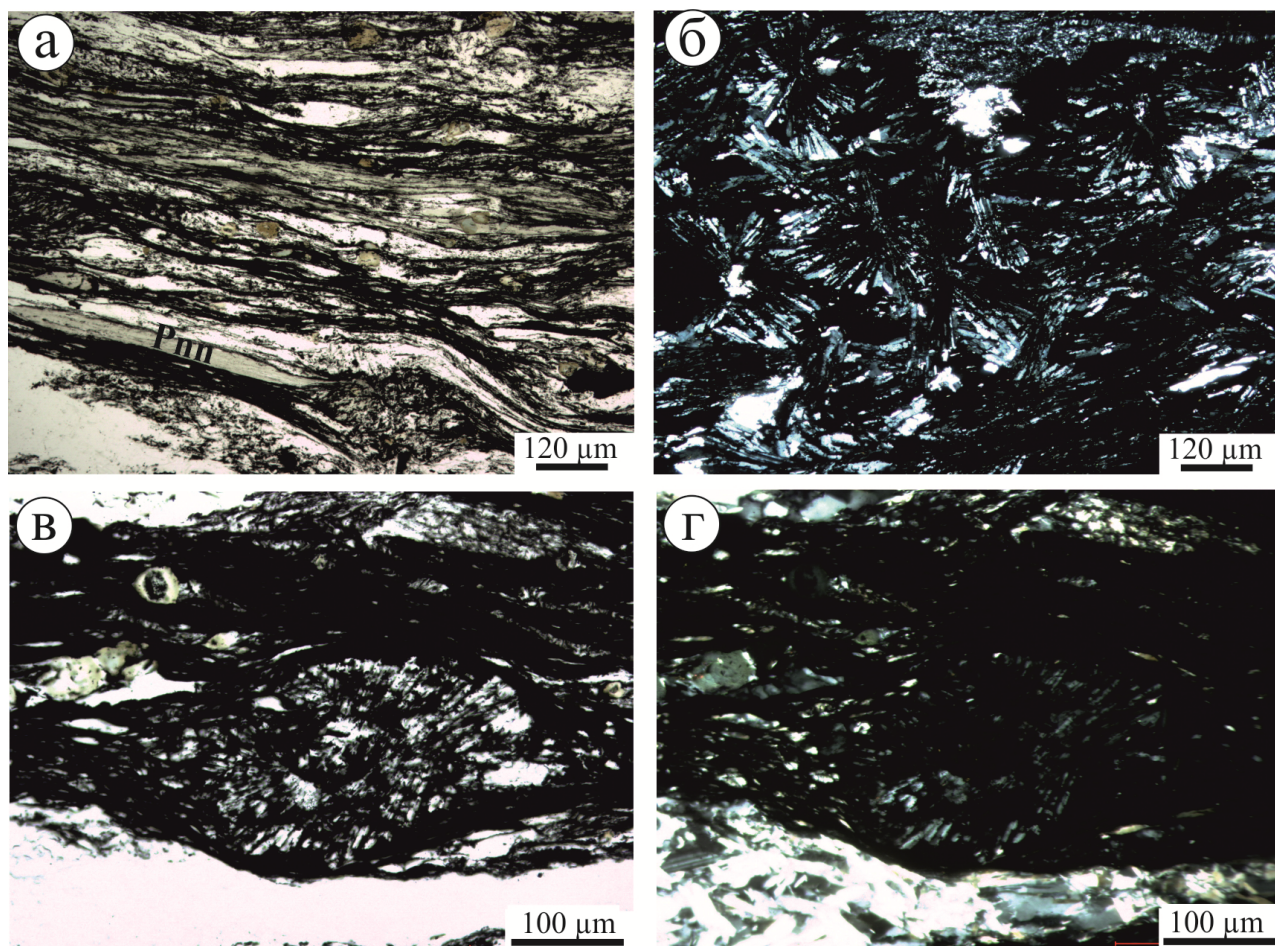
Внутреннее строение маргарита охарактеризовано наличием полисинтетических двойников. Его выделения подчеркнуты рассеянной вкрапленностью углеродистого вещества (Рисунок 2.7б). Также он в незначительном количестве развит в виде призматических лейст размерами в среднем до 0,2 мм, развит преимущественно в прослоях кварц-слюдистого состава

(Рисунок 2.7в). Маргарит бесцветный, с очень слабым двупреломлением, часто в виде полисинтетических двойников. Халцедон в виде микрокристаллического агрегата единично встречается вдоль открытой трещины (Рисунок 2.7г).

Хлорит в породах бледно-зеленоватого цвета, почти бесцветный, в виде неправильных чешуйчатых агрегатов неправильной формы, с крайне низким двупреломлением, вероятно пеннин. В чешуйчатых и волокнистых агрегатах углерод-слюдистого состава хлорит отмечается в виде вытянутых, волокнисты чешуй бледно-зелёной окраски и с аномальными интерференционными окрасками (пеннин), достигает размеров до 0,4 мм по удлинению (Рисунок 2.8а). Кроме того, в породах встречены радиально-лучистые агрегаты хлорита бесцветной окраски с двупреломлением до 0,01, ассоциирующие с углеродистым веществом на участках густой рассеянной его вкрапленности (Рисунок 2.8б). Размеры радиально-лучистых агрегатов достигают 0,45 мм. Такая разновидность хлорита, по-видимому, является делесситом. Характер его выделения говорит о более позднем его образовании.

Углеродистое вещество наблюдается в виде рассеянной примеси, концентрируется в слойках различной мощности, слагает прослои углерод-серицитового состава. Отмечается тонкочешуйчатый агрегат серицита в ассоциации с углеродистым веществом, развитый в виде невыдержанных прослоев и полос, смятых в складки и обуславливающих элементы пloyчатости в породе (Рисунок 2.9). *Графит* образует сплошные стяжения в виде полос, вытянутых в одном направлении. Под микроскопом он представляется черным, не просвечивающим агрегатом. Чередование полос графита и серицита обуславливает тонкослойность сланцев. Нередко они включают в себя мелкие, вытянутые, овальной формы зерна кварца, которые имеют одинаковую ориентировку и обнаруживают волнистое погасание.

Халькофильные элементы в черных сланцах Кумакского рудного поля, такие как медь, цинк, свинец, содержатся обычно в небольших количествах.



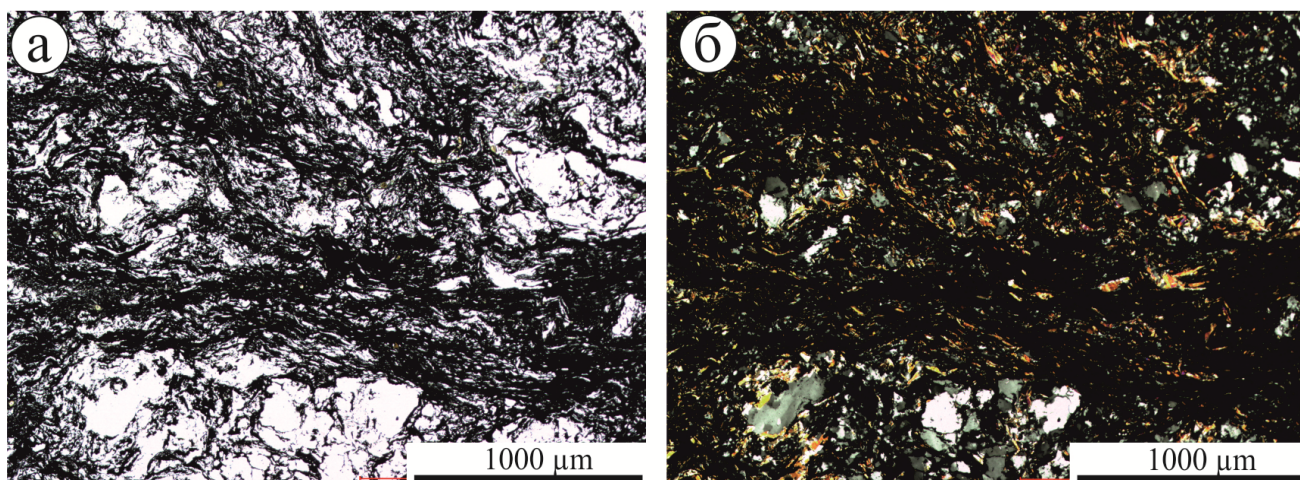
Образцы: а– Км – 026, увеличение 100, без анализатора.

б– Км – 044s, увеличение 100, с анализатором.

в– Км – 026s, увеличение 200, без анализатора.

г– Км – 026s, увеличение 200, с анализатором.

Рисунок 2.8 – Волокнистые агрегаты хлорита (пеннин) (а), радиально-лучистые агрегаты хлорита (делессит) (б,в,г)



Образцы: а– Км – 037s. Увеличение 40. Без анализатора.

б– Км – 044s. Увеличение 100. С анализатором.

Рисунок 2.9 – Прослой углерод-серицитового состава (а,б)

Группа элементов, типоморфных спутников золота – мышьяк, висмут, сурьма, проявлена слабо, концентрируясь преимущественно в участках наложенной гидротермальной проработки.

Акцессорные минералы представлены: цирконом, рутилом, апатитом, ильменитом, бадделеитом, а также широким спектром редкоземельных минералов. Определено, что основными минералами-концентраторами легких редкоземельных элементов являются монацит (-Ce) и рабдофан (-Ce), а тяжелых – ксенотим (-Y), единичными зернами отмечены горсейксит, бастнезит и агардит (Рисунок 2.10). Монацит и рабдофан образуют зерна неправильной формы размером 5–20 мкм и уплощенные выделения между углеродисто-слюдистыми прослоями. В их составе наиболее высокие концентрации РЗЭ установлены для монацита: Ce (31,23–32,43 мас. % Ce_2O_3), La (16,69–16,47 мас. % La_2O_3) и Nd (11,78–12,52 мас. % Nd_2O_3), а также обогащение Th (1,45–2,63 мас. % ThO_2) (Таблица 2.1). Ксенотим содержит 40,35–47,37 мас. % Y_2O_3 и представлен мелкими зернами неправильной формы (до 5 мкм), выполняющими полости в кварц-мусковитой матрице, а также в виде наростов на кристаллах циркона (Рисунок 2.10а, б). Циркон встречается в основной массе породы в виде тетрагонально-дипирамидальных хорошо ограненных кристаллов размером 5–20 мкм (Рисунок 2.10а, и).

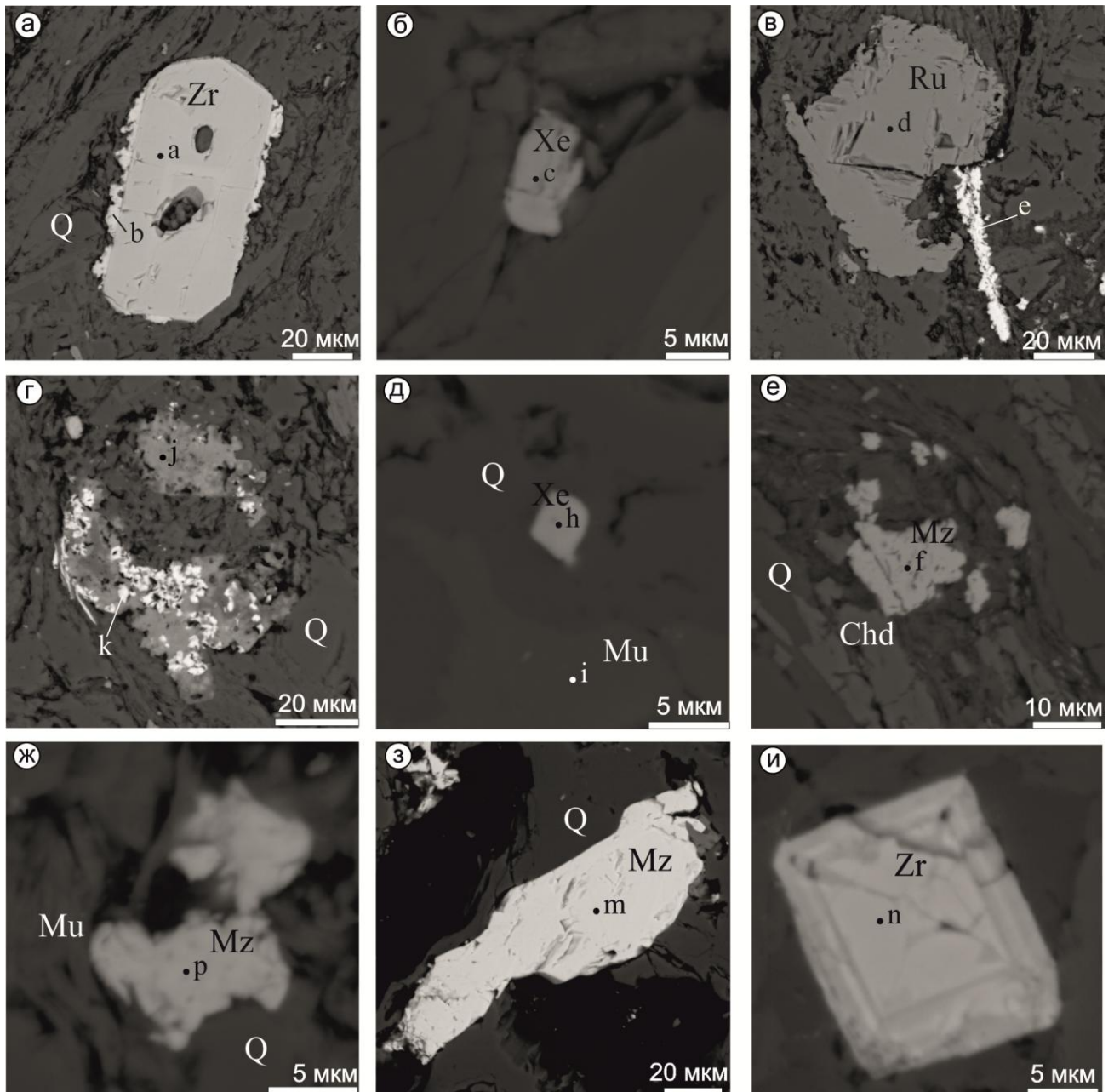


Рисунок 2.10 – Редкоземельные и акцессорные минералы черных сланцев Кумакского месторождения: а) нарастания ксенотима (b) на кристалле циркона (a); б) зерно ксенотима (c) в основной массе породы; в) выделения рутила (d) и рабдофана (e); г) срастание горсейксита (j) с рабдофаном (k); д) зерно ксенотима (h) в мусковите (i); е) зерно монацита (f) в породе; ж) зерно монацита (p) в породе з) зерно монацита (m) в породе; и) кристалл циркона (n).

Минералы: *Q* – кварц, *Mu* – мусковит, *Ru* – рутил, *Xe* – ксенотим, *Mz* – монацит, *Zr* – циркон, *Chd* – хлоритоид.

Таблица 2.1 – Состав редкоземельных минералов в черных сланцах Кумакского месторождения

№ п/п	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	SrO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	ThO ₂	Сумма
1		35,19								44,47	7,22	4,47		3,98	4,50		100,11
2		35,93								47,37	3,11	3,20	0,75	4,21	5,97		100,54
3		35,26								43,79	6,27	4,56	1,43	3,82	5,16		100,98
4		34,20								40,35	14,73	5,86		2,15	1,28		100,00
5		35,91								46,25	5,90	4,82		3,69	3,03		99,60
6	1,71	33,42	0,18							44,41	7,66	5,86		2,98	2,16		99,19
7		34,14								44,48	7,28	4,99		3,86	4,71		99,46
8	1,15	28,88	1,09	0,77	13,80	29,15		12,22	1,53		3,40					1,25	93,25
9		28,94	0,44		15,30	33,07	3,51	12,64	1,03							1,64	96,56
10	0,39	23,56	3,82		10,43	25,08	2,68	11,13	1,45							1,68	84,55
11		30,67	0,68		16,47	31,32	3,23	11,59	2,17		2,62	0,60					99,36
12		30,41	0,55		15,45	31,23	3,48	12,52	2,33		1,52					1,45	99,14
13	0,82	29,38	1,38		13,50	29,87	2,86	10,88	1,32							8,52	99,10
14	0,27	28,93	0,37		11,71	32,70	3,54	14,68	3,19		4,03						99,41
15	0,83	28,75	1,18		16,14	29,71	2,65	10,48	1,09							8,77	99,59
16	0,94	29,11			11,64	37,07	3,51	12,83	1,94		1,89					0,63	99,73
17	1,28	27,50	1,20		14,69	32,43	3,18	11,78	1,14		2,01	0,00				2,63	97,84

Примечание: Минералы: 1-7 – ксенотимы; 8-10 – рабдофаны; 11-17 – монациты.

Глава 3. УГЛЕРОДИСТОЕ ВЕЩЕСТВО ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Роль органического вещества в образовании рудных месторождений неоднократно отмечалась на примере месторождений урана, железа, меди, золота и некоторых других элементов [Попов В.И., Гусева А.К., 1964; Наркелюн Л.Ф., 1986; Горжевский Д.И., 1987; Горжевский Д.И. и др., 1990]. Оно играет важную роль при процессах седиментации осадков, диа- и катагенеза, метаморфизма, создавая восстановительные условия рудоотложения, образуя летучие металлоорганические соединения, адсорбируя металлы. Некоторые исследователи отмечают, что в ряде районов в черносланцевых толщах с повышенным содержанием углерода наблюдается повышенные, по сравнению с кларком, содержания золота [Петров В.Г., 1974; Виленкин В.А. и др., 1983; Горжевский Д.И. и др., 1990; Лощинин В.П., Панкратьев П.В., 1996]. Так, А.М. Акрамходжаев и Д.М. Сургутанова отмечают существование корреляции между содержанием золота и органического вещества в рудоносных породах Кызылкумской провинции. Они подчеркивают, что практически всё содержащееся в этих породах золото заключено в битуминозной фракции и объясняют это адсорбцией золота из морских вод аморфным углеродом, обладающим большим количеством ненасыщенных связей. По данным В.Г. Петрова [1974], золото в Енисейском и Ленском районах заключено в битумах и углеродсодержащих породах и представлено в форме золотоорганических соединений. В.А. Виленкиным и И.В. Фридманом [1983] отмечается, что золото, содержащееся в рассеянном органическом веществе черносланцевых формаций, связано, со спиртобензольными смолами и асфальтогенными кислотами, входящими в состав битумоидов.

Большое значение для процессов рудообразования имеет первичный состав органического вещества, породы со значительной ролью сапропелевого вещества накапливают и сохраняют рудные элементы вплоть до регионального метаморфизма [Ермолаев Н.П. и др., 1986]. Согласно классификации

Я.Э. Юдовича, в черносланцевых отложениях выделяются три группы пород: низкоуглеродистые – 1-3%, углеродистые – 3-10%, высокоуглеродистые – > 10% Сорг [Юдович Я.Э. и др., 1988].

Содержания Сорг в черных сланцах брединской свиты Кумакского месторождения изменяются в широком диапазоне (Таблица 3.1) от значений близких к 1% до почти 11% при среднем содержании 4,7%, что позволяет отнести их к углеродистому типу.

Таблица 3.1 – Содержания и изотопный состав Сорг в углеродистых сланцах брединской свиты Кумакского месторождения

№ п/п	№ пробы	НОП, %	Сорг, %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ PDB
1	КМ026s	95,42	3,31	-19,58
2	КМ025s	95,26	5,31	-19,16
3	КМ024g	92,12	5,34	-22,80
4	КМ023g	94,52	10,77	-21,73
5	КМ015g	95,06	3,25	-19,84
6	КМ014s	90,41	2,49	-19,93
7	КМ009s	93,92	2,92	-20,39
8	КМ005s	75,79	1,11	-22,76
9	КМ031s	95,12	4,04	-19,07
10	КМ037s	95,68	8,28	-20,11

Примечание: Определение $S_{орг}$ выполнялось для нерастворимого в соляной кислоте остатка породы (НОП) с использованием экспресс-анализатора на углерод «АН-7529». Результаты измерений пересчитывались на исходную породу. В качестве стандарта использовались глюкоза и малоуглеродистая сталь (аналитик Лобанов В.А., Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар). Изотопный состав углерода определялся с использованием масс-спектрометра Delta V Advantage, сопряженного с элементным анализатором Flash EA в ЦКП «Геонаука». Точность определения равна $\pm 0,15\%$. (аналитик И.В. Смолева, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар).

Распределение углеродистого вещества в отложениях брединской свиты Кумакского месторождения неравномерное. Оно находится в виде тонко рассеянных частиц, полосок отвечающих слоистости, массы цементирующей остальные минералы, а также мелких включений в центральных частях зерен турмалина (Рисунки 2.2–2.9). Часто количество углеродистого вещества столь значительно, что делает породу совершенно непрозрачной в шлифах. С его уменьшением возрастает содержание серицита, кварца, оттрелита.

В генетическом отношении оно представлено двумя типами: тонкой рассеянной осадочной органикой и метаморфическим графитом (Рисунок 3.1) [Kolomoets A.V. et al., 2020]. Изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ по сравнению со стандартом PDB укладывается в интервал $(-19,07) - (-22,80)$ (Рисунок 3.2, Таблица 3.1), что указывает на его биогенную природу, а незначительные вариации значений связаны с неоднородной степенью метаморфизма [Javoy M. et al., 1986; Des Marais D. J., 1997; Van Kaam-Peters H.M.E. et al., 1998; Бушнев Д.А., Смолева И.В., 2011].

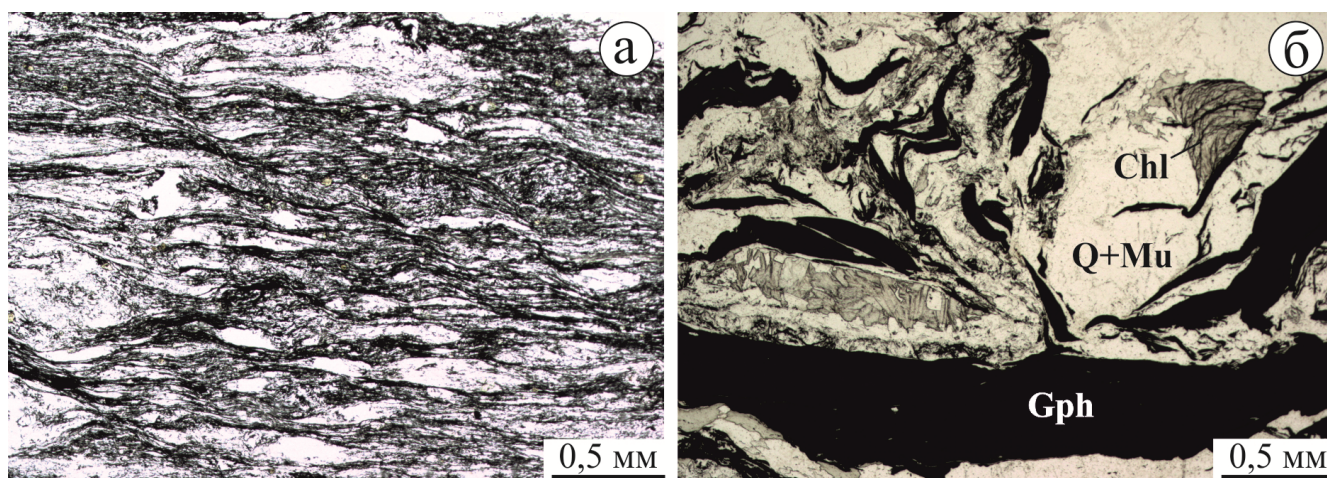
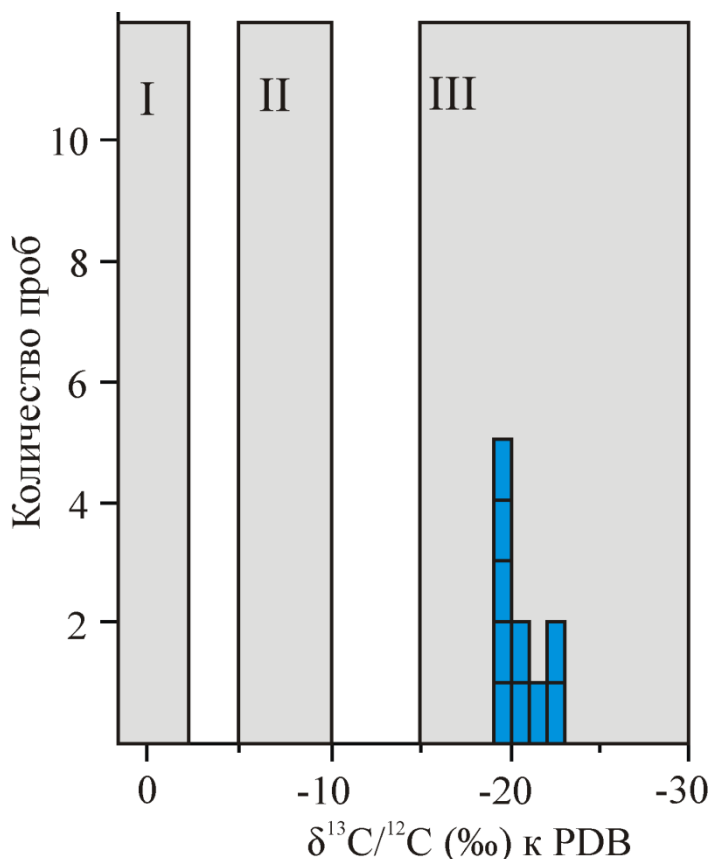


Рисунок 3.1 – Полосчатая первично осадочная текстура породы (а) и чешуйки метаморфического графита в кварц-слюдисто-хлоритовом сланце (б) (без анализатора, 40х).

Минералы: *Му* – мусковит, *Q* – кварц, *Gph* – графит, *Chl* – хлорит.

С целью определения нефтематеринских свойств углеродистых сланцев один образец изучен по технологии Rock-Eval, а также выполнена экстракция хлороформенного битумоида (Рисунок 3.3; Таблица 3.2). Метод пиролиза, предложенный Дж. Эспиталье в 1973 году, получил широкое распространение и является неотъемлемой частью большинства геохимических исследований [Лопатин Н.В., Емец Т.П., 1987]. Основные определяемые параметры: S_1 – количество свободных углеводородов в поровом пространстве породы, термодесорбирующихся при температуре 300°C (мг УВ/г породы); S_2 –

остаточный генерационный потенциал осадочной породы, то есть та ее часть, которая еще не успела превратиться в нефть и газ в ходе ее естественной эволюции (мг УВ/г породы); $T_{\max}$ – температура максимума пика S_2 (°C); TOC (total organic carbon) – массовая концентрация органического углерода в породе (% масс.).



Условные обозначения: поля типичных значений изотопов углерода для морских карбонатов (I), мантийного углерода (II) и биогенного углерода (III) по Javoy et al. [Javoy M. et al., 1986].

Рисунок 3.2 – Изотопный состав углерода в черных сланцах брединской толщи

Таблица 3.2 – Результаты анализа образца углеродистых сланцев Кумакского рудного поля по технологии Rock-Eval

КМ037s	Qty (мг)	S ₁ , мг/г	S ₂ , мг/г	TOC (%)	OIL мг/г	Tmax (°C)	PCr(%)
	73,4	0,1	0,14	0,62	0,23	606	0,06

Примечание: Анализ проведен на установке масс-спектрометрический анализатор «Литотерм-1000» (О.К. Навроцкий, АО «НВНИИГТ», г. Саратов). Масса навески 100 мг.



Рисунок 3.3 – Результат экстракции хлороформенного битумоида из углеродистых сланцев Кумакского рудного поля.

Примечание: Измельченная до порошкообразного состояния порода была проэкстрагирована в аппарате Сокслета. до полного извлечения растворимых органических компонентов из образца. В качестве растворителя был использован хлороформ.

Результаты исследований образца углеродистых сланцев по технологии Rock-Eval, а также бесцветные экстракции ХБ, свидетельствует о высокой стадии катагенеза органического вещества и низком (но не нулевом) нефтематеринском потенциале.

Черносланцевые породы представляют собой благоприятный объект для определения степени прогрессивного регионального метаморфизма [Блюман Б.А. и др., 1974; Сначёв А.В., 2015; Сначёв М.В., Сначёв А.В., 2015]. В результате исследований разновозрастных углеродсодержащих отложений Дальнего Востока В.П. Ивановой с соавторами [Иванова В.П. и др., 1974] установлено, что на всем пути преобразования осадков, от начальных стадий диагенеза до высоких уровней

метаморфизма, происходит закономерное изменение химического состава и физических свойств сингенетичного этим осадкам органического вещества, что определяет высокую геологическую информативность данных соединений. Это связано с тем, что углерод реагирует на метаморфические преобразования лишь изменением агрегатного и структурного состояния. Причем, по мере возрастания регионального метаморфизма закономерно увеличивается температура выгорания Сорг (Таблица 3.3). Температура начала экзотермического эффекта, соответствующая началу выгорания, скачкообразно изменяется по мере усиления метаморфизма примерно на 100°C в породах каждой последующей фации и предполагается, что процесс графитизации необратим [Buseck P.R. et al., 2014].

Таблица 3.3 – Соотношение уровней катагенеза и регионального метаморфизма пород со стадиями преобразования органического вещества [Иванова В.П. и др., 1974].

Стадии катагенеза и регионального метаморфизма осадков	Температура выгорания Сорг, °С	Стадии углефикации и метаморфизма Сорг
Катагенез (глубинный диагенез)	до 250	Буроугольная
Катагенез и начальные стадии метаморфизма	250-530 540-560	Каменноугольная Шунгитовая
Фация зеленых сланцев	560-660	Графитовая
Эпидот-амфиболитовая фация	660-700	– // –
Амфиболитовая фация	700-800	– // –
Гранулитовая фация	840-860	– // –

Для анализа отбирались образцы наименее измененных углеродистых отложений за пределами зон интрузивных экзоконтактов и интенсивной тектонической переработки, что позволило исключить их влияние на породы и реконструировать степень именно регионального метаморфизма (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Содержания Сорг и температуры экзотермического эффекта органического углерода в черных сланцах брединской свиты Кумакского месторождения

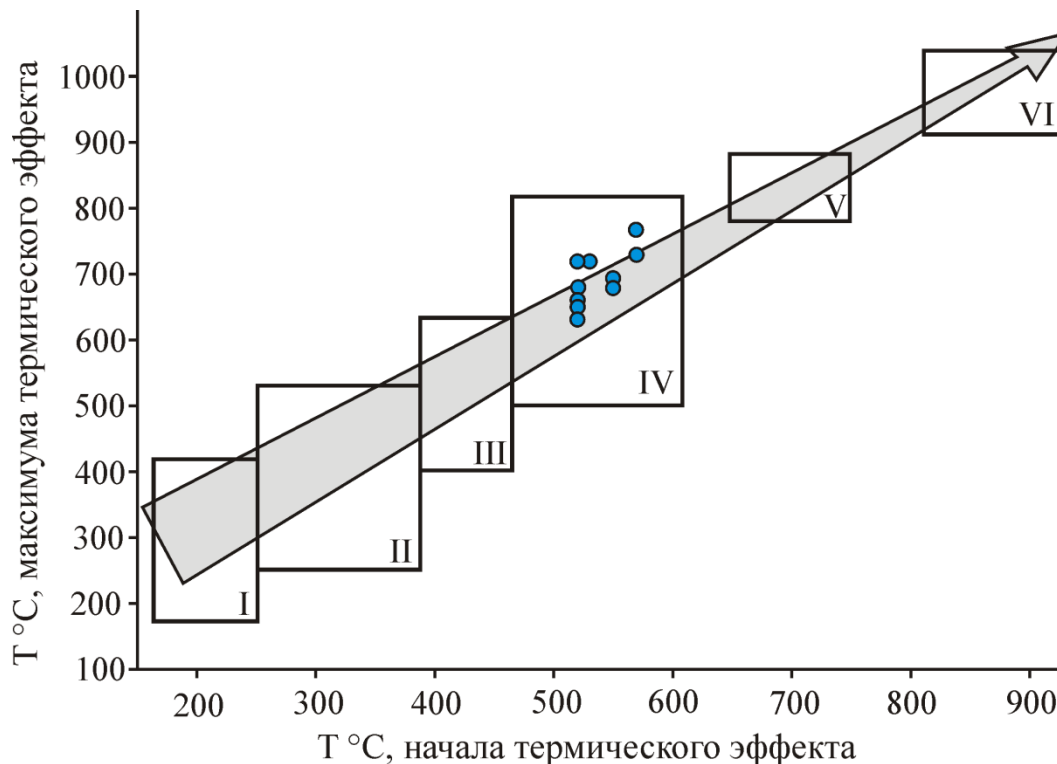
№ п/п	№ пробы	Сорг, %	Начало эффекта	Температура макс., °С	Конец эффекта
1	КМ026s	5,1	550	690	800
2	КМ025s	7,3	520	680	820
3	КМ024g	6	570	770	-
4	КМ023g	9,2	570	730	-
5	КМ015g	5,1	520	720	-
6	КМ014s	3,8	520	650	750
7	КМ009s	4,8	520	630	740
8	КМ005s	4	520	660	750
9	КМ031s	7,4	530	720	820
10	КМ037s	11,1	550	680	880

Примечание: Термогравиметрический анализ проводился на дериватографе Q-1500. Нагрев осуществлялся на воздухе от 20 до 1000 °С со скоростью 10 °С/мин. (аналитик Т.И. Черникова, Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа).

Соотношение температуры начала экзотермического эффекта к максимальному его значению на диаграмме термической устойчивости углеродистых веществ показало (Рисунок 3.4), что органический углерод претерпел высокую степень метаморфизма, сопоставимую с высшими керитами, антраксолитом и шунгитом [Силаев В.И. и др., 2012]. Максимальная температура экзотермического эффекта углерода укладывается в интервал 630-770°С (температура метаморфизма 560-700°С), что соответствует эпидот-амфиболитовой субфации зеленосланцевой фации метаморфизма [Иванова В.П. и др., 1974].

По мере возрастания степени метаморфизма происходит вынос металлов из углеродистых веществ, причем минимальные концентрации характерны для пород, претерпевших амфиболитовую и гранулитовую фации метаморфизма [Горжевский Д.И., 1987; Сначев и др., 2013]. По данным И.Б. Волковой и М.Б. Богдановой [1986] в органическом веществе, находящихся на буроугольной и раннекаменноугольной стадиях изменения, обнаружены металлоорганические соединения. На более высоких стадиях метагенеза и метаморфизма теоретически

обосновывается возможность существования лишь сорбционных связей органического вещества с металлами. Количество извлекаемых из пород органических веществ увеличивается с ростом температуры и минерализации раствора [Горжевский Д.И., 1987].



Условные обозначения: ступени выгорания по В.И. Силаеву [Силаев и др., 2012]: I – современные растения, органическое вещество в неметаморфизованных осадочных породах, копролиты; II – асфальты, низшие кериты; III – асфальтиты, кериты; IV – высшие кериты, антраксолиты, шунгиты; V – графит, карбонады; VI – алмазы.

Рисунок 3.4 – Положение точек черных сланцев брединской тощи на диаграмме термической устойчивости углеродистых веществ

Таким образом, изучение черносланцевых отложений Кумакского рудного поля показало, что углеродистое вещество, представленное тонкой рассеянной осадочной органикой и метаморфическим графитом, имеет биогенную природу и испытало метаморфизм в условиях высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации. Высокая стадия катагенеза органического вещества предполагает уже прошедшую стадию генерации из него воды, углекислоты, метана и других компонентов, которые способны создавать металлоорганические соединения и являются переносчиками рудных элементов.

Глава 4. УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Как известно, углеродистые толщи представляют собой весьма информативный материал для реконструкции физико-химических условий осадконакопления. Основой для получения перечисленной информации является изучение петрохимических и геохимических особенностей черных сланцев и в первую очередь химического состава эффективным силикатным анализом. Всего проанализировано 27 проб углеродистых отложений брединской свиты Кумакского рудного поля в химической лаборатории Института геологии УНЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.А.Ягудина) (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты силикатного анализа углеродистых пород Кумакского рудного поля

№ образца	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Σ
КМ005s	68,00	0,52	9,40	11,40	0,08	0,80	4,60	0,30	0,48	0,07	4,67	100,32
КМ009s	50,00	1,43	31,50	1,57	0,01	0,51	1,00	2,70	3,70	0,03	7,93	100,37
КМ011s	59,00	1,33	24,00	2,90	0,01	0,40	1,20	1,35	3,70	0,03	5,62	99,54
КМ014s	58,00	1,26	24,00	3,50	0,01	0,45	1,00	1,35	3,60	0,03	6,79	100,00
КМ025s	60,00	1,20	24,20	1,40	0,01	0,70	0,60	1,25	2,00	0,02	8,11	99,74
КМ026s	52,00	1,54	27,00	6,00	0,05	2,10	0,60	1,08	2,50	0,07	6,95	99,99
КМ031s	58,00	1,10	25,00	1,35	0,01	1,10	0,80	1,35	2,85	0,02	8,60	100,17
КМ032s	51,00	1,89	26,60	6,40	0,06	1,40	2,00	1,00	2,50	0,07	6,95	99,87
КМ034s	60,00	1,54	24,5	4,00	0,05	0,90	1,40	0,45	1,20	0,25	5,67	99,96
КМ037s	49,00	1,82	27,00	2,92	0,01	2,20	0,80	2,50	2,50	0,07	11,84	100,61
КМ039s	57,00	1,85	22,30	3,80	0,02	0,90	1,40	2,00	2,00	0,03	9,04	100,36
КМ041s	57,00	0,70	20,00	2,20	0,01	0,90	0,80	1,05	3,50	0,02	14,33	100,51
КМ042s	63,00	1,33	22,00	3,19	0,02	0,90	1,10	1,00	2,80	0,03	5,07	99,64
КМ043s	52,00	0,40	15,00	15,60	0,06	0,90	6,42	0,10	0,12	0,23	9,64	100,52
КМ044s	50,00	1,40	24,50	13,40	0,12	0,28	1,80	0,40	0,40	0,05	7,06	99,41
КМ015g	63,50	0,82	20,50	2,40	0,01	0,50	1,60	1,25	3,50	0,04	6,06	100,18
КМ016g	70,00	0,24	13,70	1,40	0,02	1,10	1,00	1,25	1,30	0,03	9,74	99,78
КМ017g	52,00	1,40	27,00	6,00	0,06	0,80	1,40	1,20	2,80	0,02	7,18	99,86
КМ018g	70,00	0,50	14,00	6,00	0,08	1,40	2,00	0,48	0,40	0,01	4,76	99,63

Продолжение таблицы 4.1

№ образца	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Σ
КМ019g	62,00	0,75	20,00	3,75	0,01	1,20	0,80	1,35	1,50	0,02	8,94	100,32
КМ020g	78,50	0,60	13,50	0,20	0,08	0,80	1,05	1,20	1,00	0,01	2,81	99,75
КМ024g	71,00	0,50	12,60	5,53	0,07	0,80	1,40	0,40	0,50	0,20	6,45	99,45
КМ025g	59,10	1,50	22,20	3,30	0,04	0,30	1,20	2,00	2,80	0,01	7,21	99,56
КМ029g	63,80	1,22	18,60	6,00	0,04	0,50	1,40	1,35	2,50	0,01	4,34	99,76
КМ045s	63,50	0,98	20,00	3,60	0,04	0,50	1,40	1,85	3,50	0,01	5,05	100,42
КМ048s	70,00	0,29	14,00	1,57	0,01	0,40	1,40	0,20	6,00	0,01	5,89	99,77
КМ049s	79,00	0,10	13,00	0,40	0,01	0,20	0,60	0,70	3,00	0,01	3,40	100,42

Важнейшими содержащими органическое вещество геологическими формациями, с которыми ассоциируют месторождения цветных и благородных металлов, являются терригенно-углеродистая, кремнисто-углеродистая и карбонатно-углеродистая. Иногда встречаются и формации промежуточного типа, например, карбонатно-терригенно-углеродистая [Горжевский Д.И. и др., 1990].

Терригенно-углеродистая формация образована большей частью переслаиванием углеродистых алевролитов с аргиллитами; песчаники и конгломераты, как правило, играют подчиненную роль и поэтому иногда эту формацию называют глинисто-терригенной. Осадки этой формации накапливались в течение континентальной стадии развития коры, в мелководных континентальных морях. С терригенно-углеродистой формацией ассоциируют золотосульфидные месторождения. *Кремнисто-углеродистая формация* обычно состоит из чередования кремнистых и кремнисто-глиноуглеродистых сланцев, при подчиненной роли углеродисто-глинистых сланцев. Для нее характерно небольшое количество грубого терригенного и карбонатного материала и высокое содержание кремнезема. В минеральном составе осадков наряду с гидрослюдистыми глинами, существенную роль часто играют глауконит и железистые хлориты. По тектонической позиции кремнисто-углеродистая формация относится к начальным стадиям раскрытия океанических бассейнов и обычно формируется на коре океанического и переходного типа, она часто связана с впадинами краевых морей и шельфовыми зонами пассивных и активных окраин. *Карбонатно-углеродистая формация*, состоит главным образом, из

известняков и доломитов, часто битуминозных, подчиненную роль играют горизонты углеродистых алевролитов и глинистых и кремнистых сланцев.

Каждая из перечисленных углеродистых формаций занимает определенное место в истории развития земной коры [Горжевский Д.И. и др., 1990]. Раньше других появляются породы кремнисто-углеродистой формации, которые отлагаются на океанической стадии развития коры, несколько позже – породы вулканогенно-кремнисто-углеродистой формации. Значительно позже, уже после создания континентальной коры, формируются осадки терригенно-углеродистой и карбонатно-углеродистой формации. Содержание углерода в породах этих формаций весьма различно и колеблется от сотых долей процента до нескольких десятков процентов. Однако в углеродистых толщах, с которыми связаны многие типы рудных месторождений, оно обычно составляет десятые доли процента или нескольких процентов. Для определения формационной принадлежности черносланцевых отложений использовалась диаграмма А–S–С, полученная на основе обобщения большого количества химических анализов пород углеродистых формаций [Горбачёв О.В., Созинов Н.А., 1985]. Анализы углеродистых пород Кумакского рудного поля, вынесенные на диаграмму, показывают, что фигуративные точки образуют непрерывный ряд по оси S от 500 до 1200 ед. и относятся преимущественно к терригенно-углеродистой формации. Лишь несколько проб попадают в левую часть поля кремнисто-углеродистой формации (Рисунок 4.1).

Для реконструкции состава и условий накопления углеродистых отложений использовались стандартные петрохимические параметры (модули), рассчитываемые по силикатным анализам [Юдович Я. Э., Кетрис М. П., 2015], предложенные Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис.

Гидролизатный модуль ($ГМ = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$), основанный на содержаниях пяти главных петрогенных оксидов и являющийся универсальным для большинства терригенных и кремнистых пород, дает возможность разделить породы, содержащие либо продукты гидролиза (каолинит, оксиды алюминия, железа, марганца), либо кремнезем. Я.Э. Юдович и М.П.

Кетрис [1986] предлагают по данному параметру выделить три типа осадочных пород:

1. $ГМ > 0,55$ – гидролизаты. Сюда относятся образования кор выветривания, а также продукты их переотложения.

2. $ГМ = 0,30–0,55$ – сиаллиты, сиферлиты, включающие обломочные, вулканогенно-осадочные и глинистые породы.

3. $ГМ < 0,30$ – силиты. В этот тип попадает большая группа существенно кварцевых и кремнистых аквагенных пород, которая в свою очередь делится на три класса: а) $ГМ = 0,20–0,30$ – миосилиты – граувакки, аркозы и кремнисто-глинистые сланцы; б) $ГМ = 0,10–0,20$ – гипосилиты – алевролиты, олигомиктовые кварцевые песчаники, глинисто-кремнистые сланцы; в) $ГМ < 0,10$ – эвсилиты – кварциты, мономиктовые песчаники, кремни, фтаниты и яшмы.

Чем выше значение гидролизатного модуля, тем более сильное и глубокое выветривание претерпели исходные породы источников сноса и чем ниже его значение, тем «чище» осадок от продуктов выветривания, т.е. выше зрелость породы.

Рассматриваемые углеродистые отложения относятся к типу сиаллитов и сиферлитов ($ГМ = 0,3–0,5$), но часть несет в своем составе продукты переотложения высокоглиноземистых кор выветривания и принадлежат к типу гидролизатов ($ГМ > 0,55$). Это находит свое отражение в значениях алюмокремниевого модуля ($АМ = Al_2O_3 / SiO_2$), служащего для разделения глинистых и песчаных пород.

Алюмокремниевый модуль ($АМ = Al_2O_3 / SiO_2$) подобно гидролизатному позволяет оценить степень химического выветривания пород. Кроме того, он используется для разделения глинистых и песчаных отложений. М.П. Кетрис (1976) предложила следующую классификацию осадочных пород по величине алюмокремниевого модуля: $< 0,25$ – гипоглиноземистые ($< 0,10$ – кремнистые породы, $0,10–0,25$ – песчаники), $0,26–0,35$ – нормоглиноземистые (глинистые породы), $> 0,35$ – суперглиноземистые (гидролизатные породы, связанные с корами выветривания).

Максимальное значение алюмокремниевого модуля в породах брединской свиты достигает 0,77 ед (среднее 0,38 ед), что указывает на принадлежность их к классу суперглинозёмистых отложений. Стабильно высокие значения индекса химического выветривания ($CIA = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$), рассчитанные по молекулярным количествам оксидов и составляющие от 70 до 94 ед., указывают на высокую степень выветривания осадочного алюмосиликокластического материала, характерную для отложений гумидных зон [Nesbitt H.W., Young G.M., 1982].

На классификационной диаграмме $\log(SiO_2 / Al_2O_3) - \log(Fe_2O_{3общ} / K_2O)$ [Herron M.M., 1988], отражающей соотношение в породах кварца, полевых шпатов и глинистых минералов, подавляющее число фигуративных точек углеродистых сланцев брединской свиты сосредоточено в поле сланцев, что свидетельствует о минимальном переносе осадочного материала (Рисунок 4.1б).

По данным химического состава осадочных пород можно в определенной мере судить и о составе пород-источников обломочного материала для них. Для этого обычно используется ряд различных диаграмм, наиболее широко из них – диаграмма F1-F2 [Roser B.P. et al., 1988]. Распределение фигуративных точек состава рассматриваемых углеродистых сланцев показывает, что источником терригенного материала были преимущественно породы основного состава, а также продукты размыва кислых вулканитов основания разреза брединской свиты (Рисунок 4.1в).

Учитывая петрохимические особенности и наличие в разрезах прослоев известняков с преобладанием микрофауны можно охарактеризовать породы как мелководно-прибрежные углеродистые сланцы.

Обратимся к диаграмме DF1-DF2 С. Верма и Дж. Армстронга-Алтрина [Verma S.P. et al., 2013]. На ней эти же породы образуют уже компактный рой в переходной зоне от рифтогенной геодинамической обстановки к коллизионной [Коломоец А.В., 2019; Коломоец А.В., Сначёв А.В., 2020] (Рисунок 4.1г).

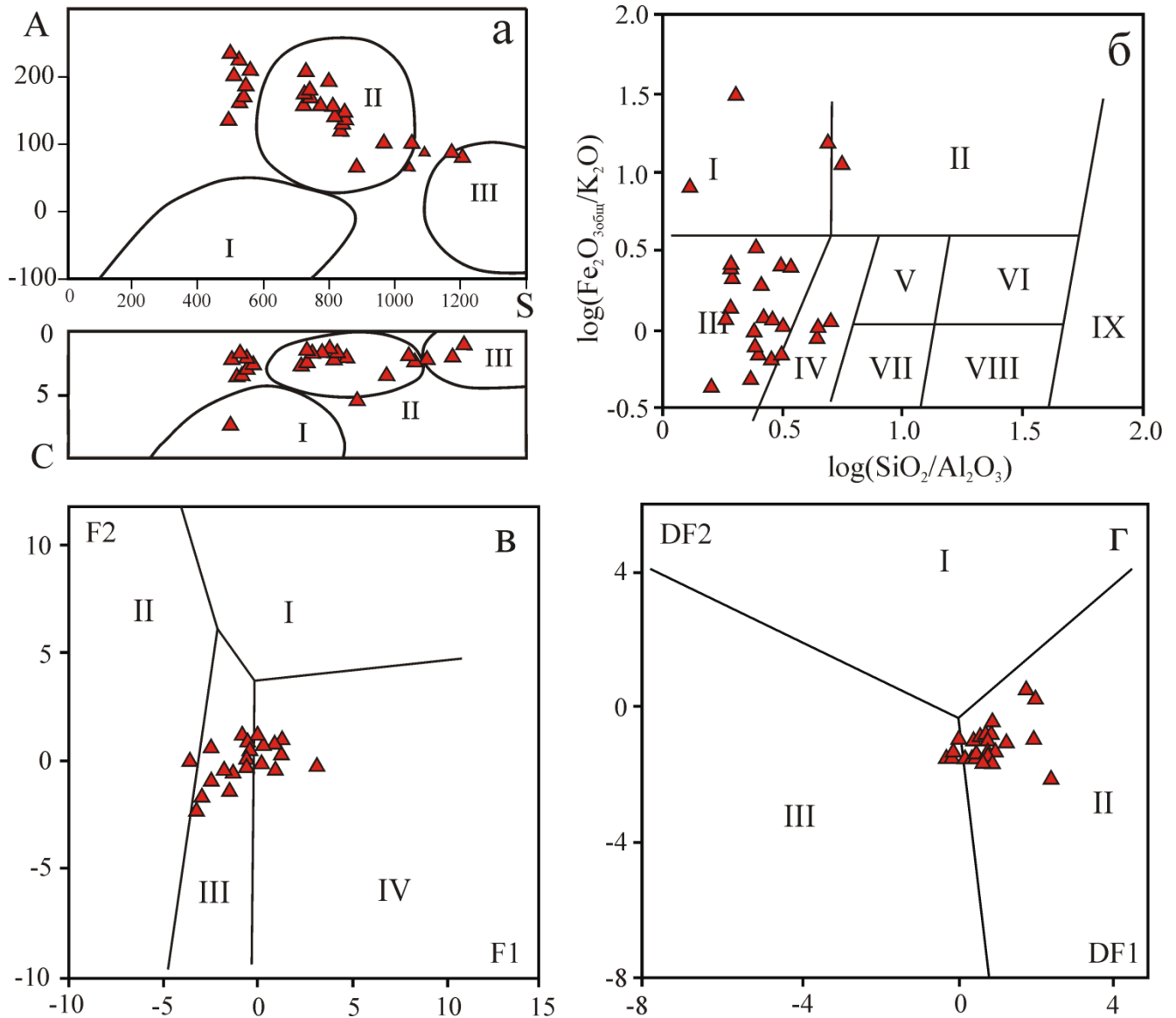


Рисунок 4.1 – Положение точек состава углеродистых сланцев брединской свиты на классификационных диаграммах

Примечание: а – классификационная диаграмма А–S–С [Горбачёв О.В., Созинов Н.А., 1985]. Поля формаций: I – карбонатно-углеродистая, II – терригенно-углеродистая, III – кремнисто-углеродистая.

Параметры: $A = (Al_2O_3 - (CaO + K_2O + Na_2O)) \times 1000$ и $S = (SiO_2 - (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + CaO + MgO)) \times 1000$ выражены в молекулярных количествах, параметр $C = (CaO + MgO)$ – в массовых долях оксидов.

б – $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Fe_2O_{3общ}/K_2O)$ [Herron М.М., 1988]. Поля: I – Fe-сланцы, II – Fe-песчаники, III – Сланцы, IV – Вакки, V – Литарениты, VI – Сублитарениты, VII – Аркозы, VIII – Субаркозы, IX – Кварцевые арсениты.

в – F1-F2 [Roser В.Р. et al., 1988], где: $F1 = 30,638(TiO_2/Al_2O_3) - 12,541(Fe_2O_{3общ}/Al_2O_3) + 7,329(MgO/Al_2O_3) + 12,031(Na_2O/Al_2O_3) + 35,402(K_2O/Al_2O_3) - 6,382$, $F2 = 56,5(TiO_2/Al_2O_3) -$

$10,879(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{Al}_2\text{O}_3) + 30,875(\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3) - 5,404(\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3) + 11,112(\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3) - 3,89$.
 Поля источников обломочного материала: I – богатые кварцем осадочные породы, II – магматические породы основного состава, III – магматические породы среднего состава, IV – магматические породы кислого состава.

$z = \text{DF1} - \text{DF2}$ [Verma S.P. et al., 2013], где: $\text{DF1} = -0,263\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,604\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1,725\ln(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,66\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 2,191\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,144\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1,304\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,054\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0,33\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1,588$;
 $\text{DF2} = -1,196\ln(\text{TiO}_2/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + [1,064\ln(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,303\ln(\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ}}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,436\ln(\text{MnO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 0,838\ln(\text{MgO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 0,407\ln(\text{CaO}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} + 1,021\ln(\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1,706\ln(\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2)_{\text{adj}}] - 0,126\ln(\text{P}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2)_{\text{adj}} - 1,068$ Нижний индекс «adj» показывает, что расчет ведется по содержаниям оксидов, приведенным к 100 % сухого вещества. Поля обстановок осадконакопления: I – островодужные, II – коллизионные, III – рифтогенные.

Учитывая особенности накопления и переноса некоторых элементов в процессе осадконакопления можно довольно уверенно реконструировать окислительно-восстановительные обстановки в древних седиментационных бассейнах. По совокупности значений параметров V/Cr , $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$, Mo/Mn , $U_a = U_{\text{total}} - \text{Th}/3$ (Таблица 4.2) [Холодов В.Н., Наумов Р.И. 1991; Jones B., Manning D.A.C., 1994; Wignall P.B., Myers K.J., 1988] углеродистые осадки брединской свиты отлагались в закисных и частично в субокислительных условиях.

Согласно исследованиям С.Г. Парады [2002], среди углеродисто-терригенных пород, являющихся рудовмещающими для золоторудных месторождений, выделяется два основных геохимических типа: нормальный калиевый (средние содержания по 348 пробам: $\text{Na}_2\text{O} - 1,74\%$, $\text{K}_2\text{O} - 3,30\%$; $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} = 0,51$) и аномальный натриевый (средние содержания по 138 пробам: $\text{Na}_2\text{O} - 3,31\%$, $\text{K}_2\text{O} - 3,30\%$; $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} = 1,0$). Первый из них характерен для месторождений с золото-сульфидными вкрапленно-прожилковыми рудами, а второй – с золото-кварцевыми жильными и прожилковыми. Для черносланцевых отложений Кумакского рудного поля среднее значение Na_2O по 27 анализам составляет 1,19% (Таблица 4.1), $\text{K}_2\text{O} - 2,33\%$, а $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} = 0,62$, что позволяет отнести их к нормально калиевому формационному типу, характерному для месторождений преимущественно с золото-сульфидным оруденением.

Таблица 4.2 – Содержание редкоземельных и рассеянных элементов в углеродистых отложениях брединской свиты Кумакского месторождения

№ пп		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ обр		КМ015g	КМ023g	КМ024g	КМ005s	КМ009s	КМ014s	КМ025s	КМ026s	КМ031s	КМ037s
Li	ppm	3	1,6	0,6	18	5	5	5	1,2	11	2,5
Be	ppm	1,8	1,2	0,19	0,26	2,4	2,4	1,6	1	1	1,2
Sc	ppm	5	3,5	16	11	2,4	3,4	3	2,5	5	4,3
Ti	ppm	3600	6000	1500	1500	3900	3900	3200	4200	4000	6000
V	ppm	70	160	70	40	80	80	80	100	90	160
Cr	ppm	90	320	60	60	120	120	90	120	100	360
Mn	ppm	180	340	600	390	60	70	80	390	140	220
Co	ppm	1,9	5	8	54	2,5	2,6	1,5	9	3	4
Ni	ppm	17	50	60	170	70	70	18	60	21	37
Cu	ppm	20	25	28	100	24	24	24	22	31	32
Zn	ppm	30	60	60	200	50	40	40	70	60	70
Ga	ppm	17	25	11	10	21	22	18	23	17	26
Ge	ppm	0,7	2,8	1,1	1,2	1	1	0,5	1,5	0,9	2,3
As	ppm	21,9	25,9	26,6	9,3	7,4	7,4	14,9	2	18,3	28,7
Se	ppm	0,16	0,16	0,38	0,45	0,106	0,17	0,114	0,15	0,18	0,19
Rb	ppm	47	27	2,2	17	49	53	40	17	40	45
Sr	ppm	80	90	50	90	140	130	150	110	120	100
Y	ppm	2	1,6	10	16	1,6	1,9	2	1,1	4	2,1
Zr	ppm	120	130	59	56	130	130	120	130	130	130
Nb	ppm	10	14	5	5,6	10	11	9	11	13	16
Mo	ppm	0,35	1	0,6	0,36	0,33	0,6	0,5	0,5	0,8	1
Ag	ppm	2,3	0,52	1,2	0,97	0,93	1,5	0,83	1,8	0,91	1,2
Cd	ppm	0,21	0,19	0,09	0,17	0,25	0,23	0,2	0,27	0,24	0,3

Продолжение таблицы 4.2

№ пп		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ обр		КМ015g	КМ023g	КМ024g	КМ005s	КМ009s	КМ014s	КМ025s	КМ026s	КМ031s	КМ037s
Sn	ppm	1,5	1,8	0,8	0,38	1,6	1,6	1,6	1,7	1,9	2
Sb	ppm	1,3	1,4	1,2	0,4	0,68	0,68	0,69	1	0,9	1
Te	ppm	0,02	0,15	0,053	0,1	0,016	0,015	< 0,01	0,022	0,026	0,5
Cs	ppm	1,4	1,7	0,13	2,2	0,9	0,9	1,8	0,26	0,8	1,9
Ba	ppm	370	350	50	110	250	250	310	250	190	340
La	ppm	6	1,5	22	17	3,2	3	2,9	1,1	8	4
Ce	ppm	15	4,3	42	33	7	7	7	3,7	17	9
Pr	ppm	1,8	0,6	6,3	3,8	0,9	0,8	0,8	0,41	2	1,2
Nd	ppm	7	2,6	27	15	3,6	3,4	3,2	1,8	8	5
Sm	ppm	1,4	0,6	6	2,8	0,8	0,7	0,7	0,46	1,6	1
Eu	ppm	0,49	0,26	0,9	0,7	0,29	0,28	0,34	0,22	0,49	0,36
Gd	ppm	1,2	0,59	4	3,2	0,67	0,66	0,63	0,41	1,3	0,87
Tb	ppm	0,14	0,09	0,5	0,5	0,09	0,09	0,09	0,06	0,16	0,11
Dy	ppm	0,7	0,51	2,2	2,9	0,48	0,5	0,51	0,31	0,8	0,6
Ho	ppm	0,12	0,1	0,4	0,6	0,09	0,1	0,1	0,06	0,15	0,11
Er	ppm	0,36	0,32	1,1	1,6	0,28	0,32	0,32	0,18	0,45	0,32
Tm	ppm	0,06	0,05	0,16	0,22	0,05	0,04	0,05	0,03	0,07	0,05
Yb	ppm	0,4	0,4	1	1,4	0,3	0,4	0,3	0,23	0,5	0,4
Lu	ppm	0,07	0,07	0,16	0,21	0,06	0,06	0,06	0,04	0,08	0,06
Hf	ppm	4	5	1,7	1,6	5	4	4	4	5	5
Ta	ppm	1,1	1,5	0,39	0,5	1,1	1,1	1	1,1	1,4	1,6
W	ppm	3,2	11	2,3	1,2	9	9	3,7	6	2,9	11
Tl	ppm	0,4	0,4	0,04	0,12	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5
Pb	ppm	20	12	4	3,2	16	16	18	8	25	17
Bi	ppm	0,053	0,26	0,18	0,22	0,048	0,041	0,062	0,022	0,146	1,5
Th	ppm	3,4	1,6	4,4	5	3,7	3,9	2,9	2,1	7	2,6
U	ppm	2,8	3,2	2,4	3,8	3	3	2,4	2,9	3,7	2,2

Продолжение таблицы 4.2

№ пп		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ обр		KM038S	KM040S	KM041S	KM044S	KM048S	KM049S	KM018g	KM020g	KM032S	KM034S
Li	ppm	5	0,3	1,3	1,2	2,2	4	14	12	5	14
Be	ppm	2	0,8	1,4	0,5	3	1,6	0,5	1	1,3	1,2
Sc	ppm	5	3,7	3,7	11	0,8	1,1	3,3	3,2	8	5
Ti	ppm	3200	6000	1400	3700	3400	1800	2200	2300	6000	3600
V	ppm	90	160	150	90	70	50	50	50	100	70
Cr	ppm	80	300	90	90	100	80	60	70	180	80
Mn	ppm	190	600	60	900	70	60	500	600	500	390
Co	ppm	2,3	7	1,5	9	1,9	0,7	15	5	8	10
Ni	ppm	27	40	12	80	28	7	40	28	50	29
Cu	ppm	15,8	26	17,3	26	10	7	20	17,7	50	23
Zn	ppm	30	70	19	100	24	15	50	30	90	40
Ga	ppm	22	26	18	23	24	12	13	11	24	16
Ge	ppm	0,8	5	0,47	3	0,7	0,9	1,6	0,8	2,7	1,3
As	ppm	19,6	43	102	29,2	2,5	0,82	6,6	7,3	23,2	7,8
Se	ppm	< 0,07	0,23	1,7	0,21	< 0,07	< 0,07	0,131	< 0,07	0,23	0,18
Rb	ppm	19	9	64	4	39	35	0,4	12	11	13
Sr	ppm	80	60	90	50	70	60	60	90	190	70
Y	ppm	0,6	2	1,6	5	0,2	0,8	2	3	5	4
Zr	ppm	100	130	170	120	97	75	80	89	160	95
Nb	ppm	8	14	5	9	12	8	7	7	17	11
Mo	ppm	< 0,006	1,2	1,1	0,21	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,17	< 0,006
Ag	ppm	0,69	0,43	0,76	0,82	1	0,84	0,49	2,1	2	1
Cd	ppm	0,12	0,11	0,14	0,11	0,09	0,07	0,08	0,09	0,18	0,09
Sn	ppm	1,8	1,8	1,2	1,5	1,8	1,6	1,1	1,2	2,1	1,7
Sb	ppm	0,9	1,8	2,7	2	0,25	0,18	0,55	0,3	1,7	0,68

Продолжение таблицы 4.2

№ пп		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ обр		KM038S	KM040S	KM041S	KM044S	KM048S	KM049S	KM018g	KM020g	KM032S	KM034S
Te	ppm	0,019	0,21	1	< 0,01	0,033	< 0,01	0,012	0,019	0,033	0,021
Cs	ppm	2,2	0,9	1	0,31	1	0,7	0,065	0,47	0,6	0,6
Ba	ppm	160	200	390	100	230	260	80	190	220	320
La	ppm	0,5	5	4	6	0,5	0,07	1,7	3,3	9	4
Ce	ppm	1,2	13	9	17	1,2	0,29	4,1	8	24	10
Pr	ppm	0,17	1,7	1,1	2,2	0,15	0,03	0,45	0,9	2,8	1,1
Nd	ppm	0,75	8	5	10	0,66	0,15	1,8	3,3	12	4,3
Sm	ppm	0,19	1,8	1,1	2,4	0,13	0,08	0,46	0,7	2,5	0,9
Eu	ppm	0,1	0,33	0,23	0,5	0,049	0,042	0,16	0,24	0,6	0,31
Gd	ppm	0,19	1,3	0,85	2,1	0,1	0,12	0,49	0,68	2	0,93
Tb	ppm	0,03	0,17	0,1	0,28	0,014	0,027	0,08	0,09	0,24	0,14
Dy	ppm	0,2	0,9	0,54	1,6	0,08	0,18	0,54	0,6	1,4	0,9
Ho	ppm	0,05	0,16	0,09	0,3	0,015	0,04	0,11	0,12	0,26	0,18
Er	ppm	0,15	0,47	0,28	0,9	0,047	0,14	0,34	0,37	0,7	0,6
Tm	ppm	0,024	0,07	0,05	0,13	0,007	0,022	0,06	0,05	0,11	0,09
Yb	ppm	0,18	0,5	0,4	0,9	0,05	0,16	0,4	0,4	0,8	0,6
Lu	ppm	0,03	0,08	0,07	0,16	0,009	0,026	0,07	0,07	0,13	0,1
Hf	ppm	4	5	6	5	4	2,5	2,5	2,8	6	3
Ta	ppm	0,7	1,1	0,9	0,8	0,9	1	0,7	0,7	1,3	0,9
W	ppm	4	11	4	6	12	3,6	1,3	2,2	7	2,6
Tl	ppm	0,4	0,23	0,5	0,11	0,5	0,32	0,022	0,18	0,28	0,24
Pb	ppm	20	7	17	4	12	11	7	12	14	13
Bi	ppm	0,029	2,4	2,3	0,056	0,116	0,061	0,083	0,123	0,054	0,112
Th	ppm	2,5	1,8	0,7	8	0,9	0,5	4	4,4	2,4	6
U	ppm	2,4	2,4	4,5	3,7	1,2	0,9	1,5	1,4	4	1,8

Аналогичный вывод сделан и С.Е. Знаменским, Н.М. Знаменской [2009], поместившими данный объект в группу золото-сульфидных прожилково-вкрапленных или полиформационных с совмещенным золото-сульфидным и золото-кварц-малосульфидным оруденением.

При изучении геохимии углеродистых сланцев использовался микроанализ методом ИСП-масс-спектрометрии (Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург). Нормированные содержания большинства редкоземельных элементов к постархейскому австралийскому глинистому сланцу (РААС) укладываются в интервал от 0,1 до 0,3 ед., т. е. в рассматриваемых углеродистых сланцах РЗЭ практически не накапливаются (Рисунок 4.2; Рисунок 4.3).

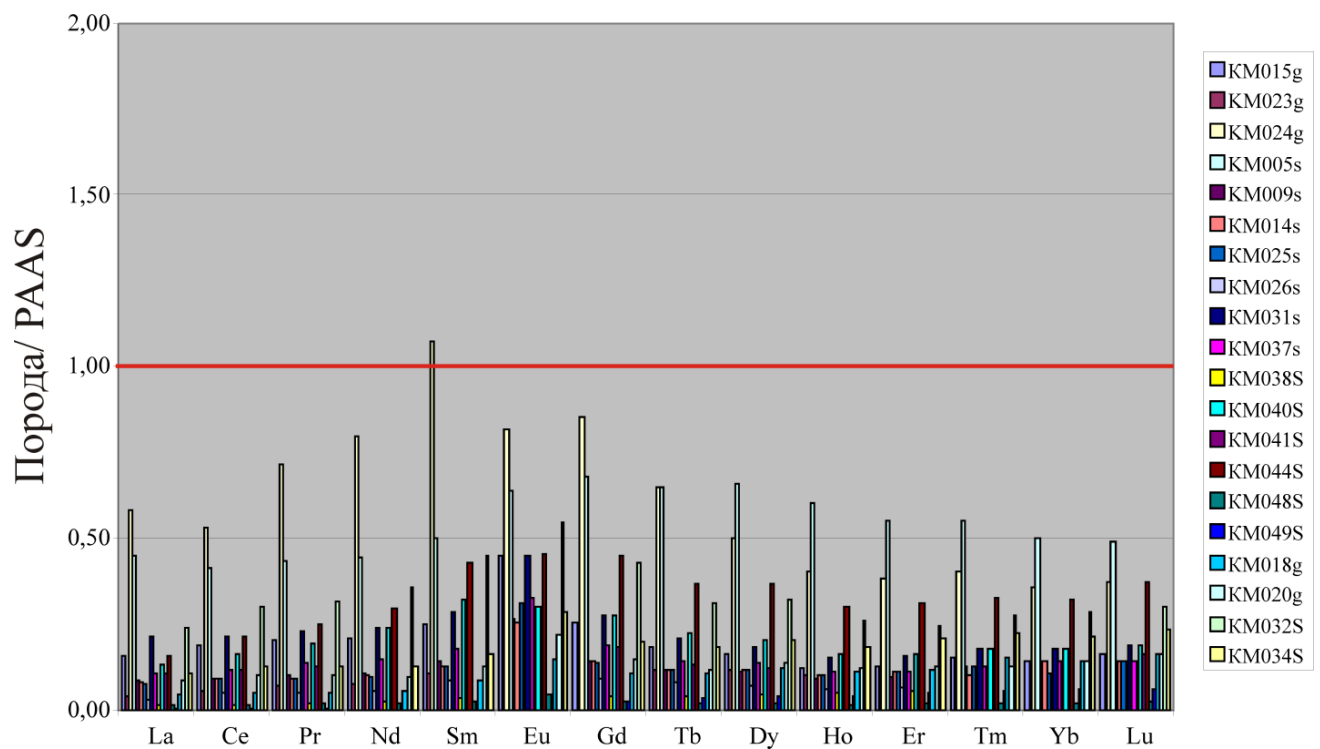


Рисунок 4.2 – Содержания редкоземельных элементов в углеродистых породах Кумакского рудного поля нормированные к РААС [Тейлор, МакЛеннан, 1988]

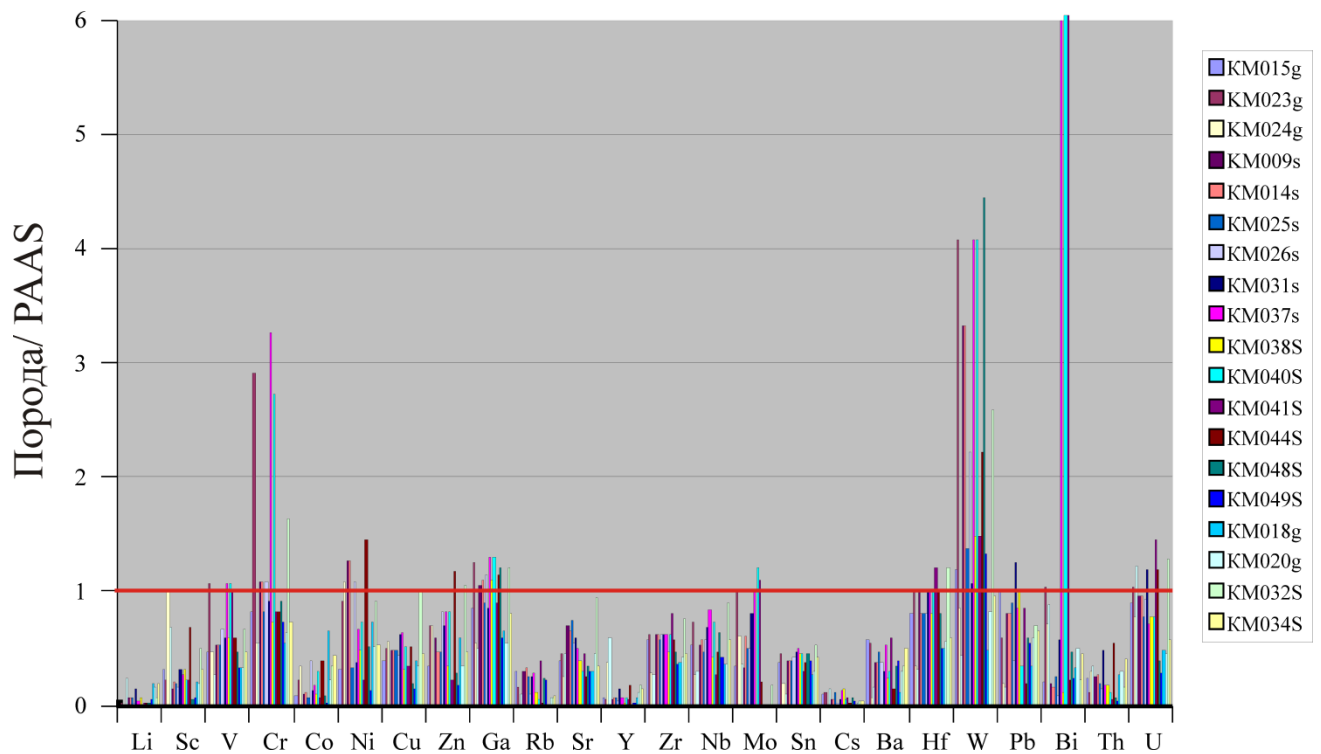


Рисунок 4.3 – Содержания малых элементов в углеродистых породах Кумакского рудного поля нормированные к РААС [Тейлор, МакЛеннан, 1988].

Рассмотрение петрогеохимических и геохимических особенностей углеродистых отложений Кумакского месторождения позволяет сделать ряд выводов:

1. Черносланцевые образования брединской свиты относятся к углеродистому типу и попадают в поля терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формаций.

2. Условия осадконакопления были довольно специфичны для подобных отложений Южного Урала. Терригенный высокоглиноземистый осадочный материал претерпел минимальный перенос и формировался преимущественно за счет разрушения пород основного состава, а также продуктов размыва кислых вулканитов основания разреза брединской свиты.

3. Осадки испытали высокую степень выветривания, характерную для влажного гумидного климата с закисными и частично субокислительными условиями. Отложение материала происходило в переходной от рифтогенной к коллизионной геодинамической обстановке.

4. Черносланцевые отложения Кумакского рудного поля по параметру $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} = 0,62$ ед. относятся к нормально-калиевому формационному типу, характерному для месторождений преимущественно с золото-сульфидным оруденением.

5. Нормирование к постархейскому австралийскому глинистому сланцу показывает, что редкоземельные элементы в рассматриваемых углеродистых сланцах не накапливаются. Их содержания по отношению к PAAS укладываются в интервал от 0,1 до 1 ед. Основными минералами-концентраторами лёгких РЗЭ являются монацит (-Ce) и рабдофан (-Ce), тяжелых – ксенотим (-Y).

Глава 5. РУДОНОСНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Кумакское рудное поле характеризуется большим разнообразием золоторудной минерализации, а также сложным полиформационным типом оруденения [Знаменский С.Е., Знаменская Н.М., 2009; Сазонов В.Н. и др., 2011], которое приурочено преимущественно к пачкам переслаивания метаморфизованных первичных терригенных и глинистых пород, превращенных в углеродистые слюдисто-кварцевые и кварцево-карбонат-слюдистые хлоритизированные сланцы. Изменения выражены развитием полос серицита, перекристаллизацией и обособлением кварца в жилы и прожилки различной мощности, развитием карбоната, ожелезнением.

В архивных и опубликованных материалах сведения о минеральных ассоциациях, распространенных в рудах, и о минералах сопутствующих золоту, редки и неоднозначны. По данным Яковса Е.Н. [1976ф] и собственным наблюдениям на месторождении установлены три продуктивные стадии:

1. Высокотемпературные кварцевые жилы с апатитом, шеелитом, тетрадимитом и золотом;
2. Среднетемпературные кварцевые жилы с турмалином, пиритом, тетрадимитом, сульфидами Cu, золотом;
3. Низкотемпературные кварцевые жилы с турмалином и карбонатом.

Золотоносными являются четыре минеральные ассоциации. *Первая* из них развита только на юге рудного поля (Кумакское месторождение, проявление Байкал) и представлена целым спектром золото-висмут-теллуридной минерализации (Рисунок 5.6, № 3), а также включениями раклежита и самородного золота в кобальтине (Рисунок 5.6, Таблица 5.6, № 2). *Вторая* – мелкое самородное золото (в виде пленок и гнезд) наблюдается во всех разновидностях сланцев, а также накладывается на кварцевые и шеелит-кварцевые жилы (Рисунок 5.5). *Третьей* ассоциацией является полиметаллическая минерализация с бедным содержанием благородного металла (в пределах рассматриваемой площади она слабо проявлена). *Четвертая (преобладающая)* –

фиксируется в основной зоне смятия на северном участке. Золото здесь тонкодисперсное, связано с мелкокристаллическим пиритом, арсенопиритом и приурочено к зонам с развитием турмалинизации.

Углеродистые отложения представляют собой благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. Наиболее ценным металлом углеродистых отложений является золото, что объясняется экономическим значением золоторудных месторождений, пространственно, а иногда и генетически, связанных с ними. По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [1994], кларковые содержания золота в черных сланцах, рассчитанные на основе мировой статистики, составляют 0,008–0,010 г/т. Более высокие его значения в углеродистых отложениях классифицируются следующим образом: 20–35 мг/т – аномалия, 35–50 мг/т – сильная аномалия, > 50 мг/т – рудогенная аномалия. Количество золота в углеродистом веществе разной степени метаморфизма обычно составляет 16–60 % от суммарного его содержания в углеродистых породах [Юдович Я.Э., Кетрис М.П., 1994].

В ходе полевых работ на Кумакском месторождении опробованы на золото и серебро слабоизмененные и измененные углеродистые сланцы брединской свиты (Таблица 5.1), [Коломоец А.В. и др., 2020]. Определения благородных металлов проведены в лаборатории ООО «Оренбургская многопрофильная компания» (г. Оренбург, исп. А.И. Корчагина). Содержания золота получены экстракционно-атомно-абсорбционным методом с органическими сульфидами (диапазон измерения по НСАМ 237-С – 0,10–20 г/т), серебра – пламенным атомно-абсорбционным методом (диапазон измерения по НСАМ 130-С – 2–2000 г/т) (спектрофотометр С-115, пламенно-фотометрический анализатор жидкости ПАЖ-1, колориметр фотоэлектрический КФК-2). В первых содержание Au достигает 0,6 г/т, Ag 3–4 г/т. В измененных сланцах распределение Au крайне неравномерное – от 0,1 до 17,7 г/т. В целом, анализ показал устойчивые надкларковые содержания в черных сланцах благородных металлов, достигающие в ряде образцов промышленных значений (Таблица 5.1). Дополнительно промыты

шлиховые пробы из углеродистых сланцев и кор выветривания, состоящих преимущественно из дресвы и обломков жильного кварца и углеродистых сланцев.

Таблица 5.1 – Результаты штучного опробования на Au и Ag (г/т) кварцевых жил и кварц-слюдисто-турмалиновых углеродистых отложений Кумакского месторождения

№	№ пробы	Au	Ag	№	№ пробы	Au	Ag	№	№ пробы	Au
1	КМ008s	0,15	-	18	КМ028g	0,12	-	35	КМ01s	0,28
2	КМ010s	-	-	19	КМ038s	-	-	36	КМ02s	0,10
3	КМ011g	3,50	-	20	КМ005s	-	3,9	37	КМ03s	0,34
4	КМ012s	-	-	21	КМ014s	0,15	-	38	КМ04s	0,15
5	КМ001g	6,50	-	22	КМ019s	-	2,9	39	КМ05s	0,12
6	КМ004s	-	-	23	КМ023g	-	3,2	40	КМ06s	>20,00
7	КМ004g	0,64	-	24	КМ032s	-	3,3	41	КМ07s	0,14
8	КМ005s	-	-	25	КМ009s	0,55	-	42	КМ08s	0,16
9	КМ006s	-	-	26	КМ015g	0,15	4,1	43	КМ09s	0,20
10	КМ020s	-	-	27	КМ024g	-	3,2	44	КМ10s	0,12
11	КМ046s	0,15	-	28	КМ025s	-	-	45	КМ11s	0,11
12	КМ006g	0,25	-	29	КМ026s	-	-	46	КМ12s	0,17
13	КМ010g	0,79	-	30	КМ031s	-	3,0	47	КМ13s	0,13
14	КМ012g	0,32	-	31	КМ037s	0,20	2,5	48	КМ14s	0,16
15	КМ013g	0,57	-	32	КМ044s	-	4,0	49	КМ15s	0,14
16	КМ021g	-	-	33	КМ048s	0,28	2,5	50	КМ16s	0,16
17	КМ022g	17,70	-	34	КМ049s	0,19	3,0	51	КМ17s	-

Примечание. 1–4 – кварцевые жилы; 5–51 – черные сланцы: 5–19 – окварцованные, ожелезненные, 20–51 – слабоизмененные углеродистые сланцы.

Для № 35–51 серебро не определялось; прочерк – содержание элемента ниже чувствительности метода.

На северном продолжении Кумакского месторождения (проявление Байкал) описано и опробовано полотно канавы, полностью вскрывающей рудовмещающую черносланцевую полосу (Рисунок 5.1; Рисунок 5.2) (м):

0,0–19,2 – тектонизированные, метасоматически измененные, серицитовые серые сланцы с дресвой и щебнем кварца;

19,2–30,5 – черные углеродистые сланцы с редкими кварцевыми жилами и прожилки до 5 см, местами ожелезненные;

30,5–36,0 – серые слабоуглеродистые глинистые сланцы с прослоями углеродистых сланцев;

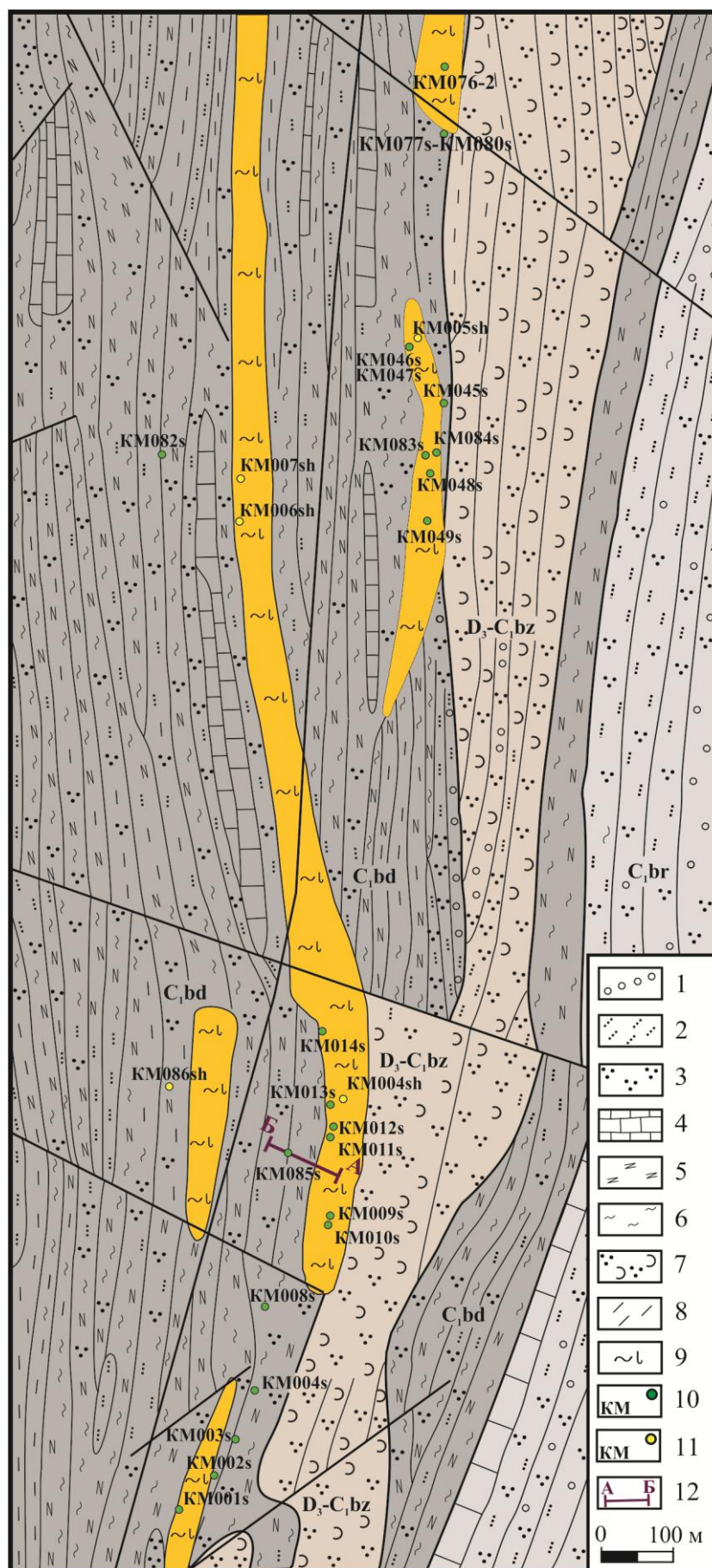
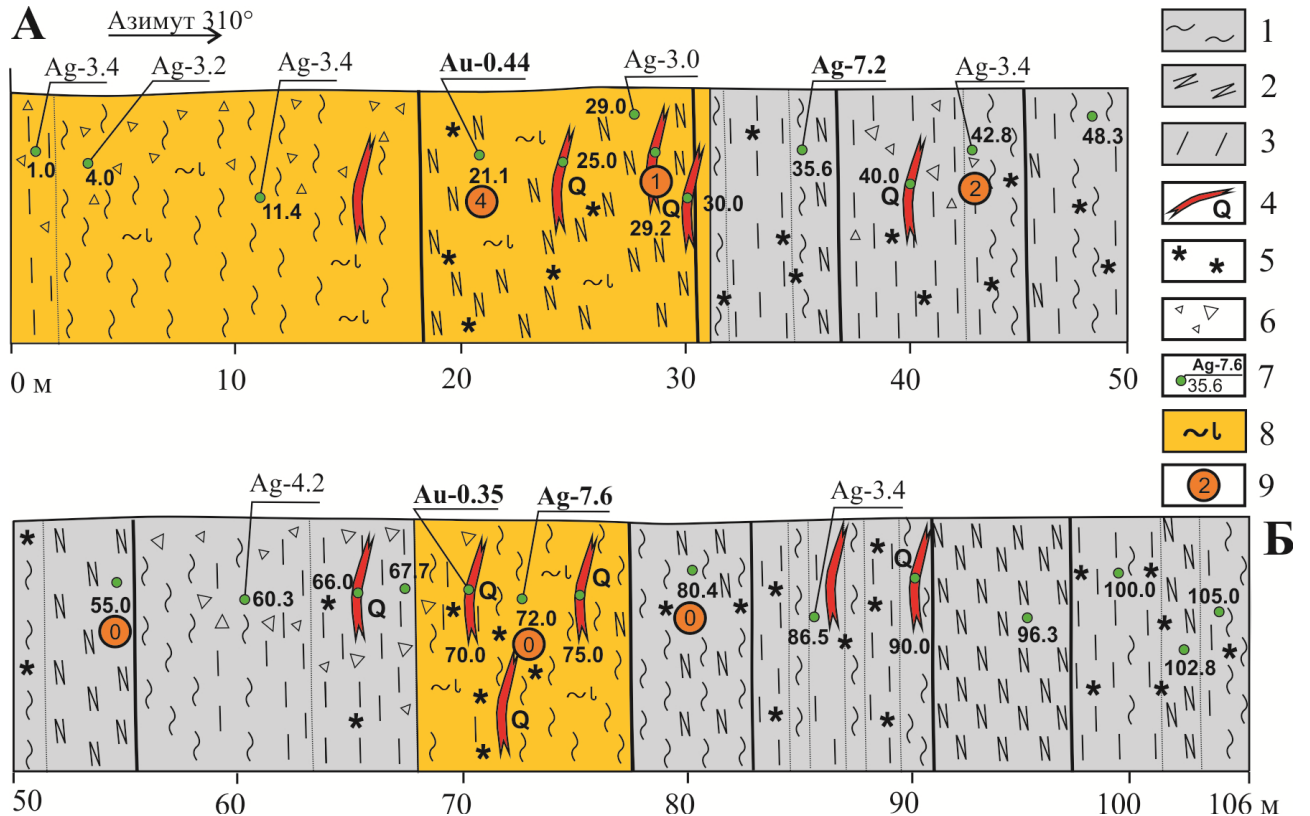


Рисунок 5.1 – Геологическая карта северного продолжения Кумакского месторождения (составлена автором по Миронову Е.Е. [1980ф] с добавлениями)

Условные обозначения: 1 – конгломераты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – известняки, 5 – углеродистые сланцы, 6 – серицитовые сланцы, 7 – туффиты, туфоалевролиты и туфопесчаники, 8 – глинистые, зеленые сланцы, 9 – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы, 10 – штуфные пробы, 11 – шлиховые пробы, 12 – положение разреза А-Б.



Условные обозначения: 1 – серицитовые сланцы, 2 – черные углеродистые сланцы, 3 – глинистые и зеленые сланцы, 4 – кварцевые жилы, 5 – ожелезнение породы, 6 – развитие дресвяно-щебнистой коры выветривания, 7 – точки опробования и значимые содержания Au и Ag, 8 – метасоматически измененные углеродистые сланцы, 9 – точки шлихового опробования и количество отмытых золотин.

Рисунок 5.2 – Полотно канавы и схема опробования на благородные металлы канавы А–Б. Рисунок составлен автором.

36,0–44,6 – переслаивание серых глинистых и зеленых (аповулканитовых?) сланцев;

44,6–55,7 – переслаивание серых и темносерых углеродистых сланцев с увеличением содержания углерода вверх по разрезу;

55,7–77,0 – переслаивание серых глинистых и серицитовых сланцев (в интервале 70,0–72,0 сильное ожелезнение и окварцевание);

77,0–83,2 – переслаивание серых серицитовых и темносерых углеродистых

сланцев;

83,2–92,3 – осветленные и ожелезненные серые углеродистые сланцы;

92,3–97,3 – черные углеродистые сланцы неизмененные;

97,3–106,3 – сильно тетонизированные, осветленные и ожелезненные серые серицитовые и темносерые углеродистые сланцы.

Штуфное опробование всех разновидностей пород полотна канавы показало промышленные содержания золота и серебра (Таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Результаты штуфного опробования на Au и Ag (г/т) пород, отобранных по разрезу А–Б

<i>№ n/n</i>	№ пробы	Au	Ag	<i>№ n/n</i>	№ пробы	Au	Ag	<i>№ n/n</i>	№ пробы	Au	Ag
1	КМ085g-1,0	0,09	3,4	10	КМ085s-80,4	0,18	2,0	19	КМ085s-29,0	0,08	1,4
2	КМ085g-4,0	–	3,2	11	КМ085s-100,0	–	1,8	20	КМ085s-30,0	–	1,4
3	КМ085g-11,4	0,15	3,4	12	КМ085s-105,0	0,09	2,2	21	КМ085s-40,0	0,09	1,0
4	КМ085g-35,6	0,15	7,2	13	КМ085s-21,1	0,44	1,8	22	КМ085s-66,0	0,10	2,0
5	КМ085g-42,8	0,06	3,4	14	КМ085g-29,2	0,12	3,0	23	КМ085s-75,0	0,16	1,4
6	КМ085g-48,3	0,06	2,6	15	КМ085s-55,0	0,09	2,6	24	КМ085s-90,0	0,09	0,8
7	КМ085g-60,3	0,08	4,2	16	КМ085g-96,3	0,09	1,8	25	КМ085s-70,0	0,35	2,4
8	КМ085s-67,7	0,15	1,6	17	КМ085g-102,8	0,08	2,6	26	КМ085g-86,5	0,08	3,4
9	КМ085g-72,0	0,07	7,6	18	КМ085s-25,0	0,06	2,2				

Примечание: 1–12 – серый серицитовый сланец; 13–17 – черный углеродистый сланец; 18–24 – кварц жильный; 25 – кварц жильный ноздреватый, ожелезненный; 26 – осветленный, ожелезненный серый углеродистый сланец; прочерк – содержание элемента ниже чувствительности метода.

В интервалах 1,0–35,6 м и 67,7–75,0 м установлены обогащенные рудные участки: по внешнему виду они представлены турмалинизированными сланцами и массивными породами светло-серого цвета в темных породах углеродистой толщи с кварцевыми проводничками или телами (Рисунок 5.3). Это мелко сплоенные породы, состоящие из турмалина и серицита, часто в состав входит кварц, оттрелит. Содержание турмалина в сланцах колеблется в довольно широких пределах. Кварц выделяется в виде мелких зубчатых и реже полигональных зерен; часто наблюдаются более крупные перекристаллизованные его обломки. Серицит выделяется в виде мелких чешуек, взаимно параллельное положение которых, обуславливает сланцеватую текстуру породы.

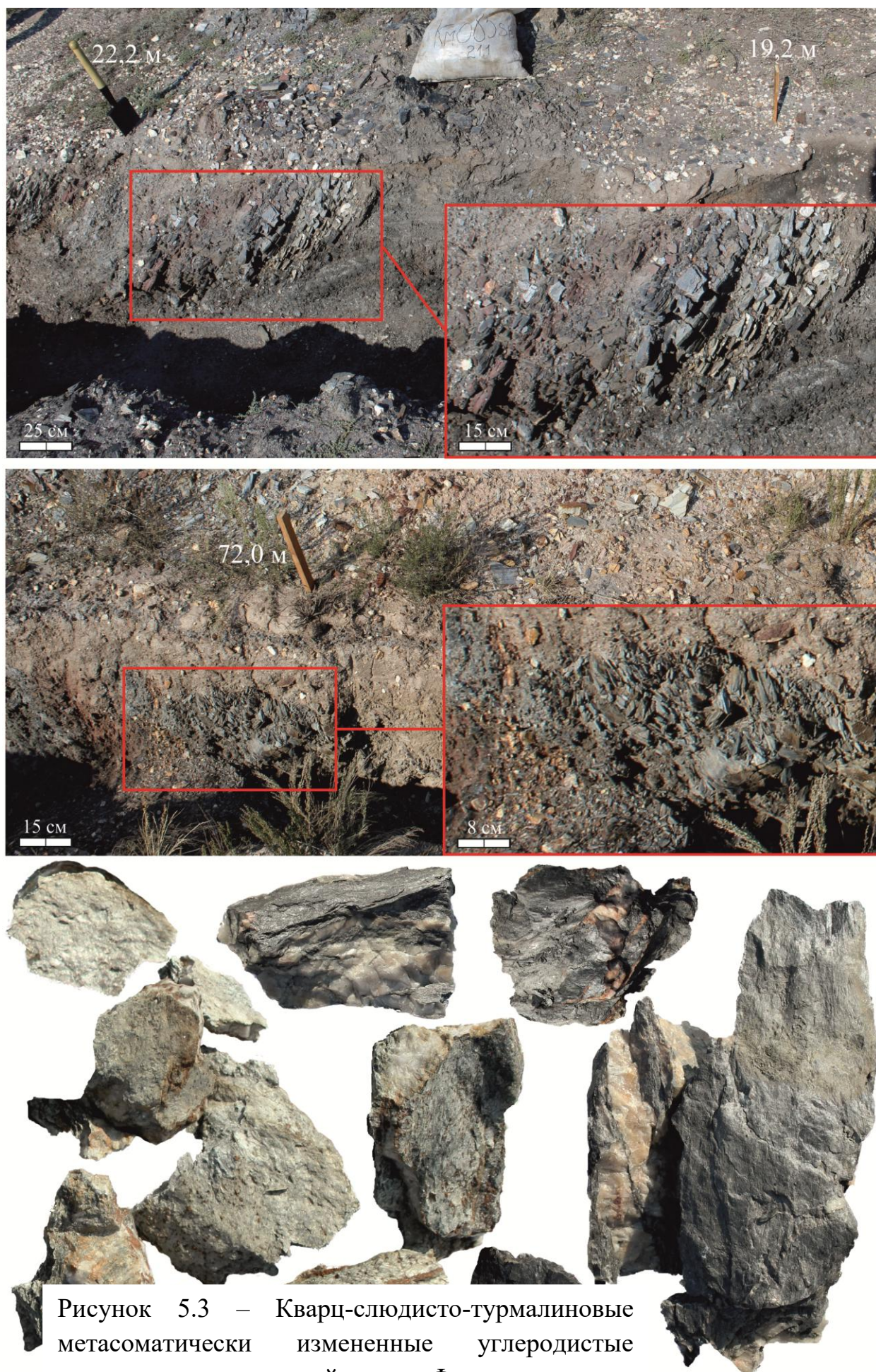


Рисунок 5.3 – Кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы рудовмещающей толщи. Фото автора

В углеродистых и рудных сланцах постоянно наблюдается прозрачная бесцветная слюда – найтрийсодержащий мусковит. Морфология его выделений разнообразна. По своему химическому составу эта слюда отличается от мусковита присутствием натрия, изоморфно замещающего калий в структуре (Таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Химический состав слюд Кумакского месторождения

	1	2	3		КМ038s	КМ013s	КМ021s	КМ005s	КМ044s
SiO₂	45,30	46,65	63,28	SiO₂	47,40	48,64	46,74	48,10	46,36
TiO₂	не обн.	0,10	не обн.	TiO₂	0,24	0,31	не обн.	0,20	0,17
Al₂O₃	37,70	36,97	25,70	Al₂O₃	37,94	37,60	37,98	37,51	37,06
Fe₂O₃	0,70	0,88	0,47	FeO	0,54	0,75	0,30	1,00	0,64
FeO	0,10	не обн.	не обн.	MgO	0,30	0,26	0,22	не обн.	0,29
MnO	следы	следы	следы	Na₂O	1,79	1,41	1,31	1,50	1,81
MgO	1,30	0,54	1,10	K₂O	8,39	9,54	8,43	8,90	8,61
CaO	0,41	не обн.	не обн.	CaO	не обн.	не обн.	0,23	не обн.	не обн.
Na₂O	2,34	1,99	1,25	Σ	96,60	98,50	95,21	97,21	94,95
K₂O	7,08	7,96	5,67						
H₂O	2,95	4,50	2,34						
Li₂O	0,0034	0,0006	0,0005						
Rb₂O	0,019	0,016	0,014						
ппп	1,67	не опр.	не опр.						

Примечание. Образцы 1–3 заимствованы [Миронов Е.Е. и др., 1980ф]:

1 – Na-содержащий мусковит (длиннолучистый в кварцевом прожилке); **2** – Na-содержащий мусковит (крупночешуйчатый в углеродистом сланце); **3** – Na-содержащий мусковит (скопления тонкозернистой слюды на контакте кварцевой жилы и углеродистого сланца).

Образцы **КМ005s**, **КМ038s**, **КМ013s**, **КМ021s**, **КМ044s** – Na-содержащий мусковит в углеродистом сланце.

Рудные тела на месторождении наблюдаются в сланцах рудного облика в виде прерывистых линз, иногда кулиснозаходящих друг за друга и залегают согласно с породами пачки углеродистых сланцев. При изучении встречены сланцы с реликтовыми структурами и следами слоистости осадочных пород. Между рудными и углеродистыми сланцами, при уменьшении в последних содержания углеродистого вещества, наблюдаются постепенные переходы. Углеродистые сланцы, содержащие большое количество серицита, приобретают шелковистый блеск, оставаясь такими же темными. Это объясняется тем, что углеродистое вещество тонко рассеяно. С его уменьшением в сланцах возрастает

содержание серицита, кварца, оттрелита. Такие разновидности сланцев часто встречаются в углеродистой толще; во многих случаях по контакту со сланцами рудного облика.

Химические составы углеродистых пород и их измененных разностей (кварц-слюдисто-турмалиновых, кварц-серицитовых и серицит-хлоритовых) Кумакского месторождения близки друг к другу (Таблица 1.3; Таблица 5.4). Содержания SiO_2 (от 40 до 80%) и Al_2O_3 (от 11 до 35%) варьируют в широких пределах в зависимости от степени окварцевания, хлоритизации или серицитизации пород. Рудные сланцы характеризуются повышенными по сравнению с вмещающими терригенно-осадочными породами количествами щелочей с заметным преобладанием K_2O (Таблица 5.4). Устанавливаются повышенные количества TiO_2 (0,85 – 1,20%).

Таблица 5.4 – Химический состав углеродистых сланцев Кумакского месторождения

	1	2	3	4	5	6		КМ025s	КМ085s- 21,1	КМ085g- 35,6	КМ085s- 72,0
SiO_2	60,62	46,46	80,26	47,26	55,93	61,09	SiO_2	60,00	66,50	53,00	63,00
TiO_2	0,95	0,85	0,35	1,03	2,55	1,35	TiO_2	1,20	1,20	0,85	1,20
Al_2O_3	20,76	31,56	11,51	35,26	26,03	21,32	Al_2O_3	24,20	18,40	14,00	21,60
Fe_2O_3	1,08	2,92	0,41	2,02	3,54	1,08	Fe_2O_3	1,40	3,20	17,00	3,70
FeO	0,73	1,46	0,73	0,42	–	1,31	FeO	–	0,30	0,57	0,35
MnO	0,03	0,03	0,03	–	–	–	MnO	0,01	–	–	–
CaO	0,20	0,20	0,14	0,22	0,23	0,24	CaO	0,70	0,20	0,20	0,20
MgO	0,37	1,56	1,56	0,70	0,44	0,55	MgO	0,60	0,30	0,40	0,40
Na_2O	0,86	1,40	0,64	1,35	7,76	1,32	Na_2O	1,25	1,00	1,00	1,40
K_2O	5,94	9,50	2,94	6,33	–	4,00	K_2O	2,00	2,50	1,20	2,50
P_2O_5	0,05	0,04	0,03	не обн.	–	не обн.	P_2O_5	0,02	0,06	0,48	0,05
S	0,01	0,01	0,01	–	–	–	Сорг	5,31	Не опр.	Не опр.	Не опр.
H_2O	2,40	4,15	1,75	4,48	–	2,47	ппп	8,11	6,16	11,26	5,33
CO_2	0,02	0,03	0,08	0,48	–	–					
Сорг	5,70	–	–	–	–	–					
Σ	99,72	100,17	99,28	99,68	100,29	–	Σ	99,74	99,82	99,96	99,70

Примечание. Образцы 1–6 заимствованы: метаморфизованный углеродисто-кремнисто-глинистый сланец (1) и метасоматиты кварц-серицитовой формации (2-3), образовавшихся по ним [Сазонов В.Н. и др., 1999];

4 – турмалиново-серицитовый сланец [Сорокин В.Н. и др., 1965ф];

5 – кварц-серицитовый сланец [Усатая Е.С., 1938];

6 – серицитовый сланец [Якобс Е.И. и др., 1976ф].

Образцы **КМ025s**, **КМ085s-21,1**, **КМ085g-35,6**, **КМ085s-72,0** проанализированы в химической лаборатории Института геологии УНЦ РАН (г. Уфа, аналитик С.А.Ягудина): **КМ025s** – углеродистый сланец, **КМ085g-35,6** – сильно ожелезненный глинистый сланец, **КМ085g-35,6** и **КМ085g-72,0** – кварц-слюдисто-турмалиновые метасоматически измененные углеродистые сланцы.

Золото в пределах Кумакского рудного поля встречается как в углеродистых сланцах, так и в насыщающих их кварцевых прожилках. На месторождении получено более сотни мелких и средних золотинок (по классификации Н.В. Петровской [1973]) размером от $0,05 \times 0,1$ до $0,3 \times 0,1$ мм, а также в прожилке кварца найдено небольшое скопление золота, пронизывающее образец вглубь на 1,5 см (Рисунок 5.4; Рисунок 5.5). Фотографии их поверхностей, а также определение элементного состава в полированных препаратах выполнены на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3 с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-act в ЦКП при ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (аналитик М.А. Рассомахин, использовано углеродное напыление, ускоряющее напряжение 20 кВ, «живое» время 120 с, эталоны МАС (Micro-analysis consultants LTD, рег. № 1362)).

Формы выделения самородного золота самые разнообразные: пластинчатая; изометричная, полуокатанная, пупырчатая, в виде сростков и листочков (Рисунок 5.4; Рисунок 5.5). Выделяется золото в виде пористых губчатых и друзовидных агрегатов, пластинок, пленок. Пленочное золото особенно характерно для сланцев. На поверхности золотинок отмечаются колломорфные почковидные корочки лимонита, а также срастания с мусковитом и турмалином. Отмечена пластичность выделений с треугольными аксессуориями роста размером 2–4 мкм, такое золото редко сопровождается рудными минералами (Рисунок 5.5, №7). Анализ золотинок выявил неоднородный их состав. Золото относится к высокопробному типу (Au – 92–96%), содержания серебра составляют 6–9 % (Таблица 5.5).

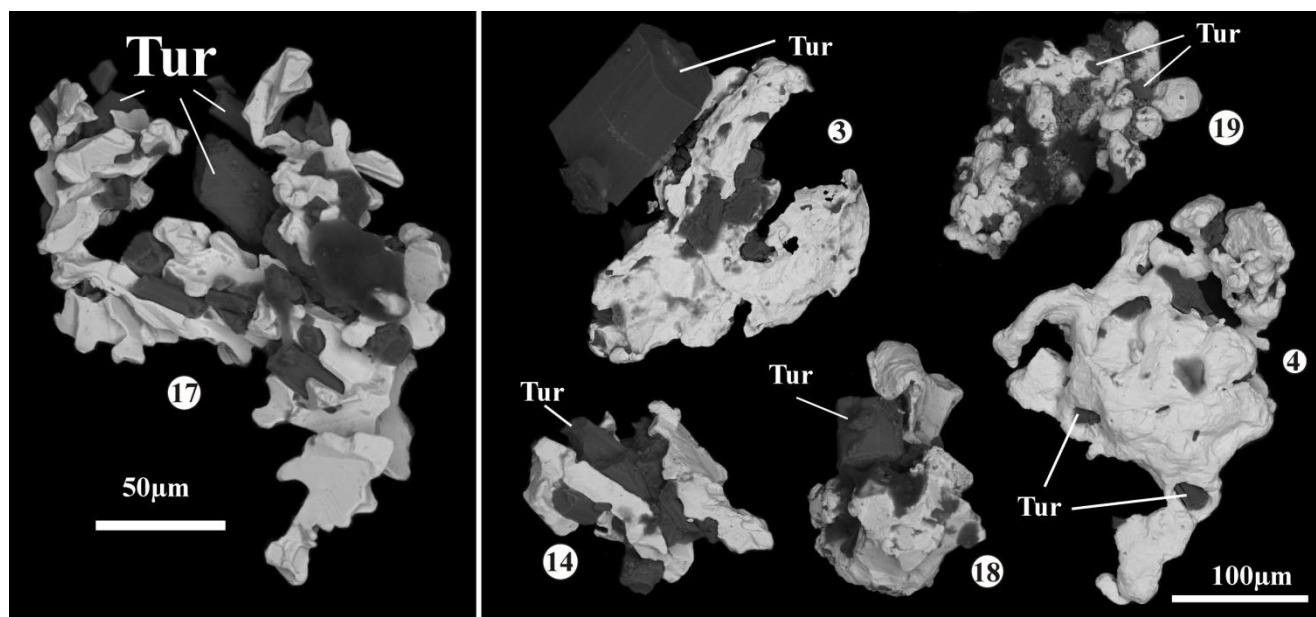


Рисунок 5.4 – Электронно-микроскопические изображения поверхности золотин, отмытых из углеродистых сланцев и кор выветривания Кумакского месторождения

Таблица 5.5 – Элементный состав золотин Кумакского месторождения

Золотина	Au, %	Ag, %	Пробность
1ц	93,91	6,09	939
1к	94,42	5,58	944
2	94,30	5,70	943
3	92,61	7,39	926
4ц	93,61	6,39	936
4к	100,00	0,00	1000
5	93,02	6,98	930
7ц	93,00	7,00	930
7к	94,28	5,72	943
8	91,86	8,14	919
9	100,00	0,00	1000
10	93,30	6,70	933
11	93,88	6,12	939
12	95,73	4,27	957
13	94,74	5,26	947
14	95,73	4,27	957
15	94,04	5,96	940
16	90,88	9,12	909
17	94,55	5,45	946

Примечание: номера золотин см. рисунок 5.4. и 5.5 ц – центр, к – край зерна.

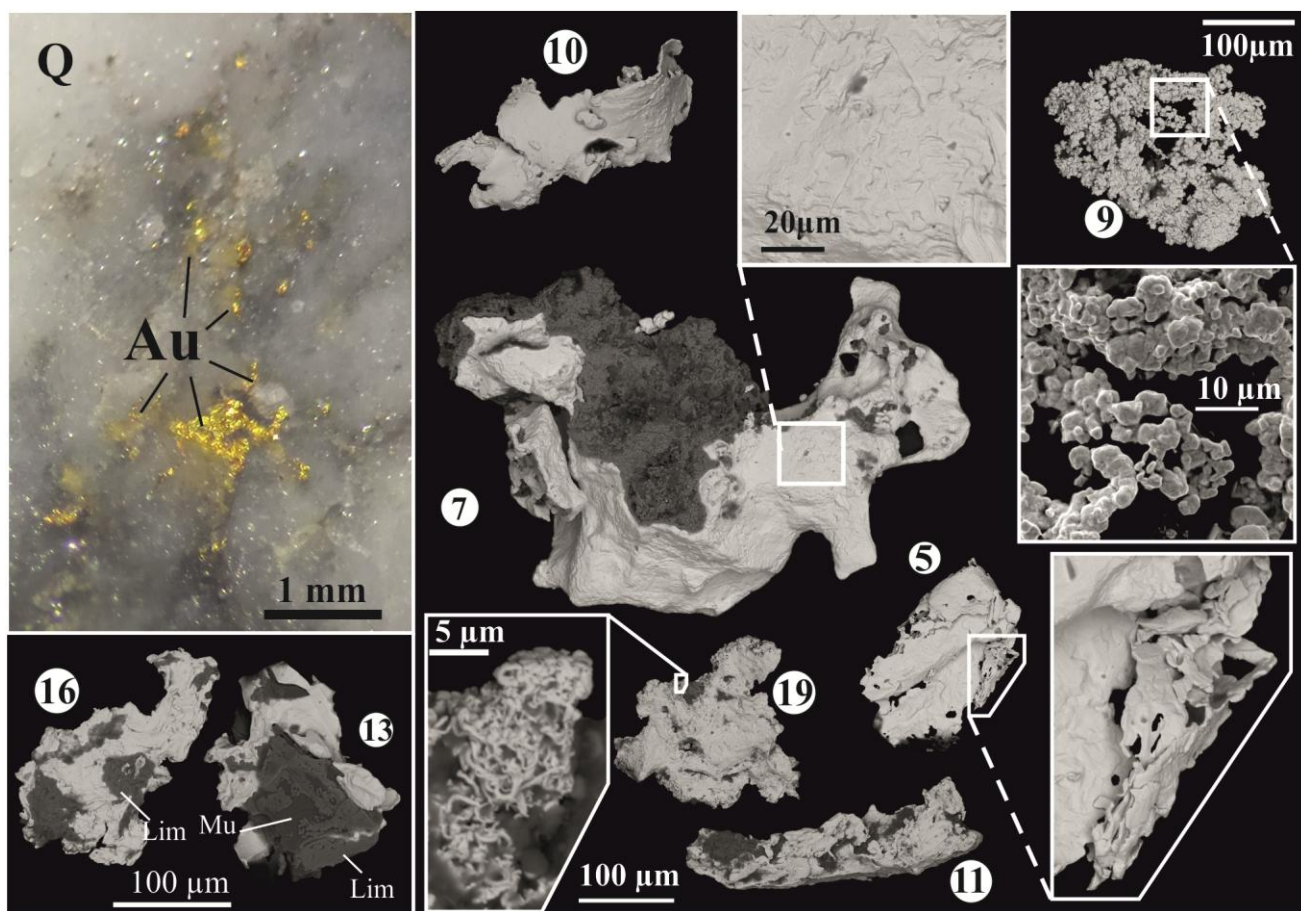
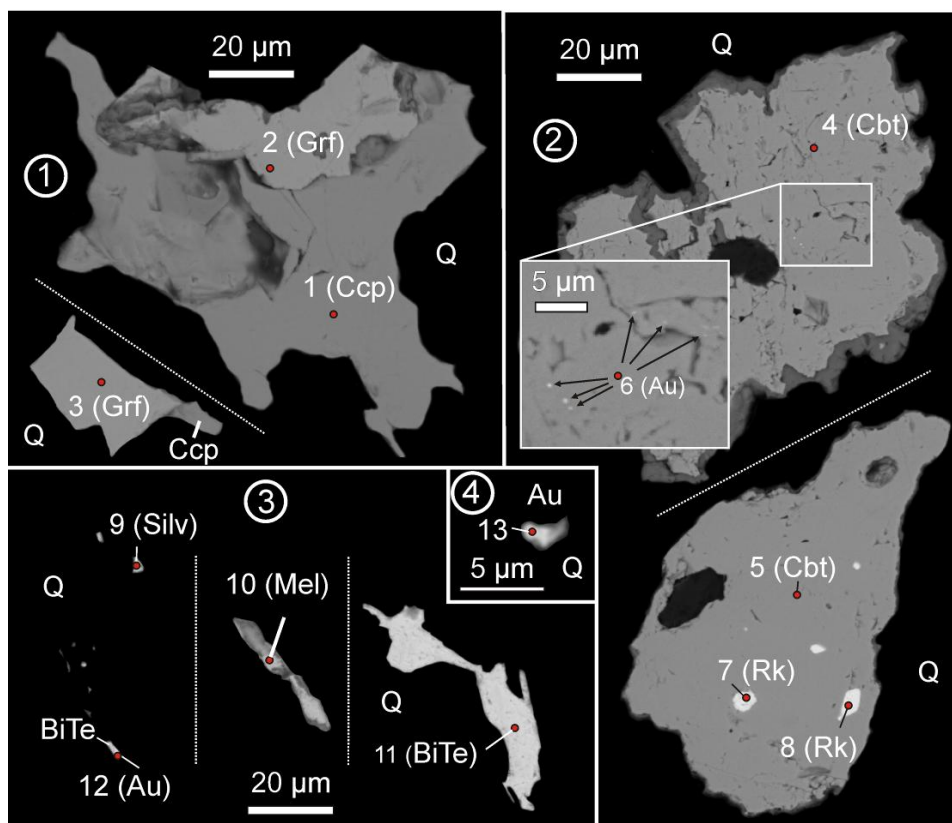


Рисунок 5.5 – Самородное золото в кварцевом прожилке и электронно-микроскопические изображения поверхности золотин, отмытых из углеродистых сланцев и кор выветривания на Кумакском месторождении

Основная масса золота на месторождении выделяется в виде мономинеральных скоплений. Золото, не образующее сростков ни с сульфидами, ни с жильными минералами, характерно как для сланцев, так и для кварцевых прожилков. В первых золото выделяется в виде мономинеральных плёнок, во вторых, – отлагается по трещинам и в угловатых промежутках между зёрнами кварца. Значительно меньшие количества золота наблюдаются в сростании с рудными минералами. Отмечены ассоциации с теллуридами висмута. С этими минералами золото сросталось по ровным границам, часто образует сегментные прожилки. Характер сростаний теллуридов и золота, а также постоянная высокая золотоносность участков рудных тел, обогащенных теллуридами, указывает на близко одновременное выделение этих минералов (Рисунок 5.6; Таблица 5.6).



Условные обозначения: 1 – сростание халькопирита (Ccp) и герсдорфита (Grf); 2 – зерна кобальтина (Cbt) с включениями самородного золота (Au) и раклежита (Rk); 3 – сростание теллурида висмута (BiTe) и золота (Au), теллуриды никеля (мелонит, Mel) и золота (сильванит, Silv); 4 – самородное золото (Au) в кварце (Q).

Рисунок 5.6 – Электронно-микроскопические изображения минералов включений в углеродистых сланцах Кумакского месторождения

Таблица 5.6 – Состав минералов включений в углеродистых сланцах Кумакского месторождения

Анализ	S	Fe	Co	Ni	Cu	As	Сумма	Минерал
1	34,64	30,5			36,15		101,28	Халькопирит (Ccp)
2	17,13	7,94	2,75	23,6	0,64	47,95	100,00	Герсдорфит (Grf)
3	16,54	8,73	1,49	24,77		51,15	102,67	Герсдорфит (Grf)
4	17,76	4,71	21,16	8,88		47,49	100,00	Кобальтин (Cbt)
5	17,74	6,33	19,14	9,44		47,35	100,00	Кобальтин (Cbt)
Анализ	Ni	Au	Ag	Te	Pb	Bi	Сумма	Минерал
6		94,74	5,26				100,00	Золото (Au)
7			1,78	41,96	20,99	35,5	100,23	Раклиджит (Rk)
8			1,83	43,32	18,23	36,62	100,00	Раклиджит (Rk)
9		36,95	9,64	48,07		5,35	100,00	Сильванит? (Silv)
10	19,58			80,20			99,77	Мелонит (Mel)
11				44,76	4,53	50,28	99,57	Теллуровисмутит (BiTe)
12		89,69	10,31				100,00	Золото (Au)
13		85,63	14,37				100,00	Золото (Au)

Примечание: положение точек анализа см. рисунок 5.6

Золото нечасто сопровождается сульфидами. Основным минералом-концентратором благородного металла в породах черносланцевых толщ является пирит, который на Кумакском месторождении является наиболее распространенным из сульфидов. Однако с ним связано очень небольшое количество золота, обычно не превышающее 5–6% от общего содержания в промышленной руде (Таблица 5.7). Пирит образует две морфологические разновидности: кубические, октаэдрические, кубо-октаэдрические кристаллы и тонкозернистые пористые агрегаты и волосовидные прожилки [Сорокин В.Н. и др., 1965ф]. Часто различные разновидности образуют сложные агрегаты или же отлагаются в пределах одного прожилка, слагая его отдельные сегменты.

Таблица 5.7 – Данные по содержанию золота в пирите с горизонта 320 м на Кумакском месторождении (см.разрез на Рисунке 1.2) [Сорокин В.Н. и др., 1965ф]

<i>№ проб</i>	Место взятия	Содержание пирита в руде	Содержание золота в руде г/т	Содержание золота в пирите г/т	Количество золота, приходящееся на долю пирита %
1	гор.320 м	1,0	0,4	1,2	3,0
2	гор.320 м	0,2	3,8	5,5	0,3
3	гор. 320м	2,1	3,8	3,9	2,1
4	гор. 320м	1,2	0,4	0,2	0,6
5	гор. 320м	0,8	1,0	1,5	1,2
6	гор. 320м	0,7	2,4	2,8	0,8
7	гор. 320м	2,2	3,2	8,8	5,9
8	гор. 320м	0,3	сл.	0,5	—

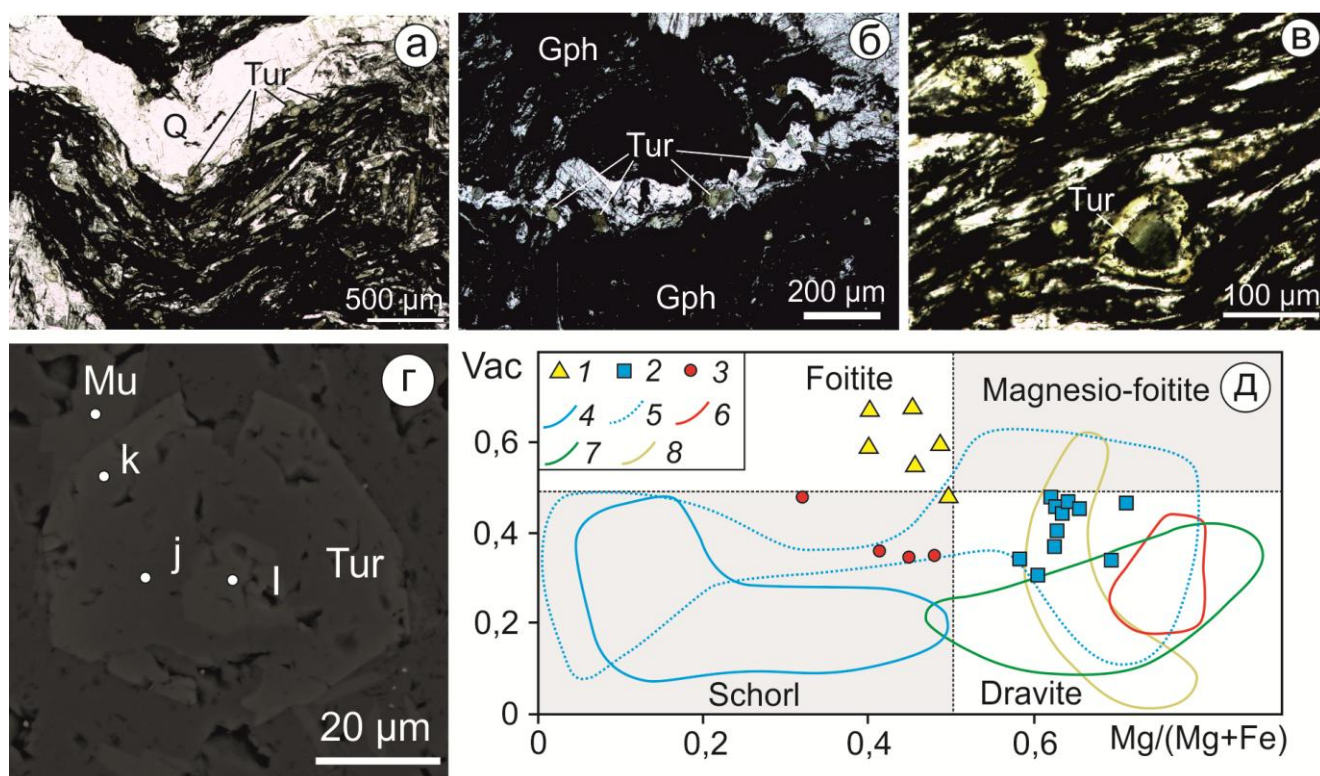
В верхних горизонтах месторождения широко развиты процессы гипергенеза. Здесь сланцы разрыхлены и отчасти каолинизированы. По данным М.Н. Альбова [1960] содержание золота в натеках гидроокислов железа, отобранных с горизонта 72 м, достигает 0,1 г/т. Отмечено, что в зоне гипергенеза происходит вторичное переотложение золота в виде мелких губчатых высокопробных агрегатов (Рисунок 5.5, №9), а также образование на некоторых зернах каймы с явными признаками облагораживания и очищения от элементов-примесей (Таблица 5.5) [Альбов М.Н.,1960; Мурзин В. В., Малюгин А. А. 1987]. Такого рода каймы типичны для гипергенного новообразованного золота.

Полевое изучение сланцев различного состава Кумакского месторождения показало, что турмалин широко развит во всех их разновидностях. Микроскопические наблюдения подтвердили эти данные. Его содержание колеблется от единичных зерен до 15–20%, поднимаясь, в редких случаях, до 60–70% [Сорокин В.Н. и др., 1965ф]. Турмалин отмечен в виде идиоморфных кристаллов, ясно плеохроирует в зеленоватых оттенках, развит неравномерно в породе и преобладает в интервалах, обогащённых углеродистым веществом (Рисунок 5.7а). Редко он отмечается в прослоях кварц-слюдистого состава (Рисунок 5.7б), причём вытянутые призматические кристаллы в продольном сечении демонстрируют нарушение плейчатой текстуры. Турмалин в продольных сечениях представлен тонкими, вытянутыми, узкопризматическими кристаллами размерами до 0,8 мм, часто с трещинками, в поперечном сечении – в виде разнообразных шестиугольников. Трещинки в кристаллах турмалина (сомкнутые и слабо раскрытые) свидетельствуют о хрупких деформациях турмалина. Иногда на перегибах складок вблизи открытых трещин наблюдаются пластические деформации турмалина, выраженные в слабом изгибании кристаллов. Часто в кристаллах наблюдается зональное строение турмалина, подчёркнутое окраской минерала: в центральной части – синевато-зелёный, на периферии – светло-зелёный (Рисунок 5.7в). При больших увеличениях объектива можно наблюдать в турмалине пойкилитовые включения углеродистого вещества в незначительном количестве. По своему химическому составу турмалины попадают в поле дравита, фойтита и шерла (Таблица 5.8, Рисунок 5.7д). Они достаточно высокомагнезиальные и не содержат примесей металлов, Mn, F и As, характерных для турмалинов порфировых месторождений и гранитов [London D. et al., 1996; Baksheev I. et al., 2012; Jiang S. J. et al., 2008], и близки к метаморфогенному дравиту орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений, а также турмалину золото-порфировых объектов [Jiang S. J. et al., 2008; Hazarika P. et al., 2015; Voudouris P. et al., 2019; Рассомахин М. А. и др., 2020].

Таблица 5.8 – Типовые химические составы турмалинов из углеродистых сланцев Кумакского месторождения

Анализ	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	FeO	Сумма	Минерал
<i>g</i>	2,08	5,29	33,76	37,64		0,47	6,84	100,12	Дравит
<i>h</i>	1,71	5,76	33,58	37,94	0,32	0,67	6,13	100,19	Дравит
<i>i</i>	1,29	3,44	34,43	38,42		0,21	9,28	101,24	Фойтит
<i>j</i>	1,46	6,07	34,31	37,57	0,50	0,57	5,72	100,41	Дравит
<i>k</i>	1,34	2,89	32,86	36,66	0,46	1,07	10,92	99,99	Шерл

Примечание: положение точек анализа см. Рисунок 5.7



Минералы: Tur – турмалин, Му – мусковит, Q – кварц, Gph – графит; а, б – полосчатая, плейчатая текстура углеродсодержащего кварц-слюдистого сланца; в – зональность турмалина с включениями углеродистого вещества; г – электронно-микроскопические фотографии поперечных срезов кристаллов турмалина и точки анализа; д – сравнение состава турмалина из месторождений различного генезиса. 1–3 – точки составов турмалинов Кумакского месторождения: 1 – центр, 2 – середина, 3 – край кристалла; 4–8 – поля составов турмалина из месторождений: 4, 5 – оловянного Хнилец, Словакия [Jiang S.-J. et al., 2008]; 4 – из гранитов; 5 – из вмещающих метаморфических пород; 6 – орогенного золота Хатти, Индия [Hazarika P. et al., 2015]; 7 – Cu-Mo-Au-Te порфирового Факос, Греция [Voudouris P. et al., 2019]; 8 – золото-сульфидного месторождения Муртыкты [Рассомахин М. А. и др., 2020].

Рисунок 5.7 – Турмалиновая минерализация в углеродистых сланцах Кумакского месторождения

Тесное срастание турмалина и золота (Рисунок 5.4) указывает на синхронность их отложения и позволяет выделить в пределах Кумакского рудного поля кварцево-турмалиновую золотоносную формацию [Альбов М.Н., 1960], сопоставимую с рядом объектов Восточного Забайкалья и Тувы [Кужугет Р.В. и др., 2014; Гвоздев В.И. и др., 2020]. С турмалином связан бор, широко распространенный на всем протяжении черносланцевой полосы. Альбовым М.Н. с соавторами [1965ф] получены содержания золота и бора на протяжении (с юга на север) всей рудовмещающей черносланцевой полосы (Рисунок 5.8).

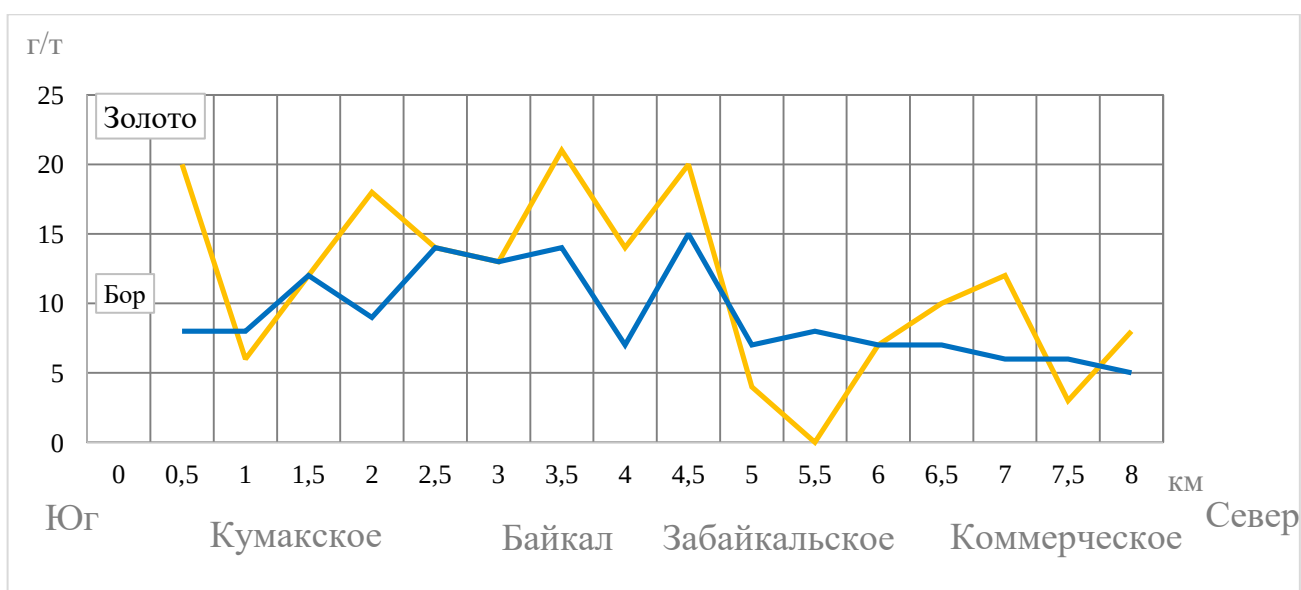


Рисунок 5.8 – Диаграмма средних содержаний бора и золота вдоль черносланцевой толщи по данным металлометрической съёмки [Альбов М.Н. и др., 1965ф]

Известно, что в морских отложениях бор концентрируется, главным образом, глинистым и органическим веществом. По данным А.А. Оборина [1964] содержание бора в аргиллитах с Южного Урала составляет около 0,038%, а в каменных углях даже превышает 0,1%. Вероятно, в случае Кумакского месторождения, приуроченность турмалина лишь к углеродистым породам объясняется избирательным накоплением бора в органическом веществе.

Исходя из особенностей химического состава турмалинов и их приуроченности к серицит-кварцево-углеродистым разновидностям сланцев,

можно принять модель их образования, предложенную Д. П. Сердюченко [Сердюченко Д.П., 1955], в соответствии с которой сначала происходило первично-осадочное накопление бора в древних морских песчано-глинистых осадках, а затем при региональном или регионально-контактовом метаморфизме – частичная перекристаллизация породы и миграция бора с последующим отложением в кварц-серицитовых прожилках и углеродистых сланцах [Cabral A.R. et al., 2017; Sokol E.V. et al., 2019; Рассомахин М.А. и др, 2020].

Таким образом, месторождение характеризуется большим разнообразием золоторудной минерализации. Богатые рудные зоны отмечены в местах пересечения меридиональных Восточно-Аниховских разломов и оперяющих их трещин с разрывами север – северо-восточного направления. В преобладающей здесь рудной минеральной ассоциации золото тонкодисперсное, связано с мелкими кристаллами пирита и приурочено к участкам обильной турмалинизации. По своему составу турмалины близки к метаморфогенному дравиту орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений. Тонкое срастание турмалина и золота указывает на синхронность их образования и позволяет выделить в пределах Кумакского месторождения кварцево-турмалиновую золоторудную формацию, сопоставимую с рядом объектов Восточного Забайкалья и Тувы. Наиболее вероятным источником турмалиновой минерализации в серицито-кварцево-углеродистых сланцах могли служить метаморфически преобразованные борсодержащие морские осадки, насыщенные глинистыми частицами и Сорг.

Микрозондовое изучение золотин отобранных из углеродистых сланцев и кор выветривания, позволило отнести их к высокопробному (919–1000) типу, являющемуся ведущим в золоторудной минерализации рассматриваемого месторождения. Установлено, что в зоне гипергенеза золотины не являются однородными. Здесь происходит вторичное переотложение золота в виде мелких губчатых высокопробных агрегатов, а также образование на некоторых зернах каймы с явными признаками облагораживания и очищения от элементов-примесей.

Глава 6. ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КУМАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Локализация и пространственное размещение прожилково-вкрапленного золотого оруденения золото-углеродисто-сульфидной формации обусловлены взаимосвязью всех геологических факторов. Генезис Кумакского месторождения различно трактовался исследователями прошлых лет [Усатая Е.С., 1938; Куклин Н.В., 1948; Альбов М.Н. и др., 1965ф; Болтыров В.Б. и др., 1980ф; Бородаевский Н.И. и др. 1966ф, Борсук В.И., 1936ф; Бурмин Ю.А., 1965ф; Воин М.И. и др., 1962ф; Воин М.И. и др., 1966ф; Дубенко И.Г., 1962ф; Лозовой М.В. и др., 1961ф; Максимов В.А., 1965ф; Миронов Е.Е. и др., 1980ф]. *Первая* из трех различных точек зрения на происхождение месторождения высказана впервые А.И. Гейслером и развита в дальнейшем М.И. Альбовым, И.В. Куклиным, Е.С. Усатой. Они предполагали, что золотоносные сланцы возникли путем гидротермального замещения и осветления углеродисто-графитистых сланцев осадочного происхождения. Пневматолиты, содержащие В, F, SiO₂, K₂O, H₂O и высокотемпературные термы, действовали в условиях сильнейшего дислокационного метаморфизма, обусловившего сильную раздробленность и трещиноватость пород. Замещение происходило в условиях выноса углеродистого вещества, привноса кремнекислоты и летучих. *Вторая* гипотеза, высказанная Н.Г. Кассиным, трактует рудное тело как измененную цепочкообразную дайку гранодиоритового состава, внедрившуюся в толщу углеродисто-графитистых сланцев согласно с простиранием пород сланцевой полосы. Изверженный материал этой дайки, развальцованный и перекристаллизованный в процессе динамометаморфизма, после обработки пневматолитами превратился в золотоносные серицито-хлорито-кварцевые сланцы. *Третья* гипотеза, предложенная М.Г. Руб и В.И. Романцом, объясняет механизм образования рудного тела следующим образом: часть эффузивных образований района, связанная с толщей мелководных углеродистых песчаников-сланцев, испытала глубокие изменения. Под действием регионального и контактового

метаморфизма, углеродистые песчаники превратились в серицито-хлоритово-кварцевые сланцы с реликтовыми вкрапленниками. Сильнейший дислокационный метаморфизм обусловил их раздробление и развальцевание. Проникновение пневматолитов и гидротерм, естественно, происходило по более ослабленной зоне, какой и являлся пласт вулканогенных сланцев внутри полосы графитистых пород. Оруденению сопутствовало наложение контактовых изменений на динамометаморфизованные породы сланцевой полосы. Некоторую роль при осаждении золота сыграло углеродистое вещество сланцев.

В последнее время исследователи уделяют большое внимание связи благородных металлов с углеводородами и углеродистыми метасоматитами [Новгородова М.И., Генералов М.Е., 1999; Марченко Л.Г., 2011]. На Урале связь низкотемпературных углеродистых метасоматитов с благороднометальной минерализацией установлена О.Б. Азовской с соавторами [Азовская О.Б. и др., 2010] в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома. В.Н. Сазонов с соавторами [Сазонов В.Н. и др., 2011] выделяли три этапа формирования месторождений золота в черных сланцах на Урале: 1) первоначальное седиментогенное накопление благородных металлов в сульфидах и углеродистом веществе; 2) перераспределение и частичное высвобождение золота в процессе регионального метаморфизма; 3) формирование рудных залежей в гидротермально-метасоматических зонах над интрузиями гранодиорит-гранитовой формации. Они полагали, что благородные металлы, первоначально содержащиеся в черносланцевых толщах, составляют не более 25% рудного вещества месторождений, т. е. промышленные залежи благородных металлов образуются только в связи с надинтрузивными гидротермальными процессами.

Органическое вещество испытывает особенно интенсивное преобразование в зонах контактовых и гидротермальных проявлений, часто приуроченных к контактам с интрузивными породами. Здесь, как отмечают многие исследователи, углеродистые породы часто осветляются, что обусловлено выносом графита, который превращается при окислении в графитовую кислоту и участвует в процессе карбонизации. Гидрогенное окисление битумоидов и графита приводит

к высвобождению металлов из органического вещества и к их осаждению в минеральных (водно-углекислых) системах. П.Ф. Иванкин с соавторами этот процесс называют углеродистым метасоматозом [1985]. Они отмечают, что такие образования приурочены к зонам повышенной проницаемости, рассланцевания, катаклаза и милонитизации.

Разрабатываемые в настоящее время геолого-генетические модели золотообразования, в том числе в черносланцевых толщах, предполагают комплексное участие в рудогенезе взаимосвязанных процессов осадконакопления, тектоники, магматизма и метаморфизма при ведущей роли одного или нескольких из них [Буряк В.А., 1982, 1986; Nesbitt H.W. et al., 1989; Goldfard R.J. et al., 2005; Бортников Н.С., 2006]. Среди зарубежных исследователей преобладает точка зрения о ключевом значении метаморфогенных флюидов в образовании золотого оруденения [Groves et al., 2003]. Российские ученые склоняются к идее о его полигенно-полихронной природе [Константинов М.М. и др., 2000; Лаверов Н.П. и др., 2010]. Возможный механизм генерации флюидов, обуславливающий полигенность оруденения, предложен Н.С. Бортниковым с соавторами [2007]. Предполагается, что образование месторождений связано с магматической активностью, которая обеспечивает поступление в гидротермальную систему компонентов, отделившихся от очагов и возникших при дегидратации и декарбонатизации вследствие контактового или контактово-регионального метаморфизма.

В настоящее время основное внимание исследователей направлено на изучение состава и источников минералообразующих флюидов с помощью методов термобарохимии и газовой хроматографии, изотопно-геохимического анализа минералов золотых руд [Ridley J.R., Diamond L. W., 2000].

Согласно результатам исследований по золоторудным месторождениям и проявлениям, расположенным в углеродистых отложениях, предлагаемую модель золотообразования можно в целом рассматривать как осадочно-гидротермально-метаморфогенную, включающую [Буряк В.А., 1982, 1985; Vilor, 1983; Добрецов

Н.Л., Кривцов А.И., 1985; Hutchinson R. W., 1993; Emsbo P. et al., 2003; Cline J. S. et al., 2005; Large R. R. et al., 2007, 2011; Сначёв А.В. и др, 2012]:

1) осадконакопление с хемогенной сорбцией золота углеродисто-глинистыми отложениями;

2) метаморфизм погружения, активизацию элизионных поровых растворов, экстрагирующих из глинистой фракции рудогенные элементы и золото, их перераспределение и мобилизацию в пластах-коллекторах (углеродисто-сульфидных осадках как геохимических барьерах) и создание промежуточных надкларковых концентраций;

3) динамометаморфизм, надвигообразование и складчатость, сопровождаемые метаморфогенной перегруппировкой и переотложением минерального вещества;

4) контактовый и зональный метаморфизм в процессе формирования гранитно-мигматитовых куполов, дайковых комплексов, крупных интрузивных гранитоидных массивов и окончательное «оформление» золото-кварцевых залежей в их настоящем виде.

Особый интерес из вышеперечисленных представляет последняя стадия образования золоторудных месторождений. Так, в работах многочисленных исследователей показано, что при процессах метасоматоза и сульфидизации происходит миграция золота [Коробейников, 1985; Буряк, 1986; Fleet et al., 1993; Плюснина и др., 2004]. Наиболее отчетливо механизм его концентрации проявлен при наложении на углеродсодержащие отложения более высоких ступеней регионального, контактового и дислокационного метаморфизма [Groves, 2003]. В частности, на примерах южноуральских золоторудных месторождений и проявлений [Сначёв и др., 2012, 2013], показана приуроченность золото-сульфидной минерализации к высокотемпературной субфации зеленосланцевой фации, которая считается зоной осаждения золота, в то время как более высокотемпературные фации – зонами потенциального выноса. Примечательно, что месторождения и рудопроявления золота, имея четкую приуроченность к

зеленосланцевой фации, в большинстве случаев концентрируются вблизи или почти на границе с амфиболитовой фацией метаморфизма.

Приведенный выше обзор состояния рассматриваемой проблемы свидетельствует, что на Южном Урале золотое оруденение в углеродистых отложениях имеет полигенный и полихронный характер.

Описание модели. Формирование золоторудной минерализации Кумакского месторождения связано с этапами накопления, перераспределения и концентрации (Рисунок 6.1).

Этап накопления связан с формированием микрозолоторудной формации [Страхов Н.М., 1960], – углеродисто-терригенными отложениями: в восстановительной среде в обстановке сероводородного заражения золото высвобождалось при разрушении пород, в дальнейшем, в виде эмульсий, истинных растворов, метаколлоидного и свободного золота происходило перемещение в депрессионную структуру. Осаждение его шло совместно с гидротроиллитом [Болтыров В.Б. и др., 1980ф].

Этап перераспределения проявился синхронно с послераннекаменноугольным региональным и приразломным метаморфизмом. Золото выносилось из пород, претерпевших высокотемпературный метаморфизм и гранитизацию [Рудский В.Г., 1976]. Осаждение металла шло в породах брединской свиты, чему способствовало наличие углеродистого вещества и сингенетичной сульфидной минерализации [Арифуров Ч.Х., 1976].

Этап концентрации завершил процесс формирования промышленного оруденения золото-углеродисто-сульфидной формации черносланцевого типа. Связан он с регрессивной ветвью сопряженной метаморфогенно-метасоматической колонны, проявившейся в виде приразломного метаморфизма, и характеризуется миграцией рудоносных метасоматических растворов в области пониженных давлений (полости отслоения в зонах смятия, микроскладчатости, межпластовых подвижек). Происходит падение температуры, нейтрализация растворов, выпадение кварца, слюд, турмалина, сульфидов, золота, карбонатов.

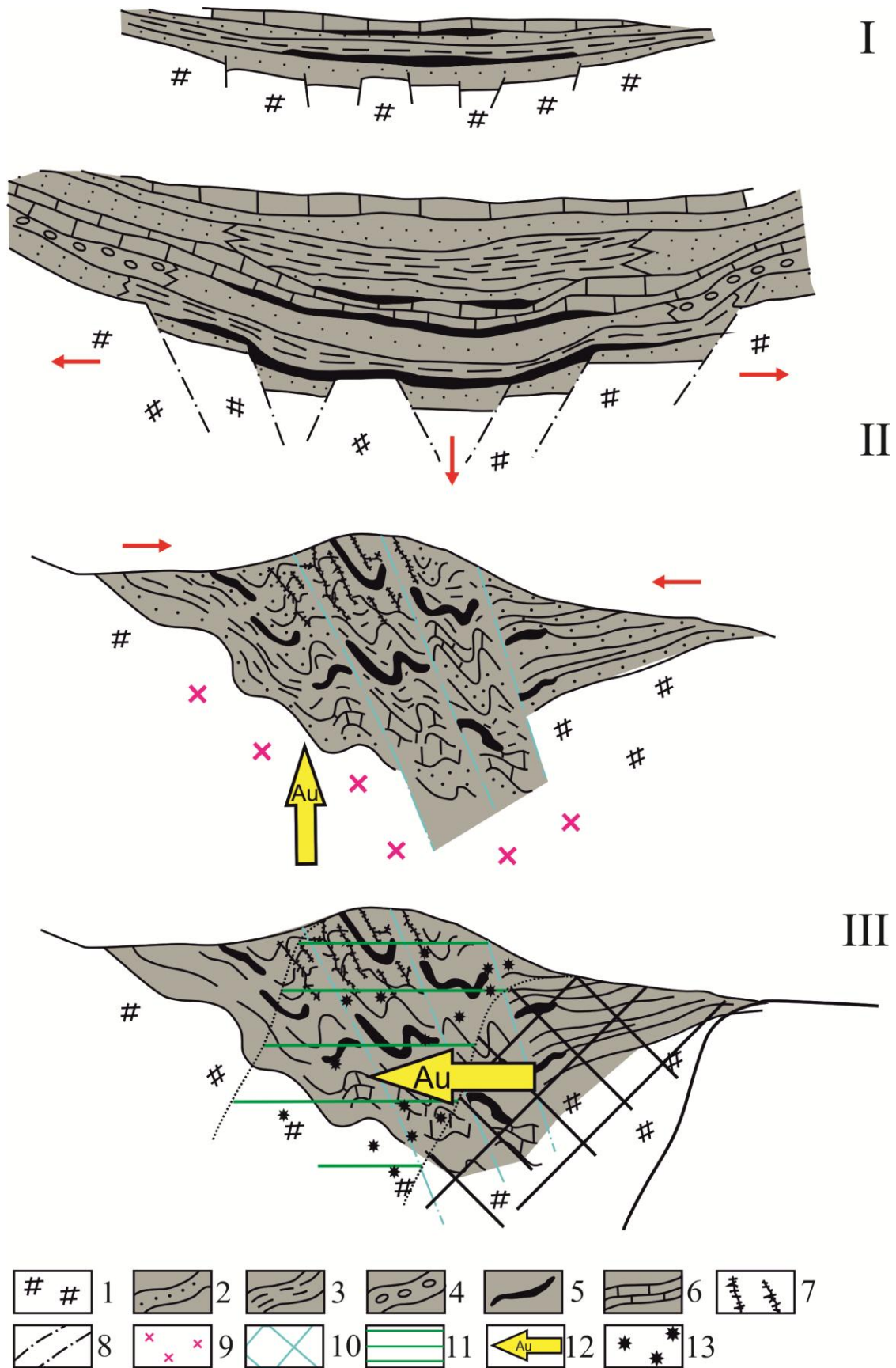


Рисунок 6.1 – Стадии формирования золото-кварц-сульфидного оруденения в углеродистых отложениях Кумакского месторождения (по материалам Сначёва А.В. и др. [2012] с добавлениями автора)

I – Этап накопления первичных концентраций золота в стратифицированных терригенно-углеродистых отложениях рифтогенного прогиба;

II – Этап перераспределения:

– золото выносится из пород, претерпевших высокотемпературный метаморфизм и гранитизацию,

– внедрение кварцевых диоритов и формирование рудных залежей в гидротермально-метасоматических зонах;

III – Этап концентрации – формирование золото-кварц-углеродистых образований и золото-кварц-сульфидного оруденения

Условные обозначения: 1 – породы основания; 2 – песчаники; 3 – глинистые сланцы; 4 – конгломераты; 5 – сульфидизированные углеродистые отложения; 6 – известняки; 7 – золотоносные кварц-сульфидные жилы; 8 – разрывные нарушения; 9 – кварцевые диориты; 10 – амфиболитовая фация метаморфизма; 11 – зеленосланцевая фация метаморфизма; 12 – зон выноса и переотложения золота и других рудных элементов; 13 – переотложенное золотое оруденение

На этой стадии углеродисто-терригенная пачка сыграла роль геохимического барьера. Кроме того, концентрации золотоносного мелкокристаллического пирита способствовала сингенетичная и метаморфическая сульфидная минерализация. В качестве золотоконцентрирующих наиболее благоприятными являются углеродистые отложения брединской свиты, отличающиеся повышенными содержаниями углеродистого вещества, пользующиеся широким площадным распространением, максимальными средними содержаниями золота и высокой их дисперсией по сравнению с другими породами. Отложение золота происходило на завершающей стадии рудного процесса с поздними прожилково-вкрапленными генерациями пирита и арсенопирита. Для рудных тел характерны невысокие содержания сульфидов, не превышающие 10–15%, ограниченный минеральный состав продуктивных ассоциаций (пирит, арсенопирит, тетрадимит и некоторые другие слабозолотоносные сульфиды). Пирит на месторождении отмечается двух генетических генераций – сингенетической и метаморфогенной [Болтыров В.Б. и др., 1980ф].

Как отмечалось выше, геологическая позиция золоторудных проявлений Кумакского рудного поля определяется в региональном плане их приуроченностью к зоне Аниховских глубинных разломов (Восточно- и Западно-Аниховские), которые играют главное рудоконтролирующее значение в распределении золоторудных гидротермальных рудопроявлений и

месторождений. Оруденение развивается как в самой зоне разломов, так и связывается прямо или косвенно с сопряженными с ней боковыми трещинами. Кварцевые жилы локализуются, главным образом, в системах трещин разрыва и скола, оперяющих зоны смятия и рассланцевания, реже – в пределах самих зон. Сущность контроля гидротермального оруденения крупными разломами заключается в том, что в процессе перемещения блоков пород по ним возобновляются движения и по ранее заложенным дизъюнктивным нарушениям, и эти тектонические процессы протекают синхронно с циркуляцией рудоносных растворов.

В работах многочисленных исследователей [Буряк В.А., 1986; Коробейников А.Ф., 1985] показано, что при процессах метасоматоза и сульфидизации происходит миграция золота. Однако наиболее отчётливо механизм концентрации золота проявлен при наложении на углеродсодержащие отложения более высоких ступеней метаморфизма. Месторождения и рудопроявления золота, имея чёткую приуроченность к зеленосланцевой фации, в большинстве случаев концентрируются вблизи или почти на границе с амфиболитовой фацией метаморфизма. Такая благоприятная обстановка в пределах фации зелёных сланцев характерна и для Кумакского рудного поля. Месторождения золота генетически связаны кварцевыми диоритами Кумакского комплекса.

Таким образом, на основании изучения геологического строения Кумакского золоторудного месторождения, минерального состава руд и околорудных метасоматитов, выявлены следующие *геологические факторы, играющие важную роль в локализации золотого оруденения*:

1. Наличие Аниховской зоны глубинных разломов, играющей главную рудоконтролирующую роль, и зон смятия, имеющих рудолокализирующее значение, а также высокая раздробленность пород и трещиноватость, выполненные сульфидизированными кварцевыми жилами, являются благоприятным поисковым признаком в региональном плане.

2. Литологический комплекс – приуроченность золотого оруденения к углеродистым породам брединской свиты (C_1bd) и пространственное совмещение оруденения и вулканогенных пород, характерное для верхних горизонтов месторождения.

3. Наличие в глинисто-углеродистых породах сульфидной минерализации, выполняющей роль геохимической буферной среды. Сульфидно-вкрапленная минерализация рассматривается в качестве микрорудных формаций, как зоны с промежуточным надкларковым содержанием золота, при участии которых на заключительном этапе тектоно-магматической активизации района сформированы золоторудные объекты.

4. Соотношение оруденения и метаморфической зональности: промышленная рудная минерализация приурочена к площадям развития зеленосланцевой фации регионального зонального метаморфизма. Развитие в осадочных породах зон зеленосланцевого динамотермального метаморфизма, при котором за счёт реакций дегидратации и декарбонатизации образуется огромное количество поровых флюидов, способных переносить и концентрировать в виде залежей золото и другие компоненты.

5. Образование во вмещающих породах зон углекислотного метасоматоза с характерным набором индикаторных минералов анкерита, сидерита, кальцита.

6. Наличие в кварцевых жилах, прожилках и метасоматически изменённых породах поздних сульфидных минеральных ассоциаций. Основная масса золота отлагалась в заключительную стадию метаморфогенно-гидротермального процесса и ассоциирует с синхронными с ним прожилковыми выделениями сульфидных минералов (пирита, арсенопирита).

7. Наличие кварцевых диоритов Кумакского комплекса, с которым генетически связываются проявления золота рудного поля [Альбов М.Н. и др., 1965ф].

Глава 7. КОНЦЕПЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУМАКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

7.1. Особенности геолого-промысловых характеристик рудного поля

Перспективы золотоносности Кумакского рудного поля не исчерпаны. Они связаны с неполной отработкой глубоких горизонтов рудника, эксплуатация которых прекращена по техническим причинам в 1954 году. В его пределах выявлено более 20 золоторудных проявлений, многие из которых подвергались в разной степени старательской отработке [Панкратьев П.В., Лощинин В.П., 1999; Коломоец А.В., 2014; Панкратьев П.В. и др., 2018; Панкратьев П.В. и др. 2019]. Общие ресурсы (C_2) золоторудных объектов рудного поля по данным Якобса Е.И. и др. [1976ф] и Лядского П.В. и др. [2018] составляют 77,75 т. Из них на Кумакском месторождении – 15,1 т (среднее содержание 5–15 г/т), на Васине – 44,3 т (среднее содержание 9,4 г/т) (Таблица 7.1).

В результате промышленной разработки золоторудных месторождений образовались техногенные скопления (отвалы) и несколько терриконов (Рисунок 7.1; Рисунок 7.2). Самый крупный из них террикон шахты Новокапитальной находится в поселке Кумак. Он имеет высоту около 25 м и площадь 1,5 га. В 30 штучных пробах, равномерно отобранных из старательских отвалов на протяжении 600 м, в половине случаев содержание золота составило от 1 до 20 г/т, в остальных 0,1–0,8 г/т.

В настоящее время месторождения Кумакского рудного поля могут представлять перспективный золоторудный объект, пригодный для промышленного освоения методами подземного и кучного выщелачивания, которые относятся к числу важнейших геотехнологий в золотодобывающей промышленности и требуют скорейшего внедрения в практику разработки. С этих позиций рассмотрены особенности геолого-промысловых характеристик рудного поля.



Рисунок 7.1 – Террикон шахты Новокапитальной (Кумакское месторождение). Проведение полевых работ, 2020 г. Фото автора.



Рисунок 7.2 – Отвалы Кумакского месторождения. Проведение полевых работ, 2019 г. Фото автора.

По схеме гидрогеологического районирования рудное поле принадлежит Большеуральской провинции, включающей сложные бассейны напорных и

безнапорных вод [Гидрогеология...,1972]. Основным водоносным горизонтом, определяющим гидрогеологические условия освоения, является кора выветривания вулканогенно-осадочных отложений нижнепалеозойского возраста. Подземные воды относятся к типу трещинных и трещинно-жильных с преимущественно безнапорным режимом фильтрации. Вода типично кислая, отмечается высокое содержание хлора, которое благоприятно для растворения наиболее тонкого дисперсного золота в зоне окисления и перемещения его рудничными водами в зону вторичного золотого обогащения. Высокое содержание в рудничных водах CaO и SO_3 является причиной появления крупных кристаллов гипса, установленных в шахтах на горизонте 200 м. В старых забоях на нижних горизонтах наблюдаются натеки гидроокислов железа, указывающие на окисление сульфидов и перенос металлов вниз рудничными водами в виде суспензий и истинных растворов [Альбов М.Н. и др., 1965ф].

Таблица 7.1 – Характеристика месторождений и рудопроявлений золота Кумакского рудного поля [Якобс Е.И. и др., 1976ф; Харькевич К.А., 2007ф; Лядский П.В. и др., 2018]

Месторождение	Возраст вмещающих пород	Содержание Au, г/т		Добыто, кг	Запасы (C_2), т	Ресурсы (P_1), т
		среднее	макс-ное			
Хищник	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	2,5	6,0	0,68	1,2	0,77
Октябрь	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	4,5	148,0	3,0	0,84	2,20
Цезарь	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	5,8	30,0	5,9	–	3,3
Танин	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	0,5	50,0	?	–	–
Васин	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	9,4	114,0	0,1	44,3	–
Проливное	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	8–14,0	65	27,4	0,18	3,0
Миля	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	8,6	90,0	1,4	–	1,3
Амур	$\text{D}_3 - \text{C}_1$	2-5	65,0	12,6	0,53	4,5
Кумакское	C_1	5-15	800	8279	15,1	10
Кумак-Южный	C_1	–	7	–	–	–
Забайкальское	C_1	7,3	19,0	23,7	–	13,5
Байкал	C_1	10-8,7	–	–	–	–
Центральное	C_1	4,7	–	572	11,25	12,4
Ермак	C_1	3,0	5,0	–	–	1,9

Продолжение таблицы 7.1

Восточно-Тыкашинское	D ₃ – C ₁	4,8	37	–	–	12,8
Коммерческое	C ₁	7,2	140,0	–	3,5	5,0
Тамара	C ₁	2,2	11,0	572	0,05	0,18

Мощность зоны активной циркуляции подземных вод на месторождении порядка 70 м [Харькевич К.А., 2007ф]. Ниже подземный сток затруднен. Химический состав вод смешанный с преобладанием хлоридов, сульфатов и натрия. Минерализация воды 0,9–1,5 г/л. Содержания микрокомпонентов соответствует нормальному гидрохимическому фону территории. Питание вод происходит за счет атмосферных осадков, разгрузка осуществляется в пониженных частях рельефа родниками с дебитом не более 1 л/с.

Кумакское рудное поле по своим фильтрационным свойствам разделяется на два разных геотехнологических типа разреза [Панкратьев П.В. и др. 2019]. *Первый тип* – это верхняя часть породного массива до глубины 35–50 м (в среднем 45 м), представленная зоной дезинтеграции в виде сильно трещиноватых руд и пород, перекрытых песчано-глинистой и глинисто-дресвяно-щебнистой корой выветривания. *Второй тип* – нижняя часть массива, сложенная скальными породами с разобщенными зонами трещиноватости.

Фильтрационные свойства первого типа характеризуются коэффициентом фильтрации 0,3–0,4 м/сут, что следует оценивать, как благоприятные для подземного выщелачивания. Исходя из существующих способов управления движением растворов в водоносном горизонте при подземном выщелачивании, наиболее рациональным для первого типа разрезов является закачка свободным наливом в скважины или траншеи, а откачка из скважин с однофилтровой колонной. Для второго типа разрезов потребуются более сложные технические решения.

Сравнительная характеристика геолого-гидрогеологических особенностей и показателей добычи золота способом подземного выщелачивания на объектах-аналогах (месторождения Гагарское, Маминское, Шульгинское) и объекте

Кумакского рудного поля (месторождение Васин), показывает достаточно плотную сходимость значений гидрогеологических параметров и подтверждает возможность использования способа подземного выщелачивания (Таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Характеристика расчетных и фактических показателей добычи золота способом подземного выщелачивания на объектах-аналогах и месторождении Васин (Кумакском рудном поле)

Показатели, определяющие эффективность добычи золота способом ПВ	мест. Васин (Кумакское рудное поле)	Объекты–аналоги		
		Гагарское	Маминское	Шульгинское
Рудовмещающая среда	туфо–песчаники с карбонатами	граниты	порфириты и дайки гранитоидов	диабазы, порфириты
Коэффициент фильтрации, м/сут:				
окисленные руды	0,4–0,6	0,1–0,4	0,1–0,2	0,4
полуокисленные руды	1	1	1	
Глубина залегания вод, м	9	18	12	14
Приемистость:				
скважины, м ³ /ч	2	2–3	2	2,5–4,5
канавы, м ³ /п.м	300	100	100	не исследовано
Глинистость, %	30	24	34	28
Дебит скважин, м ³ /сут	3,4–4	3	3–5	4,2–18

Сложность в освоении объектов Кумакского рудного поля заключается, в первую очередь, в небольших горизонтальных мощностях рудных тел, обычно 2–5 м, реже 10–15 м, при их значительном простираии (10 км), а также субвертикальным залеганием со значительной протяженностью по падению (до 300–600 м и более). Распределение золота крайне неравномерное. Промышленно значимые рудные скопления представлены столбами, гнездами, узлами и кустами обычно небольших размеров.

С учетом общности геологического строения, состава золоторудной толщи и гидрогеологических условий, а также по аналогии с Гагарским и другими месторождениями Урала, где данный метод успешно применен, в пределах Кумакского рудного поля для добычи золота способом подземного выщелачивания выделяется два геолого-промышленных типа объектов. Их освоение предлагается проводить поэтапно в две стадии [Панкратьев П.В. и др.,

2019]. К *первому типу* объектов отнесены приповерхностные золотосодержащие руды коры выветривания, подстилаемые плотными коренными породами, которые играют роль естественного водоупора. Для коры выветривания характерна высокая степень окисленности рудных и породообразующих минералов, наличие золота преимущественно в свободном состоянии и относительно высокая водопроницаемость пород. К числу объектов, отрабатываемых указанным способом, в рамках первого этапа относится месторождение Васин. Рудная зона этого месторождения, протяженностью 2 км и прослеженная на глубину 630 м, приурочена к тектонической зоне меридионального простирания с крутым (80–90) западным падением в пределах развития вулканогенно-терригенных отложений основного состава. Гидрогеологические и геоэкологические условия месторождения оцениваются как благоприятные [Заболоцкий К.А., 2008].

Вторым геолого-промышленным типом объектов, предлагаемым для выщелачивания в пределах Кумакского рудного поля, является коренное Кумакское месторождение, где золото распространено по естественным трещинам. Оно отрабатывалось шахтным полем длиной 3200 м. Максимальная глубина отработки 320 м. Рудные тела представлены сланцами кварц-серицитового и кварцево-углеродисто-турмалинового состава, с кварцевыми жилами, прожилками и вкрапленностью свободного золота. Ориентированы они согласно с вмещающими породами. Подстилающими для рудовмещающих пород являются гидротермально-измененные кварцевые диориты. Зона окисления руд месторождения достигает глубины 10–20 м (уровень грунтовых вод) и для нее характерно общее повышение содержания золота до 10 г/т [Лядский П.В. и др., 2018]. Отмечается достаточно упорный характер руд месторождения. Высокая карбонатность вмещающих пород быстро нейтрализует кислоту, закаченную в продуктивные пласты. Извлечение золота не превышало 60–70%.

7.2. Технология разработки методами подземного и кучного выщелачивания

Кучное выщелачивание – это способ добычи золота, при котором руда орошается цианидами с последующим извлечением металла из продуктивных растворов. Данный способ основан на добыче руд открытым способом с упрощенной методикой селекции, складированием руды, орошением ее выщелачивающими растворами и последующей сорбцией золота известными в гидрометаллургии способами [Хан И.С. и др., 2010]. Кучное выщелачивание – это фактически гидрометаллургический способ извлечения золота, при котором исключены процессы измельчения, эскалации руды в замкнутых системах, в связи с чем, исключена необходимость крупных капитальных затрат.

Подземное выщелачивание металлов из руд непосредственно на месте их залегания в настоящее время рассматривается как весьма перспективное и динамично развивающееся направление в горнодобывающей промышленности [Заболоцкий А.И. и др., 1999; Панченко А.Ф. и др., 2001; Фазлуллин М.И. и др., 2002; Верчеба А.А., 2003; Фазлуллин М.И. и др., 2005; Докукин Ю.В., Самойлов А.Г., 2009]. Наибольшее развитие в мире оно получило в варианте скважинной системы отработки руд непосредственно на месте залегания. Скважинная технология подземного выщелачивания цветных металлов достаточно хорошо отлажена и апробирована в урановой и медной промышленности [Панченко А.Ф. и др., 2001; Лодейщиков В.В., 2012]. Подготовку, вскрытие и извлечение металлов осуществляют путем выщелачивания через скважины, пробуренные с поверхности. Подача выщелачивающего раствора производится в систему закачных скважин, затем раствор фильтруется через рудный массив, а продуктивные растворы через систему откачных скважин извлекаются на поверхность и транспортируются на установку переработки растворов [Фазлуллин М.И. и др., 2005]. Процесс добычи золота таким способом, апробированный опытным путем на Гагарском месторождении, разделяется на несколько этапов [Заболоцкий А.И. и др., 1999]:

1. Вскрытие запасов, включающих сооружение и обвязку технологических скважин, строительство магистральных трубопроводов и других коммуникаций;

2. Закисление эксплуатационных блоков растворами соляной кислоты с концентрацией 2 г/л. Закисление ведется до снижения рН в откачных растворах до уровня 3,0;

3. Активное выщелачивание рабочими растворами с концентрацией активного хлора 250–350 мг/л и соляной кислоты 50–360 мг/л. Такие концентрации достигаются путем растворения газообразного хлора в оборотных растворах. Откачиваемые эрлифтом из скважин продуктивные растворы:

- при содержании золота $> 0,2$ мг/л подаются на переработку;
- при содержании золота менее 0,2 мг/л – на доукрепление и на выщелачивание.

Принципиальная схема подземного выщелачивания включает в себя три основных технических комплекса:

1. Подготовительный (хлораторная станция для подготовки рабочих выщелачивающих растворов).

2. Подземный добычной (система закачных и откачных скважин).

3. Перерабатывающий комплекс для извлечения золота из растворов. Все комплексы замкнуты в единую схему непрерывного производства. Привозимые материалы – жидкий хлор и активированный уголь. Продукция: золотосодержащий угольный концентрат, который передан на перерабатывающее золотоизвлекательное предприятие. Технология переработки продуктивных растворов включает следующие операции: осветление от механических примесей, сорбция-цементация на активированных углях (ионообменных смолах), улавливание механических потерь после сорбции, доукрепление растворов. Дополнительная необходимая операция – обесхлоривание загрязненного эрлифтного воздуха.

В результате отработки месторождений подземным выщелачиванием, по сравнению с традиционными способами добычи и переработки руд, сокращаются сроки его ввода в эксплуатацию, уменьшаются капитальные и эксплуатационные

затраты; снижается в 1,5–4,0 раза себестоимость готовой продукции; повышается в 3–8 раз производительность труда, исключается необходимость нарушения ландшафта, почв и лесов. Положительным моментом является снижение затрат, необходимых для измельчения руды. При подготовке запасов под технологию подземного выщелачивания не требуется детального изучения морфологии и условий локализации оруденения. Проектирование предприятия предлагается осуществить на базе запасов категории C_2 , а собственно геологоразведочные работы – совместить со строительством технологического полигона. Более того, способ подземного выщелачивания позволяет вовлекать в отработку объекты с весьма бедными рудами (0,5–2 г/т) и малыми запасами (от 100 кг).

7.3. Опыт освоения месторождений Уральского региона методом скважинного подземного выщелачивания

В Уральском регионе метод скважинного подземного выщелачивания начал успешно внедряться в практику золотодобычных работ с 1994 года. Впервые он применен в тот же год на Гагарском золоторудном месторождении золотодобывающей компанией «А/С «Гагарка»» в Свердловской области. Месторождение относится к золотокварцевой формации и представлено серией линейных зон метасоматитов кварц-альбит-серицитового состава и гидротермально измененных пород в плагиогранитах. В верхней части месторождения развита кора выветривания мощностью до 50–60 м (в среднем 35 м), в пределах которой преобладают окисленные и полуокисленные дезинтегрированные руды, объединяемые в единую приповерхностную пластовую рудную залежь; которая и является объектом подземного выщелачивания. Подстилающие кору выветривания массивные плагиограниты и метасоматиты по своим фильтрационным свойствам являются естественным водоупором. Уровень подземных вод находится на глубине 18–21 м от поверхности, коэффициент фильтрации руд – 1–3 м/сут. Мощность окисленных руд в контуре эксплуатационных блоков достигает 40 м. Весь продуктивный

горизонт обводнен. Золото преимущественно мелкое. В качестве реагента используется хлорная вода. На месторождении добыто около 500 кг золота [Заболоцкий А.И. и др., 1999; Фазлуллин М.И. и др., 2002]. Предприятие все это время работало с высокой рентабельностью. Результаты опытных работ по выщелачиванию золота из руд коры выветривания, доказали принципиальную возможность экономически эффективной и экологически безопасной добычи золота.

Основываясь на полученном положительном опыте, подземное выщелачивание получило эффективное развитие в Уральском регионе. Работы успешно ведутся на золоторудных месторождениях Маминское, Шульгинское, Долгий Мыс и др. [Седов Н.П., 2005; Докукин Ю.В., Самойлов А.Г., 2009]. Маминское месторождение состоит из нескольких разобщенных рудных участков, представленных комплексом вулканогенно-осадочных образований, прорванных маломощными дайками гранитоидов, на контакте которых развиты стержневые протяженные жилы с лиственитовым золотоносным обрамлением. Объектом промышленной добычи золота способом подземного выщелачивания являются зоны окисленных и полуокисленных золотосодержащих руд, залегающих в соответствии с простиранием минерализованных незатронутых процессами окисления пород и руд. Большая часть золотосодержащих зон относится к умеренно и хорошо проницаемым, уровень грунтовых вод расположен на относительно небольшой глубине от поверхности (10–20 м) [Фазлуллин М.И. и др., 2005]. Итоги опытных испытаний подземного выщелачивания показали перспективность применения метода на Маминском месторождении.

Шульгинское месторождение представлено крутопадающими маломощными кварц-жильными зонами, на пересечении которых с пологими также кварц-жильными зонами образуются относительно мощные зоны лиственитизации. Вмещающая среда – диабазы и туфы среднего состава. Протяженность зон по 1 км. Кора выветривания, достигающая 40–50 м, сложена нацело окисленными рудами, где только кварцевые жилы сохраняют свой состав.

В 2004 году Шульгинским разведочно-эксплуатационным предприятием разведан блок №1 в центральной части месторождения с целью постановки на нем опытных испытаний добычи золота способом подземного выщелачивания. Проведено 4 кратковременных цикла опытных испытаний, определивших принципиальную возможность извлечения золота. Золотосодержащие объекты месторождения Долгий Мыс имеют различную пространственную форму, мощность коры выветривания варьирует от 40 до 110 м. При выщелачивании в качестве растворителя выбран гипохлорит натрия, раствор которого готовился непосредственно на месте работ электролизом водного раствора хлорида натрия. Опыт работы показал, что использование электролиза непосредственно на объекте подземного выщелачивания позволяет существенно повысить технико-экономические показатели добычи [Фазлуллин М.И. и др., 2005].

В 2003–2007 гг. Оренбургской горной компанией в пределах Кумакского рудного поля на месторождении Васин успешно проведены натурные опытно-промышленные испытания технологии добычи золота подземным выщелачиванием из слабоводопроницаемых кор выветривания и метаморфических пород девонского возраста, которые содержат дисперсное золото (размеры частиц менее 0,1 мм) [Харькевич К.А. и др., 2007ф]. Эти исследования позволили получить несколько килограмм золота. Стряпковым А.В. с соавторами [2005] опубликована технологическая схема переработки продуктивных растворов подземного выщелачивания золота методом гидрохлорирования, которая прошла стадию полупромышленных испытаний на центральном участке месторождения. По этой схеме получен металлический концентрат золота с содержанием этого элемента более 95%.

Указанные исследования доказывают, что извлечение золота методом подземного выщелачивания экономически эффективно.

7.4. Рекомендуемая технология метода подземного выщелачивания и этапы её адаптации применительно к Кумакскому рудному полю

Концепция промышленного освоения месторождений золота Кумакского рудного поля предполагает адаптацию технологии скважинного подземного выщелачивания к конкретным геолого-промысловым характеристикам двух типов рудных тел (коры выветривания и коренных залежей) и вовлечение в использование старых отвалов, которые могут являться потенциальными месторождениями полезных ископаемых [Верчеба А. А., Маркелов С.В., 2003; Наумов В.А. и др., 2011; Мустафин С.К., 2016; Мустафин С.К. и др., 2017].

Этапы освоения должны включать:

- 1. Углубленное изучение мирового и российского опыта подземного выщелачивания.*
- 2. Лабораторные исследования и моделирование этого процесса.*
- 3. Опытнo-промышленное опробование рекомендованной технологии.*
- 4. Пересчет запасов остаточного золота.*
- 5. Промышленная разработка остаточных запасов.*

Производственным работам на рассматриваемом объекте должны предшествовать лабораторные исследования с целью определения минерального, химического, гранулометрического состава пробы, а затем технологические исследования. На первом этапе технологических исследований для ускорения опытных работ и экономии рудного материала выполняется серия опытов по статическому (агитационному) выщелачиванию изучаемой пробы. Такие опыты позволяют на небольшом объеме рудного материала установить близкий к оптимальному состав выщелачивающего раствора и установить максимально достигаемую степень извлечения металла из конкретной руды. Как правило, время, достаточное для достижения равновесных концентраций реагирующих веществ, не превышает 24 часа. В конце опытов для всех растворов вычисляется показатель извлечения металла из руды. Характеристика расхода реагентов по данным статических опытов устанавливается только ориентировочно. Результаты

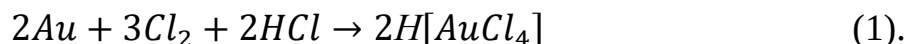
лабораторных исследований выщелачивания являются ориентиром для выбора растворителей и диапазона их концентраций, с которыми далее проводят испытания руд при фильтрационном режиме выщелачивания. Фильтрационное выщелачивание заключается в фильтрации растворителя через пробу золотосодержащего материала, фиксации динамики выноса из него полезного компонента и выхода растворителя в фильтрующемся растворе. На этом же этапе проводятся исследования по извлечению золота из растворов методами сорбции или осаждения [Фазлуллин М.И. и др., 2005].

Лабораторными испытаниями определяют показатели геотехнологических свойств золотосодержащего материала, к которым относятся: коэффициент фильтрации; степень извлечения металла из руды; отношение объема раствора к твердой массе (Ж:Т), необходимое для максимально возможного извлечения металла; затраты растворителя; средняя концентрация металла в продуктивных растворах, мг/л. Также, в процессе лабораторных испытаний уточняется схема переработки продуктивных растворов. Более того, изучается фильтрационная неоднородность пород продуктивного горизонта, влияющая на гидродинамику фильтрационного потока, проводятся геотехнологическое картирование, моделирование гидродинамики технологических растворов, массопереноса в трехмерной области. Результаты лабораторных исследований и моделирования геофильтрационных процессов используются при составлении проекта работ на опытном участке подземного выщелачивания, за которыми следуют опытно-промышленные работы, а затем и промышленная эксплуатация.

Скважинное подземное выщелачивание является многостадийным процессом, происходящим в слое минеральных частиц при относительном движении растворителя в условиях просачивания через естественные трещины, поры или измельченную массу, то есть в динамическом режиме. В современной химической технологии внимание уделяется математическому описанию и моделированию различных технологических процессов [Уманский А.Б. и др., 2006]. Для полного понимания процесса технологии требуется исследовать не только его кинетику, но и физико-химические стороны.

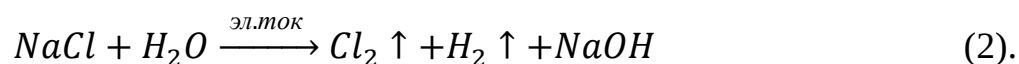
Химические реакции, протекающие в условиях подземного выщелачивания

В основе процесса гидрохлорирования, применяемого в случае подземного выщелачивания, лежит реакция получения комплексного водорастворимого соединения – золотохлористоводородной кислоты $H[AuCl_4] \cdot nH_2O$ или её солей:



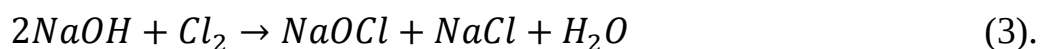
Находящееся в руде самородное золото, под действием такого активного окислителя как хлор, в кислой среде образует золотохлористоводородную кислоту.

Необходимый для реакции хлор можно получать непосредственно перед закачкой – методом электролиза водного раствора хлорида натрия. Такой способ позволяет избежать значительных расходов на транспортировку газообразных, да ещё к тому же и ядовитых веществ:

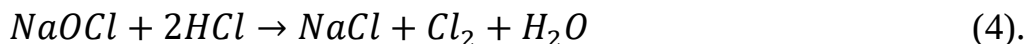


Кроме того, электролитический метод получения хлора позволяет подвозить непосредственно на месторождение только сыпучие (поваренная соль) и жидкие (соляная кислота) реагенты, транспортировка которых, даже в условиях плохих дорог не доставляет особых проблем.

Для лучшей доставки активного хлора непосредственно к золотому зерну, находящемуся в породе, можно применять такой ценный «аккумулятор хлора», как гипохлорит натрия. Последний легко получается, если выделяющийся в процессе электролиза хлор, направлять обратно в электролизер:



Содержание активного хлора, в этой соли, достигает 95 %, а сам гипохлорит натрия $NaOCl$ химически нестоек и распадаясь в кислой среде закачного раствора выделяет газообразный хлор, необходимый для протекания реакции (1):



Более того, сама вода, находящаяся в электролизере, также способна растворять газообразный хлор, частично превращаясь в хлорноватистую кислоту:



Сама хлорноватистая кислота также может реагировать с соляной кислотой с выделением газообразного хлора:



Таким образом, исходя из химических процессов, протекающих при подземном выщелачивании, можно сделать вывод о необходимости контроля в закачных растворах, таких важных характеристик, во многом обуславливающих процент извлечения золота из руды как:

1. Содержание соляной кислоты.
2. Содержание активного хлора.
3. Содержание хлорид-ионов.
4. Содержание ионов натрия.

Для контроля за содержанием важных компонентов выщелачивающих растворов, предложено использовать следующие физико-химические методы контроля (Таблица 7.3).

Для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и одновременную утилизацию образующихся жидких отходов золотодобычи, представляется вполне обоснованным откачные растворы после выщелачивания и извлечения золотохлористоводородной кислоты обогащать необходимыми для протекания реакции (1) компонентами и направлять на повторное

выщелачивание. Таким образом, технологический процесс, в рассматриваемой схеме является процессом с замкнутым циклом. Последнее позволяет минимизировать расходы на хранение и нейтрализацию жидких токсичных отходов.

Таблица 7.3 – Физико-химические методы контроля

Контролируемый компонент	Метод контроля
Концентрация соляной кислоты	pH раствора
Концентрация хлорид-ионов	Ионометрический или гравиметрический метод
Содержание ионов натрия	Eh раствора
Содержание активного хлора	Прямое определение
Для растворов после выщелачивания	
Содержание золота	Атомно-абсорбционный метод

Процесс выделения золота из золотосодержащих растворов подразумевает сорбцию золотохлористоводородной кислоты и её солей на активированном угле, либо ионообменных смолах. Полученный таким образом твердый угольный порошок или ионообменная смола и являются тем конечным продуктом, который направляется далее по технологической цепочке на предприятие по переработке золотосодержащих руд и концентратов. Вследствие того, что процессы сорбции никогда не протекают со 100 %-ным переходом целевого компонента из жидкости в твердую фазу, возникает необходимость контролировать последний технологический параметр, выделенный отдельно в таблице – концентрацию золотохлористоводородной кислоты и её солей (таблица 7.3 п.5).

Характеристика выщелачивающих растворов при опытно-промышленных испытаниях

Физико-химические показатели по выщелачивающим растворам приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Характеристика закачных растворов в опытных испытаниях [Харькевич К.А. и др., 2007ф]

№№ циклов	Объем растворов, м ³	Качественный состав				
		остаточное содержание золота после сорбции, г/м ³	содержание активного хлора, кг/м ³	pH	Eh	содержание хлорид-иона, кг/м ³
0	1872,0	сорбция не проводилась	0,70	4,6	821	9,2
I.	1734,8	0,18	0,40	2,7	1140	10,5
II.	7187,2	0,07	0,60	3,0	1140	16,0
III.	4396,8	0,03	0,60	3,7	1160	15,6
IV.	2298,2	0,05	0,90	4,0	1130	15,8
рекультивация	3614,4	0,0	0,0	4,5	1130	16,2
Сумма	26798,9					

Следует отметить некоторые особенности формирования закачных растворов:

– использовавшийся в опытно-промышленных испытаниях электролизер, по техническим условиям, производил 1 м³ раствора с содержанием 10 кг активного хлора; в связи с этим, концентрация активного хлора в выщелачивающем растворе обеспечивалась только объемом разбавленного маточного раствора;

– кислотность раствора достигалась объемом кислоты (pH=2,0) добавленной в раствор с гипохлоритом. При этом, если раствор гипохлорита имеет pH=11,0, то для достижения заданного среднего значения pH=4,6 на 1872 м³ потребовалось 1,5 тонны кислоты или 0,8 кг/м³ (см. показатели «0»- цикла, таблица 7.4), а для достижения кислотности pH=3,5 потребуется условно в 1,3 раза больше, т.е. 1,04 кг/м³;

– в нулевом цикле проведен хронометраж расхода соли, потребовавшейся для приготовления гипохлорита. В пересчете на массу активного хлора 2756 кг/м³ х 2 м³ = 5512 кг, расход соли составил 21,24 тонны или 3,85 кг/кг хлора;

– в процессе приготовления гипохлорита добавки поваренной соли не нужны, так как хлорид-ион образуется за счет активного хлора и в конце опытных испытаний его содержание составляло 16,2 кг/м³.

Показатели опытной добычи золота способом подземного выщелачивания по циклам

Задача, стоящая перед анализом результатов различных циклов опытной добычи – это определение возможных объемов и качества продуктивных (откачных) растворов в зависимости от «активности» выщелачивающего раствора (содержание активного хлора, его кислотность) и исходного содержания золота в выщелачиваемом блоке.

Цикл «0». Орошение блока производится только через канавы с производительностью 2,0 м³/час раствором, содержащим 0,7 г/л активного хлора и рН 4,6. Откачка осуществляется по 8-ми скважинам, дающим среднее содержание золота в продуктивном растворе 0,12 мг/л.

То есть, можно условно предположить, что раствор такого качества можно было бы получить при селективном выщелачивании только подзон гидролиза и гидратации. При этом определено: выщелачивающие реагенты проходят сверху вниз примерно с одинаковой скоростью независимо от положения уровня грунтовых вод. Так, в одной из скважин до начала откачки были установлены датчики, регистрирующие появление хлорид-иона и с началом орошения через канавы, фиксировалось появление электролита. Фронт движения реагентов имел скорость около 1 м в 30 мин, начиная с интервала 0–1 м и до 21 м (граница скальных пород); в том числе скорость одинакова и для зоны гидратации и зоны дезинтеграции.

При испытаниях нулевого цикла определены следующие расходы реагентов на 1 м³ [Харькевич К.А. и др., 2007ф] :

- гипохлорит 21240 кг: 1872 = 11,3 кг.
- кислота 1525 кг: 1872 = 0,82 кг.
- соль поваренная 21240 кг: 1872 = 11,3 кг.

Цикл «I». В том же блоке часть выщелачивающих растворов (0,64 м³/час или половина объема) направлялась непосредственно в подзону дезинтеграции (2 залежи даже вне рудной залежи).

Выщелачивающие растворы содержали 0,4 г/л активного хлора и имели $\text{pH}=2,7$. Несмотря на пониженное содержание хлора, повышенная кислотность и направление выщелачивающих растворов помимо канав в скважины дали сразу резкое повышение содержания золота в продуктивных растворах (0,42 мг/л).

Важные выводы можно сделать при анализе результатов экспериментов по парам «закачка-откачка» (скважина-скважина), моделирующих возможность селекции рудных тел «напрямую» по схеме: среднее содержание золота в продуктивных растворах по скважине 1 – 0,24 г/м³, и по скважине 2 – 0,16 г/м³.

Учитывая полное отсутствие влияния других золоторудных тел в выщелачивании можно предположить возможность «селекции» золота из рудных тел при вскрытии такой схемой. При этом, по экспериментальным парам скважин, работающим непосредственно в фильтрующей зоне (№№ 1–2 и 15–17), содержание золота остается невысоким (0,16–0,24 мг/л).

Цикл «II». Продолжая активное орошение блока через канавы, основную часть скважин и по 2-м скважинам, расположенным в центре блока, продуктивные растворы имели содержание золота 0,29–0,31 мг/л (колебания во времени незначительные). Откачная скважина вне контура рудной зоны вначале откачки дает повышенные содержания золота, а потом, вероятно, в результате разбавления содержание уменьшается до 0,05 мг/л.

«Конвертная схема» цикла «II». Через 4 скважины осуществляется подача выщелачивающего раствора, примерно по 150–200 л/час в каждую, с активностью 0,60 г/л хлора и $\text{pH}=3,0$. При равных объемах закачек растворов в скважинах содержание золота в откачных растворах практически одинаково 0,21; 0,23; 0,48; 0,35 мг/л. По этой схеме среднее золотосодержание в продуктивном растворе составило 0,32 г/м³, что может свидетельствовать об эффективности расположения пунктов закачки-откачки.

Цикл «III». Режим орошения участка – через канавы и скважины с теми же характеристиками выщелачивающего раствора. В результате происходит разбавление продуктивных растворов до 0,19 мг/л золота (Таблица 7.5).

Таблица 7.5 – Сравнение показателей качества продуктивного раствора от содержания золота в руде по скважинам [Харькевич К.А. и др., 2007ф]

№ скв	Средние содержания золота в откачных растворах по циклам				
	I	II	III	IV	среднее по циклам
17	0,24	0,37	–	0,37	0,33
16	–	–	0,25	–	0,25
1	-	0,23	-	0,16	0,20
2	0,16	–	0,24	–	0,20
13	–	0,48	–	0,33	0,40
9	–	–	0,06	–	0,06
11	–	0,21	–	0,13	0,17
10	–	–	0,19	0,19	0,19
Сумма					1,80
Среднее:					0,23

Анализируя показатели в таблице 7.5 можно сделать следующие выводы:

- Среднее содержание золота в блоках 0,77 г/т;
- Среднее содержание золота в продуктивных растворах по всем циклам – 0,23 г/т, то есть средний коэффициент извлечения золота из руды по предлагаемой технологии подземного выщелачивания

$$K_{\text{извлечения}} = \frac{\text{содержание в растворе}}{\text{содержание в руде}} = \frac{0,23}{0,77} = 0,30.$$

Получение обогащенных концентратов

В процессе опытных испытаний для сорбции золота использовался активированный уголь (марки АРВ и АГ-3), а также ионно-обменная смола (АГ-17). Следует отметить, что на функционирующих объектах подземного выщелачивания преимущество отдается активированному углю по следующим причинам:

- Исследования, проведенные УНИПРОМЕДЬ по Гагарскому месторождению и ИРГИРЕДМЕТ по Маминскому месторождению [Харькевич К.А. и др., 2007ф], показали, что остаточное содержание активного хлора в продуктивном растворе «пагубно» действует на смолу, разрушая ее и превращая в «пену», вымывающуюся из колонн.

– Проблемы с десорбцией из смолы и небольшой объем регенерированной смолы (34%) фактически неоправданно увеличивают себестоимость извлечения золота.

Сорбционную колонну останавливали, когда расчетная концентрация золота в ней составляла более 2 кг/т. Активированный уголь после выгрузки из сорбционной колонны сжигался в муфельных печах с принудительным нагнетанием воздуха. Ионообменная смола является более дорогостоящим продуктом, поэтому была предпринята попытка регенерации смолы, с целью проверки возможности её повторного использования.

Десорбцию проводили по методике ООО Уральской геотехнологической компании (Know-how) двухкомпонентным раствором [Харькевич К.А. и др., 2007ф]. Концентрация компонента А составляла 150 г/л, компонента В – 100 г/л. Объем десорбирующего раствора – 30 литров. К верхнему фланцу колонны крепили заливную горловину, закрывали нижний вентиль и заливали раствор, затем вентиль открывали так, чтобы расход вытекающего десорбата составлял 120–150 л/час. Вытекающий десорбат заливали в колонну через заливную горловину. Десорбция продолжалась в течение 5 часов. После окончания десорбции смолу промывали 10 литрами чистой воды. Промывную воду смешивали с десорбатом. В лаборатории проводили получение коллективного концентрата. Реакцию среды десорбата (рН) понижали до 0,7–1; выпадал осадок, который отстаивали, фильтровали, промывали и высушивали. Полученные в обоих случаях концентраты, на активированном угле и на ионообменной смоле, направляли в Кыштымский медь-электролитный завод.

Показатели аффинажа золотосодержащих концентратов

В таблице 7.6 приведены данные, полученные в результате опытно-промышленных испытаний технологии подземного выщелачивания на месторождении Васин.

Таблица 7.6 – Показатели аффинажа золотосодержащих концентратов [Харькевич К.А. и др, 2007ф]

Наименование сырья	Вес (масса) продукта, кг	Масса золота, г		
		расчетная	по данным лабораторного анализа	по данным Кыштымского завода
Зола активированного угля	179,35	449,4	428,2	411,0
Ионообменная смола	1158,4	2891,8	846,6	860,6
Сумма	1340,75	3345,2	1279,8	1277,6

Анализируя данные по сорбции можно сделать следующие выводы:

1. Извлечение золота сорбцией на активированный уголь приводит к получению концентрата с содержанием золота 2,3 кг/т, в то время как применение ионообменной смолы дает концентрат с содержанием лишь 742,9 г/т. Последнее обусловлено естественным концентрированием в процессе озоления активированного угля в муфельных печах. Однако, величина извлечения золота из растворов невелика и составляет лишь величину порядка 48,0 %. Последнее говорит о малых сорбционных свойствах активированного угля использованных марок по отношению к растворам золотохлористоводородной кислоты и её солей. В целом, при общем объеме переработанных растворов 3,6 тыс. м³ сорбировано на уголь 501,3 г золота.

2. При сорбции золота на ионообменную смолу из 16,1 тыс. м³ продуктивных растворов осаждено 2799 г золота, что соответствует коэффициенту извлечения из растворов порядка 81,5 %. Однако, наряду с такой высокой степенью сорбции из золотосодержащих растворов необходимо отметить достаточно низкую способность к регенерации ионообменной смолы. Последнее приводит к невозможности повторного применения сорбционной колонны, так как большая часть золота остается в колонне. Продажная же стоимость ионообменных смол в несколько раз превышает стоимость активированного угля, увеличивая тем самым себестоимость извлекаемого золота.

По результатам геологоразведочных работ на Кумакском рудном поле и при учете рекомендованной технологии освоения остаточных запасов золота методом

скважинной подземного выщелачивания (этапы 2 и 3) будет выполнен пересчет запасов (этап 4).

7.5. Условия экологического контроля

В перечень рекомендуемых кондиций предлагается ввести следующие конкретные условия экологического контроля и природоохранных мероприятий:

- при проектировании промышленного предприятия разработать Программу мониторинга воздействия производства подземного выщелачивания на подземные воды и поручить ее исполнение независимой природоохранной организации, имеющей аттестованную лабораторию по экологическим исследованиям;

- мониторинг подземных вод осуществлять по дополнительному ряду контрольно-наблюдательных скважин, расположив его вне пределов месторождения, на рубеже II и III поясов санитарно-защитной зоны предприятия;

- по завершению отработки каждого из технологических блоков проводить рекультивацию I этапа путем очистки бассейна грунтовых вод до исходного содержания токсичных элементов;

- по завершению отработки способом подземного выщелачивания объекта в целом провести рекультивацию подземных вод путем очистки их от токсичных элементов до уровня предельно допустимой концентрации (ПДК);

- по завершению отработки способом подземного выщелачивания объекта в целом провести рекультивацию поверхности месторождения.

Остальные условия экологического контроля предусмотрены нормативами деятельности любого предприятия (выбросы, отходы).

7.6. Предварительные выводы по опытно-технологическим исследованиям подземного выщелачивания

Концепция промышленного освоения остаточных запасов золота Кумакского рудного поля основана на адаптации технологии скважинного подземного выщелачивания к конкретным геолого-промысловым характеристикам двух типов рудных тел (коры выветривания и коренных залежей) и вовлечения в использование старых отвалов.

Предварительные выводы по опытно-технологическим исследованиям подземного выщелачивания сводятся к следующему:

1. Вмещающие породы месторождения характеризуются высокой кислотоемкостью, связанной с карбонатами (60–100 кг/т), обуславливая необходимость планирования процесса выщелачивания в кислых средах ($\text{pH} = 2\text{--}5$).

2. Извлечение золота, исследованное в слабокислых средах ($\text{pH} = 4,1\text{--}5,1$), остается достаточно низким, на уровне 34,5–40,5%.

3. При переходе в кислые среды ($\text{pH} = 2\text{--}3$) удастся поднять извлечение золота до 72%, однако расход кислоты будет значительным.

4. Нижний предел содержания извлекаемого золота составляет 0,1 г/т, в связи с чем при определении контуров выщелачиваемых руд можно учитывать содержания золота, получаемые по пробирному анализу и 0,1 г/т и «следы» (приравнивая их к 0,1 г/т).

5. При вовлечении в процесс подземного выщелачивания рудных залежей эффективна обычная фильтрационно-инфильтрационная система вскрытия, когда орошение производится через канавы (траншеи) а откачка продуктивных растворов – через скважины.

6. В перечень рекомендуемых кондиций предлагается ввести конкретные условия экологического контроля и природоохранных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе, на примере Кумакского месторождения, рассмотрены вопросы геологического строения, металлогении и формирования золотого оруденения в углеродсодержащих черносланцевых толщах нижнекаменноугольного возраста.

Отметим наиболее важные выводы:

1. Черносланцевые образования брединской свиты попадают в поля терригенно-углеродистой и кремнисто-углеродистой формаций. Углеродистое вещество представлено двумя типами: тонкой рассеянной осадочной органикой и метаморфическим графитом, имеет биогенную природу и испытало метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации.

2. Условия осадконакопления довольно специфичны для подобных отложений Южного Урала. Терригенный высокоглиноземистый осадочный материал претерпел минимальный перенос и формировался преимущественно за счет разрушения пород основного состава, а также продуктов размыва кислых вулканитов основания разреза брединской свиты.

3. Нормирование к постархейскому австралийскому глинистому сланцу показывает, что редкоземельные элементы в рассматриваемых углеродистых сланцах не накапливаются. Их содержания по отношению к PAAS укладываются в интервал от 0,1 до 1 ед. Основными минералами-концентраторами лёгких РЗЭ являются монацит (-Ce) и рабдофан (-Ce), тяжелых – ксенотим (-Y).

4. Углеродистые сланцы рудного поля имеют золото-турмалиновую специализацию. Богатые рудные зоны обусловлены узлами пересечения Восточно-Аниховских разрывов близмеридионального простирания с разломами других направлений, выраженных зонами интенсивно проявленного окварцевания, серицитизации, турмалинизации шириной 300–400 м и протяженностью до 10 км.

5. В кварц-слюдисто-турмалиновых метасоматически измененных углеродистых сланцах установлены промышленные содержания золота и стабильно высокие – серебра. Тесное срастание турмалина и золота указывает на

синхронность их отложения и позволяет выделить в пределах Кумакского рудного поля кварцево-турмалиновую золотоносную формацию, сопоставимую с рядом объектов Восточного Забайкалья и Тувы. Наиболее вероятным источником турмалиновой минерализации в серицит-кварцево-углеродистых сланцах могли служить подверженные метаморфическим преобразованиям борсодержащие морские осадки, насыщенные глинистыми частицами.

6. Золото кварц-слюдисто-турмалиновых метасоматически измененных углеродистых сланцев связано с двумя основными минеральными ассоциациями: золото-висмут-теллуридной и самородным золотом в сростании с турмалином. По своему химическому составу турмалины относятся к дравиту и фойтиту и близки к таковым орогенных золотых и золото-сульфидных месторождений.

7. Золото на объектах Кумакского рудного поля в основном тонкодисперсное и относится к высокопробному (919–1000) типу. В зоне гипергенеза золотины неоднородны, часто имеют каймы с явными признаками облагораживания и очищения от элементо-примесей. Здесь происходит вторичное переотложение золота в виде мелких губчатых высокопробных агрегатов.

8. Предложенная модель формирования Кумакского золоторудного месторождения в черносланцевых толщах связана с этапами накопления, перераспределения и концентрации.

9. В практической части работы выполнена оценка возможности использования метода скважинного подземного выщелачивания золота до глубины 50 м и вовлечения в разработку старых отвалов рудного поля.

Проведенные исследования и полученные результаты могут быть востребованы при постановке поисково-оценочных работ на изученной площади и позволят с новых позиций подойти к её прогнозу на золото.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная

Абдулин, А. А. Геологическое строение и структурное районирование Мугоджар [Текст] / А. А. Абдулин, М. А. Касымов, К. А. Львов // К проблеме связи Урала и Тянь-Шаня : сб. тр. – г. Алматы: Наука, 1969. – С. 77-107. – 31 с.

Азовская, О. Б. Проявления углеродизации в северной части Восточно-Тагильского ультра-базитового массива, возможная связь с Au-Pt оруденением [Текст] / О. Б. Азовская, В. В. Александров, Н. Н. Гусева // Самородное золото: матер. науч. конф. (Москва, ИГЕМ РАН, 25-27 нояб. 2010): в 2 т. – М.: ИГЕМ РАН, 2010. – Т. 2. – С. 17-19. – 3 с.

Альбов, М. Н. Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала [Текст] / М. Н. Альбов ; под ред. В. И. Смирнова. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 215 с.

Альбов, М. Н. Золотоносные сланцы Кумакского района [Текст] / М. Н. Альбов // Цветные металлы. – 1930. – № 8-9.

Арифулов, Ч. Х. О минералогии и генезисе зон прожилково-вкрапленного золотосульфидного оруденения Кызыл-Кумов [Текст] / Ч. Х. Арифулов // Узбек. геол. журн. – 1976. – № 5.

Арифулов, Ч. Х. Черносланцевые месторождения золота различных геологических обстановок [Текст] / Ч. Х. Арифулов // Руды и металлы. – 2005. – № 2. – С. 9-19. – 11 с.

Арифулов, Ч. Х. Золоторудные месторождения «черносланцевого типа» на Южном Урале и закономерности их размещения [Текст] / Ч. Х. Арифулов, Д. В. Плугин, В. Г. Чернояров [и др.] // Отечественная геология. – 2006. – № 4. – С. 13-22. – 10 с.

Билибина, Т. В. О перспективах золотоносности в районе Мугоджар [Текст] / Т. В. Билибина, Ю. В. Богданов // Геол. рудн. месторождений. – 1959. – № 5. – С. 104-111. – 8 с.

Блюман, Б. А. Использование термо- и рентгенографических характеристик графита для определения уровня и типа метаморфизма [Текст] / Б. А. Блюман, Ю. С. Дьяконов, Т. Н. Красавина, М. Г. Павлов // Зап. Всесоюз. Минерал. о-ва. – 1974. – Ч. 103; Вып. 1. – С. 95-103. – 9 с.

Богданова, М. В. О связи биогенного углерода с металлоносностью черносланцевых формаций [Текст] / М. В. Богданова, И. Б. Волкова // Второе Всесоюз. совещ. по геохимии углерода (Москва, 29 сент. - 1 окт. 1986). – М.: ГЕОХИ АН СССР, 1986. – С. 135-140. – 6 с.

Болтыров, В. Б. Рудоносные и рудные формации метаморфических комплексов Урала [Текст] / В. Б. Болтыров, В. Н. Огородников, В. А. Поляков, В. Г. Рудский // Рудоносные метасоматические формации Урала [тезисы докладов]: ч. 1. – Свердловск: [б. и.], 1978.

Бортников, Н. С. Геохимия и происхождение рудообразующих флюидов в гидротермально-магматических системах в тектонически активных зонах [Текст] /

Н. С. Бортников // Геология рудных месторождений. 2006. – Т. 48. № 1. – С. 3–28. – 25 с.

Бортников, Н. С. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) [Текст] / Н. С. Бортников, Г. Н. Гамянин, О. В. Викентьева, В. Ю. Прокофьев, В. А. Алпатов, А. Г. Бахарев // Геология рудных месторождений. М.: Наука. 2007. Т.49. № 2. – С.99-145.

Буряк, В. А. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ [Текст] / В. А. Буряк, Б. К. Михайлов, Н. В. Цымбалюк // Руды и металлы. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – № 6. – С. 25-36. – 12 с.

Буряк, В. А. Источники золота и сопутствующих компонентов золоторудных месторождений в углеродистых толщах [Текст] / В. А. Буряк // Геология рудн. месторождений. – 1986. – Т. 28; № 6. – С. 31-43. – 13 с.

Буряк, В. А. Метаморфизм и рудообразование [Текст] / В. А. Буряк. – М.: Недра, 1982. – 256 с.: рис., табл. – Библиогр.: с. 253-254.

Буряк, В. А. Условия образования метаморфогенных гидротермальных месторождений [Текст] / В. А. Буряк // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 14-22. – 9 с.

Буряк, В. А. Сухой лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования) [Текст] / В. А. Буряк, Н. М. Хмелевская ; отв. ред. Ф. Н. Рянский ; Рос. акад. наук ДВО, Ин-т компл. анализа регион. проблем. – Владивосток: Дальнаука. – 1997. – 156 с. – ISBN 5-7442-0788-0.

Бушнев, Д. А. Изотопы углерода органического вещества позднеюрских горючих сланцев Волго-Печорской сланцевой провинции и механизмы его накопления [Текст] / Д. А. Бушнев, И. В. Смолева // Доклады Акад. наук. – 2011. – Т. 441; № 2. – С. 227-229. – 3 с.

Верчеба, А. А. Техногенные месторождения, способы их формирования и переработки: учеб. пособие [Текст] / А. А. Верчеба, С. В. Маркелов. – М.: Моск. гос. геологоразв. ун-т., 2003. – 66 с.: табл.8, ил.7. – Библиогр.: 18 наим.

Виленкин, В. А. О связи золота и серебра с рассеянным органическим веществом рудных месторождений [Текст] / В. А. Виленкин, И. Д. Фридман // Геохимия. – 1983. – № 10. – С. 1487-1491. – 5 с.

Воин, М. И. Особенности структуры и оруденения Кумакского рудного поля и методика выделения обогащенных интервалов в минерализованных зонах смятия [Текст] / М. И. Воин // Изв. ВУЗов: науч.- метод. журн. Геология и разведка. – М.: [б. и.], 1966. – № 11. – С. 77-86. – 10 с.– ISSN 0016-7762.

Воин, М. И. О зональности проявления редкометалльной и золоторудной минерализации в Кумак-Котансуйской зоне смятия Орского Зауралья [Текст] / М. И. Воин, А. П. Казак // Вопросы зональности эндогенных месторождений: сб. ст. – Ленинград: [б. и.], 1973. – С. 102-111. – 10 с.

Гидрогеология СССР. Том XLIII. Оренбургская область (Оренбургское гидрогеологическое управление) [Текст] / под ред. Е. И. Токмачева. – М.: Недра, 1972. – 272 с.

Горбачёв, О. В. Некоторые петрохимические и геохимические аспекты типизации углеродистых отложений докембрия [Текст] / О. В. Горбачёв, Н. А. Созинов // Проблемы осадочной геологии докембрия. – М.: Наука, 1985. – Вып. 10. – С. 46-57. – 12 с.

Горжевский, Д. И. О роли органического вещества в рудообразовании [Текст] / Д. И. Горжевский // Изв. ВУЗов: науч.- метод. журн. Геология и разведка. – М.: [б. и.], 1987. – № 1. – С. 29- 41. – 13 с. – ISSN 0016-7762.

Горжевский, Д. И. Парагенезис металлов и нефти в осадочных толщах нефтегазоносных бассейнов [Текст] / Д. И. Горжевский, А. А. Карцев, Д. И. Павлов [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 268 с.

Добрецов Н. Л. Модели магматогенно-гидротермального и метаморфогенно-гидротермального рудонакопления и критерии их отличия / Н. Л. Добрецов, А. И. Кривцов // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений: Сб. науч. ст. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1985. – С. 5-14. – 10 с.

Докукин, Ю. В. Практические результаты добычи золота способом подземного выщелачивания в России [Текст] / Ю. В. Докукин, А. Г. Самойлов // Золотодобыча. – 2009, декабрь. – № 133.

Дубенко, И. Г. Основные черты геологического строения и золотоносности северной части Кумакского золоторудного месторождения [Текст] / И. Г. Дубенко, М. И. Воин // Изв. ВУЗов: науч.- метод. журн. Геология и разведка. – М.: [б. и.], 1965. – № 11.

Ермолаев, Н. П. Стратиформное рудообразование в черных сланцах [Текст] / Н. П. Ермолаев, Н. А. Созинов. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

Заболоцкий, А. И. Опытные испытания способа ПВ для добычи золота из руд коры выветривания золоторудного месторождения Гагарского [Текст] / А. И. Заболоцкий, К. А. Харькевич, Т. Э. Видусов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: изд. ООО «Горная книга», 1999. – № 2. – С. 81-86. – 6 с. – ISSN 0236-1493.

Заболоцкий, К. А. Оптимальный комплекс гидрогеологических и геоэкологических исследований месторождений металлов в корах выветривания применительно к отработке их способом подземного выщелачивания [Текст]: автореф. дис. канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Заболоцкий Константин Александрович; Урал. гос. горн. ун-т. – Екатеринбург, 2008. – 23 с. – 003460381.

Знаменский, С. Е. Классификация золоторудных месторождений восточного склона Южного Урала [Текст] / С. Е. Знаменский, Н. М. Знаменская // Геологический сборник № 8. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2009. – С. 177-186. – 9 с.

Иванкин, П. Ф. Особенности отложения золота в черносланцевых толщах [Текст] / П. Ф. Иванкин, П. В. Иншин, Н. И. Назарова // Сов. геология. – 1985. – № 11. – С. 52-60. – 9 с.

Иванов, А. И. Роль метаморфических условий преобразования углеродистых карбонатно-терригенных отложений для формирования золотого оруденения на разных этапах коллизионной эпохи развития Байкало-Патомской металлогенической провинции [Текст] / А. И. Иванов // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 3-23. – 21 с.

Иванова, В. П. Термический анализ минералов и горных пород [Текст] / На обороте тит. л. авт.: В. П. Иванова, Б. К. Касатов, Т. Н. Красавина, Е. Л. Розина. – Ленинград: Недра, 1974. – 399 с.: табл. 36, ил. 233. – Библиогр.: 271 найм.

Кассин, Н. Г. К характеристике золоторудного месторождения Кумак [Текст] / Н. Г. Кассин // Разведка недр. – 1935. – № 24.

Коломоец, А. В. К вопросу о разработке остаточных запасов и отвалов золота в районах старых золотодобывающих предприятий (на примере Кумакского рудного поля) [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец // Новое в познании рудообразования: материалы Четвертой Рос. молодеж. Школы с междунар. участием. – М.: ИГЕМ РАН, 2014. – С.160-163. – 4 с.

Коломоец, А. В. Условия формирования Кумакского месторождения черносланцевой формации (Оренбургская область) [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. – 2018. – Т. 24; № 6. – С. 28-35. – 8 с.

Коломоец, А. В. Особенности размещения и локализации золотого оруденения Кумакской группы месторождений [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. – 2019. – Т.25; № 9. – С.25-32. – 7 с.

Коломоец, А. В. Структурные факторы формирования золотого оруденения на примере Кумакского золоторудного месторождения (Восточно-Уральское поднятие) [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец, П. В. Панкратьев, Р. С. Кисиль, В. С. Пантелеев // Процессы в геосредах. – 2019. – № 3 (21). – С. 341-346. – 6 с.

Коломоец, А. В. Геология и рудоносность углеродистых сланцев Кумакского месторождения [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец, А. В. Сначёв // Всерос. молодеж. конф. «Геологические исследования Урала и Поволжья – 2020»: сб. ст. – М.: изд. «Перо», 2020. – С. 12-15. – 4 с.

Коломоец, А. В. Геология и петрогеохимические особенности углеродистых отложений Кумакского рудного поля [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец, А. В. Сначёв // Процессы в геосредах. – 2020. – № 1 (23). – С. 589-596. – 8 с.

Коломоец, А. В. Золото-турмалиновая минерализация в углеродистых сланцах Кумакского месторождения (Южный Урал) [Электронный ресурс] / А. В. Коломоец, А. В. Сначёв, М. А. Рассомахин // Горный журнал. – 2020. – № 12. – С. 11-15. – 5 с.

Константинов, М. М. Особенности рудообразующей системы Зодского золото-теллуридного месторождения (Армения) по изотопно-геохимическим данным [Текст] / М. М. Константинов, С. Г. Кряжев, В. И. Устинов // Геохимия. М.: Наука. – 2010. – №9. – С. 1002-1005. – 4 с.

Коробейников, А. Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций [Текст] / А. Ф. Коробейников // Геохимия. – 1985. – № 12. – С. 1747-1757. – 11 с.

Коробейников, А. Ф. Минералогия благородных металлов нетрадиционных золото-платиноидных руд в черносланцевых формациях [Текст] / А. Ф. Коробейников // Платина России: проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. – М.: Геоинформмарк, 1999. – Т. 4. – С. 40–51. – 12 с.

Коробейников, А. Ф. Закономерности размещения золоторудных полей и месторождений в черносланцевых толщах герцинской складчатой структуры [Текст] / А. Ф. Коробейников, В. В. Масленников, В. Я. Микитченко // Известия АН СССР. Сер. Геология. – 1990. – № 2. – С. 103-115. – 13 с.

Кряжев, С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах [Текст]: автореф. дис. д-ра геол.-минер. наук: 25.00.11 / Кряжев Сергей Гаврилович; ЦНИГРИ. – М., 2017. – 24 с.

Кужугет, Р. В. Улуг-Саирское золото-турмалин-кварцевое месторождение, Западная Тува [Текст] / Р. В. Кужугет, В. В. Зайков, В. И. Лебедев // Литосфера. – 2014. – № 2. – С. 99-114. – 15 с.

Куклин, Н. В. Кумакское месторождение [Текст] / Н. В. Куклин // 200 лет золотой промышленности Урала. 1745-1945. – Свердловск: УФАН СССР, 1948.

Лаверов, Н. П. Проблемы полигенно-полихронного рудообразования [Текст] / Н. П. Лаверов, Ю. Г. Сафонов, В. И. Величкин // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. – М.: Изд-во МГУ, 2010. – Т. 1. – С. 38-59. – 22 с.

Лодейщиков, В. В. Гидрохлорирование золотосодержащих руд, история проблемы [Текст] / В. В. Лодейщиков // Золотодобыча. – 2012. – № 8 (165). – С. 5-8. – 4 с.

Лопатин, Н. В. Пиролиз в нефтегазовой геохимии / Н. В. Лопатин, Т. П. Емец. – М.: Наука, 1987. – 144 с.

Лощинин, В. П. Золотое оруденение в палеозойских образованиях восточного Оренбуржья / Лощинин В.П., Панкратьев П.В. // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 5. – С.134-138. – 5 с.

Лощинин, В. П. Золотоносность ниже-среднепалеозойских черносланцевых формаций Восточного Оренбуржья / В. П. Лощинин, П. В. Панкратьев // Стратегия и процессы освоения георесурсов. – Пермь, 2006. – С. 79–82. – 4 с.

Лядский, П. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист М-41-I (Аниховка). Объяснительная записка [Текст]/ сост.: П. В. Лядский, Б. И. Чен-Лен-Сон, Г. А. Алексеева, Т. В. Оленица, Л. Н. Кваснюк, Н. В. Мануйлов; науч. ред. А. П. Казак. – М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. – 100 с.

Марченко, Л. Г. Генезис и минеральные ассоциации золота и платиноидов в месторождениях «черносланцевого» типа Казахстана [Текст]: автореф. дис. д-ра геол.-минер. наук: 25.00.11 / Марченко Любовь Григорьевна; Ин-т геол. наук им. К.И. Сатпаева. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. – 48 с. – 00515153.

Масленников, В. В. Черносланцевые формации в золоторудных районах [Текст] / В. В. Масленников // Проблемы стратиморфных месторождений. – Чита, 1990. – С.89-91. – 3 с.

Месторождения золота Урала : науч. изд. [Текст] / В. Н. Сазонов, В. Н. Огородников, В. А. Коротеев, Ю. А. Поленов; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого, М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, Урал. гос. горно-геол. акад. – Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УРО РАН, 1999. – 566 с.

Мурзин, В. В. Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала) [Текст] / В. В. Мурзин, А. А. Малюгин. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. – 96 с.

Мустафин, С. К. Техногенное минеральное сырье горнорудных регионов: проблемы и перспективы рационального комплексного освоения [Текст] / С. К. Мустафин // Материалы VI Международной научной конференции «Современные проблемы регионального развития». – Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2016. – С. 72-75. – 4 с.

Мустафин, С. К. Техногенное минеральное сырье регионов недропользования: природа, состав и перспективы рационального использования [Текст] / С. К. Мустафин, Г. С. Анисимова, А. Н. Трифонов, К. К. Стручков // Наука и образование, 2017. – №4. – С. 7-16. – 10 с.

Наумов, В. А. Техногенные месторождения – резерв минеральной базы России [Текст] / В. А. Наумов, Б. С. Лунев, О. Б. Наумова // Вестник Пермского университета. Геология. – 2011. – № 1. – С. 50-56. – 7 с.

Наркелюн, Л. Ф. Индикаторы осадочного происхождения стратиформных месторождений меди [Текст] / Л. Ф. Наркелюн // Роль эндогенных и экзогенных факторов в формировании стратиформных руд и околорудных изменений: доклады [по материалам Всесоюз. семинара. Звенигород, дек. 1986]. – 1986. – Ч.1. – С. 8-11. – 4 с.

Новгородова, М. И. Состав и структурное состояние углеродистого вещества в минерализованных терригенно-осадочных породах [Текст] / М. И. Новгородова, М. Е. Генералов // Отечественная геология. – 1999. – № 1. – С. 33-38. – 6 с.

Новгородова, М. И. Золотое оруденение и метасоматиты одного из районов Южного Урала [Текст] / М. И. Новгородова, Е. И. Якобс, Ю. Г. Шинкаренко // Вопросы петрологии и металлогении Урала. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – С. 115-116. – 2 с.

Оборин, А. А. К геохимии бора в гипергенных процессах [Текст] / А. А. Оборин, И. Э. Залкинд // Геохимия. – 1964. – № 2.

Паленова, Е. Е. Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях Копыловское и Кавказ в черносланцевых толщах (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА-ИСП-МС [Текст] / Е. Е. Паленова, Е. В. Белогуб, О. Ю. Плотинская, К. А. Новоселов, В. В. Масленников, В. А. Котляров, И. А. Блинов, А. А. Кузьменко, И. Г. Грибоедова // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57 ; № 1. – С. 71-92. – 22 с.

Панкратьев, П. В. Кумакское рудное поле как перспективный золоторудный объект в Оренбургской области [Текст] / П. В. Панкратьев, **А. В. Колomoец**, А. С. Степанов, Е. В. Теплякова // Горный журнал. – 2019. – № 1. – С. 8-12. – 5 с.

Панкратьев, П. В. Черные сланцы Кумакского рудного района Оренбургской области [Текст] / П. В. Панкратьев, **А. В. Колomoец**, В. С. Пантелеев // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2018, нояб. – Вып. 96. – С. 55-60. – 6 с.

Панкратьев, П. В. Техногенные объекты Оренбургской области и перспективы их освоения [Текст] / П. В. Панкратьев, В. П. Лощинин // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 1999. – № 5-6. – С. 84-87. – 4 с.

Панкратьев, П. В. О перспективах золотоносности нижнекаменноугольных отложений восточного Оренбуржья [Текст] / П. В. Панкратьев, В. П. Лощинин, В. Н. Хасанов // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Матер. науч. сессии Горного ин-та УрО РАН по результатам НИР в 2003 г. (Пермь, Горный институт УрО РАН, 19-23 апр. 2004 г.) – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004. – С. 23-26. – 4 с.

Панченко, А. Ф. Подземное выщелачивание золота (состояние проблемы) [Текст] / А. Ф. Панченко, В. В. Лодейщиков, О. Д. Хмельницкая, Т. Э. Видусов // Добыча и переработка золото- и алмазосодержащего сырья: Сб. науч. тр., посв. 130-летию института «Иргиредмет». – Иркутск: Иргиредмет, 2001. – С. 232-248. – 17 с.

Парада, С. Г. О литогенной природе некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах [Текст] / С. Г. Парада // Литология и полезные ископаемые. – 2002. – № 3. – С. 275-288.

Петров, В. Г. Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа [Текст] / В. Г. Петров ; отв. ред. Ф.Н. Шахов ; Акад. наук СССР Сибирское отделение. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1974. – 138 с.

Петров, Г. А. Прогнозирование благороднометалльного оруденения в допалеозойских черносланцевых толщах центральной части Уральского подвижного пояса [Текст] / Г. А. Петров // Литосфера. – 2014. – № 6. – С. 88-101.

Петров, Г. А. К проблеме рудоносности черных сланцев Вишерско-Кутимского антиклинория (Северный Урал) [Текст] / Г. А. Петров, В. В. Александров, А. И. Зубков, А. В. Маслов, Ю. Л. Ронкин // Вестник Пермского ун-та. Геология. – 2015. – Вып. 4. – С. 32-43. – 12 с.

Петровская, Н. В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса) [Текст] / Н. В. Петровская. – М.: Изд-во «Наука», 1973. – 347 с.

Плюснина, Л. П., Кузьмина Т. В., Авченко О. В. Экспериментальное моделирование сорбции золота на углеродистое вещество при 20–500°C [Текст] / Л. П. Плюснина, Т. В. Кузьмина, О. В. Авченко // Геохимия. 2004. № 8. С. 864–873

Пономарева, Г. А. Золотопроявления в черносланцевых формациях палеозоя восточного Оренбуржья и их генезис [Текст] / Г. А. Пономарева, В. П. Лощинин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – №5. – С. 144-148. – 5 с.

Попов, В. И. Зональность рудопроявлений Средней Азии, парагенных с нефтью и газом [Текст] / В. И. Попов, А. К. Гусева // Рудоносные осадочные формации и рудная зональность артезианских нефтегазоносных бассейнов Средней Азии. – Л.: Недра, 1964. – С. 94-106. – 13 с.

Рассомахин, М. А. Турмалин из поздних кварцевых жил месторождения золота Муртыкты, Республика Башкортостан [Текст] / М. А. Рассомахин, Е. В. Белогуб, К. А. Новоселов, П. В. Хворов // Минералогия, – 2020, 6 (1). – С. 69-83. – DOI: 10.35597/2313-545X-2020-6-1-7.

Руб, М. Г. К вопросу о генезисе Кумакского месторождения [Текст] / М. Г. Руб, В. И. Рожанец // Сб. матер. по геологии золота и платины. – 1948. – Вып. 7.

Рудский, В. Г. Геохимическая направленность кремнещелочного метасоматоза в породах Южноугаджарской серии [Текст] / В. Г. Рудский // Геология и полезные ископаемые Урала / Тезисы докладов Уральской конф. молодых геологов и геофизиков. – Свердловск, 1976.

Рудский, В. Г. Роль метаморфизма в формировании золоторудной минерализации Кумакского рудного поля [Текст] / В. Г. Рудский // Геология метаморфических комплексов. – Свердловск: Изд-во СГИ. – 1982. – С. 88-94. – 7 с.

Рыкус, М. В. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом [Текст] / М. В. Рыкус, В. И. Сначёв, Н. С. Кузнецов, Д. Е. Савельев, Е. А. Бажин, А. В. Сначёв // Нефтегазовое дело. – 2009. – Т. 7, № 2. – С. 17-27. – 11 с.

Сазонов, В. Н. Золото в «черных сланцах» Урала [Текст] / В. Н. Сазонов, В. А. Коротеев, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, А. Я. Великанов // Литосфера. – 2011. – № 4. – С. 70-92. – 23 с.

Седов, Н. П. Подземное выщелачивание золота на месторождении Долгий мыс [Текст] / Н. П. Седов // Золотодобыча. – 2005. – № 77. – С. 7-9. – 3 с.

Серавкин, И. Б. Эндогенная металлогения южного Урала и общая оценка перспектив его Оренбургской части на колчеданное, медно-порфировое и золотое оруденение [Текст] / И. Б. Серавкин, С. Е. Знаменский // Геологический сборник. – 2007. – № 6. – С. 181-205.

Сердюченко, Д. П. О некоторых богатых бором осадочно-метаморфических фациях [Текст] / Д. П. Сердюченко // Доклады АН СССР. – 1955. – Т. 102, – № 4.

Силаев, В. И. Опыт сопряженного анализа изотопного состава углерода и азота в углеродистых веществах разного происхождения [Текст] / В. И. Силаев, И. В. Смолева, А. И. Антошкина, И. И. Чайковский // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2012. – № 15. – С. 342-366.

Сначёв, А. В. Углеродистые сланцы Каменского участка: геология и рудоносность (Южный Урал) [Текст] / А. В. Сначёв, В. И. Сначёв, М. А. Рассомахин, **А. В. Коломоец** // Горный журнал. – 2020. – № 2. – С. 24-29. – 6 с.

Сначёв, А. В. Использование термического анализа углеродистых сланцев при прогнозировании золотого оруденения (на примере Белорецкого метаморфического купола) [Текст] / А. В. Сначёв // Вестн. акад. наук Респ. Башкортостан. – 2015. – № 20 (3). – С. 28-35. – 8 с.

Сначёв, А. В. Перспективы углеродистых отложений центральной части Зауралья на благородные и редкие металлы [Текст] / А. В. Сначёв, Б. А. Пужаков, В. И. Сначёв, М. В. Рыкус // Электр. науч. журн. Нефтегазовое дело. – 2015. – № 2. – С. 123-142. – 20 с.

Сначёв, А. В. Модель золотообразования в углеродистых сланцах Южного Урала [Текст] / А. В. Сначёв, М. В. Рыкус, М. В. Сначёв, М. А. Романовская // Вестн. МГУ. – 2013. – № 2. – С. 49-57. – 8 с.

Сначёв, А. В. Геология петрогеохимия и рудоносность углеродистых отложений Южного Урала [Текст] / А. В. Сначёв, В. И. Сначёв, М. В. Рыкус, Д. Е. Савельев, Е. А. Бажин, Ф. Р. Ардисламов. – Уфа: ДизайнПресс, 2012. – 208 с.: ил. 96; табл. 53. – Библиогр.: 156 назв. – ISBN 978-5-9903523-6-0.

Сначёв, В. И. Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал) [Текст] / В. И. Сначёв, А. В. Сначёв // Вестн. ВГУ. – 2014. – № 4. – С. 79-87. – 9 с.

Сначёв, М. В. Использование термического анализа углеродистых сланцев при прогнозировании золотого оруденения (на примере Амурского месторождения) [Текст] / М. В. Сначёв, А. В. Сначёв // Геология, Изв. Отд-ния наук о Земле и природных ресурсов. – Уфа: Гилем, 2015. – № 21. – С. 101-106.

Страхов, Н. М. Основы теории литогенеза : в 3 т. [Текст] / Н. М. Страхов, АН СССР, Геол. ин-т. – 2-е изд. – М.: Изд-во АН СССР, 1960-1962.

Т. 1 : Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. – 1960. – 211 с..

Т. 2 : Закономерности состава и размещения гумидных отложений. – 1960. – 574 с.

Т. 3 : Закономерности состава и размещения аридных отложений. – 1962. – 550 с.

Стряпков, А. В. Сорбционное извлечение золота из растворов подземного выщелачивания на месторождении Васин [Текст] / А. В. Стряпков, И. Н. Паршина, Г. Ф. Райзман, Г. В. Ахмадеев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2005. – № 3. – С. 60-66. – 7 с.

Тейлор, С. Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция [Текст] / С. Р. Тейлор, С. М. МакЛеннан. – М.: Мир, 1988. – 384 с.

Уманский, А. Б. Моделирование процессов подземного выщелачивания [Текст] / А. Б. Уманский, А. Л. Смирнов // Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов XVI Рос. молод. науч. конф., посв. 85-летию со дня рождения проф. В. П. Кочергина (Екатеринбург, 25-28 апр. 2006 г.). – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2006. – С. 150-151. – 2 с.

Усатая, Е. С. К характеристике золоторудного месторождения «Сланцевая полоса» прииска Кумак (Южный Урал) [Текст] / Е. С. Усатая // Тр. треста золоторазведка и и-и геолого-разв. ин-та золота. – 1938. – Вып. 9.

Фазлуллин, М. И. О подземном выщелачивании золота [Текст] / М. И. Фазлуллин, В. В. Шаталов, Г. И. Авдонин, Р. Н. Смирнова, В. И. Ступин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2005. – № 3. – С. 52-59. – 8 с.

Фазлуллин, М. И. Перспективы подземного выщелачивания золота в России [Текст] / М. И. Фазлуллин, В. В. Шаталов, В. А. Гуров, Г. И. Авдонин, Р. Н. Смирнова, В. И. Ступин // Цветные металлы. – 2002. – № 10. – С. 39-46. – 8 с.

Хан, И. С. О перспективах применения кучного выщелачивания при добыче металлических полезных ископаемых в Оренбургской области [Текст] / И. С. Хан, П. В. Панкратьев, А. И. Ольхова // Материалы всероссийской научно-практической

конференции. Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2010. – С. 1495-1500. – 6 с.

Холодов, В. Н. О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов [Текст] / В. Н. Холодов, Р. И. Наумов // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1991. – Т. 12. – С. 74-82. – 9 с.

Чен-Лен-Сон, Б. И. Поиски и ГДП-200 в Оренбургском Зауралье [Текст] / Б. И. Чен-Лен-Сон // Урал. геолог. журн. – Екатеринбург, 2008. – № 1(61). – С. 56-58. – 3 с.

Юдович, Я. Э. Геохимия черных сланцев [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. – 272 с. : ил. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4475-5836-9.

Юдович, Я. Э. Геохимия черных сланцев [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Л.: Наука, 1988. – 272 с. : ил. 26; табл. 53. – Библиогр.: 588 наим. – ISBN: 5-02-024417-1.

Юдович, Я. Э. Химическая классификация осадочных горных пород [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Сыктывкар: Коми фил. АН СССР. – 1986. – 34 с. (Сер. препр. «Науч. докл.»; Вып. 148).

Юдович, Я. Э. Элементы-примеси в чёрных сланцах [Текст] / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис ; Рос. АН, Урал. отд-ние, Коми науч. центр, Ин-т геологии, [IGCP 254 "Metalliferous black shales" UNESCO]. – Екатеринбург : Наука : Урал. изд. фирма, 1994. – 304 с. – ISBN 5-02-007403-9

Baksheev, I. Tourmaline as a prospecting guide for the porphyry style deposits [Text] / I. Baksheev, V. Y. Prokof'ev, G. Zarskiy, A. Chitalin, V. Yapaskurt, Y. Nikolaev, P. Tikhomirov, E. Nagornaya, L. Rogacheva, N. Gorelikova, O. Kononov // European Journal of Mineralogy. – 2012. – Vol. 24. – P. 957-979.

Buseck, P. R. From organic matter to graphite: Graphitization [Text] / P. R. Buseck, O. Beyssac // Elements. – 2014. – Vol. 10. – P. 421-426.

Cabral, A. R. Platiniferous gold–tourmaline aggregates in the gold–palladium belt of Minas Gerais, Brazil: implications for regional boron metasomatism [Text] / A. R. Cabral, M. Tupinambá, A. Zeh, B. Lehmann, M. Wiedenbeck, M. Brauns, R. Kwitko-Ribeiro // Miner Petrol. – 2017. – Vol. 111. – P. 807-819.

Cline, J. S. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models [Text] / J. S. Cline, A. Hofstra, J. Munteau, D. Tosdal, K. Hickey // Economic Geology 100 th Anniversary volume. – 2005. – P. 451-484.

Des Marais, D. J. Isotopic evolution of the biogeochemical carbon cycle during the Proterozoic Eon [Text] / D. J. Des Marais // Organic Geochemistry. – 1997. – Vol. 27 (5). – P. 185-193.

Emsbo, P. Origin of high-grade gold ore, source of ore fluid components, and genesis of the Meikle and neighboring Carlin-type deposits, northern Carlin Trend, Nevada [Text] / P. Emsbo, A. H. Hofstra, E. A. Lauha, G. L. Griffin, R. W. Hutchinson // Economic Geology. – 2003. – Vol. 98, No. 4. – P. 1069-1105.

Fleet, M. E. Arsenian pyrite from gold deposits; Au and As distribution investigated by SIMS and EMP and color staining and surface oxidation by XPS and LIMS [Text] / M. E. Fleet, S. L. Chrysosoulis, P. J. MacLean, R. Davidson, C. G. Weisener // Can. Mineral. – 1993. – Vol. 31. – P. 1-17.

Gadd, M. G. Platinum, Pd, Mo, Au and Re deportment in hyper-enriched black shale Ni-Zn-Mo-PGE mineralization, Peel River, Yukon, Canada [Text] / M. G. Gadd, J. M. Peter, S. E. Jackson, Z. Yang, D. Petts // *Ore Geology Reviews*. – 2019. – Vol. 107. – P. 600-614.

Goldfarb, R. J. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes [Text] / R. J. Goldfarb, T. Baker, B. Dube, D. I. Groves, C. J. R. Hart, R. Gosselin // *Economic Geology*. 100th Anniversary Volume: Littleton, Colorado. Society of Economic Geologists. – 2005. – P. 407-450.

Groves, D. I. Gold deposits in metamorphic belts: Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and significance [Text] / D. I. Groves, R. J. Goldfarb, F. Robert, C. J. R. Hart // *Economic Geology*. – 2003. – Vol. 98. – P. 1-29.

Groves, D. I. Structural geometry of orogenic gold deposits: implications for exploration of world-class and giant deposits [Text] / D. I. Groves, M. Santosh, R. J. Goldfarb, L. Zhang // *Geoscience Frontiers*. – 2018. – Vol. 9. – P. 1163-1177.

Hazarika, P. Tourmaline as fluid source indicator in the late Archean Huttu orogenic gold deposit [Text] / P. Hazarika, B. Mishra // In: *Mineral Resources in a Sustainable World, Proceedings of 13th Biennial SGA Meeting (24-27 August 2015, Nancy, France)*. – Nancy, France: Université de Lorraine, 2015. – Vol. 2. – P. 465-467.

Herron, M. M. Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data [Text] / M. M. Herron // *Journal of Sedimentary Petrology*. – 1988. – Vol. 58. – P. 820-829.

Hutchinson, R. W. A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for greenstone-hosted goldlodes [Text] / R. W. Hutchinson // *Ore Geology Reviews* 8. – 1993. – P. 349-382.

Javoy, M. Carbon and nitrogen isotopes in the mantle [Text] / M. Javoy, F. Pineau, H. Delorme // *Chemical Geology*. – 1986. – Vol. 57. – P. 41-62.

Jiang, S. J. Chemical and boron isotopic variations of tourmaline in the Hnilec granite-related hydrothermal system [Text] / S. -J. Jiang, M. Radvanec, E. Nakamura, M. Palmer, K. Kobayashi, H. -X. Zhao, K. -D. Zhao // *Slovakia: Constraints on magmatic and metamorphic fluid evolution. Lithos*. – 2008. – Vol. 106, No. 1. – P. 1-11.

Jones, B. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones [Text] / B. Jones, D. A. C. Manning // *Chemical Geology*. – 1994. – Vol. 111. – P. 111-129. – DOI: 10.1016/0009-2541(94)90085-X.

Kolomoets, Alexandra. Carbonaceous matter in black-shale deposits of the Bredy Formation (Southern Urals) [Text] / Alexandra Kolomoets, Alexander Snachev, Irina Smoleva // *Kazan Golovkinsky Young Scientists' Stratigraphic Meeting «Sedimentary Earth System: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources»*. – Kazan: Kazan University Press, 2020. – P. 37.

Large, R. Multistage Sedimentary and Metamorphic Origin of Pyrite and Gold in the Giant Sukhoi Log Deposit, Lena Gold Province, Russia [Text] / R. Large, V. Maslennikov, F. Robert, L. Danyushevsky, Z. Chang // *Economic Geology*. – 2007. – Vol. 102. – P. 1233-1267.

Large, R. R. A Carbonaceous Sedimentary Source-Rock Model for CarlinType and Orogenic Gold Deposits [Text] / R. R. Large, S. W. Bull, V. V. Maslennikov // *Economic Geology*. – 2011. – Vol. 106, No 3. – P. 331-358.

London, D. Boron in granitic rocks and their contact aureoles [Text] / D. London, G. Morgan, M. Wolf // *Reviews in Mineralogy*. – 1996. – Vol. 33. – P. 299-330.

Nesbitt, H. W. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [Text] / H. W. Nesbitt, G. M. Young // *Nature*. – 1982. – Vol. 299. – P. 715-717.

Nesbitt, B. E. Genetic implications of the stable isotope characteristics of mesothermal Au deposits and related Sb and Hg deposits in the Canadian Cordillera [Text] / B. E. Nesbitt, K. Muehlenbachs, J. B. Murrowchick // *Economic Geol* 84. – 1989. – P. 1489-1506

Ridley, J.R. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models [Text] / J.R. Ridley, L. W. Diamond // *Reviews in Economic Geology* – 2000. – Vol. 13. – P. 141-162.

Roser, B. P. Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data [Text] / B. P. Roser, R. J. Korsch // *Chemical Geology*. – 1988. – Vol. 67. – P. 119-139.

Sokol, E. V. Boron fate in an onshore mud volcanic environment: case study from the Kerch Peninsula, the Caucasus continental collision zone [Text] / E. V. Sokol, S. N. Kokh, O. A. Kozmenko, V. Yu. Lavrushin, E. V. Belogub, P. V. Khvorov, O. Kikvadze // *Chemical Geology*. – 2019. – Vol. 525. – P. 58-81.

Shumilova, T. G. Metal concentrations and carbonaceous matter in the black shale type rocks of the Urals [Text] / T. G. Shumilova, S. S. Shevchuk, S. I. Isayenko // *Doklady Earth Sciences*. – 2016. – Vol. 469 (1). – P. 695-698.

Van Kaam-Peters, H. M. E. Controls on the molecular and carbon isotopic composition of organic matter deposited in a Kimmeridgian euxinic shelf sea: Evidence for preservation of carbohydrates through sulfurization [Text] / H. M. E. Van Kaam-Peters, S. Schouten, J. Koster, J. S. Sinninghe Damste // *Geochimica Cosmochimica Acta*. – 1998. – Vol. 62. – P. 3259-3284.

Verma, S. P. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins [Text] / S. P. Verma, J. S. Armstrong-Altrin // *Chemical Geology*. – 2013. – Vol. 355. – P. 117-133.

Vilor, N. V. Gold in black shales [Text] / N. V. Vilor // *Geochemistry International* 20. – 1983 – P. 167-177.

Voudouris P. Tourmaline from the Fakos porphyry-epithermal Cu-Mo-Au-Te prospect, Limnos island, Greece: mineral-chemistry and genetic implications [Text] / P. Voudouris, I. A. Baksheev, C. Mavrogonatos, P. G. Spry, A. Djiba, U. Bismayer, K. Papagkikas, A. Katsara // *Bulletin of the Geological Society of Greece*. – 2019. – Sp. Pub. 7. – P. 329-330.

Wignall, P. B. Interpreting the benthic oxygen levels in mudrocks: A new approach [Text] / P. B. Wignall, K. J. Myers // *Geology*. – 1988. – Vol. 16. – P. 452-455.

Фондовая

Альбов, М. Н. Исследование руд и горных пород Кумакского золоторудного месторождения [Текст] : Окончательный отчет по договору № 27/64 дс с Кумакским рудопроявлением Южно-Уральского Совнархоза / М. Н. Альбов, Д. М. Меркулов. – Оренбург, 1965. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3401.

Болтыров, В. Б. Изучение перспектив выявления месторождений золото-углеродисто-сульфидной формации (черносланцевого типа) на южном продолжении Кумакской золоторудной зоны Урала с составлением карты золотоносности масштаба 1:50000 в пределах листов М-40-60-А,Б,В,Г; М-40-72-А,Б,В,Г; М-40-84-Б,Г; М-40-96-Б,Г [Текст] : отчет / В. Б. Болтыров, В. Г. Рудский, Е. А. Слободчиков. – Оренбург, 1980. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 7783.

Бородаевский, Н. И. Изучение рудоконтролирующих структур, глубины промышленного оруднения и размещения золотоносности в Кочкарском и Кумакском районах (Южный Урал) [Текст] : отчет / Н. И. Бородаевский [и др.] – Оренбург, 1966. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3709.

Борсук, В. И. Геологический очерк Кумакского района Оренбургской области [Текст] / В. И. Борсук. – Оренбург, 1936. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 1000.

Бурмин, Ю. А. Окончательная перспективная оценка Кумакского золоторудного узла и рекомендации по направлению дальнейших поисково-разведочных работ [Текст] : отчет по теме В.18.6.4: «Окончание работ по изучению эндогенной золотоносности Кумакского узла» / Ю. А. Бурмин. – Оренбург, 1965. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3387.

Воин, М. И. Особенности локализации оруднения на Кумакском рудном поле и методика предварительной перспективной оценки рудных полей Кумакского типа [Текст]: дис. канд. геол.-минер. наук / М. И. Воин. – Оренбург, 1967. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3882.

Воин, М. И. Об основных особенностях геологического строения и золотоносности Кумакского рудного поля [Текст] : полевой отчет о работах Кумакского отряда ЦНИГРИ в 1962 г. / М. И. Воин, В. Н. Вихтер. – Оренбург, 1962. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 2556.

Дубенко, И. Г. Отчет о геологической деятельности рудника за 1961 год [Текст] / И. Г. Дубенко. – Оренбург, 1962. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 2253.

Лозовой, М. В. Отчет Кумакской геолого-съемочной партии за 1958-1960 гг. [Текст] / М. В. Лозовой, М. Я. Черепова, Ю. М. Петров. – Оренбург, 1961. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 01210.

Максимов, В. А. Окончательный отчет о поисковых работах на золото в Кумакском золоторудном районе [Текст] : Кумакский отряд 1963-1964 гг. Светлинский район Оренбургской области / В. А. Максимов. – Оренбург, 1965. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3390.

Миронов, Е. Е. Отчет о результатах поисковых работ, проведенных в

пределах Кумакского золоторудного узла в 1974-1979 гг. [Текст] / Е. Е. Миронов, М. И. Новгородова. – Оренбург, 1980. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 7586.

Никифоров, Н. А. Отчет о геофизических исследованиях на золоторудном месторождении Кумак, произведенных в 1938 г. [Текст] / Н. А. Никифоров. – Оренбург, 1939. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 2368.

Сорокин, В. Н. Отчет Кумакского тематического отряда по теме: Изучение минералогии северной части Кумакского месторождения с целью выявления закономерностей золотого оруденения [Текст] / В. Н. Сорокин, С. М. Герман. – Оренбург, 1965. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 3304.

Харькевич, К. А. Разведка золоторудного месторождения Васин в восточном Оренбуржье [Текст] / К. А. Харькевич. – Оренбург: ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., 2007.

Шашкин, А. Ф. Отчет о результатах геофизических работ, проведенных Кумакской геофизической партией в Адамовском районе Оренбургской области в 1960 году [Текст] / А. Ф. Шашкин, М. В. Копанева. – Оренбург, 1961. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 966.

Якобс, Е. И. Геологическое строение и полезные ископаемые Кумакского рудного района [Текст]: отчет Кумакской партии по глубинному геологическому картированию территории листов М-41-25-А и В в масштабе 1:50000 в 1974-1978 гг. / Е. И. Якобс, Н. Т. Видюков [и др.]. – Оренбург, 1978. – Деп. в ФГУ «ТФИ по ПрФО», Оренб. фил., Инв. № 7238.