

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт Наук о Земле
Кафедра региональной геологии

Сигаев Александр Игоревич

**Структурно-литологический контроль размещения прожилково -
вкрапленной минерализации всячего крыла зоны «надвиговая»
Бадранского рудного поля (Верхне - Индигирский район, республика
Саха (Якутия))**

Выпускная квалификационная работа магистра

Научный руководитель: к.г.-м.н.,
доцент кафедры региональной геологии
Сычёв Сергей Николаевич

Научный консультант: к.г.-м.н.
Войтенко Вячеслав Николаевич

Санкт-Петербург, 2019

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Геологическое строение района	4
1.1. Географическое положение	4
1.2. Стратиграфия	5
1.3. Магматизм	10
1.4. Метаморфизм	10
1.5. Тектоника.....	10
Глава 2. Структурно-тектонические особенности Бадранского рудного поля	15
1.1. Прожилково-вкрапленное оруденение	25
1.3. Характеристика основных типов рудных прожилков.....	35
Глава 3. Структурное моделирование жильно-прожилкового оруденения.....	39
Глава 4. Петрографический состав рудовмещающих пород.....	50
Глава 5. Минеральный состав руд и стадии минерализации	54
Заключение.....	66
Литература.....	68

Введение

Бадранское золоторудное поле в металлогеническом отношении приурочено к одноименному золоторудному району Адыча-Нерской металлогенической зоны Яно-Колымского коллизионного металлогенического пояса. Месторождение относится к гидротермально-метасоматическому типу и находится в надвиговой зоне Яно-Колымского складчатого пояса. Основные рудные тела месторождения приурочены к плоскости Бадран-Эгеляхского надвига. Эти рудные тела несут основное оруденение, легко трассируется ввиду их приуроченности к разлому, соответственно, основная добыча связана именно с ними. Логично, что с течением времени запасы, связанные с этими рудными телами, истощаются, и возникает необходимость поиска других источников золотого оруденения.

Учитывая гидротермально-метасоматический генезис месторождения и жильную природу основных рудных тел, в первую очередь на себя обращают внимание генетически связанные с основным источником оруденения структуры – жилы и прожилки соответствующих блоков рудоконтролирующего надвига. Все основные рудные тела и оперяющие Бадран-Эгеляхский надвиг разломы относятся к висячему крылу. С ним же связано прожилково-вкрапленное оруденение. Такое положение весьма ожидаемо, учитывая резко различающиеся структуры лежачего и висячего блоков – висячий значительно сильнее деформирован, рассечен большим количеством разнонаправленных мелкоамплитудных нарушений, в отличие от лежачего блока. В зависимости от пространственного расположения несущих золотое оруденение жил и прожилков, рациональны различные методы их разработки.

Таким образом, основной целью работы является установление факторов, контролирующих распределение золотоносных жил и прожилков с последующим заключением об их пространственном положении.

Для достижения этой цели выполнены:

- Типизация жил и прожилков на основе структурно-тектонического подхода
- Анализ структурной картины района с построением разрезов через основные области оруденения
- Наглядное представление пространственного распределения выделенных типов жил и прожилков
- Петрографический анализ рудовмещающих толщ, рудных минералов и стадий минерализации

Фактический материал, использованный автором: база данных по 20 скважинам, база данных маршрутов ГЦ СПбГУ, 50 шлифов, 20 аншлифов.

Глава 1. Геологическое строение района

1.1. Географическое положение

Золоторудное месторождение Бадран находится на территории Оймьяконского улуса Республики Саха (Якутия). От административного центра улуса – пос. Усть-Нера – месторождение удалено на 134 км к юго-западу. Месторождение расположено в бассейне одноименного ручья на правом берегу р. Бол. Селерикан, который, в свою очередь, является правым притоком р. Эльги (рис.1.1).



Рис.1.1. Географо-экономическая карта верховьев р. Инди́гирка (Емельянов, 2006).

1.2. Стратиграфия

Район работ расположен в пределах Тарынской структурно-фациальной зоны. Бадранский рудный узел в геологическом отношении сложен терригенными породами верхоянского комплекса норийского яруса верхнего триаса и четвертичными отложениями.

Суммарная мощность норийских пород составляет более 3870-4850 м. В основании и верхней части разреза преобладают алевролиты, в средней - песчаники. Фациальных изменений и перерывов в осадконакоплении не установлено. По данным работ предшественников: Ахьев М.Р. 1981г., 1986 г., Старыгина Н.В. 1996 г. степень фаунистической охарактеризованности позволяет расчленить норийский ярус на нижний, средний и верхний подъярусы (рис.1.2). В составе которых выделяются четыре свиты: сюррампинская, быйттахская, черняйская и былиньинская, относящиеся к соответствующим лонам.

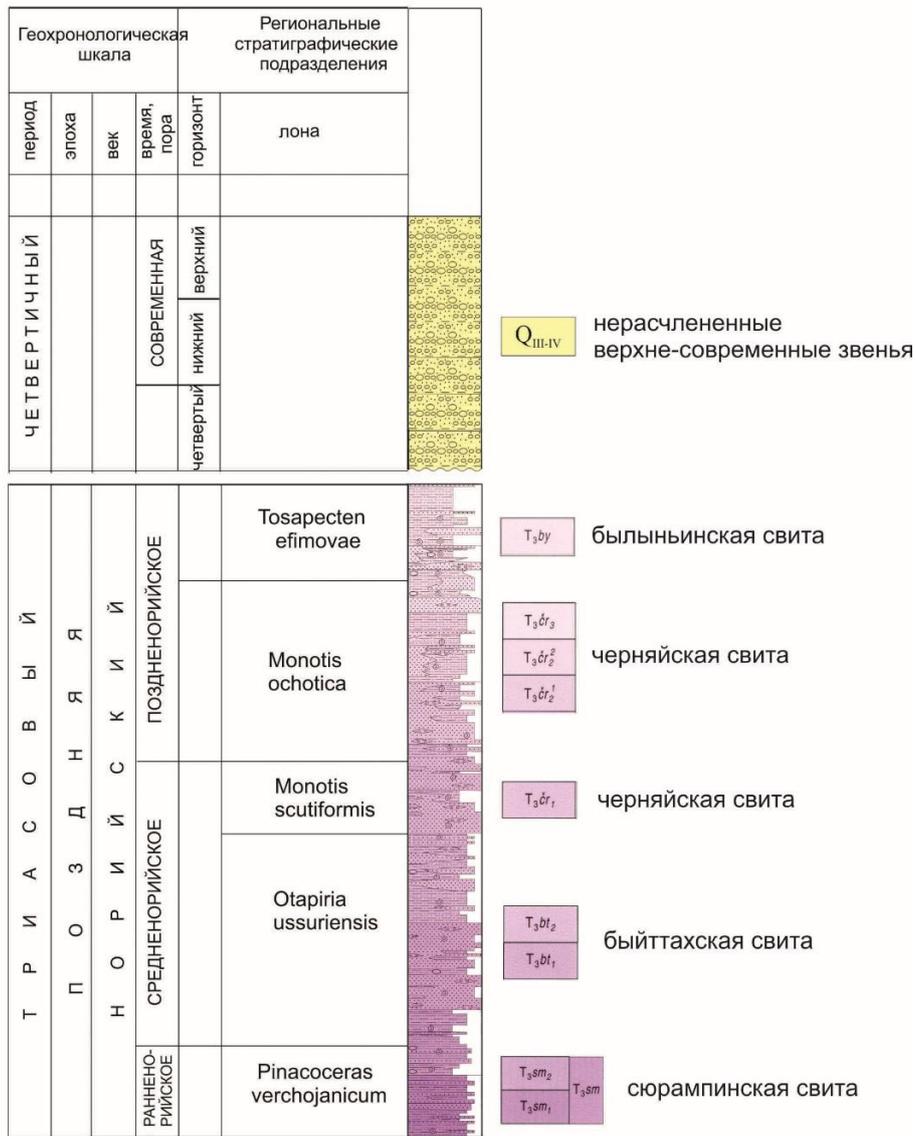


Рис.1.2. Стратиграфическая колонка месторождения Бадран.

Нижний подъярус

Лона Pinacoceras verehojanicum

Сюрампинская свита (T_{3sr}) сложена монотонными отложениями алевролитов, песчанистых алевролитов, местами переходящими в алевропесчаники. Текстура пород комковатая и линзовидно-комковатая. Отмечаются маломощные (0,5-5м) прослой серых полимиктовых песчаников, количество которых заметно возрастает вблизи кровли свиты. Общее количество песчаников в разрезе свиты не превышает 2%. Часто отмечаются стяжения пирит-марказита, иногда весьма обильные - до первых процентов. По данным Ахьяева (1981г.) отложения свиты характеризуются аномально высоким фоновым содержанием золота 8,8 мг/т, что в 6,7- 5,5 раз выше, чем в других алевропесчаниковых подразделениях верхнего триаса. Таким образом, сюрампинская свита может играть роль рудоматеринской толщи при благоприятных условиях. Свита имеет неустановленную мощность более 700м, судя по выходам отложений в ядрах талалахской и тумаринской антиклиналей.

Средний подъярус

Лона Otapiria ussuriensis

Быйтгахская свита (T_{3bt}).

Нижняя подсвита (T_{3bt}) залегает согласно с отложениями сюрампинской свиты. Сложена сероватыми, зеленовато-серыми мелкозернистыми песчаниками полимиктового, реже кварц- полевошпатового состава с маломощными прослоями темно-серых алевролитов. Присутствуют прослой линз известковых разностей и конгломератов. Мощность подсвиты 220-280м.

Средняя подсвита (T_{3bt2}) сложена чередованием неравномерно-выдержанных толщ сероватых, зеленовато-серых слоистых, массивных, в основном мелкозернистых песчаников, мощностью 30-80 м с пакетами мелкого (первые метры) переслаивания темно-серых, черных алевролитов, песчанистых алевролитов, алевропесчаников тонкопрерывисто-слоистых, комковатых, с серыми, зеленовато-серыми тонкослоистыми песчаниками. Редко отмечаются массивные разности. Мощность таких пакетов переслаивания составляет от 30 до 100 м. В низшей части разреза подсвиты повсеместно отмечается достаточно мощный (80-150 м) пласт серых, массивных мелко- и среднезернистых песчаников, в которых отмечаются единичные линзовидные прослой мелко- и среднегалечных конгломератов и известковых песчаников, мощностью от 0,4 до 2м. Мощность подсвиты в разных частях изученной территории колеблется от 390 до 720 м.

Верхняя подсвита (T_{3bt_3}) представлена пластами серых, зеленовато-серых, мелко и среднезернистых песчаников, мощностью от 20 до 40 м. Таких пластов обычно четыре, и они расположены в разрезе подсвиты достаточно равномерно, разделенные пакетами переслаивания песчаников, алевролитов, алевропесчаников с интервалами 2-6 м. В основании подсвиты мощность такого пакета составляет 220 м. Мощность подсвиты варьирует от 600 до 780 м (на севере площади). Суммарная мощность свиты составляет 1200-1780 м.

Лона *Monotis scutiformis*

Черняйская свита (T_{3cr}). Нижняя подсвита (T_{3cr_1}) согласно залегает на отложениях быйттахской свиты. Представлена полимиктовыми серыми, светло-серыми, зеленовато-серыми, средне- и мелкозернистыми песчаниками. Реже отмечаются кварц-полевошпатовые разности. В центральной части разреза подсвиты присутствуют маломощные прослои песчаных алевролитов и алевролитов, а в основании - линзы конгломератов и известковых песчаников. Мощность подсвиты варьирует от 280 до 500 м.

Верхний подъярус

Лона *Monotis ochotica*

Средняя подсвита (T_{3cr_2}) сложена пластами монотонного переслаивания алевролитов и песчаников, при более широкой распространенности последних. Пласты алевролитов имеют мощность от 20 до 30 м, песчаники – 20-70 м. Песчаники серые, зеленовато-серые, мелко-, среднезернистые полимиктового состава, редко светло-серые кварц-полевошпатовые. В основании разреза подсвиты отмечались разномасштабные темно-серые, серые граувакки. В верхней части подсвиты песчаники заметно преобладают. В них отмечаются линзовидные маломощные прослои известковистых песчаников и конгломератов. Мощность подсвиты составляет 400-500 м.

Породы верхней подсвиты (T_{3cr_3}) представлены неравномерным переслаиванием серых средне-, мелкозернистых (до тонкозернистых), в большинстве своём массивных песчаников, мощностью до 80 м и темно-серых, обычно песчаных алевролитов, алевропесчаников, мощностью 20-40 м. В песчаниках обычны линзовидные прослои известняковых разностей. Соотношение песчаников и алевролитов примерно одинаковое. Мощность подсвиты составляет 500-570 м. Общая мощность свиты 1180-1550 м.

Лона *Tosapecten efimovae*

Былыньинская свита (Т_{3b1}) нерасчленена и без видимого несогласия залегает на отложениях черняйской свиты. Представлена весьма монотонной слоистой толщей черных массивных песчаников, слабо песчанистых алевролитов и комковатых тонко-прерывисто-слоистых, тонкослоистых темно-серых алевропесчаников. По всему разрезу свиты отмечаются маломощные (от 0,5-3 м до 8 м) прослои серых, темно-серых, мелкозернистых, реже среднезернистых полимиктовых песчаников. Иногда отмечаются прослои тонкозернистых, с примесью алевролитового материала, песчаников. Текстура песчаников преимущественно тонкослоистая, редко - массивная. Практически по всему разрезу свиты отмечаются пирит-марказитовые конкреции, в отдельных интервалах до 2-3%. Изредка отмечаются кремнисто-глинистые конкреции. Неполная мощность свиты на площади рудного узла оценивается более 800 м.

Структуры, сложенные быйтгахской и черняйской свитами, представленных переслаиванием песчаниковых и алевролитовых пластов и пачек, хорошо дешифрируются на АФС контрастным полосчатым и крупнопосчатым фототонном. Существенно алевролитовые толщи сюррампинской и былыньинской свит на водораздельных и приводораздельных участках дешифрируются темным слабоконтрастным тонкополосчатым фототонном и при структурном картировании являются четкими литостратиграфическими реперами.

Четвертичная система

Четвертичные образования представлены аллювиальными, пролювиальными отложениями позднечетвертичного и современного возраста.

Верхне-современные звенья нерасчлененные (Q_{III-IV}). По данным УКБ установлено широкое развитие погребенных рыхлых образований (аллювиальных, делювиально-солифлюкционных, пролювиальных, алювиально-пролювиальных) верхнего звена под днищем долин рек Бол.Селерикан, Индигирки и их наиболее крупных притоков (Ахьяев, 1986). Кроме того, делювиально-солифлюкционные, пролювиальные отложения днищ долин, террасоувалов, увалов мелких водотоков, распадков имеют поздне-четвертично-современный возраст, т.е. - полихронны. Эти отложения представлены глинами, супесями, песком со щебнем и дресвой местных пород. Их мощность колеблется в весьма широких пределах: от 3-4 до 30 и более метров (руч.Бадран, Надеждин и др.). То же самое применительно к пролювиальным отложениям конусов выноса, мощность которых

достигает как минимум 10-12 м. Материал конусов выноса идентичен материалу делювиально-солифлюкционных образований. Элювиальные и склоновые образования здесь не рассматриваются.

Современное звено (Q_{IV}). Современные отложения достаточно широко развиты в пределах изучаемой площади и представлены в основном водными формами. Отложения слагают аллювий аккумулятивных и смешанных террас 1 и 2 надпойменных уровней (до 10-12 м) в долинах основных водотоков и их наиболее крупных притоков. Представлены плохо сортированными галечниками, гравием, щебнем с песком, супесями, редкими линзами илистой глины. По литологии обломочная составляющая соответствует размываемым коренным породам - песчаникам, алевропесчаникам, алевролитам. В данном случае отложения также участвуют в строении высокой и низкой пойм всех водотоков. Высокая пойма крупных водотоков обычно сложена переслаивающимися илами и глинами. Пойма мелких водотоков сложена гравийно-галечными отложениями с песчано-глинистым цементом. Нередки крупные гальки и валуны различной размерности и окатанности. Мощность современных отложений 3-5 до 30 м.

Описанные подразделения четвертичной системы, в основном это относится к аллювиальным отложениям, промышленно золотоносны.

Петрографическая характеристика осадочных пород. Представлены они песчаниками, алевролитами и их переходными разновидностями с редкими маломощными линзами конгломератов. Состав пород существенно изменяется по величине слагающих их частиц, вследствие чего обычны самые разнообразные переходы между алевролитами и песчаниками, фациальные замещения одних разновидностей другими. Характерна для всех пород повышенная карбонатность и высокое содержание углистого материала.

Алевролиты имеют темно-серый цвет, массивную либо слоистую текстуру. Структура пород алевролитовая и пелоалевролитовая с цементом порового, реже базального типа. Обломочная часть занимает 50-80% от общего объема породы и сложена угловатыми зернами кварца (50-70%), полевых шпатов (20-40%), обломками пород (до 3-5%). В незначительном количестве (до 1-2%) присутствуют слюда и акцессорные минералы. Постоянно в небольших количествах присутствуют гидроокислы железа.

Песчаники в основном серого, буровато-серого, темно-серого цвета. Текстура пород массивная реже слоистая. Структура полимиктовая (от мелко-до крупнозернистой), участками конформно-регенерационная; цемент порового и контактного типов. Обломочная часть занимает до 80-90% общего объема пород и сложена кварцем (50-90%), полевым шпатом (5-35%), обломками пород (5-25%), слюдой и акцессорными минералами (1-2%). По составу новообразованных в цементе минералов выделяются следующие виды

цемента минералов выделяются следующие виды цемента: серицит-хлоритовый с примесью кварца и карбоната либо без примесей; кварц-серицит-хлоритовый с примесью карбоната; кварцевый с примесью хлорита, серицита, карбоната; карбонат-серицит-хлоритовый с примесью кварца; карбонатно-кварцевый с хлоритом и серицитом; карбонатный с примесью хлорита, серицита и кварца.

1.3.Магматизм

В районе Бадранского рудного узла магматические образования не развиты. Ближайший к району работ Быс-Юряхский массив гранитов раннемелового возраста находится в 30 км юго-восточнее. По данным геофизических исследований (Бузиков, 1974г.), в бассейне ручьев Лев.Тумара и Кенгней предполагается нескрытый массив магматических пород среднего состава. Судя по конфигурации поля силы, массив имеет размеры 6*15 км и вытянут в северо-восточном направлении. Оценочная глубина залегания массива – более 3 км от дневной поверхности.

1.4.Метаморфизм

По данным М.Р.Ахьяева (1986г.) в пределах Бадранского рудного узла региональный метаморфизм пород достиг уровня зеленосланцевой фации. Выделяются субфации: хлорит-серицит-карбонатная, серицит-хлоритовая и хлорит-карбонатная. В северной части узла породы метаморфизованы до уровня биотитовой зоны мусковит-роговиковой фации. Совместное нахождение серицит-хлоритовой субфации и зоны биотита весьма благоприятно для золотого оруденения. Касаемо самого месторождения, по результатам работы ГЦ СПбГУ 2015-2016 годов распространенных признаков зеленосланцевого метаморфизма найдено не было, лишь единичные находки зерен хлорита.

1.5.Тектоника

Площадь района расположена в центральной части Яно-Колымской складчатой зоны, в пределах одной из её крупнейших структур - Эльгинского складчатого глыбового поднятия, тектоническое строение которого характеризуется сочетанием линейных и брахиформных складок, отсутствием их единой ориентировки и осложненностью разломами различных направлений. В тектоническом строении (Рис. 1.2.) Бадранского рудного узла участвуют фрагменты Талалахской и Селериканской антиклиналей и

разделяющей их Мугурдахской синклинали. Данные пликативные нарушения являются структурами 1 порядка для района работ.

Талалахская антиклиналь представлена своим юго-западным крылом, обнажающимся на севере изученной площади. Структура сложена породами сюррампинской и быйттахской свит. Отложения имеют общее падение на юго-запад под углами от 5-15° до 30-40° и характеризуются слабой дислоцированностью. Осложняющая складчатость отмечалась на отдельных участках в зоне сочленения с Мугурдахской синклиналью и представлена единичными складками брахиформного типа (бассейн ручьев Безводный и Дымный).

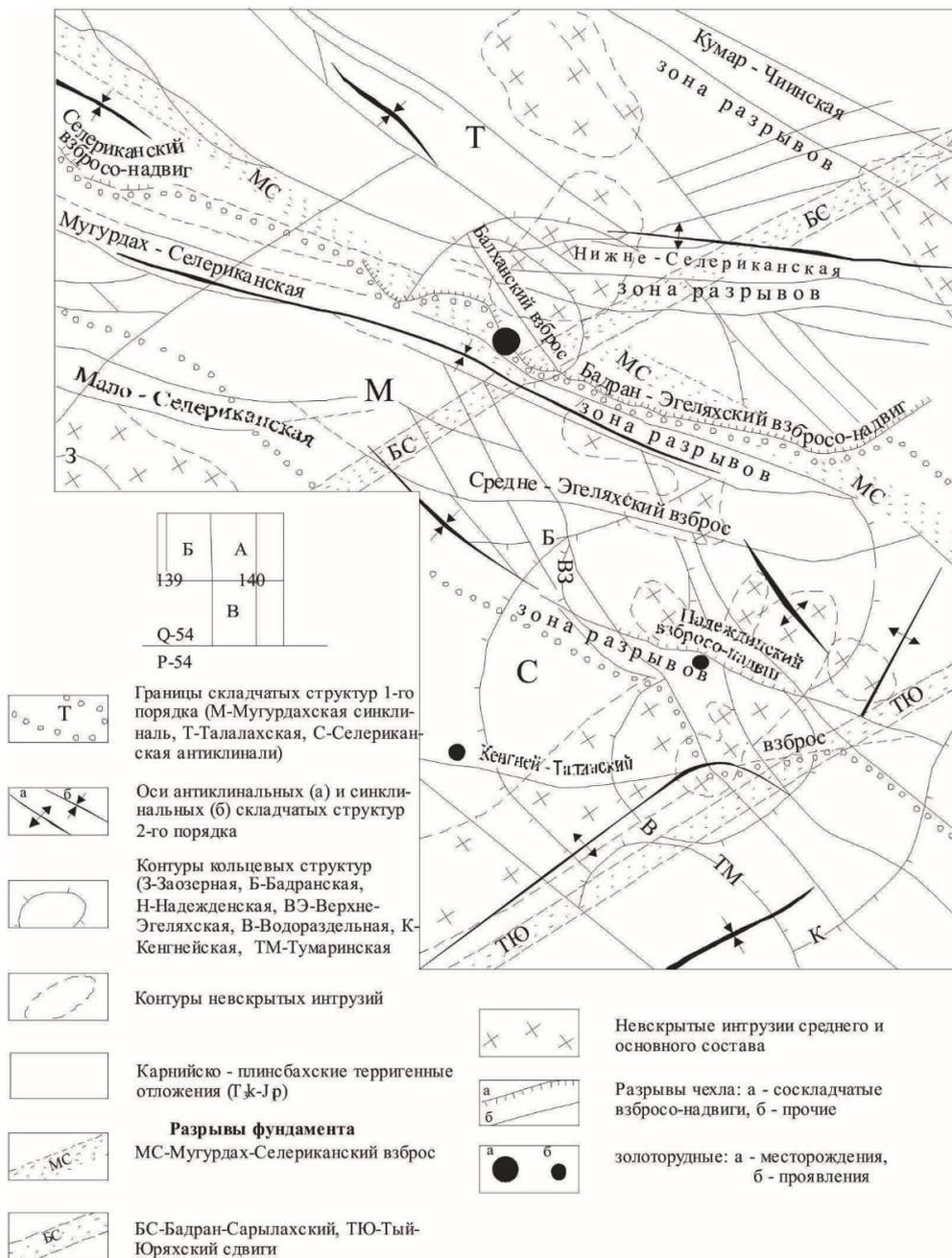


Рис.1.3. Тектоническая карта района месторождения (Шудов,2012).

Складки характеризуются ассиметричным строением, с углами падения пород на крыльях структур от 15-30 до 60-70° и имеют протяженность до 1-2 км при ширине 400-800 м. Формирование этих структур тесно связано со становлением Бадран-Эгеляхского взбросо-надвига, который является границей между Талалахской антиклиналью и Мугурдахской синклиалью.

Мугурдахская синклиаль занимает центральную часть площади, южная граница с Селериканской антиклиналью проводится по подошве пород черняйской свиты. Структура сложена отложениями черняйской и балыньинской свит, отличающиеся здесь значительной "дислоцированностью". Ширина складки составляет в среднем 7-10 км, осложнена серией кулисообразно расположенных складок высоких порядков линейного типа. С севера на юг выделяются: Халбалахская, Эгеляхская синклинали и разделяющая их Надеждинская антиклиналь. Для первой из них характерным являются изоклиналильные опрокинутые мелкие складки с крутыми углами (60-80°) падения пород на крыльях. Две последние складки ассиметричные с падением крыльев от 30° до 60°. Общим для структур, осложняющих Мугурдахскую синклиаль, является значительная протяженность 10-20 км, при ширине 2-3 км. Оси складок совпадают с простиранием секущих и смещающих их разломов.

По данным геофизических исследований выделена зона глубинного Мугурдах-Селериканского разлома северо-западного простирания, пространственно совпадающая с Мугурдахской синклиалью. Очевидно она является отраженной структурой и фиксирует разлом палеозойского фундамента.

Селериканская антиклиналь занимает южную часть площади работ. Осложнена двумя антиклинальными: Талалах-Мулканской и Тумаринской, а также синклиальными: Танинской и Быгыйынахской брахиформными складками. Ядра первых сложены породами сюрэмпинской и быйтгахской свит, мульды синклиналей - отложениями черняйской свиты. Ширина складок составляет 6-8 км, длина - 10-15 км. Структуры ассиметричные, углы падения крыльев не превышают 20-40°.

Мелкоамплитудная складчатость в пределах Бадранского рудного узла развита сравнительно слабо. Представлена различно ориентированными дисгармоничными приразломными складками с размахом крыльев до 3-10 м и крутым (до запрокинутого) залеганием (60-80°).

Складчатые структуры изученной площади в значительной степени осложнены разрывными нарушениями преимущественно запад-северо-западной (до субширотной) и

северо-северо-западной (до северо-западной) ориентировки. Резко подчиненную роль имеют разрывы северо-восточного направления.

К первой системе разрывов относятся Бадран-Эгеляхский и Надеждинский взбросо-надвиги, Халбалохский, Средне-Эгеляхский и Кенгней-Танинский взбросы. Ко второй - Балханский. Право-Надеждинский, Кенгней-Халбалохский и Тумаринский взбросы, а также субпараллельные им менее амплитудные разрывы. Крупные разломы часто ветвятся, теряют амплитуду, а при значительной монотонности разреза, по ним практически невозможно определить характер перемещений и взаимоотношений между разнонаправленными разломами.

По простиранию строение зон разломов сильно изменчиво, мощность на коротких расстояниях может меняться от 0,1 - 0,2 до 3-5 м. В разных своих частях они представлены зонами дробления и милонитизации, зонами кварцевого и карбонатно-кварцевого прожилкования, иногда кварцевыми и карбонат-кварцевыми несущими золотое оруденение. Рудная минерализация в них распределена также крайне неравномерно.

Ниже дается краткая характеристика отдельных, наиболее изученных дизъюнктивов, вмещающих или контролирующих золотое оруденение. Одним из них является Бадран- Эгеляхский взбросо-надвиг, в пределах которого выделяется хорошо изученная золотоносная зона «Надвиговая».

Бадран-Эгеляхский взбросо-надвиг своим 20-км отрезком пересекает изученную площадь и уходит за ее пределы. Среднее простирание зоны 290-295°. Плоскость сместителя наклонена на северо-восток под углом 24-30° в районе месторождения, до 50-60° на флангах. Амплитуда перемещения по надвигу оценивается в 600-800м. Шов надвига выполнен тектонически проработанными породами балыньинской и верхнечерняйской (лежащий блок) и быйттахской (висячий блок) свит, вмещающих гидротермолиты с золотым оруденением.

Мощность минерализованной зоны дробления варьирует от 0,5 до 7 м. Милониты являются наиболее распространенным материалом зоны дробления. Их субстратом являются алевролиты и алевропесчаники. Массивные песчаники присутствуют в милонитах в виде будин, размером от первых см до 0,5-0,7м, иногда в виде ксенолитов в несколько метров.

Контакты зоны милонитизации четкие, волнистые с зеркалами и бороздами скольжения. Ориентировка борозд совпадает с направлением плоскости сместителя и указывает на соответствующее перемещение блоков.

Практически во всех пересечениях устанавливаются пострудные подвижки, выразившиеся в дроблении и будинировании гидротермального материала, вплоть до милонитизации.

Остальные разрывы первой системы являются секущими по отношению к пликативным структурам района. Имеют протяженность до 20-30 км и более. Падение плоскости сместителя варьирует от 25-60° для взбросо- надвигов, до 70-85° для взбросов. Сопровождаются дизъюнктивы мощными от 2-4 м до 10- 20 м зонами дробления, образуя широкие депрессии в рельефе. На аэрофото- и космоснимках выделяются в виде прерывистых темных полос. Амплитуда тектонических перемещений в большинстве случаев достигает нескольких сотен метров.

Глава 2. Структурно-тектонические особенности Бадранского рудного поля

Золоторудная минерализация рассматриваемого месторождения приурочена к сместителю основного дизъюнктива района – Бадран-Эгелехскому взбросо-надвигу.

Надвиг представляет из себя пологопадающую (30 градусов в первых 500м по падению на северо-восток, далее до 55 градусов) зону с кварц-сульфидной минерализацией образующую практически единое рудное тело мощностью 0,4-17м (в среднем 5,1м).

Само рудное тело имеет достаточно сложное несплошное строение наиболее представительными элементами которого можно считать милонитизированные вмещающие породы, кварцевые жилы различных типов (сетчатые, массивные, извилистые и т.п.) и тектониты различной степени переработки. В виду значительных локальных различий в тектонических условиях, район месторождения можно разбить на несколько доменов, основными критериями для выделения которых можно принять развитие массивных рудных тел, приуроченных к зоне Надвиговая и оперяющих их рудоносных структур более высокого порядка, т.к. они своей морфологией и положением напрямую связаны с тектонической перестройкой в момент их заложения.

Основным структурным парагенезисом для масштабов изучаемого рудного поля является дуплекс сжатия, образованный в результате взбросо-сдвиговых многостадийных полихронных дислокаций вдоль поверхности зоны «Надвиговая». Он имеет сегментное строение, осложненное разрывными нарушениями того же простирания, что и сместитель главной зоны (рис.2.1). Эти осложняющие разрывы имеют ту же, взбросо-сдвиговую, кинематику, что и основной. Они также имеют рудоносную минерализацию, прослеживаемую по простиранию выхода на поверхность их сместителей. Наиболее значимым в плане минерализации является Балханский взбросо-надвиг, ответвляющийся от зоны Надвиговой на северо-запад.

Полосчатость выражена чередованием полос различной окраски от серой до темно-серой и черной. Наиболее хорошо она выражена в лежащем и висячем крыльях надвига, в самой же зоне зачастую затушевана и различается слабо.

Из всех структурных признаков полосчатость рассматривается как наиболее ранний элемент, маркирующий своими изменениями эволюцию структурного плана месторождения.

Достаточно устойчивые элементы залегания в висячем крыле говорят о том, что каково бы ни было происхождение полосчатости, оно в целом образует плоско- или линзовидно-полосчатую макроструктуру, осложненную на отдельных участках

внутрипластовыми или приразломными складками. Статистический анализ элементов залегания к северо-востоку от зоны Надвиговая показывает их пологое залегание (азимут падения 120-170 угол падения $\angle 10-20$). К юго-западу элементы залегания меняются на перпендикулярные по азимуту падения и значительно более крутые по углу.

Сланцеватость выражена дезинтеграцией пород от грубого рассланцевания до тонкого разлистования. По отношению к полосчатости сланцеватость может занимать различное положение от субпараллельного до секущего.

Наиболее хорошо сланцеватость проявляется в самой зоне надвиговой и на её периферии, тогда как во вмещающих породах значительно реже.

Сланцеватость фиксируется в виде: осложнений крыльев принадвиговых складок, структур обтекания будин, зон рассланцевания, согласных или секущих полосчатость. Ориентировка сланцеватости может быть самой различной. Обычны структурные узоры s-образной или складчатой конфигурации. Часто фиксируются хаотичные макроструктуры, вызванные совместной деформацией различно ориентированной рассланцовки. По отношению к контактам сланцеватость также образует различные углы в широком диапазоне от 0 до 90.

На основе такой широкой вариативности в ориентировки сланцеватости по отношению к другим структурным элементам, можно предположить, что её образование происходило по меньшей мере двумя основными способами: за счет унаследованных структурных форм (таких как полосчатость) с дальнейшим их усложнением, и за счет последовательного наложения различных этапов рассланцовки в результате действия стадийного процесса развития структуры надвига.

Здесь следует отметить, что сланцеватость зачастую является контролирующим фактором распределения кварцевых жил, с которыми непосредственно связана рудная минерализация рассматриваемого месторождения.

Другой тип структур также контролирующей оруденение- это тектонические брекчии, представленные обломками песчаников различной размерности и различной степени окатанности (рис.2.1), сцементированные рассланцованным материалом (различной степени переработки, зависящей от взаимного расположения с надвиговыми зонами). В зависимости от текстуры подвергшихся дроблению пород и от интенсивности процесса брекчирования наблюдаются различные формы проявления тектонических брекчий от простого растрескивания до тектонического разлинзования и линейзации. Брекчированию могут подвергаться отдельные пропластки, пакеты полосчатых пород или мощные блоки массивных песчаников. Среди углеродистых пород тектоническое брекчирование может приобретать форму будинажа.

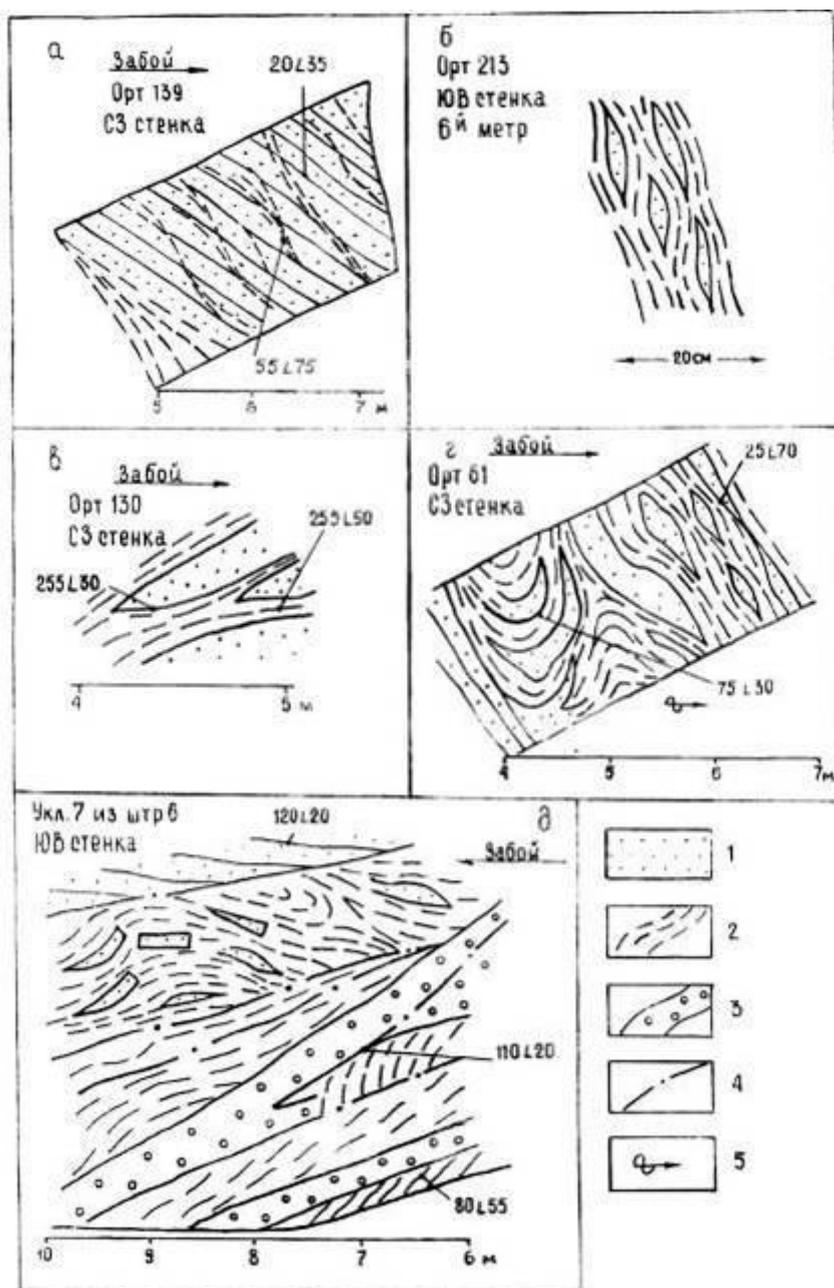


Рисунок 2.1. (Татаринов, 1992) – Формы проявления тектонических брекчий

а – дезинтеграция полосчатых псаммитовых катаклазитов в начальной стадии; б – разлинзованные, упорядоченные брекчии; в – брекчия с обломками > 1 м; г – брекчированная складчатая структура; д – неупорядоченная брекчия в одной из тектонических пластин шва зоны Надвиговой; 1 – катаклазиты; 2 – сланцеватость; 3 – кварцевые жилы; 4 – трещины; 5 – шарниры складок.

Тектоническое брекчирование наблюдается повсеместно (на обоих крыльях и в самой зоне Надвиговая). Мощный блок брекчирования массивных песчаников отмечается на северо-западе зоны, в её лежачем крыле. Здесь же отмечаются участки линеаризованной брекчии в висячем крыле зоны.

Анализ работ предшественников (Татаринов, Тютрин, Яволик и др.) позволяют расценивать брекчирование в тесной связи с развитием сланцеватости по схеме (рис. 2.2).

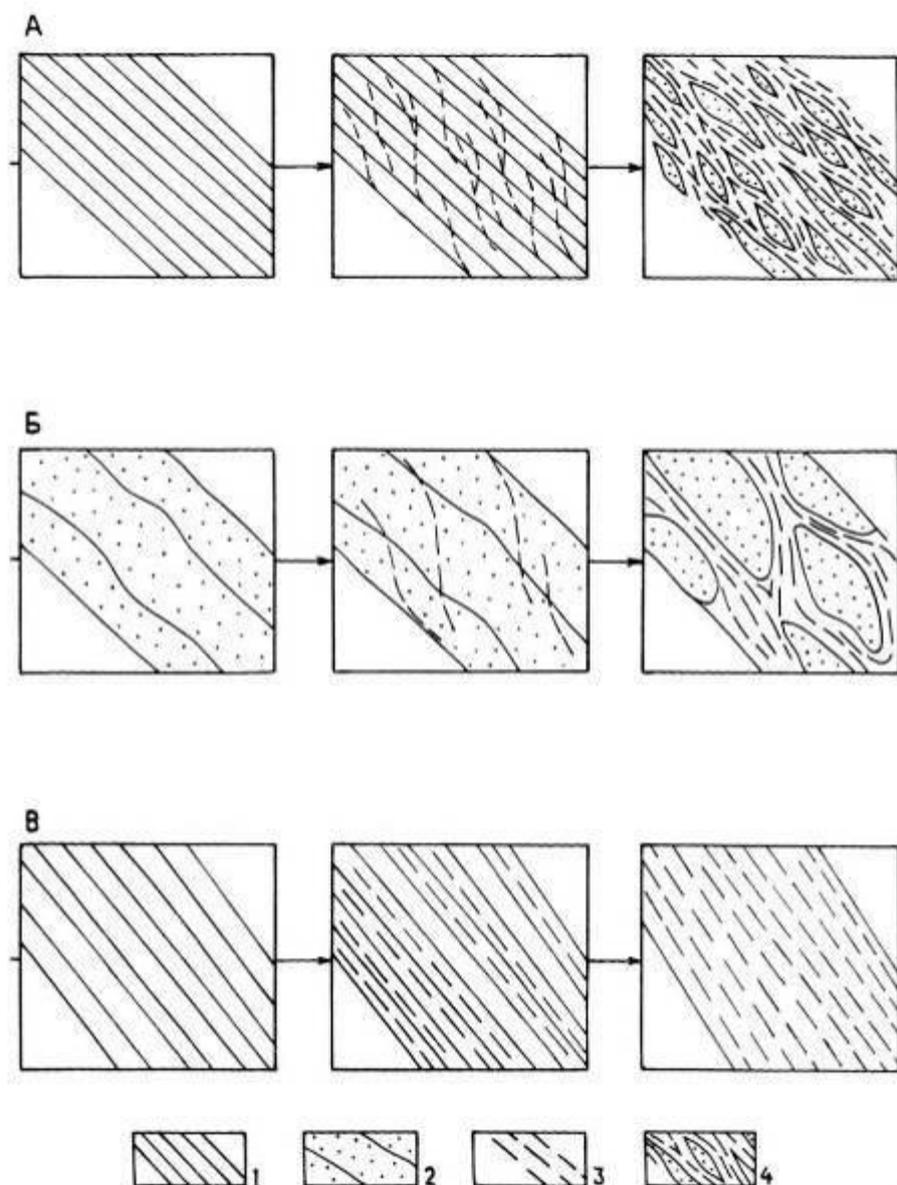


Рисунок 2.2. (Татаринов, 1992) – Схема последовательного развития сланцеватости (А и В – в тонкополосчатых катаклазитах, Б – в грубополосчатых катаклазитах) 1 – тонкополосчатые катаклазиты; 2 – грубополосчатые катаклазиты; 3 – сланцеватость; 4 – тектоническое разлинзование.

Складчатые структуры развиты как по полосчатости так и по сланцеватости. Складки, развитые в полосчатых породах, наиболее отчетливо выражены в висячем крыле надвига. Это, как правило, ассиметричные, наклонные или опрокинутые на юго-запад, нормальные до изоклиальных складчатые структуры (рис.2.3).

Различная, но в целом выдержанная на десятки-сотни метров по элементам залегания полосчатость указывает на наличие складок больших размеров. Пологие крылья складок имеют аз.пад. $100-150 \angle 15-45$, что соответствует элементам залегания висячего крыла надвига. Крутые крылья складок характеризуются элементами залегания в диапазоне $40-70 \angle 30-90$, близкими к таковым лежачего крыла.

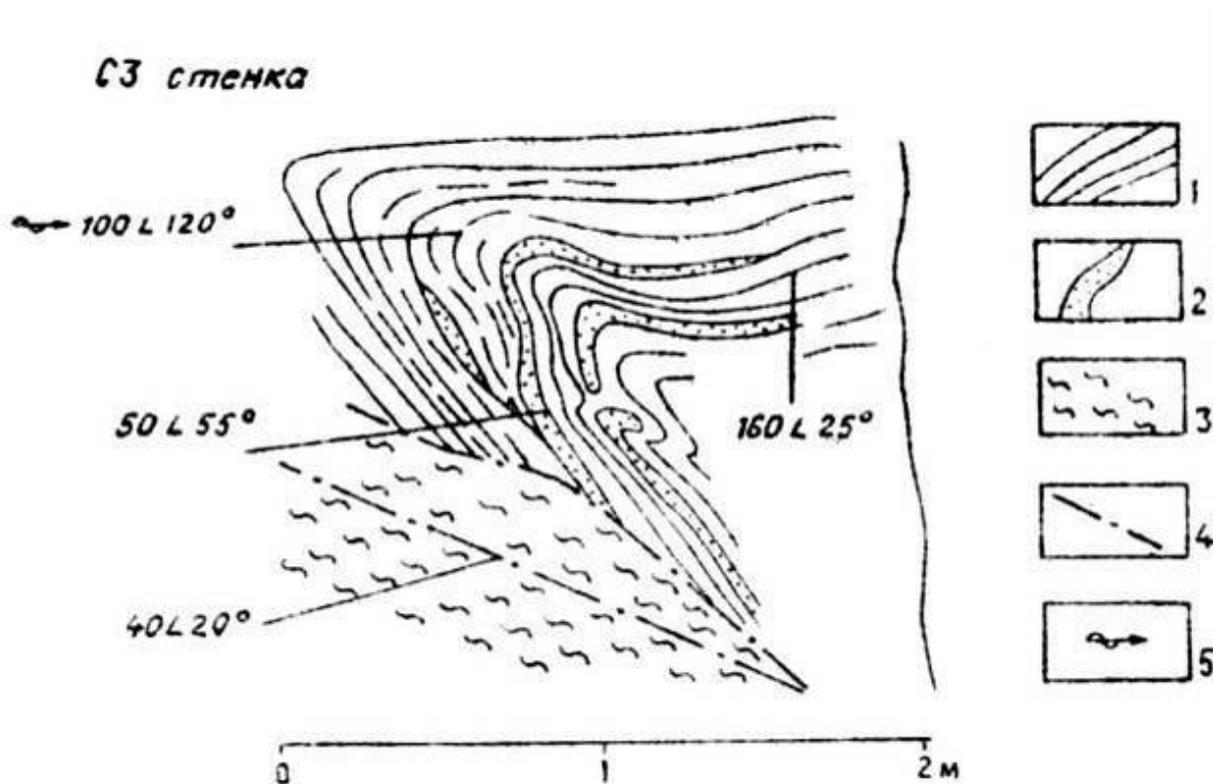


Рисунок 2.3 (Татаринов, 1992) – Типичная форма принадвиговых складок в зоне Надвиговая. 1 – полосчатость; 2 – прослои и будины песчаников; 3 – сланцеватость; 4 – трещины; 5 – шарнир складок.

Складки более высокого порядка на крыльях зоны образуют три группы, различающихся по элементам залегания шарниров:

- первая группа – шарниры погружаются $150-155 \angle 10-20$
- вторая группа – $110-135 \angle 20-35$
- третья группа – $85 \angle 25-50$

Характерно, что данные по шарнирам почти полностью согласуются с анализом диаграмм полосчатости.

Важной особенностью является, что подавляющее большинство шарниров находятся в плоскости зоны либо вблизи её, что позволяет рассматривать формирование складчатых структур в генетической связи с развитием зоны Надвиговой.

Приведенный выше анализ элементов залегания складчатых структур вблизи зоны Надвиговой позволяет уже в первом приближении предположить взбросо-сдвиговые перемещения по поверхности сместителя. Крылья складок имеют разные азимуты падения и образуют как бы клин, направленный на северо-запад, при этом большинство шарниров полого погружаются в противоположном направлении. Таким образом, учитывая простирание надвига, можно предположить левые перемещения сдвиговой составляющей.

В грубополосчатых песчаниках часто наблюдаются срывы по плоскостям полосчатости или осевым поверхностям складок, что приводит к образованию структур торцового сочленения различно ориентированной полосчатости. Формирование таких структур связано с достижением предела прочности в процессе пластической деформации пород и может быть вызвано или увеличением скорости деформации или увеличением вязкости пород на фоне снижения температуры и давления.

Складки по простиранию не прослеживаются на значительные расстояния, что скорее всего, указывает на их кулисное расположение. Отдельные особенности, отмеченные исследователями (изгиб осевых поверхностей, резкая ундуляция шарниров, структуры «замок в замке» и т.п.), указывают на многостадийность складкообразования.

Складки, развитые по сланцеватости, наблюдаются, в основном, в пределах зоны. Обычно это асимметричные, дисгармоничные структуры, их систематизация проводилась на основании анализа стереограмм сланцеватости Татариновым А.В. С этой целью для каждого пункта наблюдения по данным массовых замеров сланцеватости отстраивались п-диаграммы, выявлялись оси «Б» соответствующие поясам разброса элементов залегания. Полученный на сферограмме основной максимум имеет ярко выраженное поясовое строение с разбросом азимутов погружения осей «Б» от $135 \angle 15$ до $55 \angle 50$. В целом это соответствует разбросу шарниров складок всякого бока и дает основание предполагать, что пликативные структуры принадлежат к зоне и самого надвига возникли в идентичных кинематических условиях.

Исследователями выделяется два типа кливажа, отвечающих 2 основным этапам их развития (Татаринов, Тютрин, Яловик и др.)

На первом этапе (рис.2.4) во время образования складчатости до оформления разрывных нарушений формировался типичный для Верхонских толщ пассивной окраины кливаж течения (субсогласный с напластованием, отмечающий срывы ранней генерации и пологие надвиги). Практически синхронно с образованием складок, на этом же этапе,

формируется кливаж осевых плоскостей S_1 . Для кливажа течения характерна полосчатость, связанная с распределением углеродистого вещества в образовавшихся трещинках. Простираение кливажа северо-западное (в среднем 300), углы падения зависят от типа кливажа: для субогласного с напластованием – 40-50, для S_1 – 60-65.

На втором этапе, параллельно с формированием дизъюнктивных нарушений, проявляется вторичный приразломный кливаж. Углы схождения кливажей двух разных этапов в основном равны 10-15, что, по мнению предшественников (Татаринов, Тютрин, Яловик) говорит о синклюдчатом формировании разрывных нарушений северо-западного простираения.

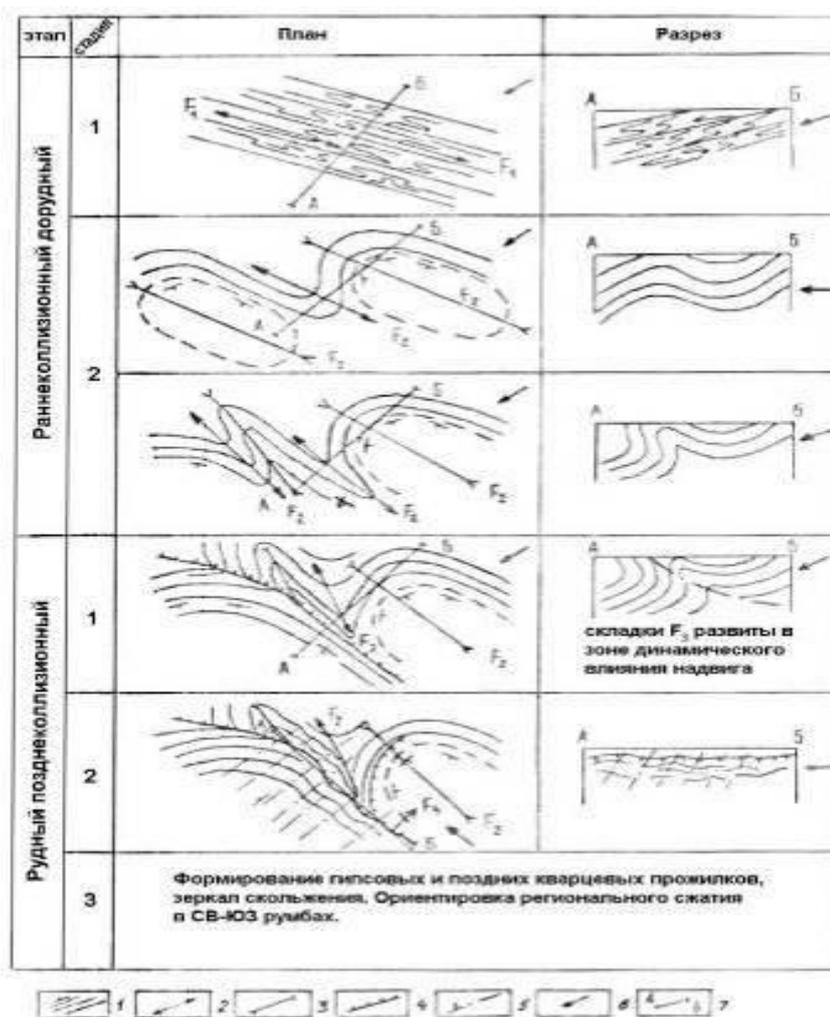


Рисунок 2.4 (Яловик, 2016) – Схема формирования структуры Бадранского рудного поля

1 – полосчатость; 2 – оси антиклиналей; 3 – оси синклиналей; 4 – рудная зона Надвиговая; 5 – трещины; 6 – направление деформаций; 7 – линии разрезов.

Трещины скола являются одним из основных элементов структуры зоны Надвиговой. Имеют слабоволнистую или плоскую форму, выдержанную по падению и

простирацию. Обычно по ним развивается зеркала скольжения, глинка трения и окварцевание. По этим трещинам происходит ограничение как самой зоны со стороны крыльев, так и её отдельных пластин, а также рудоносных кварцевых жил. В общем случае они являются секущими относительно сланцеватости и полосчатости, причем последние подгибаются вблизи трещин с образованием s-образных узоров взбросового (надвигового) типа (рис. 2.5б). по трещинам скола также нередко отмечается разграничение пластин с различно ориентированной сланцеватостью (рис.2.5). В структуре зоны трещины имеют кулисное расположение (при затухании одной трещины, выше или ниже её появляется другая).

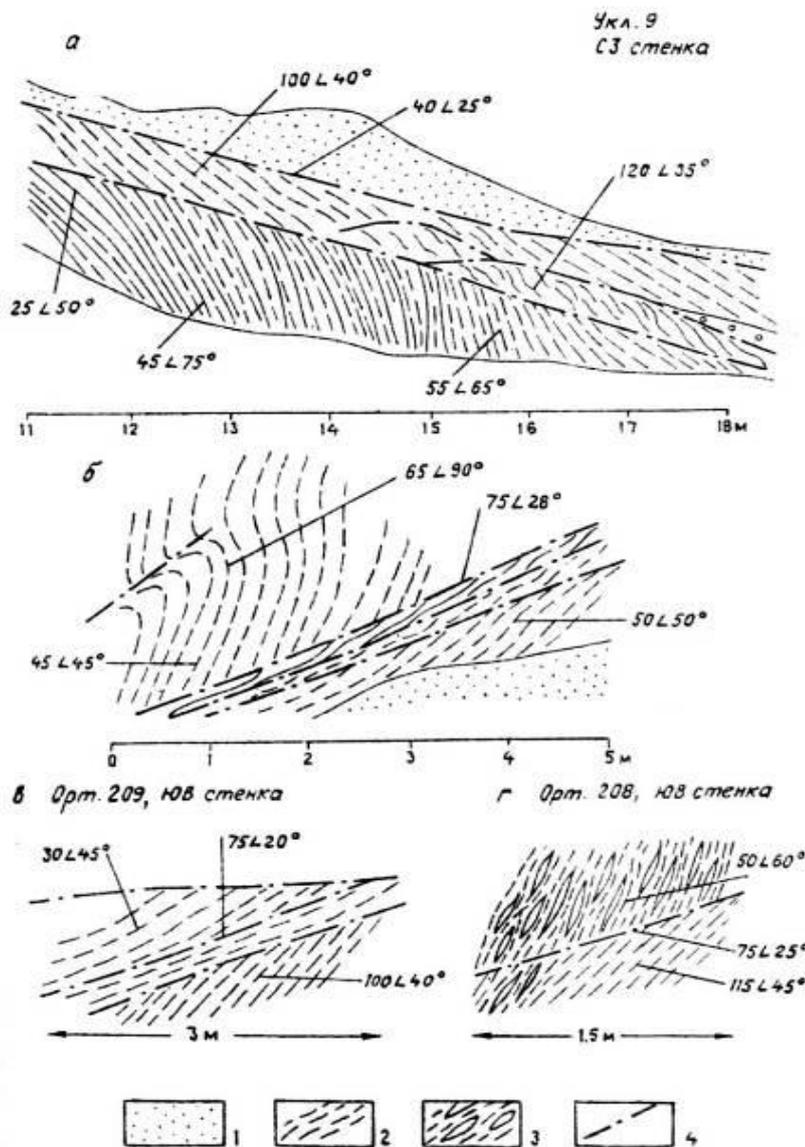


Рисунок 2.5 (Ялович, 2016) – Взаимоотношения трещин скола со сланцеватостью.

а-б – трещины скола разделяют пластины с различно ориентированной сланцеватостью; в – в отдельной пластине сланцеватость ориентируется параллельно ограничивающим трещинам; г – надвижение по трещине брекчиевидных пород на рассланцованные; 1 – псаммитовые катаклазиты, 2 – сланцеватость, 3 – развальцованная брекчия, 4 – трещины скола.

Элементы залегания трещин имеют среднее значение $55\angle 20$, соответствующее средней ориентировке зоны надвиговой (Татаринов, 1992). Таким образом, большая часть трещин развивается продольно зоне и является L-сколами в модели сдвига (Стоянов, 1977). В тоже время, наблюдается тенденция к развитию двух пересекающихся поясов с осями $45\angle 25$ и $325\angle 15$, лежащими в плоскости надвига.

И если эти сколы, описанные Татариновым и отнесенные им к наиболее поздним L-сколам, узнаются отчетливо, а при анализе массовых замеров на стереограммах выстраивают четко узнаваемый максимум, то остальные типы трещин, возникшие на более ранних этапах становления разлома, узнаются им уже не так отчетливо. Так, предполагая, что две системы трещин с элементами залегания $45\angle 25$ и $325\angle 15$ относятся к R и R' сколам он допускает, что ось сжатия была ориентирована горизонтально, и предполагает правосдвиговую кинематику сдвиговой составляющей зоны надвига. Дальнейшие исследования полей напряжений района (Фридовский, 1999; Емельянов, 2006) достаточно убедительно указывают на левый сдвиг.

В целом зона Надвиговая характеризуется линзовидно-пластинчатым строением. Отдельные пластины, ограниченные продольными трещинами скола, как правило, имеют свой структурный узор, обусловленный различной ориентировкой пластически деформированной сланцеватости и полосчатости, а также проявлением брекчевидных структур.

Кинематическая модель формирования и эволюции зоны Надвиговой.

Первоначально пологозалегающая толща подвергалась воздействию субмеридионально ориентированных сил сжатия. Ориентировка $\sigma_3 = \text{аз.пад. } 195\angle 15$ соответствует перпендикуляру к шарнирам наиболее распространенных складок, лежащему в плоскости нормальной оси σ_2 примерно под углом 35-40 к зоне. Принято допущение, что σ_2 совпадает с ориентировкой шарниров.

В результате произошло смятие толщи в крупную опрокинутую на юго-запад антиклинальную складку с субширотно ориентированным шарниром. Нормальное крыло складки в целом сохранило первоначальную ориентировку полосчатости, в подвернуто – полосчатость развернулась до северо-восточного падения (аз.пад. $45\angle 60$).

Процесс формирования складки сопровождался рядом структурных перестроек. Межпластовое проскальзывание привело к развитию «внутрислоевых» складок волочения, при действии левосдвиговой составляющей по пологопадающей полосчатости и правосдвиговой – в подвернутом крыле. Разброс азимутов падения шарниров складок в

нормальном крыле предполагается от 45 до 100, в подвернутом – от 10 до 140. При достижении предела прочности пород в подвернутом крыле (наиболее деформированном) возникли трещины скола, ориентированные под углом 35-45 к силе сжатия и совпадающие по простиранию с полосчатостью, но имеющие более пологие углы падения. Дальнейшая разрядка напряжений, вызываемых субмеридиональным сжатием, осуществлялась путем левосторонних сдвигово-надвиговых смещений по этим трещинам. Вблизи своей максимальной величины, сближенные трещины скола образовали зону Надвиговую. В то время как основные подвижки проходили по трещинам, пластины, зажатых между ними пород, подвергались рассланцеванию и смятию, сохраняя в реликтах первичную макроструктуру.

Висячий блок сместился влево, надвинулся на лежащий, что и привело к торцовому сочленению различно ориентированной полосчатости.

Процесс надвигания сопровождался формированием кулисно расположенных принадвиговых складок. Они развивались в том же поле напряжений, что и межслоевые складки волочения. Более поздние, принадвиговые складки, имея преобладающую субширотную ориентировку шарниров, усложняют ранее сформированную складчатость северо-западного и северо-восточного направлений. При этом, часто наблюдаются изгибы осевых плоскостей, ундуляции шарниров, структуры «замок в замке» и другие проявления перекрестной складчатости.

1.1.Прожилково-вкрапленное оруденение

Целью данного исследования, как было указано ранее, является уточнение прожилково-вкрапленного оруденения в висячем блоке зоны Надвиговая. Оруденение этого типа на рассматриваемом месторождении является второстепенным и, пока, не характеризуется большими запасами полезных ископаемых. В действительности полной оценки такого оруденения на данный момент нет, т.к. в разработке находятся куда более «удобные» и исследованные участки главных рудных тел, приуроченных непосредственно к осевой зоне надвига. Тем не менее, широкое развитие второстепенных по отношению к Бадранскому надвигу структур, несущих прожилково-вкрапленное оруденение привлекает к себе внимание для дальнейшей разработки.

Выделение самих структур, несущих прожилково-вкрапленное оруденение, и факторов, влиявших на их развитие, являются ключевыми задачами для прогнозирования распространения подобных тел на участках, не охваченных выработками, скважинами и обнажениями.

Прежде всего, хотелось бы провести анализ основных рудных тел месторождения, их морфологии, распространения и их соотношения с непосредственно наблюдаемым структурным планом, а также интерпретацией фактического материала в виде модели тектонического развития региона.

Характеристика рудных тел

На данные момент на территории месторождения выделяется три основных рудных тела, к которым приурочены три рудных столба (рис.2.6) (Емельянов, 2006).

Рудный столб 1.

Рудный столб приурочен к лентообразной кварцевой жиле сложного строения (рис.2.6), её размеры в плоскости зоны «Надвиговая» составляют (40-480)*1180 м. Длинная ось жилы направлена по азимуту 36° с углом падения 27°. Азимут падения самой жилы от верхних горизонтов к нижним изменяется с 43° до 25°. Углы падения жилы обычно составляют 25-29°. На отдельных редких участках длиной по падению 40-60 м наблюдаются выполаживания до 22° и выкручивания до 34°. Выклинивание жилы на флангах простое, иногда – тупое или с разветвлением на прожилки.

Положение рудного столба контролируется серией близпараллельных слабо выраженных валообразных поднятий осевой плоскости зоны "Надвиговая". С

осложняющими структурами связано повышение мощности зоны и широкое развитие золотоносных кварцевых жил.

Обычно в плане жила сопровождается ореолами мелких линз и будин (от сантиметров до первых метров). Подобные ореолы чаще проявляются на западных флангах, что позволяет связывать их с пострудными левосторонними сдвиговыми подвижками. Внутри жилы нередко наблюдаются пережимы до образования "окон", раздувы, ветвление и параллельные апофизы самых разных размеров. Контакты жилы в разрезе слабо извилистые.

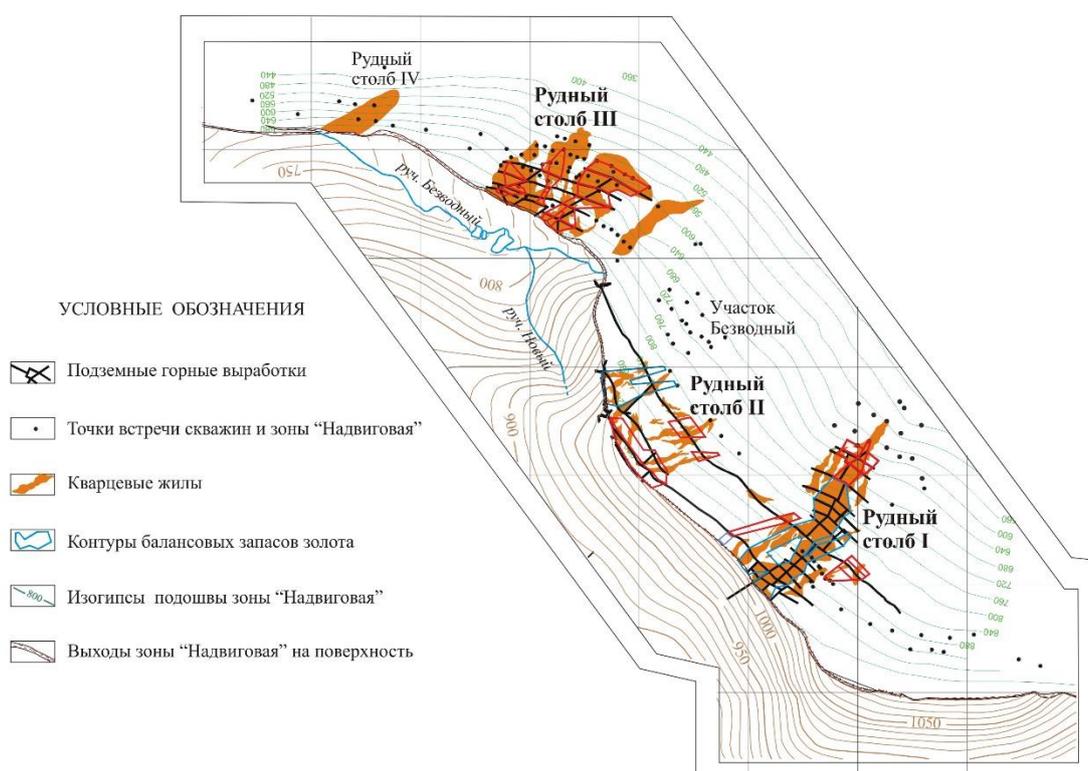


Рис. 2.6. Схема расположения рудных тел месторождения Бадран, масштаб 1:20000 (Емельянов, 2006).

В строении жилы можно выделить основное кварцевое тело, которое вдоль флангов сопровождается второстепенными жилами. Рудный столб I образуют пять ветвей, которые представлены сближенными лентообразными рудными телами, вытянутыми по падению зоны "Надвиговая". Золотое оруденение второстепенных жил иногда достигает промышленного уровня. За счёт этого внешний контур рудного тела в плане расширяется от нижних горизонтов к верхним с 30-50 м до 260 м.

Рудный столб 2.

Рудный столб приурочен к участку развития мелких кварцевых жил, характеризующихся разнообразными неправильными очертаниями в плане (рис.2.8).

Рудные тела столба представлены милонитами, вмещающими мелкие кварцевые жилы, а также линзы, будины и прожилки кварца. Кварцевые руды в северо-западной части столба составляют 23 % объёма рудных тел, в юго-восточной – 42 %.

Среднее содержание золота – 6,3 г/т. Распределение золота в рудах весьма неравномерное. Содержания золота в частных пересечениях составили 2,35-26,5 г/т. В пяти пересечениях содержания золота достигают 38,2-97,02 г/т. Каких-либо закономерностей в распределении золота по площади запасов не наблюдается.

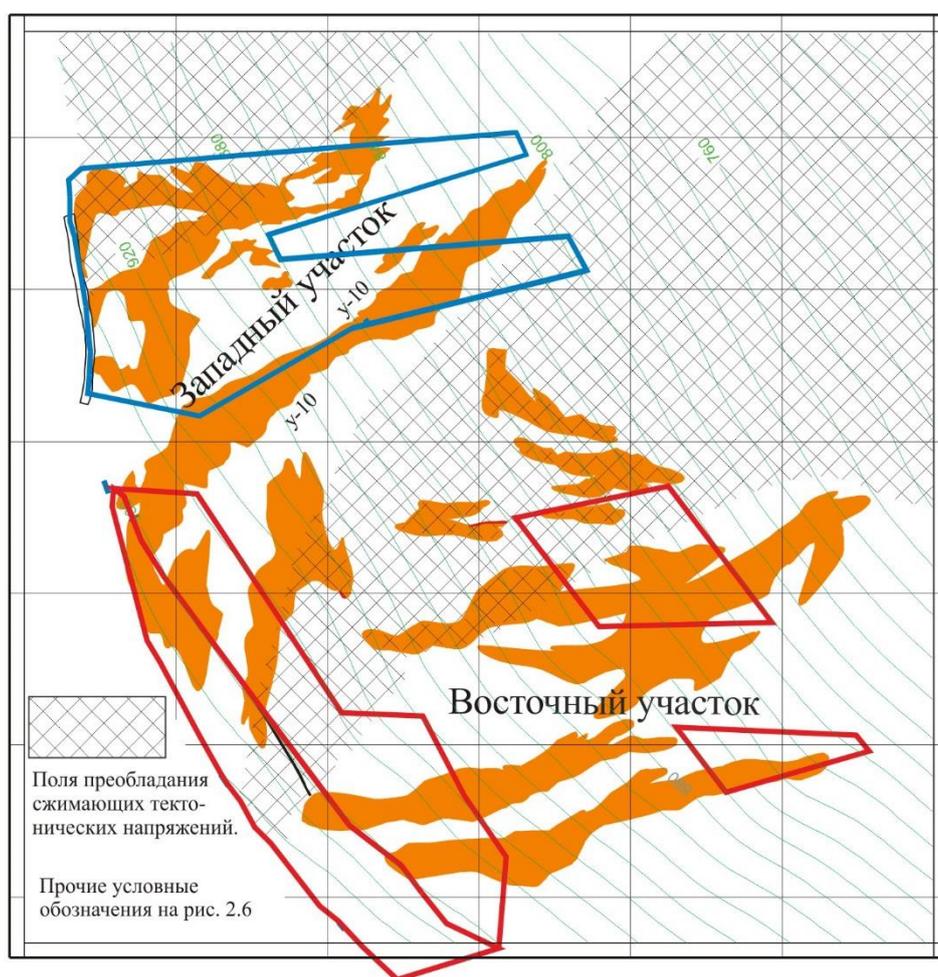


Рис.2.7. Схема расположения кварцево-рудных тел столба 2 (Емельянов, 2006).

Немного забегаая вперед, хотелось бы тут же отметить предполагаемые на основе далее обсуждаемой модели тектонических напряжений особенности строения рудного столба 2, находящегося на изгибе осевой плоскости зоны «Надвиговая». На участке выделяются две независимые благоприятные области с пониженными тектоническими

напряжениями, которые контролируют положение наиболее продуктивных жил. Области преобладающих сжимающих напряжений характеризуются наличием участков локальных растягивающих напряжений, к которым также приурочены кварцевые жилы, иногда несущие промышленное золотое оруденение. Особенности строения рудного столба 2 позволяют выделить в его пределах два участка – западный и восточный (рис. 2.8).

Западный участок приурочен к изолированной области пониженных тектонических напряжений, в которое, предположительно, отжимались рудоносные растворы с прилегающих областей. Ниже участка (по падению зоны "Надвиговая") располагается изолированное рудное тело. Восточный участок расположен на ответвлении крупного рудоподводящего канала, к которому приурочен рудный столб 1. В соответствии с этим наблюдается отчётливое различие в характере рудных тел участков. На западном участке рудные тела представлены милонитами, несущими небольшие кварцевые жилы и обильные кварцевые линзы и будины. На восточном участке золотое оруденение сосредоточено, в основном, в кварцевых жилах.

Геологическое строение рудного столба 2 предопределило наличие в его пределах двух самостоятельных рудных тел – Западного и Восточного, локализованных на одноимённых участках, описанных выше.

Восточная ветвь рудного столба 2 проявляет отчётливую тенденцию к выклиниванию по падению при невысоком качестве руд.

Рудный столб 3.

Положение рудного столба контролируется хорошо выраженным корытообразным понижением на осевой плоскости зоны "Надвиговая". Осложняющая структура вытянута в меридиональном направлении. В пределах структуры повышена мощность зоны и широко развиты относительно небольшие в плане, но мощные кварцевые жилы. Золотое оруденение связано, в основном, с кварцевыми жилами. Жилы сопровождаются слабо оруденелыми окварцованными милонитами и милонитизированными породами, но мощность их уступает мощности кварцевой жилы.

Столб приурочен к единой кварцевой жиле, характеризующейся сложным строением в плане (рис.2.9) и в разрезе. Для жилы характерны сложные очертания с обилием "окон", а также участки ветвления жилы по мощности на 2-3 составляющие.

Промышленное золотое оруденение развито не по всей кварцевой жиле. По результатам опробования выделяются три промышленных рудных тела - Западное, Центральное и Восточное.

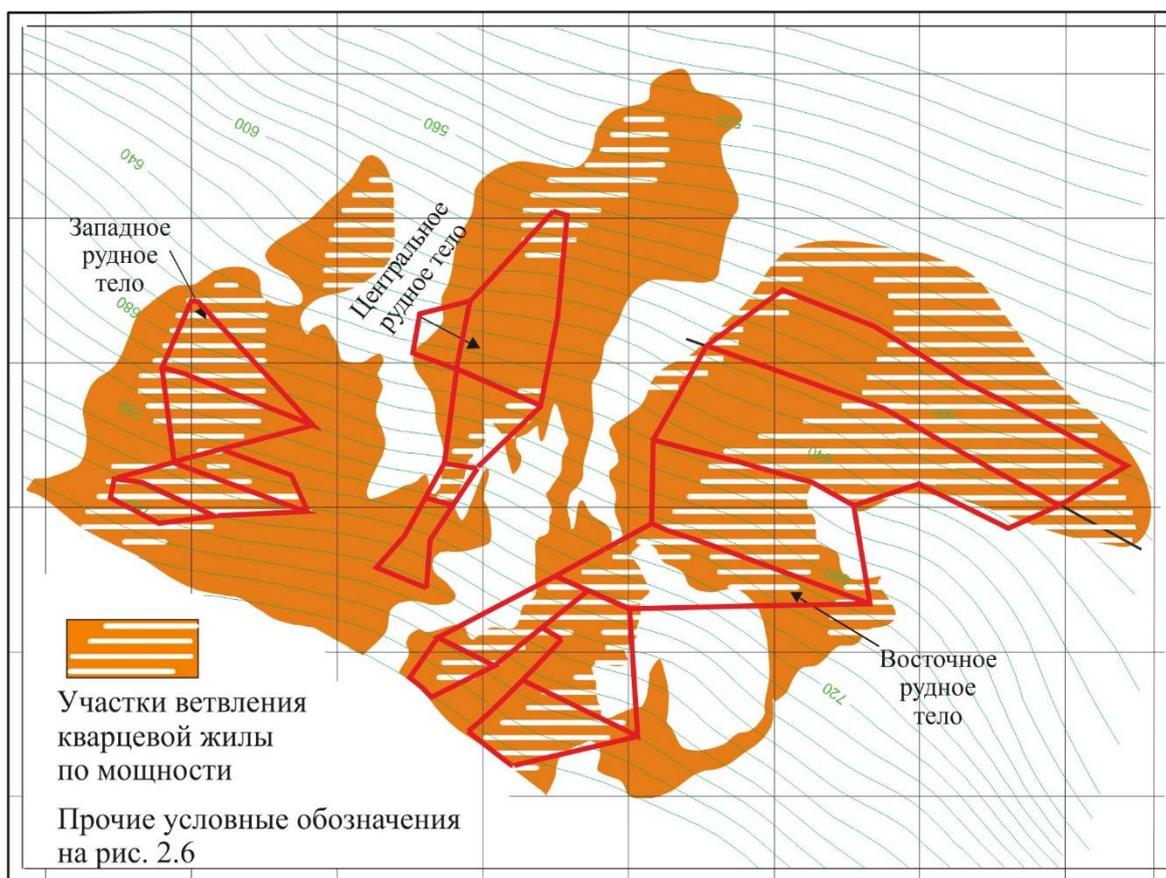


Рис.2.8. Схема расположения кварцево-рудных тел рудного столба 3 (Емельянов, 2006).

1.2.Региональные напряжения Бадранского рудного поля

Расчет региональных напряжений на территории месторождения проводился почти всеми разведочными партиями, уточнявшими строение Бадранского рудного поля с 1961 года, как часть структурно-тектонических исследований. Тем не менее большинство из них носили поверхностный характер, делались на основе массовых замеров по всему месторождению и носили общий характер определения среднего значения пространственных характеристик основных осей напряжений для всего участка. Большинство исследователей были выявлены основные тенденции субмеридионального положения оси максимальных сжимающих напряжений и, соответственно, перпендикулярного – для оси минимальных сжимающих напряжений. В большинстве случаев допускалось субгоризонтальной их положение, что нередко приводило к ошибочной интерпретации сдвиговой кинематики зоны «Надвиговая», как правосдвиговой (Татаринов, 1992).

Впоследствии были проведены узкоспециализированные исследования (Фридовский, 1999, Лебедев, 2017), основополагающими среди которых можно выделить работы Фридовского (1999). В них был дан более детальный анализ, в котором рассчитывались напряжения для отдельных участков слагающего рудоносную структуру дуплекса (рис.2.9). В среднем по месторождению, оси максимальных сжимающих напряжений имеют юго-западную субгоризонтальную или умеренно наклонную ориентировку. Ось минимальных сжимающих напряжений располагается под крутыми углами (55-70°), погружаясь в юго-восточном направлении.

В центральных участках зоны «Надвиговая» преобладают надвиговые перемещения, что подтверждается не только ориентировкой осей напряжений, но и непосредственными полевыми наблюдениями предыдущих исследователей (Лебедев, 2017). Ближе к краевым участкам зоны перемещения приобретают левосдвиговой характер.

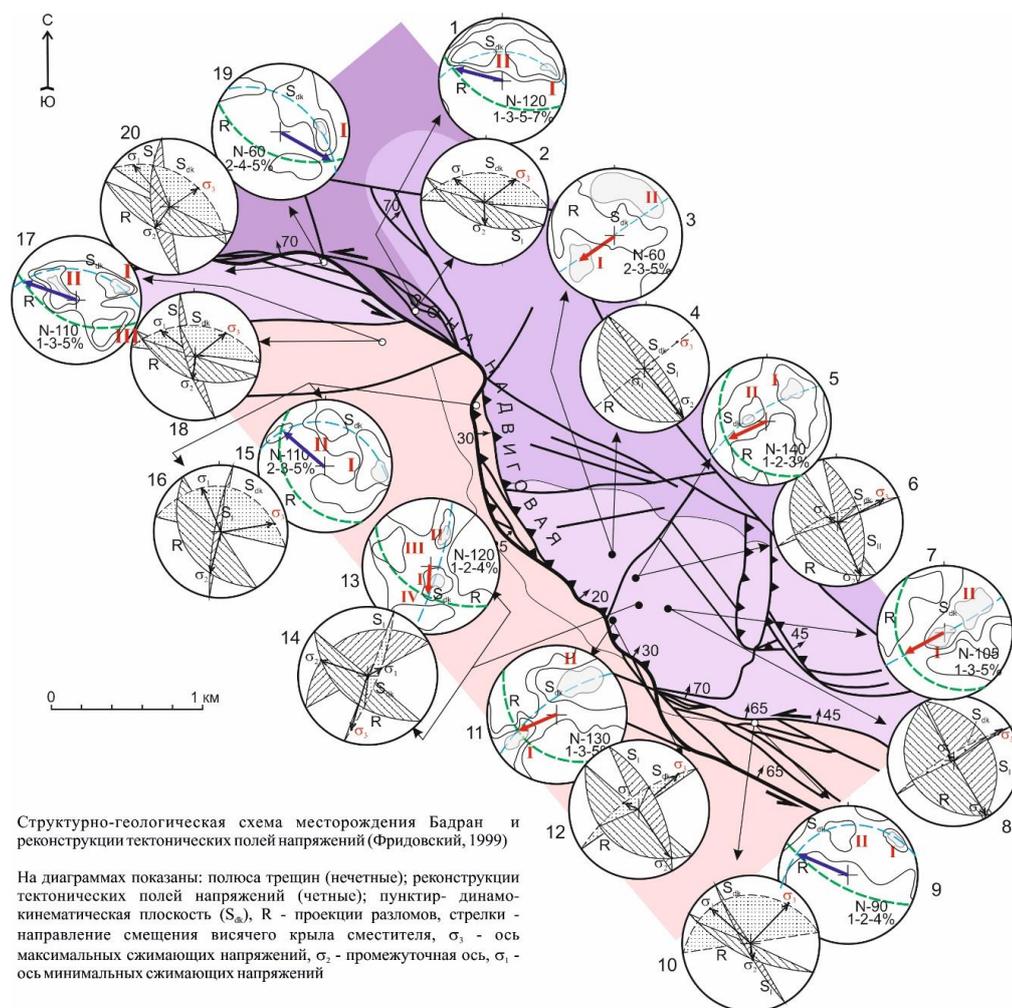


Рис.2.9. Схема реконструкции полей напряжений месторождения Бадран (Фридовский, 1999).

Средние значения элементов пространственного расположения осей напряжений по исследованиям Фридовского составляют:

σ_3 = аз. пад. 232, уг. пад 22

σ_2 = аз. пад. 331, уг. пад 20

σ_1 = аз. пад. 99, уг. пад. 59

Недавние полевые исследования (Лебедев, 2017) показали, что на некоторых участках присутствуют индикаторы сбросовых перемещений, что свидетельствуют об этапах смены ориентировки полей напряжений на противоположные.

Выше была представлена безотносительная характеристика тектонической обстановки, а точнее их этапов, на протяжении развития Бадранского рудного поля. Учитывая основную цель всех геологических исследований, проводимых на любом месторождении – их увязка с рудными телами или любыми видами залежей полезных ископаемых – подобное применение выше изложенной информации имеет место и в случае Бадрана. Наиболее подробной и хорошо скомпилированной можно считать работу Емельянова (Емельянов, 2006), где расположение рудных столбов проанализировано на соответствие структурно-тектоническим условиям, реконструированных автором на основе полевых исследований и предыдущих (Фридовский, 1999) трудов. Ниже приведены основные положения этой работы.

Отличительной чертой размещения рудных тел в осевой плоскости зоны «Надвиговая» является их расположение в локальных чашеобразных понижениях сместителя. Такая морфология, учитывая взаимное расположение зоны (северо-восточное падение) и ориентировки осей напряжений (северо-западное для минимальных сжимающих напряжений), создаёт условия, в которых грани понижений с различной экспозицией испытывали разные тектонические напряжения (рис.2.10).

Таким образом поверхность зоны «Надвиговая» может быть разбита на несколько граней заметно отличающихся друг от друга по элементам залегания (табл.1).

Охарактеризованные в таблице 1 крупные грани зоны "Надвиговая" осложнены более мелкими гранями, элементы залегания которых могут заметно отличаться от генерализованных. Наличие осложняющих граней в значительной мере определяет положение рудных тел, так как морфология осложняющих граней предопределяет характер тектонической обстановки на том или ином участке зоны "Надвиговая".

Ввиду того, что перемещения носили сдвиговый характер, величина тектонических напряжений распределялась по плоскости зоны "Надвиговая" весьма неравномерно. Это

связано с первичной морфологией осевой плоскости зоны. На гранях зоны, наклонённых в сторону вектора сдвиговых напряжений (на северо-запад), суммарный вектор напряжений разлагался на сдвиговую составляющую, направленную вдоль грани, и на растягивающую составляющую, обращённую вверх, перпендикулярно грани (рис.2.10). На подобных участках тектонические напряжения были относительно низкими, что создавало благоприятные условия для циркуляции рудоносных растворов (формирования рудоподводящих каналов). Напротив, на гранях, обращённых к юго-востоку, общие тектонические напряжения усиливались за счёт разложения сдвигового вектора с проявлением сдввливающей составляющей. На таких участках циркуляция растворов была затруднена, либо, при допущении равномерной насыщенности зоны растворами, они "отжимались" с таких участков в сторону граней северо-западной экспозиции.

На основании изложенного реконструирован план тектонических напряжений в период рудообразования (рис.2.11). План с высокой точностью описывает положение известных рудных тел, что позволяет принять изложенные выше соображения за рабочую гипотезу и, на её основе, прогнозировать поведение рудных столбов на глубину.

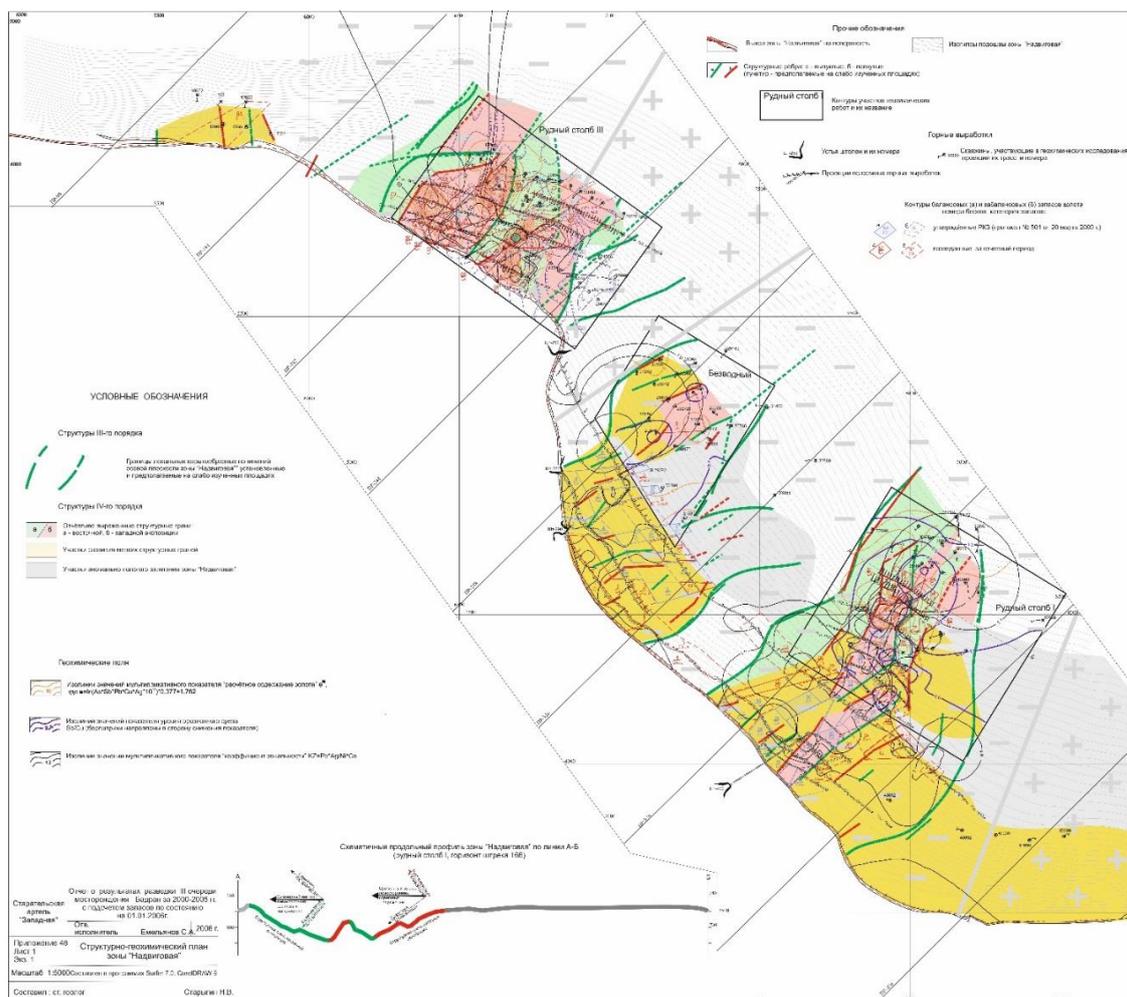


Рис.2.10. Структурный план месторождения (Емельянов, 2006).

- интенсивно рассланцованные, милонитизированные породы с кварцевыми прожилками и маломощными (0,2-0,3 м) редкими кварцевыми жилами (обычное содержание кварца 10-15%); нередко для сегмента характерны линзы и будины слабо динамометаморфизованных песчаников.

- зона (сегмент) интенсивного (30-50%) прожилкового окварцевания; окварцованные породы с петельчато-сетчатой текстурой зачастую постепенно переходят в кварцевую жилу с полосчатой и брекчиевой текстурой;

- диспергированные милониты с полосчатой и плейчатой текстурами; в количестве 10-40% присутствует кварц в виде линз, линзовидных и седловидных гнезд, будин, маломощных прожилков по плейчатости; обычно кварц интенсивно деформирован (до кварцевой "сыпучки");

Таблица 1.

Генерализованные элементы залегания зоны "Надвиговая"

Азимут падения	Угол падения	Разведанные рудные тела	Элементы дуплекса сжатия
20-5	30-40	-	Главный разлом дуплекса
20-25	40-32	Рудный столб III	Крупный второстепенный разлом внутри дуплекса (структура "пальмы")
55	25	Рудный столб II	
35-40	28	Рудный столб I	
355-5	30-40	-	Главный разлом дуплекса

- жила массивного и (или) полосчатого кварца неоднородной структуры;

- милониты плейчатого строения с включениями кварцевой "сыпучки" и редкими прожилками массивного кварца;

- интенсивно рассланцованные, милонитизированные породы с кварцевыми прожилками и маломощными (0,2-0,3 м) редкими кварцевыми жилами (обычное содержание кварца 10-15%); нередко для сегмента характерны линзы и будины слабо динамометаморфизованных песчаников;

- рассланцованные породы лежащего крыла зоны с вкрапленниками пирита;

- слаборассланцованные, трещиноватые породы лежащего крыла.

На отдельных участках зоны число и порядок составляющих её сегментов может значительно отличаться от приведённого. В основном это связано с тем, что кварцевые

жилы и зоны интенсивного окварцевания развиты не по всей площади зоны. Вместе с кварцевыми жилами из разреза зоны часто выпадают милониты. Их место занимают милонитизированные, рассланцованные и разлинзованные породы.

Околорудные метасоматические изменения вмещающих пород проявлены слабо или не проявлены. В непосредственной близости от зоны "Надвиговая" иногда наблюдаются участки локального (до 60 м) избирательного окварцевания по пластам песчаников. Окварцевание развивается преимущественно по цементу песчаников.

Минерализация в зоне развита неравномерно и представлена, в основном, кварцем. Качество руд напрямую зависит от степени насыщенности зоны кварцем. Кварц присутствует в виде жил, прожилков, линз, гнезд, будин, цемента брекчий. Кварцевые жилы залегают, как правило, в осевой части зоны. Реже они смещены в сторону лежачего или, еще реже, висячего бока. В раздувах зоны изредка наблюдается несколько параллельных жил. В плане форма жил сложная с удлинением по падению зоны "Надвиговая". Обычная мощность жил 0,2-0,9 м, в раздувах – до 4,8 м. Верхний и нижний контакты жил чёткие, зачастую сорванные, притёртые. На флангах жил и, иногда, в их внутренних областях нередко наблюдаются постепенные переходы жил, сложенных массивным и полосчатым кварцем, в жилы брекчиевидного кварца и далее в зоны прожилкового окварцевания.

1.3. Характеристика основных типов рудных прожилков

Кварцевые жилы и прожилки распределены в зоне Надвиговой неравномерно, образуя участки различной насыщенности: от практически полного отсутствия кварца до мощных кварцево-жильных столбов.

Формы проявления жил достаточно разнообразны. Отмечается прожилковое окварцевание, неправильные и линзовидные кварцевожильные обособления, плитообразные жилы, сложные жилы и т.п. Из всего разнообразия жильных форм, в зависимости от контролирующих структурных элементов, можно выделить три основных типа:

1 тип – жилы, контролируемые трещинами скола.

2 типа – жилы и прожилки, контролируемые сланцеватостью.

3 тип – жилы, контролируемые трещинами отрыва.

Часто наблюдаются сложные жилы – сочетания первого и второго, реже всех трёх типов.

Жилы первого типа обычно выдержаны по мощности и элементам залегания, имеют плитообразную форму. С ними связывается промышленное оруденение месторождения. Особенности такого типа жил:

- четкие линейные или слабоволнистые контакты, как правило, секущие сланцеватость

- развитие полосчатых текстур в кварце (особенно в приконтактных частях)

- ориентировка ксенолитов вмещающих пород субпараллельно контактам.

Выклинивание жил также имеет ряд отличительных особенностей:

- постепенный переход жилы в зону окварцевания, где ориентировка сланцеватости в ксенолитах имеет секущее взаимоотношение с жилоограничивающими трещинами.

- переход жилы из одной системы трещин в параллельную, при этом ограничивающие первоначальную жилу трещины прослеживаются далее, но пространство между ними сложено не кварцем, а рассланцованными породами (часто окварцованными) с кососекущей по отношению к трещинам ориентировкой сланцеватости (рис.7).

- резкое выклинивание жилы при развитии крутонаклонной к жилувмещающим трещинам сланцеватости (рис.2.13).

Перечисленные факторы позволяют рассматривать процесс формирования кварцевых жил первого типа как замещение кварцем отдельных, ограниченных продольными трещинами пластин, имеющих доминирующую ориентировку сланцеватости субпараллельно контактам зоны. Там, где сланцеватость приобретает секущее положение к продольным трещинам (а, следовательно, и к зоне) происходит уменьшение мощности, выклинивание жилы или переход её в зону окварцевания.

Жилы второго типа характеризуются линзовидной, чётковидной или сигмоидальной формой, не выдержаны по мощности и элементам залегания. Имеют следующие особенности:

- контакты жил как чёткие, так и постепенные, практически всегда волнисто изогнуты параллельно сланцеватости вмещающих пород

- жилы, как правило, насыщены ксенолитами вытянутой и изогнутой параллельно контактам форм. Часто наблюдаются и другие, самые разнообразные, в том числе и складкоподобные формы ксенолитов.

Согласно перечисленным особенностям можно заключить, что основным фактором, определяющим морфологию кварцевых жил второго типа, является сланцеватость.

Укл. 9, СЗ стенка

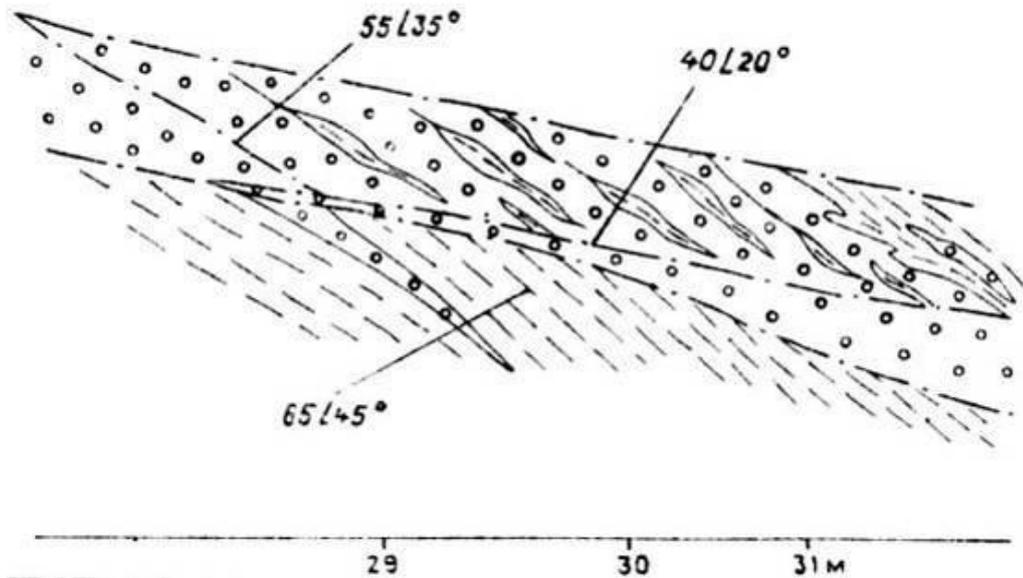


Рис.2.12. Характер окварцевания в зоне Надвиговая (Ялович, 2016).

Укл. 9, СЗ стенка

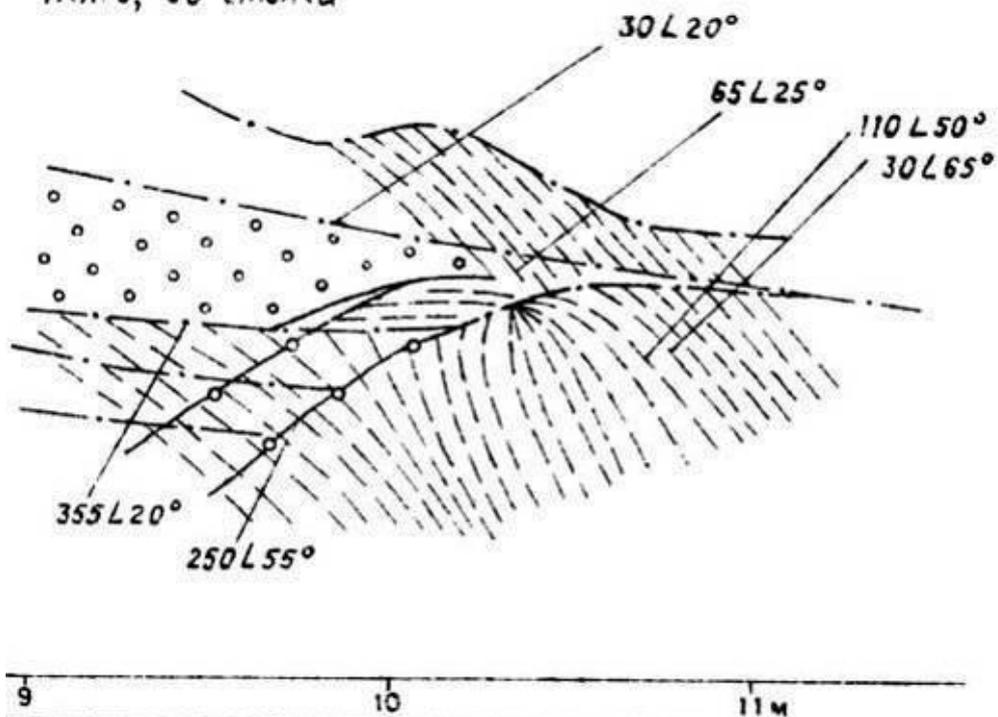


Рис.2.13. Характер выклинивания жилы кварца в зоне Надвиговой (Емельянов, 2006).

1 – кварц; 2 – рассланцованные милониты; 3 – трещины.

По-видимому, формирование этих жил происходило путем выполнения полостей отслоения с частичным замещением рассланцованных пород в процессе развития пластических деформаций.

Во многих случаях наблюдаются сложные кварцевые жилы, сочетающие в себе первый и второй типы. Это свидетельствует о том, что значительного разрыва во времени образования жил этих типов не было, тем не менее определенная последовательность в их проявлении всё-таки соблюдалась.

Наиболее вероятным является непрерывный, но достаточно длительный, пульсирующий процесс отложения кварцевожильной минерализации, сначала в рассланцованных породах, а после, при увеличении вязкости, по трещинам.

Прожилки третьего типа отмечаются фрагментарно по всей зоне. Особенности следующие:

- пересекают все описанные выше структурные элементы
- быстро выклиниваются, имеют неровные, извилистые, но чёткие контакты
- с жилами имеют сложные взаимоотношения.

Отдельные прожилки пересекают контакты жил, другие сочленяются с жилами или отходят от них в виде апофиз.

Перечисленные особенности указывают на то, что прожилки третьего типа формировались в хрупкую стадию развития зоны Надвиговой и по возрасту близки к жилам первого типа.

Глава 3. Структурное моделирование жильно-прожилкового оруденения

Задачей настоящего моделирования является наглядное представление относительного расположения всех описанных типов прожилков в висячем крыле зоны «Надвиговая», с учетом фактического материала и изложенных выше положений. Моделирование проводилось на участке наименее разведанного рудного столба 3, на основе аналогичных исследований в более изученных районах 1-го и 2-го рудных столбов. В распоряжении автора для решения поставленной задачи были:

- Результаты полевых замеров элементов залегания вмещающих пород (порядка 70 замеров), сместителей разрывных нарушений (порядка 30 замеров), прожилков (порядка 150 замеров), разделенных по типам, на основе отчетов предыдущих исследователей.
- Фотографии керна и результаты опробования по 23 скважинам
- Геологическое описание керна скважин, инклинометрия, замеры элементов залегания в керне
- 20 аншлифов и 50 шлифов

Составление модели с привязкой всех структурных и литологических данных проводилось в программе Micromine, а последующая редакция полученных разрезов, являющихся наглядным представлением моделирования проводилась в графическом редакторе Corel Draw.

Первым шагом при построении модели было создание трехмерных поверхностей участка работ и плоскости зоны «Надвиговая». Поверхность надвига имеет весьма сложную конфигурацию, созданию и оценке распределения напряжений по которой посвящена отдельная работа (Лебедев, 2017). Материалы работы Лебедева (в частности замеры элементов залегания пород и прожилков, а также поверхность надвига) были использованы при построении модели автором. Полученный результат, по сути - базовый структурный каркас, на который впоследствии были наложены скваженные данные и данные поверхностных замеров элементов залегания пород. Для исследуемого участка 3-го рудного столба поверхностные замеры весьма немногочисленны, поэтому подавляющее большинство фактического материала, непосредственно относящегося к территории

представлены скваженным материалом и обобщающими выкладками по канавам, уклонам и штольням других авторов (Бабичев, 2016).

Первой трудностью при составлении кондиционной модели стала структурная характеристика положения вмещающих оруденение пород. Участок 3-го рудного столба в масштабах месторождения находится в значительно отличающемся по сравнению с участками 1-го и 2-го рудных столбов блоке (рис.3.1).

Блоки первых двух рудных столбов осложнены многочисленными оперяющимися главный надвиг разломами, за счет чего на их территории выделяется по меньшей мере 4 структурных домена (Лебедев, 2017), в рамках которых элементы залегания пород (как азимуты падения, так и углы) значительно изменяются (рис.3.1) и не могут быть достаточно достоверно интерполированы на 3-й рудный столб.

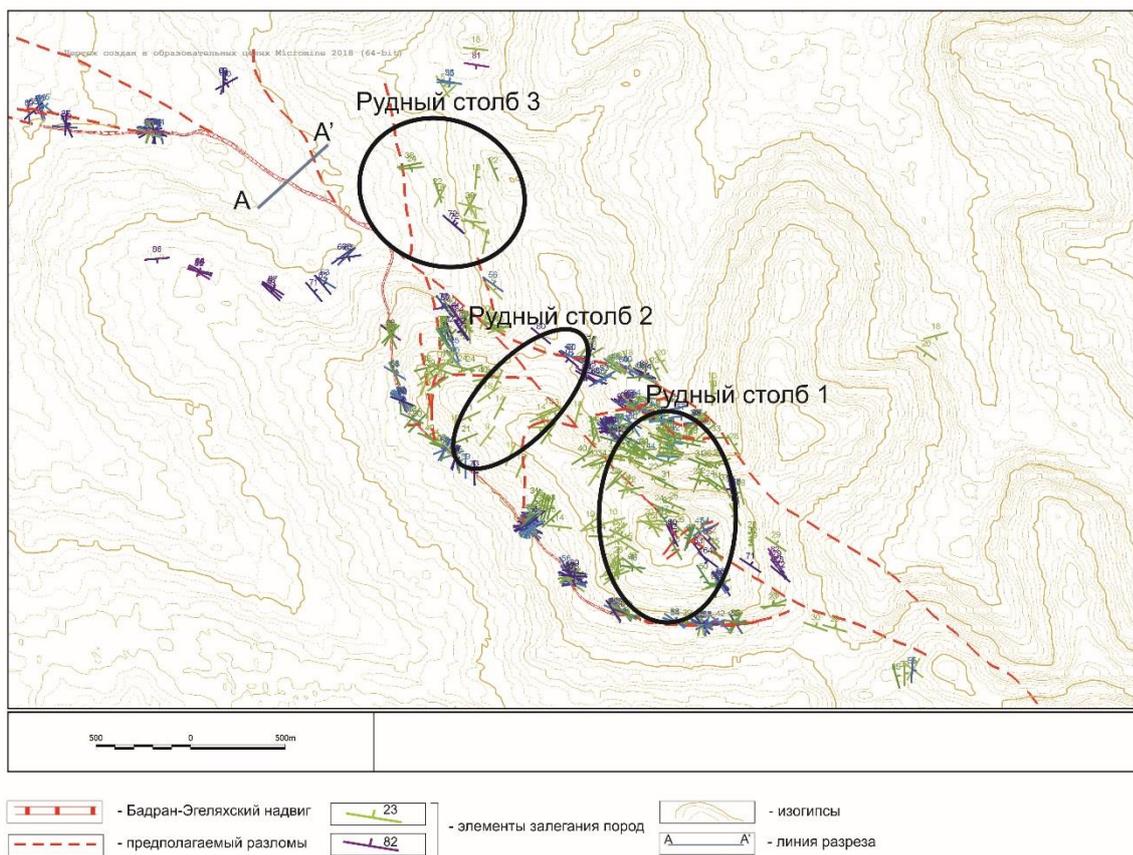


Рис. 3.1. Модель Бадранского месторождения. Нанесены гипсометрическая поверхность, разрывные нарушения, элементы залегания и районы рудных столбов.

В этой ситуации логичней обратиться к более западным районам месторождения, которые не осложнены таким количеством оперяющихся разломов, имеют сходное

положение вмещающих толщ и также пройдены большим количеством канав, траншей и уклонов (Шудов, 2012).

Породы висячего крыла Бадранского надвига западнее 3-го рудного столба имеют субсогласное с плоскостью сместителя залегание, выполаживаясь по направлению падения (рис.3.2).

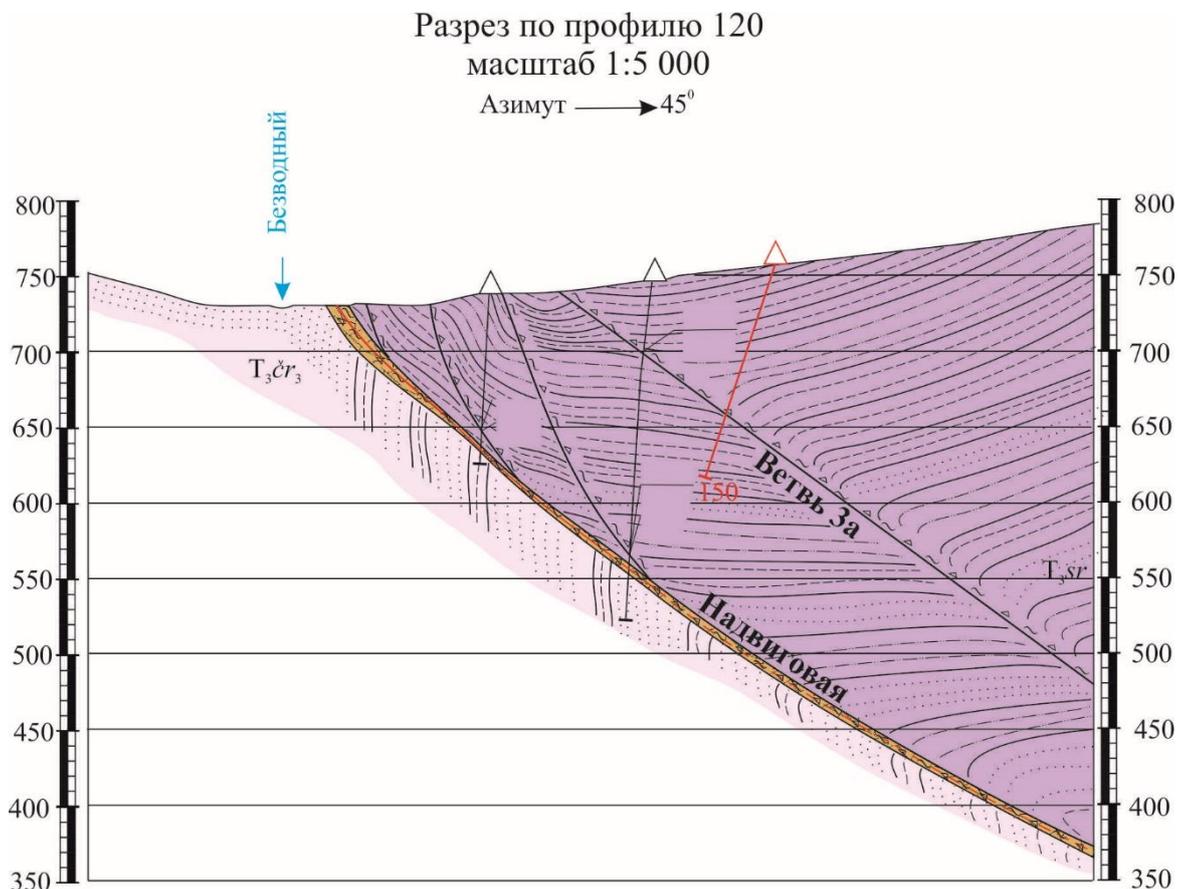


Рис.3.2 Разрез западнее 3-го рудного столба (положение линии разреза см. рис. 3.1) (Шудов,2012).

Отличительной чертой зоны 3-го рудного столба является его расположение на разветвлении главного надвига, за счет чего в блок включается зона оперяющего надвига (рис.3.3). Эта зона по данным опробования (Шабаганов,2015) также является рудоносной.

Основная же цель построений – жилы и прожилки висячего крыла - отчетливо прослеживаются на фотографиях керна и, зачастую, могут быть поделены на типы, описанные выше в соответствующей главе.

Кроме того, при построении разрезов были учтены результаты массовых замеров элементов залегания прожилков в блоках 1-го и 2-го рудных столбов. Как указывалось ранее, элементы залегания структур тех участков могут значительно отличаться от подобных в рассматриваемом блоке. Тем не менее, если выделить замеры, относящиеся к

блокам с подобным субсогласным залеганием пород, то можно обнаружить достаточно устойчивое сходство в относительном расположении прожилков одного типа к вмещающим породам.

На стереограммах по массовым замерам элементов залегания кварцевых жил различного типа видно большое разнообразие в их пространственном размещении, охватывающее по меньшей мере 180° в сумме. Для каждого типа жил можно выделить преобладающие направления. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическим обоснованием их генезиса. Так для жил 2-го типа характерны те же азимуты падения и диапазон углов, что и для сланцеватости, аналогичная картина видна и для остальных типов: 1-го типа, приуроченные к приразломным зонам Бадран-Эгеляхского надвига и Ветви 2, имеют тот же, северо-восточный азимут падения и углы; жилы 3-го типа, ввиду их генетической связи с трещинами отрыва имеют самые различные элементы залегания, порой схожие с другими двумя типами, но на их стереограмме видна особенная плоскость с юго-западным падением, и достаточно густое распределение плоскостей северо-западного падения не характерная для остальных. Учитывая среднее юго-восточное погружение под крутыми углами оси минимальных сжимающих напряжений, перпендикулярное к ней падение жил 3-го типа подтверждает гипотезу об их соответствии трещинам отрыва.

Таким образом, экстраполируя данные по залеганию пород с западных участков (как более кондиционные в этом отношении) относительно 3-го рудного столба и основываясь на замерах элементов залегания пород (напластования и сланцеватости) в скважинах, можно однозначно заключить о субсогласном направлении (северо-восточном) погружения пород и разрывных нарушений на участке 3-го рудного столба.

Определившись с падением пластов, можно на основании изучения керна (геологическое описание с месторождения, фотографии керна, результаты замеров элементов залегания по керну), установить пространственное соответствие прожилков каждого типа и характерных особенностей вмещающих толщ (полосчатость, сланцеватость, интервалы милонитизации, катаклаза и т.п.).

Так жилы 1-го и 2-го типов легко узнаются в керновом материале (рис.3.4). Первые значительно отличаются по мощности измененной зоны вмещающих пород, имеют нечеткие контакты и расположены близко к надвиговым зонам. Они характерны для темноцветных алевролитов, в основном по причине их расположения у надвиговых зон. Но в рассмотренных далее профилях (рис. жилы 1-го типа встречаются также и в песчаниках верхних горизонтов, у зоны «Ветвь 2».

Прожилки 2-го типа маломощны, извилистые, всегда соответствуют сланцеватости (рис.3.5). Они нехарактерны для песчаников из-за отсутствия в них выдержанных зон сланцеватости (в большинстве случаев и полосчатости), встречаются на относительно низких горизонтах (ниже 100 м) в темноцветных алевритистых породах.

Жилы 3-го типа также легко узнаваемы, имеют четкие контакты и, за редким исключением, противоположное падение относительно полосчатости и сланцеватости (рис. 3.6). Развиты по всей глубине зоны, наименее выдержаны по элементам залегания. Характерны друзы кварца, с которыми связаны немногочисленные находки видимых частиц золота размерностью 1-3 мм.



Рис. 3.4. Жилы 1-го типа.

Учитывая рассмотренные выше положения по залеганию пластов и жил были составлены 3 разреза через серии скважин на территории 3-го рудного столба наглядно демонстрирующие структурный план рассматриваемого участка и относящихся к нему жил (рис. 3.7-3.9).



Рис. 3.5. Прожилки 2-го типа.



Рис. 3.6. Жилы 3-го типа.

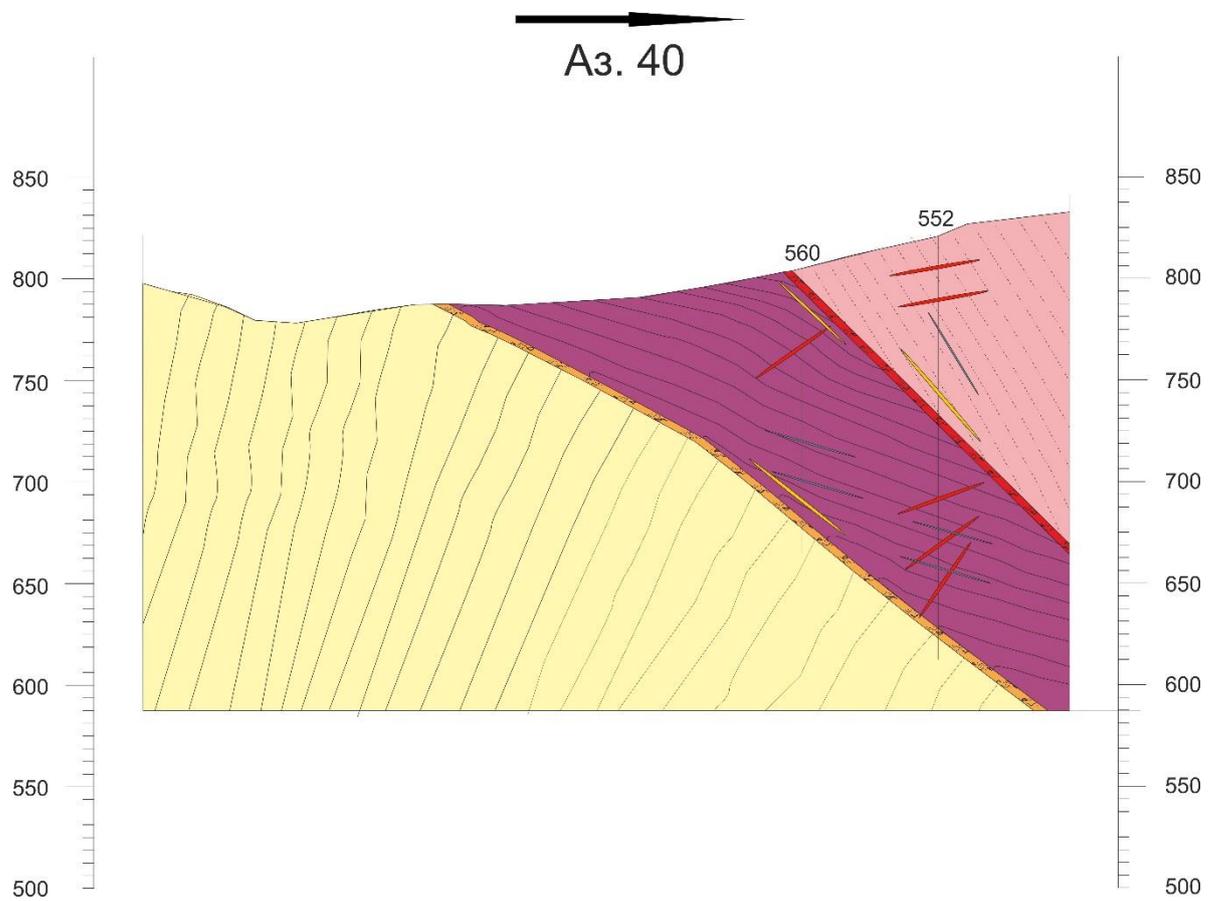
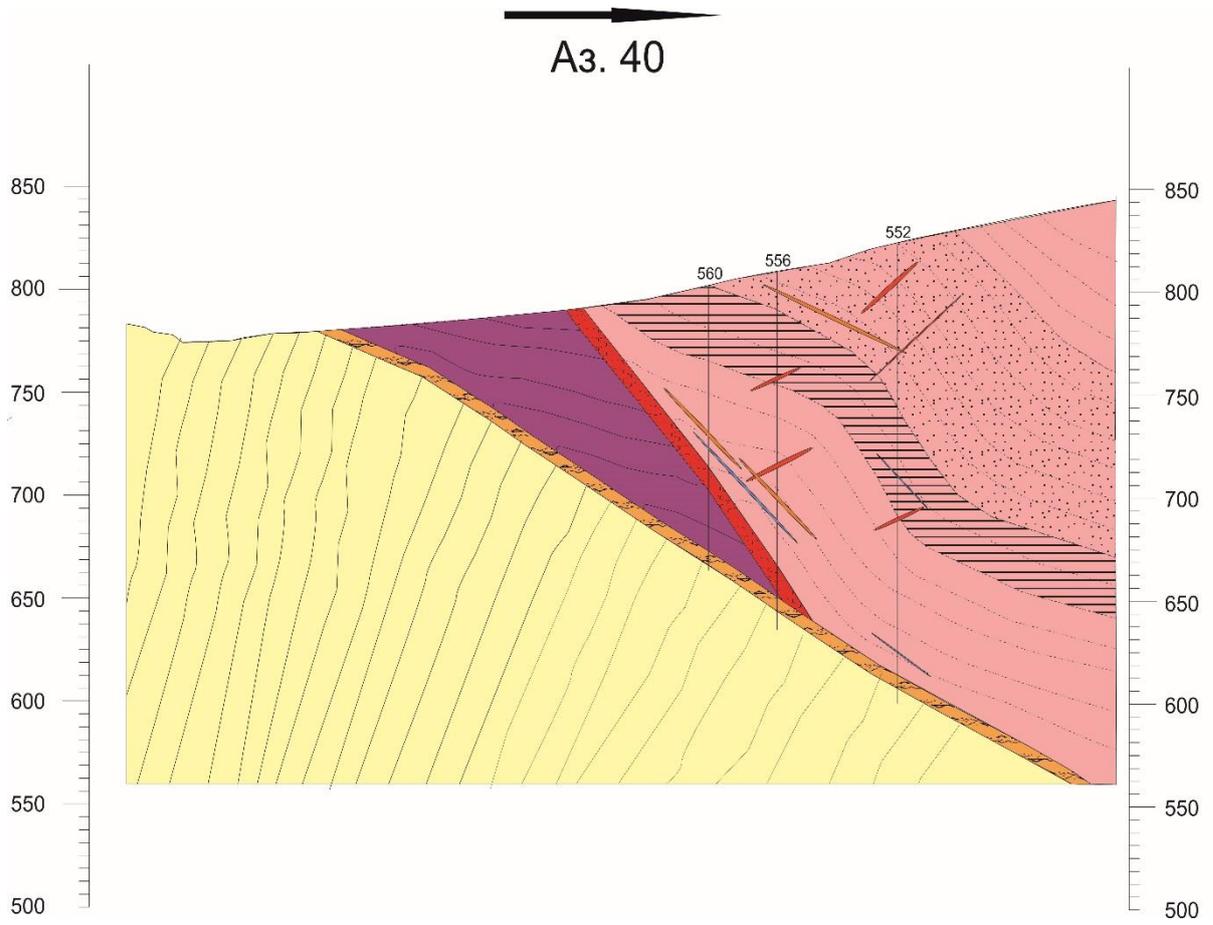


Рис.3.8. Разрез по линии 2-2'.

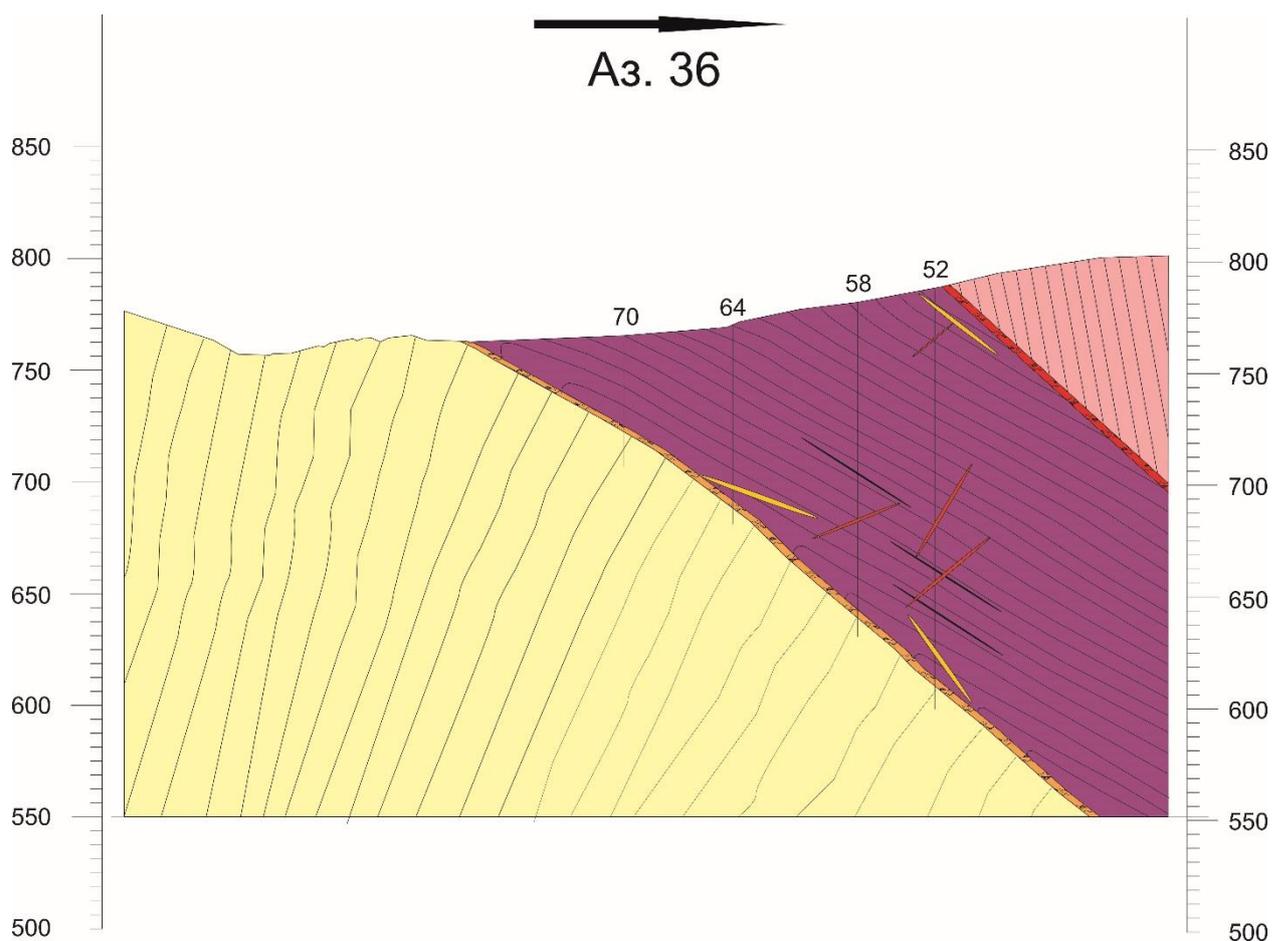


Рис.3.9. Разрез по линии 3-3'.

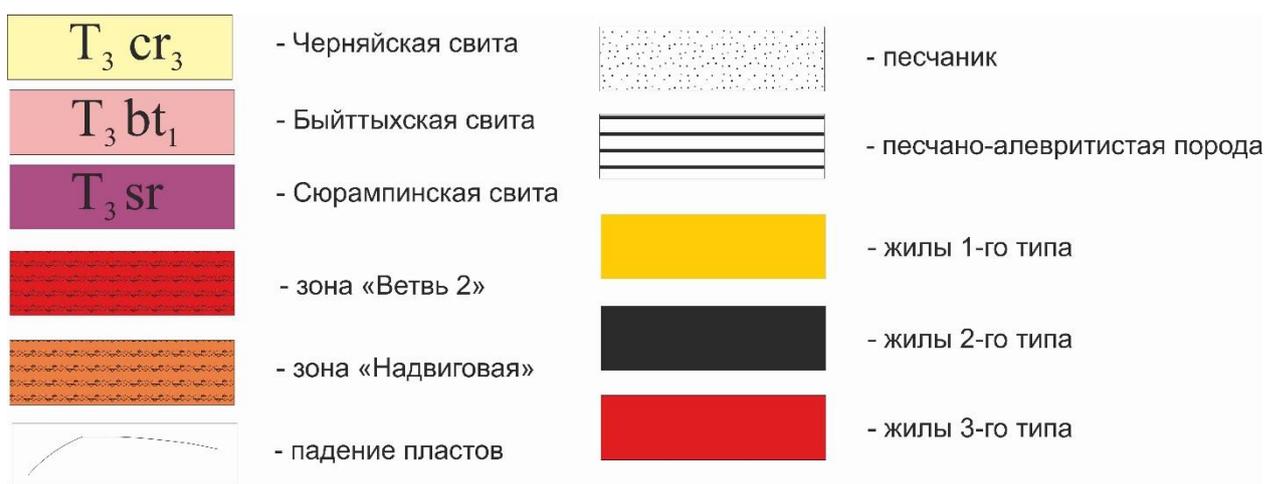


Рис.3.10. Условные обозначения к рисункам 3.7-3.9.

Как видно из разрезов жилы 3-го типа распространены повсеместно, тогда как жилы 1-го и 2-го типов имеют определенную, рассмотренную выше зональность. Отмечается, как на разрезе, так и в керне, распространённость жил в замках флексурных складок, а также на

участках подгиба пород в приразломных областях. С последними по результатам опробования связывается промышленное оруденение, в связи с чем приобретает важность точная трассировка поверхности скольжения по разрезу. В данном случае, при построении разрезов автор опирался на фотографии керна, его описание, результаты опробования и шлифы. В результате были установлены различные индикаторы перемещения, а местами и милонитизации, соответствующие надвиговой зоне (рис.3.11).

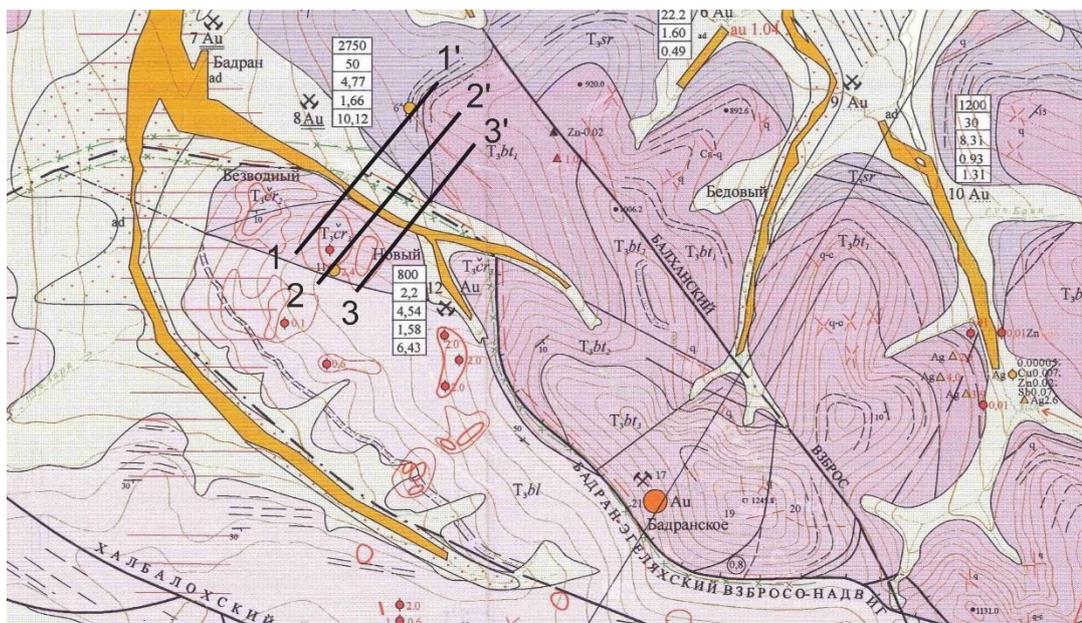


Рис.3.11. Схема расположения линий разрезов.

В местах пересечения скважин 552, 560, 556 плоскостью зоны «Ветвь 2» были установлены интервалы интенсивно катаклазированных пород, вплоть до их милонитизации. Ещё одним признаком наличия в установленных местах зоны «Ветвь 2» является резкая смена преимущественно песчанистой толщи светло-коричневого массивного (редко полосчатого) песчаника значительно более темноцветной смешанно слоистой песчано-алевритистой толщей. Углы падения полосчатости в этих интервалах также изменяются на более резкие, но не так значительно, как это происходит вдоль осевой плоскости зоны «Надвиговая».

В северо-западном направлении зона «Ветвь 2» начинает расходиться с Бадран-Эгеляхским надвигом и, вероятно, севернее соединяется с Балханским надвигом. В результате такого строения в районе 3-го рудного столба образуется 2 блока, отличных по литологическому составу, структурным особенностям и возрасту. Первый блок – лежащее крыло зоны «Ветвь 2», сложенный породами сюррампинской свиты, состоит из смешанно-слоистых песчано-алевритистых пород, сменяемых вниз по разрезу черноцветными

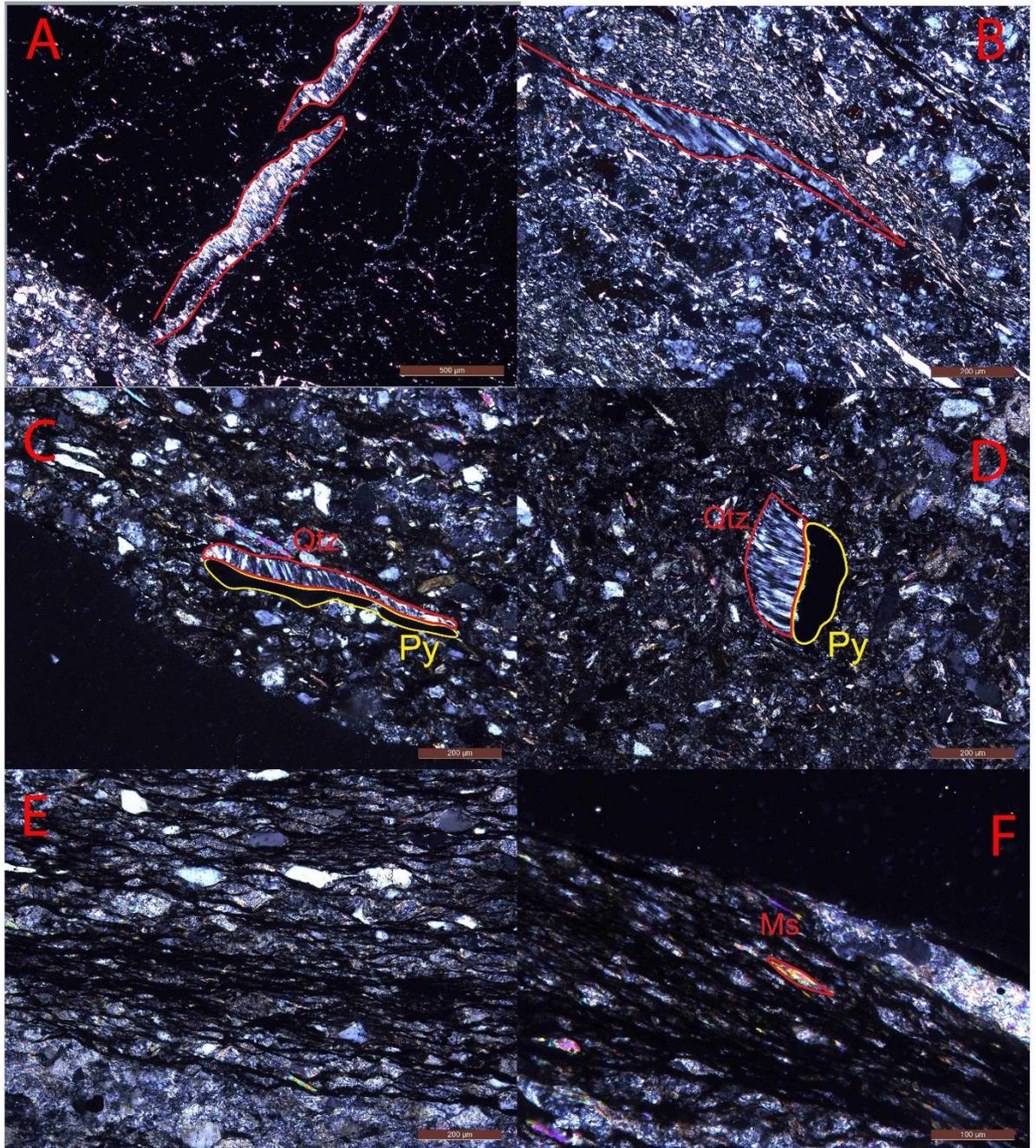


Рис.3.12. Фотографии шлифов по скважинам 560,552,556.

А-В: Трещины отрыва заполненные перпендикулярными стенкам кристаллами кварца. С-Д: Тени давления, выраженные в антитаксиальных бородах нарастания красталлов кварца на поверхности зерна пирита. р. Е-Ф: милонитизированные породы с включениями слюдяных рыбок мусковита (F).

глубоководными сланцеватыми аргиллитами. Второй блок – висячее крыло зоны «Ветвь 2», сложен песчаниками средне-мелкозернистой размерности, в основном массивными, светло-коричневого, бежевого цветов.

Мощность жил и зон их скопления значительно больше в песчаниках, которые развиты преимущественно в висячем блоке зоны «Ветвь 2». Кроме того, породы второго блока слагают флексурную складку (рис.3.7), осевая плоскость которой трассируется ярко выраженными зонами катаклаза (рис. 3.4) и большим количеством жил различного типа, среди которых наиболее характерны жилы 3-го типа, связанные с трещинами отрыва.

Результаты опробования интервалов развития жил и прожилков, указанных на на разрезах, показывают, что наибольшее содержание золота характерно для жил 1-го типа (до 20,1 г\т, в среднем 4,2г\т). Для жил 3-го типа большинство значений едва достигают 2-3 г\т, а в среднем составляют 1,6 г\т, почти аналогичные результаты – среднее 1,4 г\т – для прожилков 2-го типа. Учитывая весьма бедное оруденение, связанное с жилами и прожилками, не приуроченными к плоскостям разломов, можно заключить, что промышленная разработка может быть связана только с наиболее мощными участками развития жильно-прожилкового оруденения 1-го типа. Эти интервалы слабо зависят от литологического состава, выполняют наиболее мощные участки, прослеживаются вдоль хорошо выдержанных по площади и по падению зон «Надвиговая» и «Ветвь 2».

Глава 4. Петрографический состав рудовмещающих пород

Породы северо-западной части месторождения Бадран представлены преимущественно алевролитами с подчиненным значением песчаников и аргиллитов.

Обломочные породы рассмотренных образцов зрелые в подавляющем большинстве случаев содержание полевых шпатов не превышает 3-5%, в пределе достигает 7-8%. Содержание полевошпатовой составляющей скорее всего занижено из-за широко развитых процессов замещения. Размерность обломков от алевритовой до среднезернистой псаммитовой, явно преобладают тонко- и мелкозернистая размерности (порядка 80% образцов).

Плохая окатанность обломков, таким образом закономерна, учитывая преобладающую размерность частиц. В первом приближении размерность и окатанность обломков свидетельствует о глубоководных условиях отложения осадков.

Значительным распространением с глубиной пользуются конформные структуры, инкорпорационные практически отсутствуют, что свидетельствует о прохождении породами стадии позднего катагенеза, без явных признаков метакатагенеза.

Характерными являются широко развитые признаки тектонического воздействия, особенно часто встречающиеся в образцах нижних интервалов разреза. Зачастую присутствует целый комплекс признаков, говорящий о многоэтапности тектонического воздействия.

Наиболее распространенным и заметным из них является «стандартный» набор деформационных признаков для зерен кварца, распространенных повсеместно: волнистое погасание зерен, деформационные ламели, необласты, вторичные изменения границ кварцевых зерен, выраженные обрастанием удлиненными лейстами мусковита.

В редких зерных плагиоклаза устанавливаются деформационные двойники и кинк-зоны. Обломочный мусковит также деформирован, его лейсты часто сильно удлинены (коэффициент удлинения >10) до игольчатых агрегатов, которые в основном имеют извилистую форму и заполняют пространство между зернами более устойчивых минералов. Зачастую в зонах милонитизации и трещиноватости такие вытянутые зерна формируют группы, имеющие общее направление удлинения (рис. 4.1).

Характерно широкое развитие систем трещин различной морфологии (рис.4.2), заполненных кварцевыми, карбонат-кварцевыми жилами. Часто трещины сопровождалось активным ожелезнением, выраженным, прежде всего, в характерном минеральном составе

цемента (сидерит, гидроокислы железа). Такая картина типична для верхних горизонтов (50-60 м от дневной поверхности) - зоны окисления.

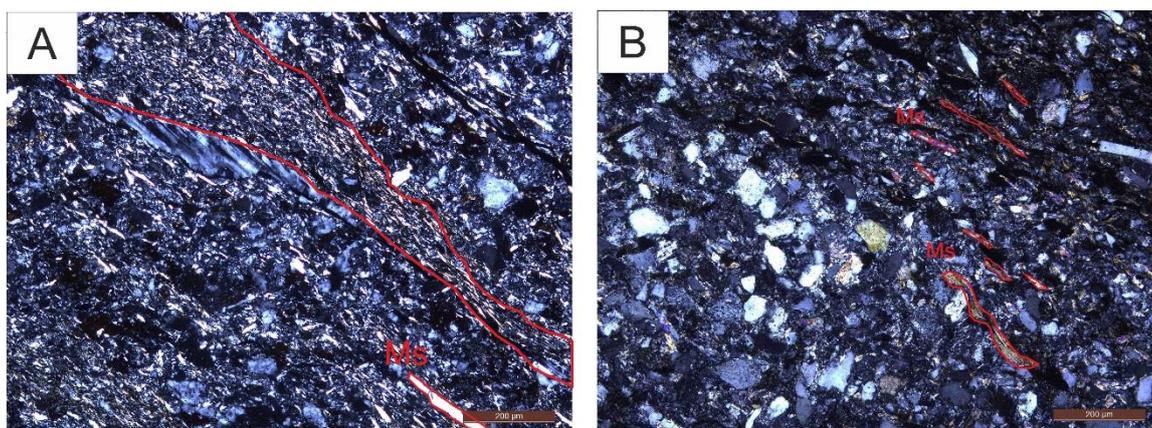


Рис.4.1. Красным отмечены группы удлиненных зерен мусковита.

С глубиной выраженность и количество различных деформационных признаков возрастает, что связано с приближением к поверхности сместителя – зоне основного тектонического воздействия.

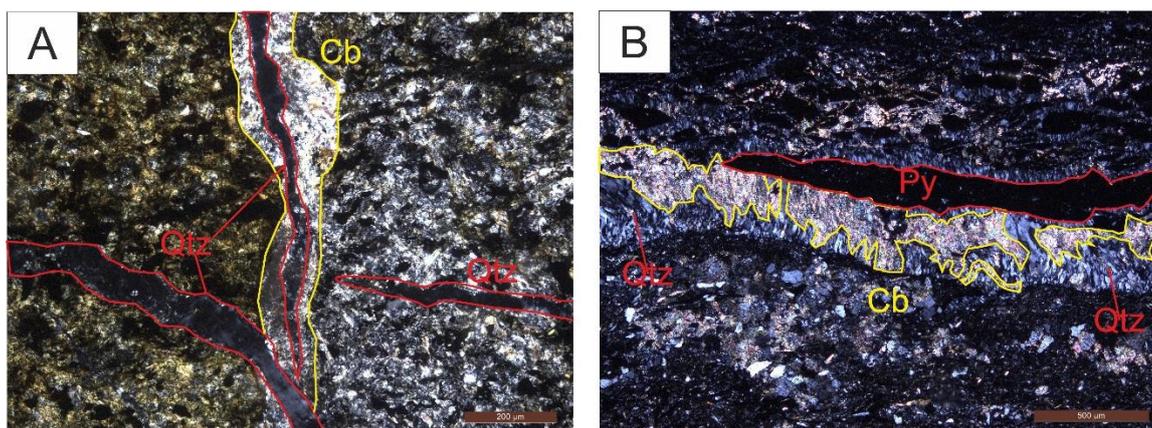


Рис.4.2. А – карбонатная жила с прожилками и ответвлениями кварца, цемент слева от жилы ожелезнен (с желтоватым оттенком). В – бороды нарастания на пирите сложенные кварцем и частично замещенные карбонатом.

Распространены тени давления жестких включений сульфидов и плагиоклаза (рис.4.3), будинач обломочных зерен в зонах милонитизации, развитие структур типа «слюдяная рыбка». В зонах милонитизации присутствуют обломочные зерна кварца с предположительно зарождающимися δ -структурами, но ярко-выраженных примеров не обнаружено.

По-видимому, тектоническое воздействие и образованные в результате деформационные структуры являются контролирующими для гидротермально-

метасоматических процессов, ответственных за рудное минералообразование месторождения.

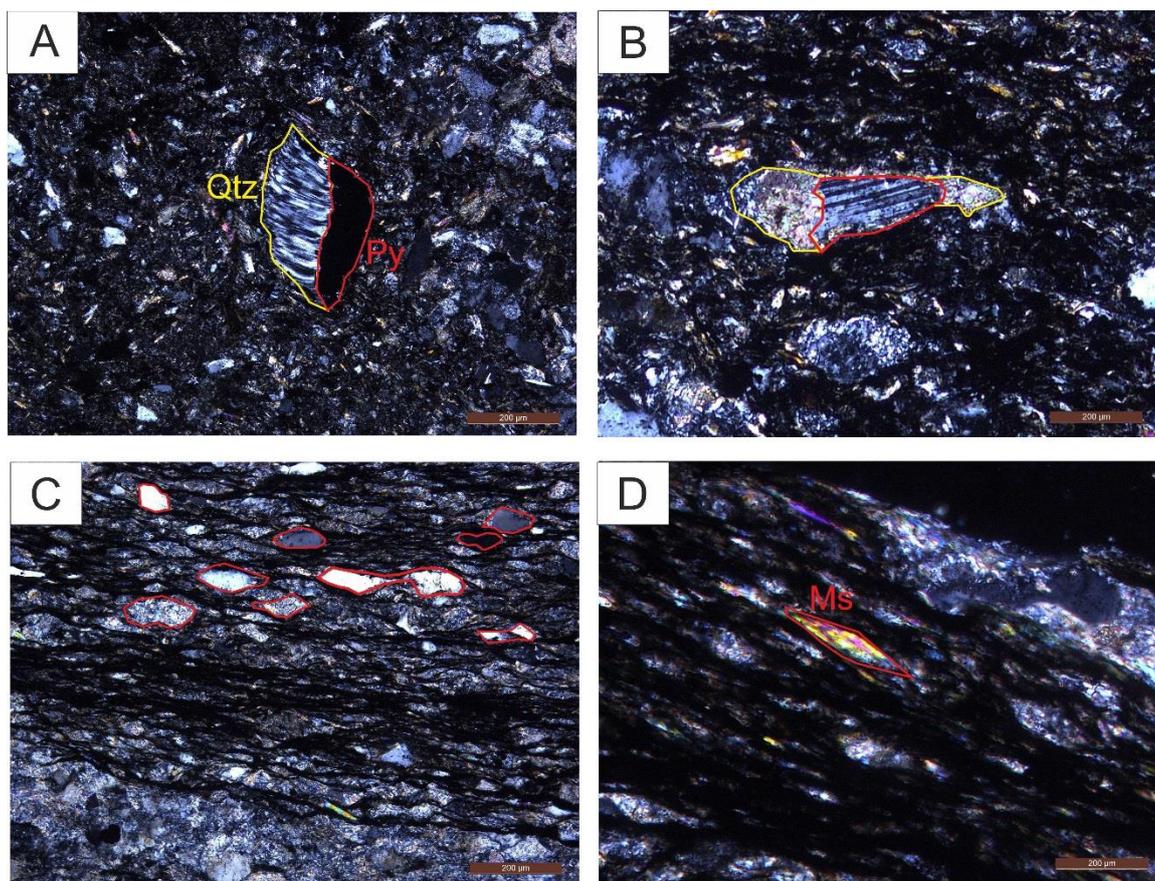


Рис.4.3. А – бороды нарастания по пириту; В – тени давления по плагиоклазу; С – будины кварца в милонитизированных породах; D – «слюдная рыбка» мусковита.

Широко развиты стяжения рассеянного органического вещества (далее РОВ) в межзерновом пространстве. В зонах, приуроченных к разломам, стяжения приобретают хорошо различимую общую ориентировку, предположительно по трещинкам кливажа. Стяжения имеют различный облик от сетчатых до листоватых агрегатов (рис.4.4). Часто заполняют трещины (рис.4.4).

Присутствуют различные типы цемента (рис.4.5):

1. Полимнеральный преимущественно серицитовый (глинистые минералы, чешуйки мусковита, кварц, карбонаты Ca-Mg ряда). Наиболее широко распространен.
2. Анхимономинеральный каолиновый цемент, в основном представлен диккитом. Также широко распространен по всему разрезу.
3. Карбонатный цемент. В основном представлен кальцитом, в меньшей степени доломитом и сидеритом. В верхних горизонтах преобладает сидерит, часто замещен гидроокислами, окислами железа. В целом по разрезу развит меньше предыдущих

типов цемента, но в местах локализации кварц-карбонатных прожилков и зон катаклаза может преобладать.

4. Кварцевый цемент. Только регенерационный вокруг кварцевых зерен, встречается достаточно редко толщина каймы 0,003 мм и меньше.

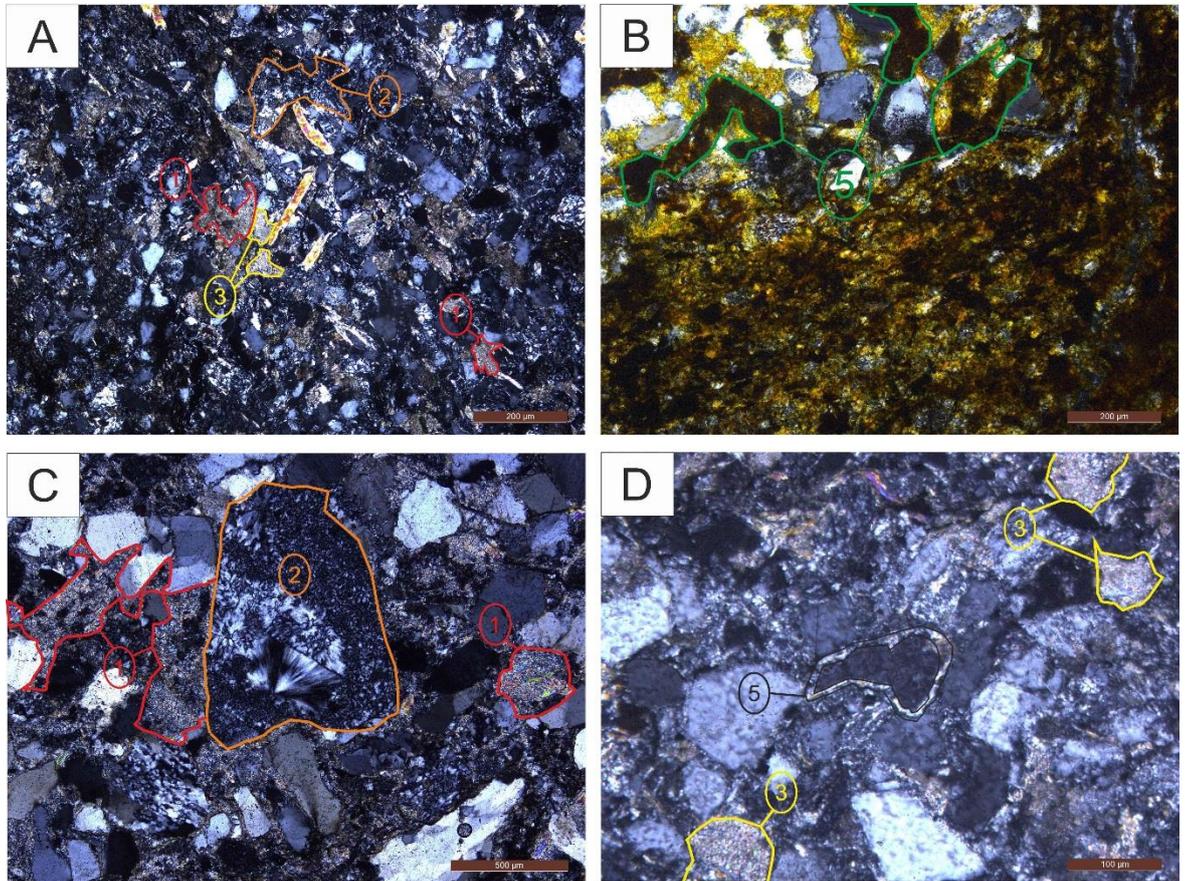


Рис. 4.5. 1 – полиминеральный серицитовый цемент; 2 – каолиновый цемент; 3 – карбонатный цемент; 4 – окисно-железистый и ожелезненный карбонатный; 5 – регенерационный кварцевый цемент.

Глава 5. Минеральный состав руд и стадии минерализации

Месторождение Бадран относится к полиформационному ряду с проявлением различных стадий минерализации (Татаринов, 1992):

1. золото-пиритовой
2. золото-пирит-арсенопиритовой (первая и вторая)
3. золото-галенит-сфалеритовой
4. золото-блеклорудной
5. золото-серебро-сульфоантимонитовой

Они, в свою очередь слагают золото-сульфидную, малосульфидную (золото-пирит-арсенопирит-галенит-сфалеритовой с сульфоантимонидами) и золотокварцевую формации.

Главной особенностью формирования руд месторождения является наложение одновременных стадий минералообразования с образованием рудных столбов в зоне «Надвиговая». В этой связи участки наложения минерализации характеризуются смешанным типом минералогической и геохимической зональности с дроблением вещества ранних стадий, что затушевывает общий характер зонального распределения минералов в рудах. Лишь поздняя антимонитовая стадия, проявленная на разных структурно-гипсометрических уровнях зоны, характеризуется меньшим дроблением и меньшим окислением руд.

Зона окисления руд на месторождении составляет 80*100м. При этом в зоне окисления «Надвиговая» преимущественно фиксируется свободное золото и кварц. Остальные сульфиды уничтожены и превращены в сульфаты, легко мигрирующие в составе водных растворов зоны окисления.

Историю отложения в породах рудных минералов можно разделить на следующие этапы:

- ❖ Дорудный доскладчатый
- ❖ Складчатый
- 1) Ранний рудный (пирит-арсенопиритовый, этап формирования зоны рассеянной минерализации)
- 2) Поздний рудный (этап формирования кварцевых жил)
- ❖ Гипергенный

Дорудный доскладчатый этап.

Характеризуется формированием черносланцевой рудовмещающей гетерогенной пачки, состоящей из алевропилитовой (компетентной) части с прослоями песчаников (некомпетентной части). В составе алевропилитовой части формировались рассеянная линзовидно-желвако-конкреционная марказитовая минерализация. По скважинам мощность пачки, обогащенной стяжениями, вкраплениями, линзовидными и конкреционными образованиями марказита над- и под вмещающими горизонтами зоны «Надвиговая», варьирует от нескольких метров до первых десятков метров. Степень насыщения марказитом отдельных слоев от 1,5 до 35%.

Пирит присутствует в продуктивной рудовмещающей пачке от фромбоидальной, до микрозернистого, конкреционного и рассеянного разновидностей (рис.5.1). Пиритовые разновидности слабозолотоносные. По результатам пробирного анализа в пирите над зоной «Надвиговая» устанавливается концентрация золота от 0,2 до 6г/т (Тютрин, 2002). Здесь и далее результаты опробования на золото и серебро, а также информация по распределению химических элементов в минералах взяты из фондовых материалов ЗРК «Западная» (Тютрин, 2002). Кроме того, заключения о площадной и вертикальной распространенности той или иной минеральной фации, ввиду дискретности имеющихся фактических материалов, также подкреплены фондовыми отчетами.

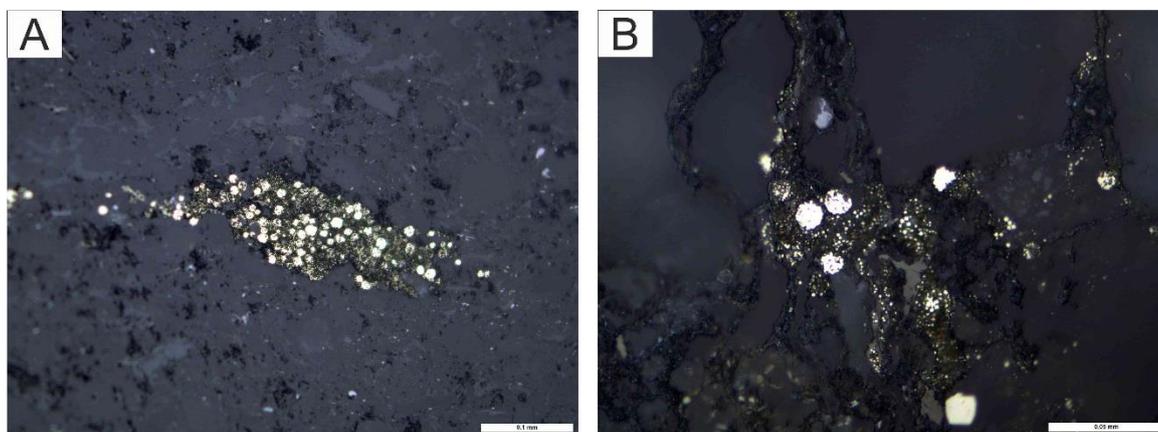


Рис.5.1. Фромбоидальный, конкреционный и микрозернистый разновидности пирита.

Складчатый этап.

В это время происходит формирование флексуры Бадрана с крутым юго-западным крылом. Проявления регионального метаморфизма повлекло за собой метаморфизм рудовмещающей толщи, на уровне хлоритовой субфации, что подтверждается находками хлорита (рис.5.2D). Пирит-марказит осадков черносланцевой толщи испытывает

перекристаллизацию и перераспределение с образованием ранней рассеянной минерализации золотиносного пирита и арсенопирита (Тютрин, 2002). Следствием перераспределения элементов-примесей в процессе перекристаллизации пирит-марказитов в пириты ЗРМ является возрастание коэффициентов вариаций элементов, кроме титана.

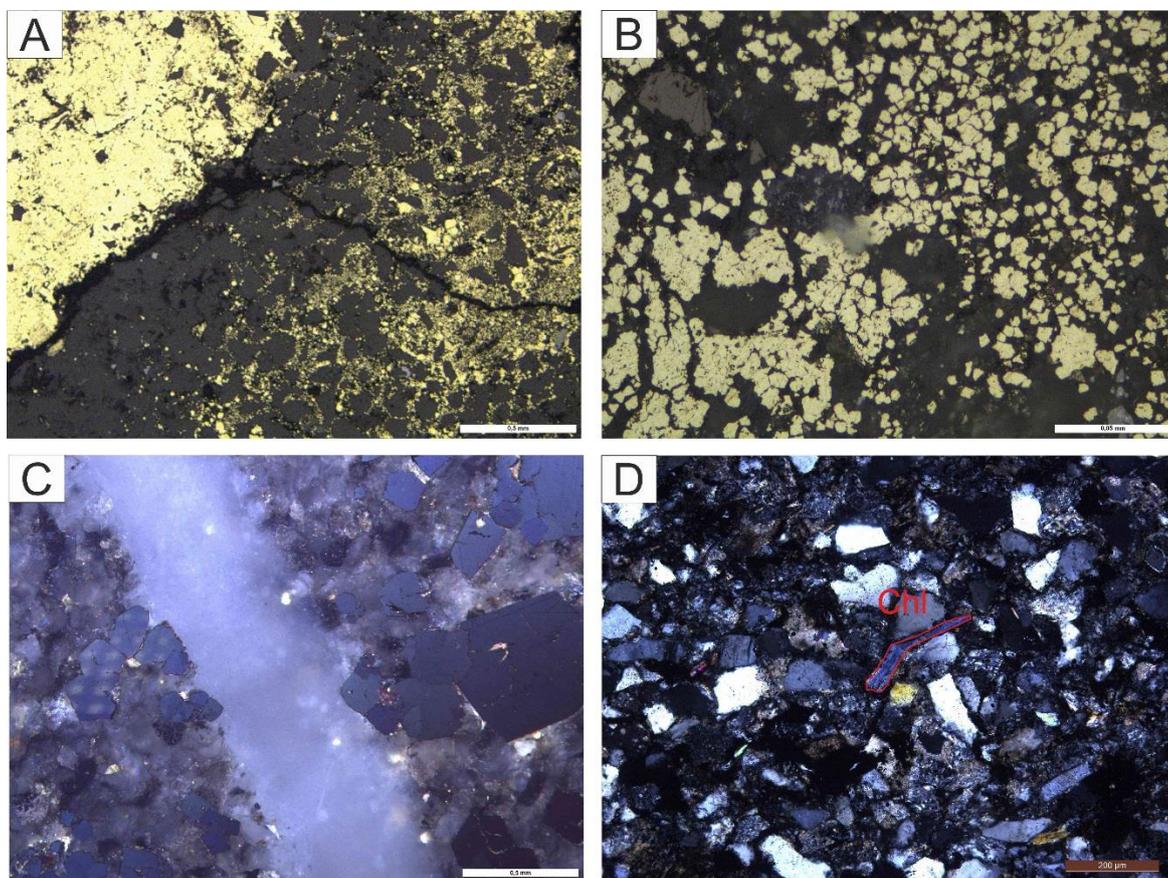


Рис.5.2. А – рассеянный микрозернистый и фромбоидальный пирит (слева) на границе с крупной пиритовой конкрецией (справа), В – левый участок снимка А с большим приближением; С – пирит на границе с кварцевой жилкой мутновато-серого цвета (в поляризованном свете); D – хлорит среди кварцевых обломков.

Наблюдается процесс перегруппировки конкреционного пирита с образованием глобулярного пирита, агрегативного пирита и кристаллического пирита. Глобулярный пирит тяготеет к конкреционным стяжениям раннего пирита (рис.5.2А-В). По микротрещинам образуются прожилки мелкозернистого пирита в ассоциации с мутновато-серым кварцем (рис.5.2С). Рассеченный более поздними трещинками тонкозернистый (агрегативный) пирит испытывает следующую перекристаллизацию с образованием кубических, параллелипедальных кристаллов пирита от 1 до 3,5мм.

Глобулярные пириты по отношению к зернистому пириту обогащены золотом, серебром, медью, цинком. При их перекристаллизации в зернистые пириты значительная

доля этих металлов переходит в жильную массу зоны «Надвиговая». Кристаллические же разности пирита по отношению к глобулярному пириту обогащены только сурьмой.

Закономерно изменяются содержания золота и серебра в разностях пиритов на уровне одного и того же горизонта. Глобулярный пирит содержит концентрации до 1,5 кг/т, а серебра до 1,2 кг/т. Агрегативный зернистый пирит уже содержит золота всего до 75 г/т, серебра 100 г/т. Кристаллический пирит содержит золота ещё меньше – около 5- г/т при неизменных (около 10г/т) средних содержаниях серебра.

Последовательная стадия наблюдаемых процессов перекристаллизации сульфидов железа в период складкообразования (региональный дислокационный метаморфизм рудовмещающей толщи) приводит к диафорическим преобразованиям минералов с перераспределением золота вначале из обогащенной рудовмещающей толщи и пирит-марказитов (Тютрин, 2002) в глобулярный пирит. Из него уже золото перегруппируется (перераспределяется) либо в жильный кварц, либо в жильные новообразованные сульфиды последующих стадий минералогенеза. В таком случае в последующих стадиях минералообразования должны наблюдаться выделения самородного золота на границе зерен кристаллов пирита в углеродисто-глинистых оторочках жил, либо в кварце, либо в новообразованных сульфидах и в срастаниях с ними.

Видимо формирование глобулярного и зернистого пирита ЗРМ вместе с образованием рассеянного арсенопирита надо рассматривать в рамках одной (дожильной стадии). Содержания золота в пиритах и арсенопиритах зоны рассеянной минерализации (ЗРМ) варьирует в пределах первых десятков до первых сотен г/т. В них повышены концентрации серебра, свинца, сурьмы, меди, кобальта, никеля и марганца (Тютрин, 2002).

Пирит. Представлен зернистыми, кристаллическими разностями от кубического до параллелипидального, пентагонального габитусов (рис.5.3А). Достаточно часто встречаются кристаллы от долей мм до 1-3 мм. По падению зоны «Надвиговая» преобладает кубический и зернистый пирит, но также увеличивается доля пентагонального пирита. К поверхности наблюдается постепенное увеличение размерности кристаллов до 3 мм. Характеризуется содержаниями золота 5-10 г/т – 400 г/т. Средние содержания варьируют в пределах 20-40 г/т золота и серебра – 0,5-150 г/т.

Валовый пирит по золотоносности и сереброносности по зоне характеризуется следующими содержаниями. Концентрации золота составляют 162,2, а серебра – 175,7 г/т.

Максимальные содержания золота и серебра принадлежат зернистым пиритам. Однако их относительная доля, по сравнению с кристаллическим пиритом, невелика и составляет не более 35-40%. Это сказывается на валовой золотоносности и серебряности пирита, которая почти на порядок ниже золотоносности глобулярного и зернистого пирита.

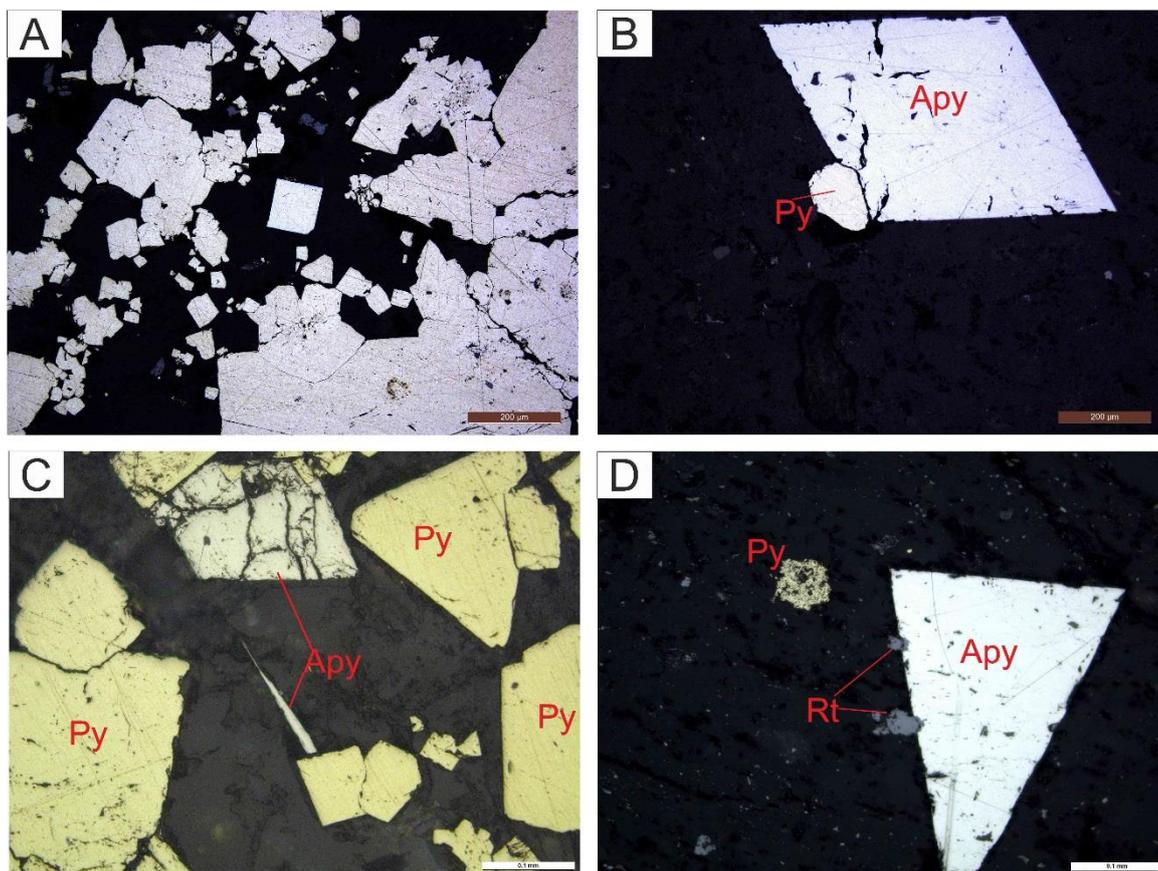


Рис.5.3. А – пирит ЗРМ; В – сростки пирита и ромбовидного арсенопирита ЗРМ; С – игольчатый и ромбовидный кристаллы арсенопирита в ассоциации с пиритом кубического и дипирамидального габитусов; D – пирамидальный арсенопирит в ассоциации с более поздними выделения рутила.

Исследование содержания золота по падению рудной зоны практически однозначно подтверждает восточное склонение увеличения содержания золота и серебра. Это полностью подтверждает мысль о восточном склонении интенсивности золотого оруденения в зоне, установленное по полевым данным ГЦ СПбГУ. Таким образом информация о зональности золота сохраняется на уровне примесей золота в пиритных зонах.

Уместно заметить, что так называемая пятиэлементная группа коррелянтов As-Co-Ag-Ni, формирующая почти непрерывную часть структуры зонального геохимического ряда, указывает на отдаленную пространственную связь элементов с редкометальной ассоциацией, типичной для пространственной связи с гранодиоритами в Верхоянье.

Арсенопирит. Образует кристаллы от долей мм до 3,5 мм преимущественно уплощенно-ромбовидного габитуса, реже призмочек, ещё реже – игольчато-призматического облика кристаллов (рис.5.3B-D). Отмечается наличие пирамидальных и дипирамидальных форм.

Соотношение в зоне пирита и арсенопирита примерно равные, но по восстанию увеличивается доля пирита, таким образом на нижних структур-гипсометрических этажах преобладает арсенопирит, что связано с проявлением прямой минералогической зональности в ЗРМ. Проследить полный ряд минералогической зональности пирит-арсенопирита не получается по причине присутствия зоны окисления в первых 100 м разреза.

Но очевидным является столбовой характер проявления обогащенных участков ЗРМ пирита-арсенопирита. Эти столбы совпадают с положением рудных столбов зоны «Надвиговая». Арсенопирит характеризуется близкой золотоносностью с пиритом при тех же уровнях вариации содержаний. Кроме того, арсенопирит содержит более высокие концентрации серебра и сурьмы по сравнению с пиритом.

Этап формирования ЗРМ пирит-арсенопирита можно считать ранним рудным, поскольку средние содержания пирита-арсенопирита в зоне может достигать 5-10%, а содержание золота в ЗРМ достигать 4,5-7 г/т, что соизмеримо с содержаниями золота в ЗРМ Нежданнинского золоторудного месторождения и группе месторождений в Южном Верхоянье.

С глубиной ЗРМ количество золота в свободной форме уменьшается на исследуемом участке рудной колонны зоны «Надвиговая». Золото с глубиной всё более тесно связано с сульфидной (пирит-арсенопиритовой) формами. К верхним структурно-гипсометрическим уровням количество свободного золота увеличивается как в связи с перекристаллизацией пирита и арсенопирита ЗРМ, так в связи с гидротермальным метаморфизмом ранних стадий под влиянием поздних. Ближе к поверхности обогащение свободным золотом связано с формированием зоны окисления. Наиболее верхние (эродированные к настоящему времени участки зоны) были ещё богаче по отношению к свободному золоту. Это объясняет большое количество россыпного золота.

Этап дробления в зоне «Надвиговая» привел к формированию брекчий, сцементированных нитевидными кварцевыми прожилками с признаками регенерации пирита и арсенопирита ЗРМ в прожилки. Он завершает формирование самой рудной зоны с рассеянной минерализацией, сформировавшейся в условиях температур 112-165⁰С (Тютрин, 2002).

Этап образования межслоевых трещин срыва с формированием субсогласных с зоной «Надвиговая» четковидных эшелонированных жил и жильных столбов.

После формирования субсогласной минерализованной зоны дробления (зоны «Надвиговая») внутри неё формируются межслоевые сдвиговые деформации, приведшие к формированию эшелонированных субсогласных и конкордантных зоне трещин отслоения.

Они выполняются минеральным веществом золото-кварцевой стадии, где количество сульфидов не превышало 1,5-3%. Таким образом, на месторождении формируются условия смены ранней сульфидной (пирит-арсенопиритовой) на позднюю малосульфидную (полисульфидную) золотокварцевую формацию.

Стадия, предшествующая формированию жильной части зоны, связана с образованием нитевидных альбит-кварцевых прожилков в самой ЗРМ и раннего кварца в оторочках жильной стадии с наличием тонкокристаллического альбита (менее 1%) (Оболенский, 2011). Стадия несет основную промышленную золото-сульфидную минерализацию. Структура кварца мелкозернистая. Текстура тонкополосчатая за счет примазок тонкого углисто-глинистого вещества. К такому полосчатому кварцу иногда тяготеют мелкие вкрапления золота главной рудной стадии.

Минеральный состав поздней полисульфидной золотокварцевой минерализации.

Жильный кварц, карбонат, пирит, арсенопирит, рутил (подтвержденные в аншлифах), блеклые руды, антимонит, сульфоантимониды, золото (Оболенский, 2011). Температура 165-225⁰С.

Жильный кварц крупнокристаллический, серовато-белый, бежевый матовый, с волнистым погасанием (рис.5.4А-В). В массе жильной части зоны «Надвиговая» преобладает. Именно в нём содержится основная масса свободного золота, как в зоне окисления, так и на горизонтах ниже её распространения. Здесь же сосредоточена основная масса сульфидов: пирита, арсенопирита и галенита. Кварц содержит иногда до 10% ксенолитов боковых пород. В рудной массе преобладает. Содержит в зальбандах жил тонкозернистый, полосчатой текстуры кварц. Ближе к контактам жил в кварце обнаруживаются бурые вкрапления железистого карбоната из группы сидерит-доломита. На поверхности зоны окислен. На глубинах 100-200м представлен вкраплениями желтовато-бурых кристаллов типа анкерита. Количество карбоната не превышает 5-10%.

По трещинкам в кварце, в линзочках и в виде вкраплений, обнаруживается кварц другой генерации. Обычно таблитчатый, крупнокристаллический, от белого до серого цветов. Доля крупнокристаллического таблитчатого кварца в жильной массе составляет около 10-15%. Именно к этому кварцу тяготеет минеральная ассоциация позднего антимонита согласно авторам предыдущих отчетов.

По данным термовакуумной декрипитации в валовом кварце жильной зоны устанавливается три группы включений, отнесенных к ближайшим температурным точкам полиморфизма воды (Тютрин, 2002): 225⁰С, 165⁰С, 112⁰С. По данным термовакуумной декрипитации кварца первой группы в нем устанавливается основная группа включений на уровне 168⁰С, хотя присутствует небольшой максимум декрипитации в области 225⁰С.

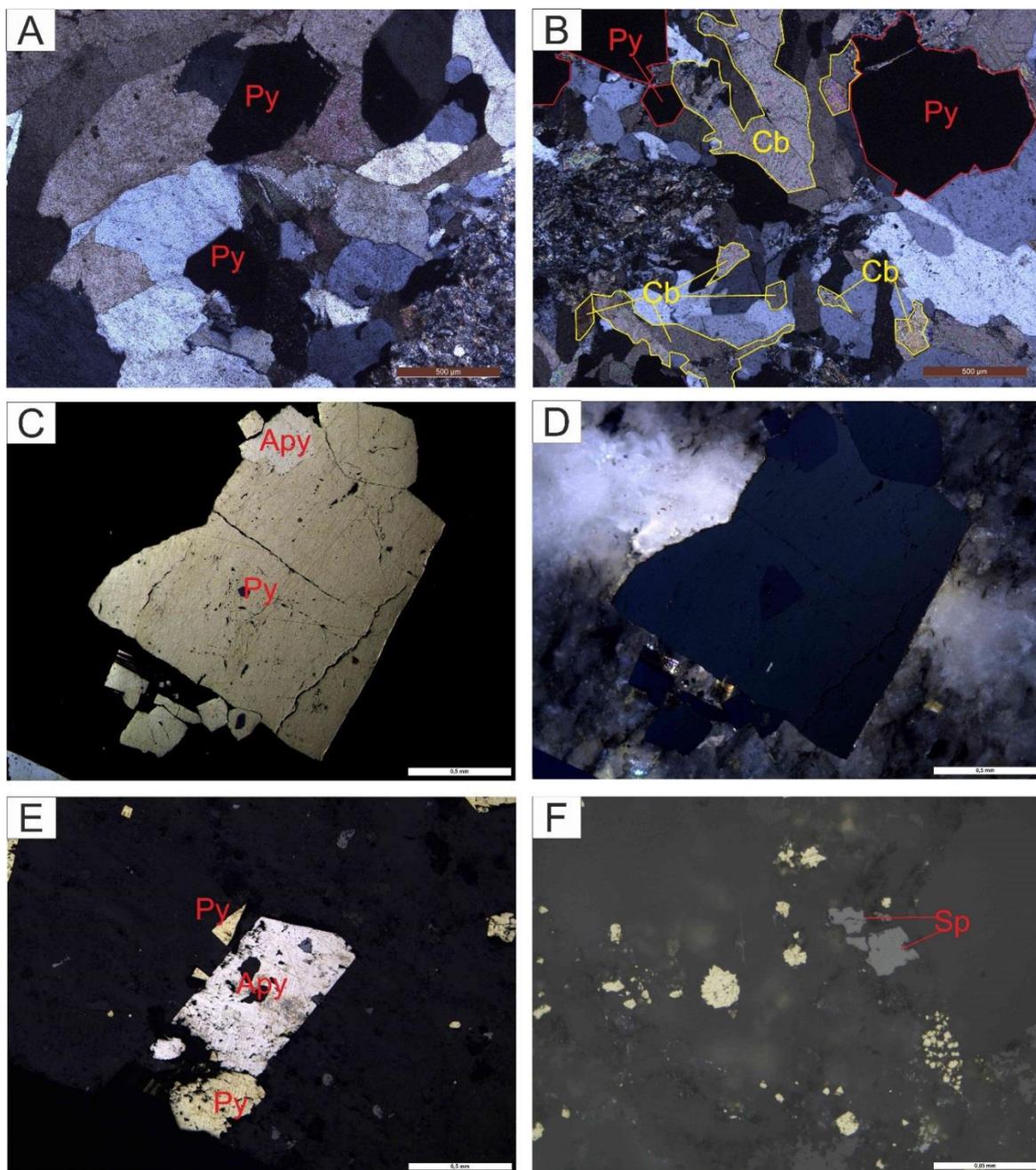


Рис.5.4. А,В – крупнокристаллический жильный кварц в ассоциации с карбонатом и выделениями жильного пирита; С – сросток пирита и арсенопирита в кварцевой жиле; D – снимок С в поляризованном свете. Е – сросток кристаллов пирита и параллелепипедального кристалла арсенопирита. F – выделения сфалерита.

Кварц второй группы декрипитирует в интервале температуры 165-112⁰С. Температура декрипитации позднего кварца не анализировалась, есть включения группы 112⁰С, что предполагает наличие таких температур в кварце последней группы.

Таким образом основной рудный этап, связанный с жильной стадией, укладывался в температурный диапазон 225-112⁰С.

Жильный пирит образует как гнездо, так и прожилки в кварце, характеризуется крупнокристаллическим строением. Образует крупные скопления идиоморфных кубических кристаллов на границе карбонат-кварцевых жил (рис.5.5). Встречается в тесном сростании с арсенопиритом (рис.5.4).

Жильный арсенопирит наблюдается в тесном сростании с пиритом. Крупнокристаллический. Выглядит менее окисленным по отношению к пириту. Но также неокисленные разности отмечаются ниже глубины 100 м.

Галенит и сфалерит. Относятся к менее распространенным минералам жильной стадии по отношению ко всем сульфидам. Особенной редкостью распространения отмечается сфалерит. Размеры выделений в кварце галенита от долей мм до 3-4 мм. Часто замещает первичные фромбоидальные и глобулярные выделения пирита (рис.5.5) Сфалерита – от долей мм до 1-2 мм (рис.5.4). Как правило сильно окислены. К галениту, на границе его зерен, по трещинам в нем тяготеют включения более позднего крупнокристаллического золота (Тютрин, 2002).

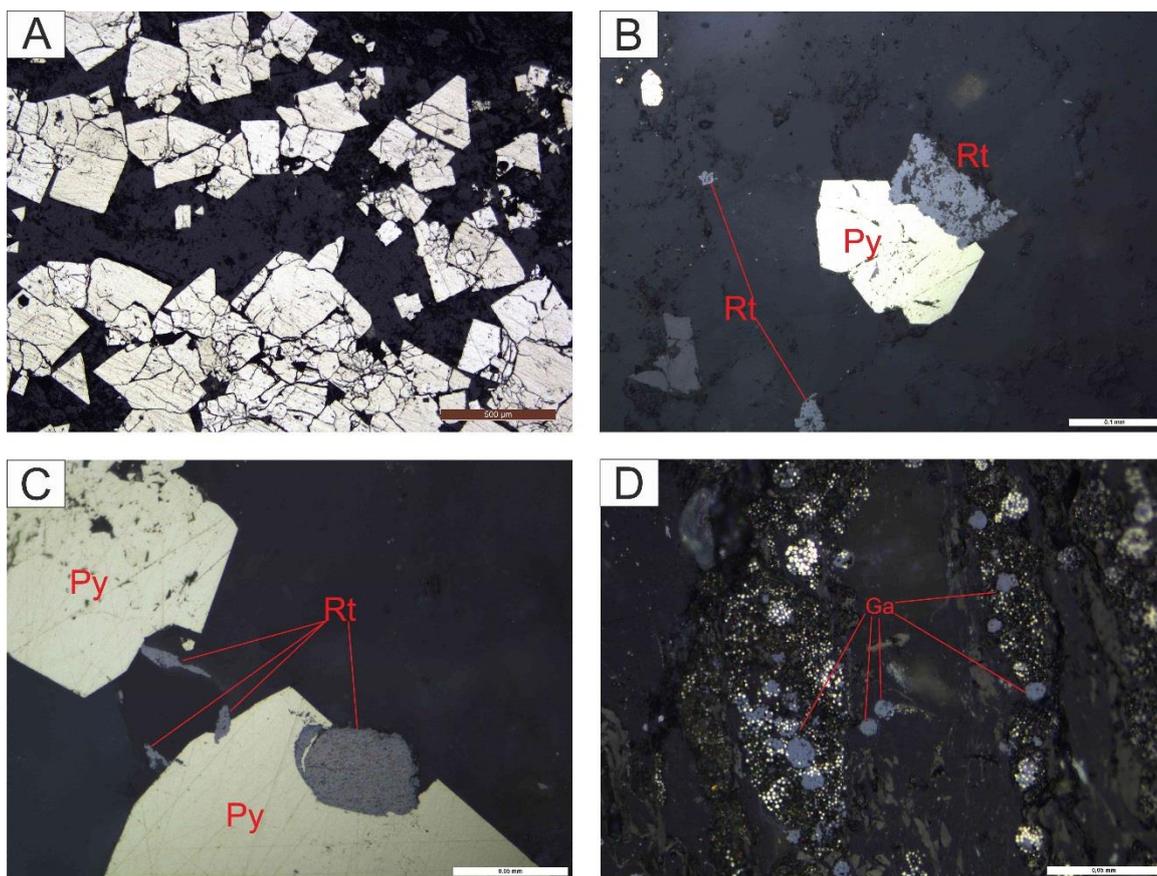


Рис.5.5. А – выделения кубического пирита в кварцевой жиле; В,С – сростки пирита и рутила (лейкоксенизированного); D – замещение фромбоидального пирита галенитом.

Рутил. Встречается в основном в виде округлых вкрапленностей во вмещающих породах, реже в виде прожилков, часто наблюдается в сростании с кристаллами пирита. Также заполняет трещинки и вкрапленности крупнозернистых кристаллов пирита (рис.5.5). Размеры выделений от менее, чем 0,05 мм до десятых долей мм. Большинство выделений лейкоксенизированы.

Золото-сульфидная (редуцированная) стадия минералообразования. В эту стадию опять проявилась сульфидная минерализация, связанная с образованием анхимономинеральных антимонитовых руд, но практически без золота в ассоциации с этой стадией отмечается кварц и карбонат (доломито-кальцит) (Тютрин, 2002).

Заключительной подстадией формирования золото-сульфоантимонитовой минерализации, таким образом, является наличие в зоне «Надвиговая» на разных структурно-гипсометрических уровнях антимонитовой минерализации. Содержания золота незначительные, в раннюю антимонитовую подстадию составляют до 5-25 г/т, а серебра 150-130 г/т.

Отсутствие пространственной связи с магматизмом и с учетом выявленной минералогической и термобарогеохимической оруденения, дает возможность наметить схему эволюции источников золота в рудных телах месторождения.

Наличие повышенных концентраций золота в марказитах, глобулярных пирита и метапирита рудовмещающих отложений черносланцевой толщи, прямые минералогические наблюдения стадийности процесса минералообразования в условиях формирования структуры зоны «Надвиговая» позволяет выстроить историю и механизм «вхождения» золота в рудные тела месторождения поэтапно и постадийно.

Этап первый. Осадочный.

На стадии формирования осадков в условиях, близким к раздвигу, в подводной среде неконсолидированной толщии по типу «черных курильщико» в резко восстановительной среде произошло первичное обогащение золотом, серебром, мышьяком и т.п. будущей вмещающей алевропилитовой среды. Форма вхождения этих металлов носила геохимический характер надкларковых концентраций.

Этап второй. Ранний региональнометаморфогенный.

Стадия первая. Литификация, формирование марказитов рудопродуцирующей в последующих этапах и стадиях толщии в условиях регионального метаморфизма (поздняя юра – ранний мел). Следствием этой стадии является вхождение золота и его элементов-спутников в марказиты в силу сродства золота, серебра, мышьяка, свинца, меди, сурьмы, и т.п.

Стадия вторая. Перекристаллизация марказитов в глобулярный метапирит. Это привело к вхождению золота и его спутников в структуру глобулярного и рассеянного пирита.

Этап третий. Складчатый. Дислокационный метаморфизм. Образование флексуры Бадрана. Стадия первая. Заложение зоны «Надвиговая». Сжатие, метасоматизм. Перекристаллизация зернистого пирита и вхождение части золота и его элементов-спутников в форму золотоносного метапирита и метарсенопирита. Формируется основная часть золота в ЗРМ в форме упорных руд по всему размаху флексуры на уровне продуктивной пачки и на всю мощность зоны «Надвиговая». Золотоносность пиритов-арсенопиритов ЗРМ небольшая.

Стадия вторая. Гидротермально-метасоматическая. Продольное растяжение. Дробление в зоне «Надвиговая». Формирование трещин отрыва. Миграция ранее отработанных флюидов из боковых пород в зону. Перераспределение золота из метапирита и метаарсенопирита в жильные сульфиды (пириты, арсенопириты, галениты, сфалериты). Формируются рудные столбы в зоне «Надвиговая». Однако оруденение носит «размазанный» тип по зоне и столбам. Часть золота ещё тесно связана с жильными пиритами и арсенопиритами или эта минерализация отсутствует в жилах, но присутствует сфалерит-галенитовая с золотом.

Этап четвертый. Постскладчатый. Ранний мел. Дробление ЗРМ. Кварцево-жильных тел.

Ранняя гидротермальная стадия завершающего этапа. Связывает процесс перекристаллизации раннего кварца и ранних жильных сульфидов. Происходит высвобождение части золота в кварц, по трещинкам в сульфидах по принципу диафтореза. Образуются блеклые руды, сульфоантимониды с золотом, рассеянным в их структуре. Понижаются средние содержания золота в жильных арсенопиритах с увеличением доли свободного золота в кварцевых жилах.

Поздняя гидротермальная стадия завершающего этапа. Поздний мел. Дробление, диафторез ранних и поздних сульфидов. Высвобождение части золота из поздних сульфидов. Образование слабозолотоносного антимонита. Перекристаллизация его. Высвобождение части золота из него и формирование незолотоносного позднего антимонита. По примесям вольфрама, олова, висмута в поздних сульфидах, в т.ч. и антимоните можно судить об отдаленном влиянии кислых гидротермальных погонов.

Формируется облик не окисленных руд месторождения Бадран. Руды по своему составу дифференцированы на упорные бедные по содержаниям 5-6г/т ЗРМ, богатые руды в столбах с боннанцами, где проявлены все стадии перераспределения и

перекристаллизации вещества с высвобождением самородного золота в кварце, сульфидах, на границе зерен и углистых примазок.

Этап пятый. Формирование зоны окисления руд месторождения Бадран. Неоген-современный этап. На фоне неотектонических позонных срывов, перетирания происходит сульфатное выщелачивание руд. Образуется зона вторичного золотого обогащения за счет формирования гипергенного «горчичного» золота. Денудация рудных тел приводит к формированию богатой россыпи.

Заключение

Месторождение относится к полиформационному типу с проявлением различных стадий минерализации. Наибольшая золотоносность характерна для кварцевых жил завершающего хрупкого этапа деформаций, когда в результате очередной гидротермальной переработки происходит высвобождение золота из более ранних сульфидов с их осаждением в кварце жил и связанных с ними сульфидах.

Выделены 3 типа жил, генетически связанные с деформационными структурами, характерными для Бадранского рудного поля.

1 тип – жилы, контролируемые трещинами скола.

2 тип – жилы и прожилки, контролируемые сланцеватостью.

3 тип – жилы, контролируемые трещинами отрыва.

Жилы первого типа часто объединяются в относительно мощные прослои зон оруденения, всегда связанных с разрывными нарушениями, выявленными в ходе структурных построений по месторождению Бадран. На основании картины распределения тектонических напряжений относительно плоскостей разломов сделан вывод об их приуроченности к трещинам скола, которые объединяясь на поздних этапах деформации формировали достаточно мощные (до первых метров) пластины жил и прожилков. Жилы имеют северо-восточное субсогласное с зонами разломов падение.

Жилы второго типа, ввиду их приуроченности к сланцеватости, не образовывали мощных прослоев. Сланцеватость согласуется с полосчатостью вмещающих пород на участках наименьшей деформированности, и является секущей по отношению к полосчатости на участках повышенной деформированности (у плоскостей разломов, на крутопадающих крыльях складок, в осевых плоскостях складок).

Жилы третьего типа в следствие их генетической связи с трещинами отрыва имеют секущее положение по отношению к полосчатости и сланцеватости. Они также не образуют мощных прослоев, обычно разрознены.

Литологически жилы 3-го типа распространены преимущественно в верхней пачке песчаников – относительно более хрупком слое. Для жил 2-го типа более характерны алевритовые смешаннослойные породы. Жилы 1-го типа связаны с разломами, а те в свою очередь имеют тенденцию к развитию на границе алевритовой и песчаниковой пачек.

Результаты опробования по данным ГЦ СПбГУ говорят о наибольшей золотоносности жил 1-го типа (в среднем 4,2 г/т). Кроме того, именно этот тип образует достаточно мощные (до первых метров) зоны оруденения. Таким образом, наиболее перспективные для разработки зоны висячего крыла Бадран-Эгеляхского надвига связаны с плоскостями оперяющих дизъюнктивных нарушений. Эти нарушения маркируются

зонами катаклазитов и милонитизированных пород в керне скважин, с ними связаны индикаторы деформации, хорошо различимые в шлифах.

В итоге построены разрезы через северо-западную наименее разведанную территорию месторождения, на которых отображено положение жил и прожилков разного типа относительно напластования пород и плоскости надвигов. Согласно элементам залегания пород, в скважине отображается флексурная складка в осевой плоскости которой сосредоточена мощная (около 20 метров) зона трещиноватости заполненная кварцевыми жилами 3-го типа. Направление падения этой зоны юго-западное, простирание зоны развития трещиноватости согласное с простиранием шарниров складок – северо-восточное, вдоль плоскости Бадран-Эгеляхского надвига.

Литература

Монографии

Гончаров М. А. Талицкий В. Г., Фролова Н. С. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005, - 496 с.

Родыгин А.И. Азимутальные проекции в структурной геологии – Томск, изд-во Томск.ун-та, 1980 – 139с.

Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон М., Недра, 1977 – 144с.

Статьи

А.А. Оболенский, Л.В. Гущина и др. Физико-химическое моделирование процессов минералообразования Бадранского золоторудного месторождения (Якутия). Геология и геофизика, 2011, т. 52, № 3, с. 373—392.

Семинский Ж.В. Семинский К.Ж. Тектонофизический анализ обстановок локализации рудных полей и месторождений в разломных зонах земной коры. Геология рудных месторождений, 2004, т.46, №4, с. 292—304.

Фондовые материалы

Ахъяев М. Р., Аметов Р. С. Отчет о поисковых работах м-ба 1:25000 в пределах Бадранского рудного узла (Бадранский поисковый отряд) за 1975 г. пос. Усть-Нера, 1975 - 101с.

Емельянов С.А. Старыгин Н.В. Отчет о результатах III очереди разведки месторождения Бадран за 2000-2005гг. с подсчетом запасов по состоянию на 1.01.2006г. пос. Эльгинский 2006г. – 226с.

Неустроев Р. Г. Структурно-морфологические особенности размещения золоторудного оруднения месторождения Бадран :Северо-восток Якутии.- дисс. к.г.-м.н., Якутск, 2004.- 149 с.

Тимофеев И.А. Отчет о о работе Бадранской поисково-разведочной партии за 1961 г., пос. Усть-Нера, 1961 – 131с.

Татаринов А.В., Яловик Л.И. и др. «Прогнозирование рудных столбов на месторождении золота Бадран с оценкой перспектив глубьких горизонтов и флангов территории», Иркутск, 1992 – 78 с.

Тютрин В. Р., Егорова Л. И., Ефимов В. В. Отчет о результатах поисковых работ в пределах Бадранского рудного узла за 1996-2001 г.г. (Бадранская партия). п. Хандыга, 2002, 558 с.

Фридовский В. Ю. Структуры месторождений золота Верхояно-Колымской орогенной области.- дисс. д.г.-м.н., Якутск, 1999.- 408 с.

Шудов В. А., Бородкина А.Н. и др. Информационный отчет о состоянии минерально – сырьевой базы и перспективы геологоразведочных работ на Бадранском рудном узле. пос. Усть-Нера, 2012 – 125с.

Ялович Г. А. Геолого-структурные и вещественные особенности золоторудных месторождений в шарьяжно-надвиговых структурах Яно-Колымского и Монголо-охотского орогенных поясов (на примере Бадранского, Карийского и Пильненского месторождений).- дисс. к.г.-м.н., Новосибирск, 2016.- 161 с.