

Казахский Национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

УДК 553.3.072 (574.24)

На правах рукописи

**УМАРБЕКОВА ЗАМЗАГУЛЬ ТЛЕУХАНОВНА**  
**«ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОГНОЗНЫЕ**  
**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА**  
**(БАКЫРШИК, БЕСТОБЕ, АРХАРЛЫ)».**

6D070600 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:  
Дюсембаева Куляш Шарановна,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
ассоциированный профессор  
НАО КазННТУ имени К.И. Сатпаева

Professor Reimar Seltman доктор PhD,  
Natural History Museum Department  
of Earth Sciences, Department of Mineralogy,  
London, Great Britain

Республика Казахстан  
Алматы, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ</b>	3
	<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b>	4
	<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ</b>	5
	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	6
<b>1.</b>	<b>КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (БАКЫРШИК, АРХАРЛЫ, БЕСТОБЕ)</b>	13
1.1	Месторождение Бакыршик	13
1.2	Месторождение Архарлы	20
1.3	Месторождение Бестобе	28
<b>2.</b>	<b>ВЕДУЩИЕ ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ КАЗАХСТАНА</b>	35
2.1	Золото-мышьяковая углеродистая формация	35
2.2	Золото-серебряная формация	44
2.3	Золото-теллур-висмутовая формация	48
2.1.1	Минералогия руд месторождения Бакыршик	52
2.1.1.1	Формы нахождения золота в рудах	59
2.1.1.2	Углеродистое вещество в рудах и рудовмещающих породах	63
2.2.1	Минералогия руд месторождения Архарлы	67
2.2.1.1	Первичные руды	67
2.2.1.2	Галоидные минералы серебра в зоне окисления	71
2.3.3	Минералогия руд месторождения Бестобе	81
<b>3.</b>	<b>ПРОЦЕССЫ ЗОЛОТООБРАЗОВАНИЯ</b>	85
3.1	Пробность золота как индикатор физико-химических условий гидротермального рудообразования на золото-серебряных месторождениях	87
3.2	Геохимические барьеры – осадители и концентраторы золота	89
3.3	Эволюционная направленность золоторудного процесса	102
3.4	Продуктивные на золото стратиграфические уровни и литогеохимические формации	104
<b>4.</b>	<b>ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА</b>	106
4.1	Геологические модели основных промышленных месторождений	118
4.1.1	Модель образования золотого оруденения на месторождении Бакыршик	118
4.1.2	Модель образования золотого оруденения на месторождении Архарлы	132
4.1.3	Модель образования золотого оруденения на месторождении Бестобе	136
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	143
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	146

## **НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:  
Закон Республики Казахстан «О науке» от 18.02.2011 г. № 407-IV  
ЗРК.ГОСО РК 5.04.034-2011: Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан. Послевузовское образование.

Докторантура. Основные положения (изменения от 23 августа 2012 г. №1080).

Правила присуждения ученых степеней от 31 марта 2011 года № 127.ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации использованы следующие термины с соответствующими определениями:

**Геолого-промышленный тип месторождений** - это группа однотипных месторождений, зарекомендовавших себя в мировой и отечественной практике как реальный поставщик данного типа минерального сырья.

**Золоторудные формации** – это группы месторождений со сходным вещественным составом руд, характеризующихся близкими геологическими условиями образования, сложенные определенными продуктивными минеральными ассоциациями.

**Геохимические барьеры** - это те участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация. В пределах большинства барьеров довольно резко изменяется форма нахождения элементов в мигрирующем потоке (изменение типа миграции), а затем происходят связанные с ней изменения интенсивности миграции и осаждение (концентрация) определенных химических элементов или их соединений

**Углеродистые формации** – осадочные и вулканогенно-осадочные формации, в строении которых принимают значительное участие углеродистые, или т. н. черные, сланцы, представляющие собой продукты преобразования морских кремнистых, глинистых и, в меньшей степени, карбонатно-глинистых илов, с повышенной концентрацией  $C_{орг}$  ( $\geq 1\%$ ) и часто фосфора, сульфидной серы, ванадия, золота, серебра, урана, ряда цветных, редких и рассеянных металлов.

**Эпитермальное оруденение** – около поверхностная зона, в которой протекает гидротермальная деятельность в основном, связанная с субэральным щелочно-земельным вулканизмом и часто (но не всегда) с продуктами вулканизма, с рудоотложением благородных металлов.

**Пирит** -  $FeS_2$  (серный колчедан) - самый распространенный сульфид в земной коре, встречается в различных породах (от магматических до осадочных) и рудах, характерный минерал золоторудных месторождений.

**Арсенопирит** –  $Fe(AsS)$  (мышьяковый колчедан) – один из наиболее распространенных минералов в рудных месторождениях, особенно гидротермальных (от высокотемпературных до низкотемпературных), характерный минерал золоторудных месторождений.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГКЗ - Государственная комиссия запасов  
ТЭДС – термоэлектродвижущей силы  
РЭС – рудоносные взрывчатые сооружения  
РЭМ – растровый электронный микроскоп  
УВ - углеродистое вещество  
ДТА – диагностика термических кривых  
ОВ – органическое вещество  
ЭПП – элементы группы платины  
С<sub>орг</sub> – содержание углерода  
ГСП и РМПИ – геологическая съемка поиски и разведка месторождений полезных ископаемых  
ИГН - Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева  
 $\alpha$ - активность  
E – окислительно-восстановительный потенциал, В;  
 $e^-$ -число электронов  
F - число Фарадея  
G – свободная энергия Гиббса  
H – энтальпия  
K – константы равновесия ( $K_{равн}$ ), неустойчивости ( $K_{неуст}$ )  
M, m – молярная (M) и молярная (m) концентрации  
N – число Авогардо  
P – общее давление  
S – энтропия  
R – газовая постоянная  
T – абсолютная температура, К  
ЭДС – электродвижущая сила

## ВВЕДЕНИЕ

### **Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технической проблемы.**

В ходе исследований трех важнейших для Казахстана золоторудных формаций (золото-мышьяковая - Бакыршик, золото-серебряная - Архарлы, золото-теллур-висмутовая - Бестобе) проанализировано современное состояние науки в решении вопросов теории образования золоторудных месторождений, изучены продуктивные минерагенические уровни и рассмотрены принципы построения прогнозно-поисковых моделей рассматриваемых главных промышленных типов месторождений золота.

Генетические аспекты образования золоторудных месторождений и, в первую очередь, формы миграции золота, особенности его поведения и осаждения в разных термодинамических условиях и различных геологических средах всегда вызывали повышенный интерес как крупнейших ученых, так и геологов-разведчиков, поскольку они имеют большое практическое значение в целенаправленных поисках и оценке новых рудных полей и авторы этих исследований упоминаются в работе. Так на формирование месторождения Бакыршик предложено несколько прогнозно-поисковых моделей трех генетических типов – сингенетического (экзогенного гидротермально-осадочного), эпигенетического (эндогенного гидротермально-метасоматического) и полигенного сингенетично-эпигенетического, в разных сочетаниях, совмещающего два первых типа. Несмотря на противоречивые представления, обоснованные большим фактическим материалом, все они взаимно дополняют друг друга, что свидетельствует о чрезвычайной сложности данной проблемы. Последнее подтверждается на примере аналогов Бакыршика – месторождений – гигантов золота черносланцевой формации России (Сухой Лог и др.), Узбекистана (Мурунтау), Киргизии (Кумтор) и др., продолжительная дискуссия по которым продолжается до последнего времени.

Бурное развитие в последнее десятилетие новых технологий гидрометаллургического выщелачивания золота разнообразными по составу растворами (бромидными, йодидными, аммиачно-тиосульфатными, тиосульфатными, гипохлоритными и др.) сопровождалось многоплановыми экспериментальными, в том числе автоклавными, исследованиями кинетики растворения благородного металла с определением термодинамических констант и физико-химическим обоснованием происходящих окислительно-восстановительных процессов. Полученные экспериментальные данные служат основой для физико-химического и термодинамического моделирования поведения золота и его комплексов в различных условиях.

Одним из наименее изученных в проблеме термодинамики формирования золоторудных месторождений являются вопросы осаждения золота в самородном состоянии на геохимических барьерах, решению которых нами уделено в работе существенное внимание. Основными результатами рассматриваемой работы является установление эволюционной направленности

полигенных физико-химических и термодинамических процессов в образовании месторождений золота с последовательным преобразованием метастабильного золота в его самородную фазу. Детально рассмотрено значение пробности золота, как индикатора физико-химических условий гидротермального рудообразования. Проанализированы основные типы золотолокализирующих геохимических барьеров. Результаты исследований могут быть использованы как для дальнейшего развития теории образования месторождений, так и при составлении прогнозных карт перспективных площадей, проведении поисковых и разведочных работ.

Благодаря прорывному развитию техники и технологии переработки золотосодержащих руд, в особенности с применением цианидных методов выщелачивания расширился круг месторождений с низким содержанием золота, вовлекаемых в промышленное освоение. В настоящее время рентабельным считается отработка месторождений с содержанием золота в рудах 0,62 г/т. И это не предел. Всевозможная интеграция различных способов цианидного метода выщелачивания руд с фабричной технологией, делает возможным дальнейшее снижение среднего содержания золота в рудах до 0,3-0,5 г/т. Кроме того, необходимо учесть, что проводятся испытания по разработке других более дешевых по стоимости реагентов (тиомочевина, иодиды, хлориды и т.п.), которые позволят в будущем еще более снизить себестоимость производства золота. Все эти обстоятельства позволяют рекомендовать промышленности Республики поставить на соответствующий уровень проблему освоения золото-серебряных месторождений в Казахстане (Архарлы). Как известно, числящиеся в государственном кадастре многочисленные объекты золото-серебряного оруденения в основном относятся к разряду рудопроявлений и только часть из них к мелким и средним по масштабам месторождениям. Однако пример освоения аналогичных объектов в России (Дукат, Олимпиадинское, Балей), Аргентине (Паскуа-Лама), Мексике (Пачука), Папуа Новой Гвинее (Поргера), Перу (Янокоча), Румынии (Рошия Монтанэ) и ряде других стран показывает, что при снижении бортового содержания промышленных руд до 0,5 г/т и менее, многие ранее известные мелкие объекты превратились в крупные, а в ряде случаев достигли объема уникальных месторождений.

Особое внимание исследователей привлекала зона гипергенеза золоторудных объектов, в которой воочию устанавливалась ремобилизация гипогенного золота, его миграция и локализация в меняющихся физико-химических условиях. Этой проблеме посвящены детальные исследования многих ученых, обосновавших ключевые вопросы геохимии золота в экзогенных условиях. В результате детальных микроскопических и микрозондовых исследований руд зоны окисления месторождения Архарлы впервые установлены различные галогениды серебра и сростки электрума с самородным серебром, имеющие принципиальное значение при восстановлении процессов гипергенного минералообразования.

Проявления золото-теллур-висмутовой формации (Бестобе) являются одним из классических представителей собственно-золоторудных месторождений, которые по распространенности среди различных промышленно-генетических типов занимают одно из первых мест в Казахстане. Рассматриваемая формация относится к числу наиболее изученных типов золотого оруденения. Часто геохимическими барьерами при отложении служат контакты сред с резко различным минералогическим составом (кварца с сульфидами, хлорит-серицитовыми метасоматитами, углеродисто-глинистыми алевролитами и др.). Выявлены чуткие индикаторы продуктивного золота - висмут и теллуриды.

**Основание и исходные данные для разработки темы.** Основанием для разработки темы диссертационной работы служат полевые работы, данные лабораторных и микроскопических исследований. Исходными данными являются микроскопическое изучение руд месторождений, сведения о геологическом строении изучаемых месторождений.

Работа основана на изучении и анализе фондовых материалов предыдущих лет и литературного обзора, натурных наблюдений в поле, кернового и каменного материала, результатов лабораторных исследований во время научно-исследовательской работы автора с 2016 по 2020 гг.

Изготовлены шлифы из основных образцов. Всего 155 аншлифов и 100 шлифов, описаны под микроскопом 30 аншлифов и 25 шлифов, в лабораториях во время обучения и прохождения стажировки в лаборатории Natural History Museum Department of Earth Sciences, Department of Mineralogy, Лондон, Великобритания

**Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы.**

Казахстан относится к одной из важнейших золотоносных провинций нашей страны. На базе различных геолого-экономических типов месторождений золота успешное развитие в республике получила золотодобывающая промышленность. В связи с исчерпанием фонда легко открываемых месторождений и все возрастающих потребностей народного хозяйства в дефицитном сырье требуют неуклонного повышения эффективности поисково-разведочных работ и ускоренного освоения новых рудных объектов. Решение этой сложной государственной проблемы невозможно без углубленных и всесторонних научных исследований, направленных на изучение условий формирования золоторудных и золотосодержащих месторождений и совершенствования принципов составления моделей месторождений и прогнозирования золотого оруденения.

**Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки.** Определяются полнотой геологических исследований условий образования и размещения месторождений Бакыршик, Бестобе, Архарлы.

По проблеме прогнозирования и моделирования проведен литературный и патентный обзор работ отечественных и зарубежных ученых. Выбраны современные методы изучения в лабораториях, оснащенных оборудованием



отвечающим требованиям науки и техники настоящего времени. Научно-технический уровень диссертационной работы определяется новизной полученных результатов, перспективностью использования результатов для цели прогнозирования и поисков золоторудных месторождений, завершенностью проведенных исследований. Изучены ведущие типы золоторудных формаций Казахстана и золоторудные процессы. Разработаны общие принципы составления прогнозно-поисковых моделей месторождений золота. Созданы модели эталонных месторождений Бакыршик, Бестобе, Архарлы.

**Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.** Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных приборов, прошедших метрологическую проверку для проведения геологических исследований в современных сертифицированных лабораториях «Инновационной геолого-минералогической лаборатории» КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, в Центре лабораторных исследований Музея естественной истории (Natural History Museum) (г. Лондон) на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 15LS SEM - электронно-зондовой установке Camesa, электроннозондового микроанализатора JCSA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY, в Институте геологических наук имени К.И.Сатпаева.

**Актуальность темы.** Генетические аспекты образования золоторудных месторождений, широко распространённых в Казахстане такого типа как Бакыршикский, Архарлинский и Бестобинский, в первую очередь, формы миграции золота, особенности его поведения и осаждения в разных термодинамических условиях и различных геологических средах всегда вызывали повышенный интерес как крупнейших ученых, так и геологов-разведчиков, поскольку они имеют большое практическое значение в целенаправленных поисках и оценке новых рудных полей. Особое внимание исследователей привлекала зона гипергенеза золоторудных объектов, в которой воочию устанавливалась ремобилизация гипогенного золота, его миграция и локализация в меняющихся физико-химических условиях.

**Новизна темы.** Исследования определяется тем, что, опираясь на новые полученные фактические данные в сочетании с уже существующими взглядами на образование золоторудных месторождений в углеродистых толщах, разработана трехэтапная модель формирования месторождения Бакыршик: седиментный осадочно-диагенетический; тектоно-метаморфогенный; интрузивно-термально-метаморфогенный.

- впервые на месторождении Архарлы в зоне окисления установлены галогениды серебра в ассоциации с самородным серебром и золотом, имеющие принципиальное значение при восстановлении процессов гипергенного минералообразования.

- детально изучены золоторудные процессы рассматриваемых месторождений, выявлены факторы рудоносности, разработаны прогнозные

модели, опирающиеся на геологические данные. Всё это послужит основой для поисков месторождений подобного типа на современной основе.

**Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.** Автор диссертации участвовал в разработке Научно-технической программы: «Научное обеспечение проблем по восполнению и освоению минеральных ресурсов Казахстана на 2006-2008 годы» по теме «Разработать новые теории происхождения месторождений и создать модели рудообразующих систем приоритетных полезных ископаемых» явилось изучение теоретических вопросов образования месторождений золота Казахстана и на этой основе разработка их прогнозно-поисковых моделей с систематизацией известных и прогнозируемых геолого-промышленных типов месторождений золота Казахстана.

В ходе исследований проанализировано современное состояние науки в решении вопросов теории образования золоторудных месторождений, изучены продуктивные минерагенические уровни и разработаны принципы построения прогнозно-поисковых моделей главных промышленных типов месторождений золота. По программе «Научное обоснование восполнения запасов полезных ископаемых для индустриального развития Республики Казахстан на 2012-2014 годы, «Создание научной основы оценки золотоносных структур и объёмных моделей главных типов месторождений золота».

**Цель работы** - выявление закономерностей процесса рудообразования и установление физико-химических и термодинамических барьеров отложения золота в важнейших месторождениях Казахстана, с геологическим и металлогеническим прогнозированием при поисках месторождений данного типа.

**Объектами исследования** являются важнейшие для Казахстана геолого-промышленные типы: 1) золото-сульфидный в терригенных углеродистых комплексах (Бакыршик); 2) золото-серебряный континентальных вулканоплутонических поясов (Архарлы); 3) золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе).

**Предметом исследования** являются руды из трех геолого-промышленных типов Казахстана, их микроскопическое изучение, с привлечением прецизионных методов исследования вещества, а также детальный анализ имеющихся данных по этим объектам.

**Задачи исследования:**

1. Сбор, обобщение и анализ материала по геологии и минералогии и геохимии на современном этапе изученности.
2. Детальное микроскопическое изучение золоторудного оруденения на месторождениях Бакыршик, Архарлы, Бестобе.
3. Выявить направленность золоторудного процесса в каждом исследуемом типе месторождения.
4. Обосновать при каких геохимических и термодинамических барьерах происходило отложение золота в рассматриваемых геолого-промышленных типах.

5. Выявить главнейшие геологические прогнозные модели для месторождений Бакыршик, Архарлы, Бестобе.

**Методологическая база исследований** состоит из следующих основных методов и анализов:

Образцы пород и минералов месторождений Бакыршик, Архарлы, Бестобе анализировались в Центре лабораторных исследований Музея естественной истории (Natural History Museum) (г. Лондон) на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 15LS SEM и на электронно-зондовой установке Cameca SX100.

Zeiss EVO 15LS SEM – универсальный аналитический сканирующий электронный микроскоп, который может работать в переменном давлении и высоких режимах вакуума. Режим низкого вакуума использовался для визуализации и качественного рентгеновского анализа образцов. При аналитике образцов в основном было использовано давление в 60-100 Па, хотя может быть увеличено до 200 Па. Выявление минералов осуществляется детектором EDX с регулярным калиброванием для анализа основных элементов в силикатах, наиболее распространенных породообразующих минералов, и может очень быстро дать информацию, необходимую для минеральных идентификаций [33, с.23]. Сканирующий электронный микроскоп также был использован для создания карт шлифов, показывающих распределение основных и редких элементов (Si, K, Al, P, Ce, Nd, Eu, Gd, Y, и др.) [33, с.23].

Образцы (универсальные шлифы и шайбы) анализировались с помощью электронно-зондового микроскопа Cameca SX-100 с волной дисперсии, который широко востребован в минералогии и геохимии в Музее естественной истории (г. Лондон) [33, с.24]. Рабочие условия: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 20 нА и диаметр пучка 20 мкм. В качестве зондовых стандартов использовались характерные синтетические соединения и природные минералы. Исправлена матрица PAP. Перед коррекцией матрицы было применено несколько коррекций перекрытия пиков. По результатам электронно-зондового анализа был определен качественный химический состав минералов [33, с.25].

В ряде случаев изучение химического состава 50 образцов было проведено в секторе минералогии ИГН с помощью электроннозондового микроанализатора JCXA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY [33, с.25].

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. В металлогенических зонах Казахстана, на примере выбранных опорных месторождений показана золоторудная специфика каждого объекта, определено пространственно-временное совмещение трех важнейших процессов: рассеянного седиментогенного рудогенеза, эпигенетического перераспределения и постмагматического гидротермального минералообразования, которые предопределили доминирующее проявление тех или иных типоморфных рудных формаций.

2. При формировании золоторудного гиганта Бакыршик большую роль сыграло широко распространенное органическое вещество, которое предопределило масштабную концентрацию золота на восстановительном геохимическом барьере.

3. Впервые в зоне окисления месторождения Архарлы были открыты галогениды серебра (хлориды, бромиды, иодиды), источниками которых являются самородное серебро и золото, а образование последних в зоне гипергенеза связывается с обогащенными золотом сульфатно-хлоридными водами, которые по мере фильтрации в более глубокие горизонты становятся менее окисленными и под воздействием различных восстановителей разрушаются с образованием самородного золота.

4. Выявлены основные прогнозные данные для золотого оруденения рассмотренных геолого-промышленных типов, главнейшими из которых являются: а) рудоконтролирующие факторы; б) комплексная совокупность геологических объектов (структур, пород, минералов и т.п.); в) разработка моделей эталонных объектов на основе совокупности признаков, присущих частным формационно-однотипным проявлениям золотого оруденения.

**Практическая значимость работы.** Итогом диссертационной работы являются новые полученные геологические данные, на основе которых предложено средне- и крупномасштабное прогнозирование при поисках важнейших для Казахстана геолого-промышленных типов: золото-сульфидный в терригенных углеродистых комплексах (Бакыршик); золото-серебряный континентальных вулканоплутонических поясов (Архарлы); золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе).

**Публикации и апробация работы.** По результатам выполненных научных исследований опубликованы 15 статей и докладов, в том числе 3 работы в международном научном издании, входящей в базу данных компании Scopus и имеющей ненулевую импакт-фактор и 4 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки РК. Полученные результаты широко апробированы на международных и республиканских научных конференциях, таких как International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM-2017 (Албена, Болгария, 2017), «Материалы международной научно-практической конференции «Минерагения Казахстана» посвященная 90-летию со дня рождения академика Ш.Есенова Алматы, 21.09 - 22.09.2017 г., International Scientific Conference Mineral Deposits Studies Group AGM 2018-19 Sallis Benney Lecture Theatre, Grand Parade, University of Brighton 3<sup>rd</sup> to 5<sup>th</sup> January 2019 London, England 3.01-05.01 2019, Geosymposium of young researchers SILESTA Польша University of Silesia, 12-14 сентября 2018, в Казахстане в Сатпаев университете на международной конференции «Сатпаевские чтения» в 2019 году Инновационные технологии-ключи к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК (Алматы 2019).

# КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (БАКЫРШИК, АРХАРЛЫ, БЕСТОБЕ)

## 1.1 Месторождение Бакыршик

Рассматриваемое месторождение расположено в Западно-Калбинском золоторудном поясе, богатым проявлениями золота. Пояс включает более 500 золоторудных объектов: весьма крупные, крупные, средние и мелкие месторождения, а также рудопроявления и точки минерализации. В целом выделено 36 золоторудных полей, которые объединены в 5 крупных золоторудных районов. Это Бакыршикский, Суздальско-Мукурский, Жанан-Жайминский и Сенташ-Кулуджунский рудные районы. Меньшее значение имеет Акжал-Даубай-Баладжальский золоторудный район, не имеющий активных запасов золота (рисунок 1).

На «Минерагенической карте Казахстана» масштаба 1:1000000 [1] в пределах Западно-Калбинского золоторудного пояса выделен Бакыршик-Суздальский золоторудный углеродисто-терригенный карбон-пермский минерагенический комплекс. В строении комплекса ведущее значение имеют каменноугольные углеродисто-терригенные формации «морская и наземная молассы», которые послужили литогеохимической основой для последующих метаморфических и гидротермальных процессов, приведших к образованию промышленных золото-углеродисто-сульфидных месторождений бакыршикского типа [23, с.11].

В составе углеродисто-терригенного комплекса преимущественным распространением пользуются прибрежно-морские молассовые отложения  $C_{1s}$ - $C_{2b}$  с содержанием углерода  $C_{орг.}$  0,3-2 %. Выше морская моласса сменяется высокоуглеродистой ( $C_{орг.}$  до 14,5%) наземной (сероцветные аргиллитопесчаниковые и флювиолимнические черносланцевые фации). Широко развиты линзы и прослои каменного угля, стяжения сидерит-шамозитовых болотных руд, фосфатносных конкреций [23, с.12].

Среди магматических пород наиболее распространены интрузивы кунушского габбро-плагиогранитного комплекса, представленного малыми телами амфиболизированных габбро-диабазов, биотитовых тоналитов и плагиогранитов. В ряде золоторудных полей развит габбро-диоритовый дайковый комплекс, слагающий выраженные полосы северо-западного и субширотного простирания. В его составе развиты дайки лампрофирового ряда (спессартиты), субщелочные габброиды, существенно натриевые диоритовые порфириды и эруптивные брекчии [23, с.13].



Рисунок 1 – Геолого-структурная схема расположения рудных районов, рудных полей и месторождений золота Западно-Калбинского золоторудного пояса [124, с.44]

К геологическим факторам, создавшим золоторудный профиль относятся [124, с.45]:

1. состав и строение каледонского фундамента, представленного местами сиализированным комплексом метапород коры океанического типа [124, с.45];

2. офиолитовый, преимущественно спилит-диабазовый и яшмо-базальт-известково-кремнисто-пелитовый состав подстилающих формаций  $O_2-D_3fm$ ;

3. наличие непосредственно под углеродисто-терригенными толщами своеобразного золотоматеринского базиса (подложки) из вулканогенно-терригенных отложений с огромным числом золото-сульфидных проявлений и непромышленных месторождений серебра и ртути, зон окварцевания, анкерит-сульфидного замещения, пропилитизации и лиственитизации боковых пород с аномальными концентрациями As, Ni, Co, Cr, Ba [124, с.45];

4. последующая неоднократная трансформация петро- и рудогенных компонентов углеродисто-терригенных пород вследствие интенсивно развивающейся коллизионной тектоники в позднекаменноугольную и пермскую эпохи (проявления диагенетических, метаморфических, динамометаморфических и магматических процессов) произошло, преобразование подвижных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную и постепенная концентрация золота до промышленных содержаний [124, с.45].

Месторождения Бакыршикского рудного поля относятся к перспективному типу минерализованных зон с золото-углеродисто-сульфидным оруденением в терригенных породах. Оно располагается в центральной части золоторудного пояса, в пределах Бакыршикского рудного района, тяготеет к скрытому Миялинско-Самарскому палеоостроводужному поднятию в основании Западно-Калбинского терригенного прогиба, к надсубдукционной части Чарской палеозоны субдукции, к узлам пересечений поднятия разломами широтного направления [124, с.46]. Площадь Бакыршикского рудного поля составляет около 3500 км<sup>2</sup>. Оно состоит из нескольких структурно связанных участков. С запада на восток последовательно расположены участки: Западный Большевик, Большевик, Чалобай и Холодный Ключ объединенные под общим названием «месторождение Большевик». Участки Бакыршик, Промежуточный, Глубокий Лог отнесены к «месторождению Бакыршик»; участки Загадка, Кармен, Зарбас являются самостоятельными. Их размещение контролируется ориентированной в широтном направлении Кызыловской зоной надвигов и смятия на участке её сопряжения с Центрально-Калбинским и Северо-Западным региональными взбросо-надвигами. Рудное поле находится в южном борту Кызыловско-Мукурского подвижного палеопрогиба. Его протяженность вдоль Кызыловской зоны надвигов превышает 17 км. Всего на его территории сосредоточено 123 проявления золота [2].

В пределах Кызыловской зоны смятия в породах всякого бока сосредоточены основные месторождения и рудопроявления. Они приурочены к плоскостям рудовмещающих разрывов, к участкам интенсивного расланцевания, трещиноватости, дробления пород, и имеют простирание и

падение в целом согласное с Кызыловской зоной смятия. Выделенные участки в общих чертах имеют одинаковое геологическое строение, но различную концентрацию золота [2, с.4]. По всем рудным телам, имеющим истинную мощность 2,0 м и более (принятая минимальная мощность рудных тел) и содержание золота более 3,0 г/т (бортовое содержание), подсчитаны запасы. Большое количество одиночных пересечений, удовлетворяющих параметрам кондиций, но имеющих истинную мощность меньше минимальной, не учтены [2, с.6].

Месторождение-гигант Бакыршик является одним из главных объектов золоторудного потенциала Казахстана [2, с. 7]. Открыто в 1953 году геологом Ф.С.Подсеваткиным. В разное время геологической разведкой, изучением месторождения Бакыршик и анализом строения прилегающей территории занимались Ю.А. Антонов, Ч.Х. Арифлулов, Б.А. Дьячков, Т.М. Жаутиков, В.И. Зенкова, А.Х. Кагарманов, В.Н. Любецкий, Л.Д. Любецкая, Л.Г. Марченко, В.В. Масленников, В.Н. Матвиенко, Н.А. Нарсеев, М.С. Рафаилович, Г.И. Соколовский, М.М. Старова, Н.А. Фогельман, В.С. Шибко, Е.М. Юрченков, В.М. Яновский и др.

Месторождение Бакыршик расположено в восточной части Кызыловской зоне смятия, сложено терригенно-углеродистыми отложениями нижнего и среднего карбона. В его пределах выявлено 30 рудных тел; которые прослежены на расстоянии 5,5 км (рисунок 2). Тела залегают субсогласно с Кызыловской зоной смятия и полого падают на север и северо-восток с характерным северо-западным склонением. Мощность их колеблется от 1 до 40,0 м при содержании золота от 3,0 до 49,0 г/т.

Кызыловская зона, полого падающая на север, пересекает породы углеродисто-терригенного комплекса каменноугольного возраста, характеризующиеся повышенной намагниченностью (пирротинизация). Важнейшие рудоконтролирующие структурные элементы - надвиговые швы с угловатыми изгибами поверхности, тектонические линзы, катаклазиты, кливаж и милонитизация, развальцевание пород, внутриформационные отслоения, микститовые горизонты - отвечают VII-VIII тектонофациям мезозоны [3]. Кызыловская зона смятия, по В.Д. Борцову, М.А. Мизерной, фиксируется отрицательными аномалиями ЕП до - (100-300) мв при фоне в безрудных толщах от 0 до -50 мв. Участки углеродистого метасоматоза и наложенной сульфидизации, находящиеся в тепловых полях интрузивов кунушского комплекса, дополнительно отмечаются аномалиями вызванной поляризации интенсивностью 5-10 % [4].



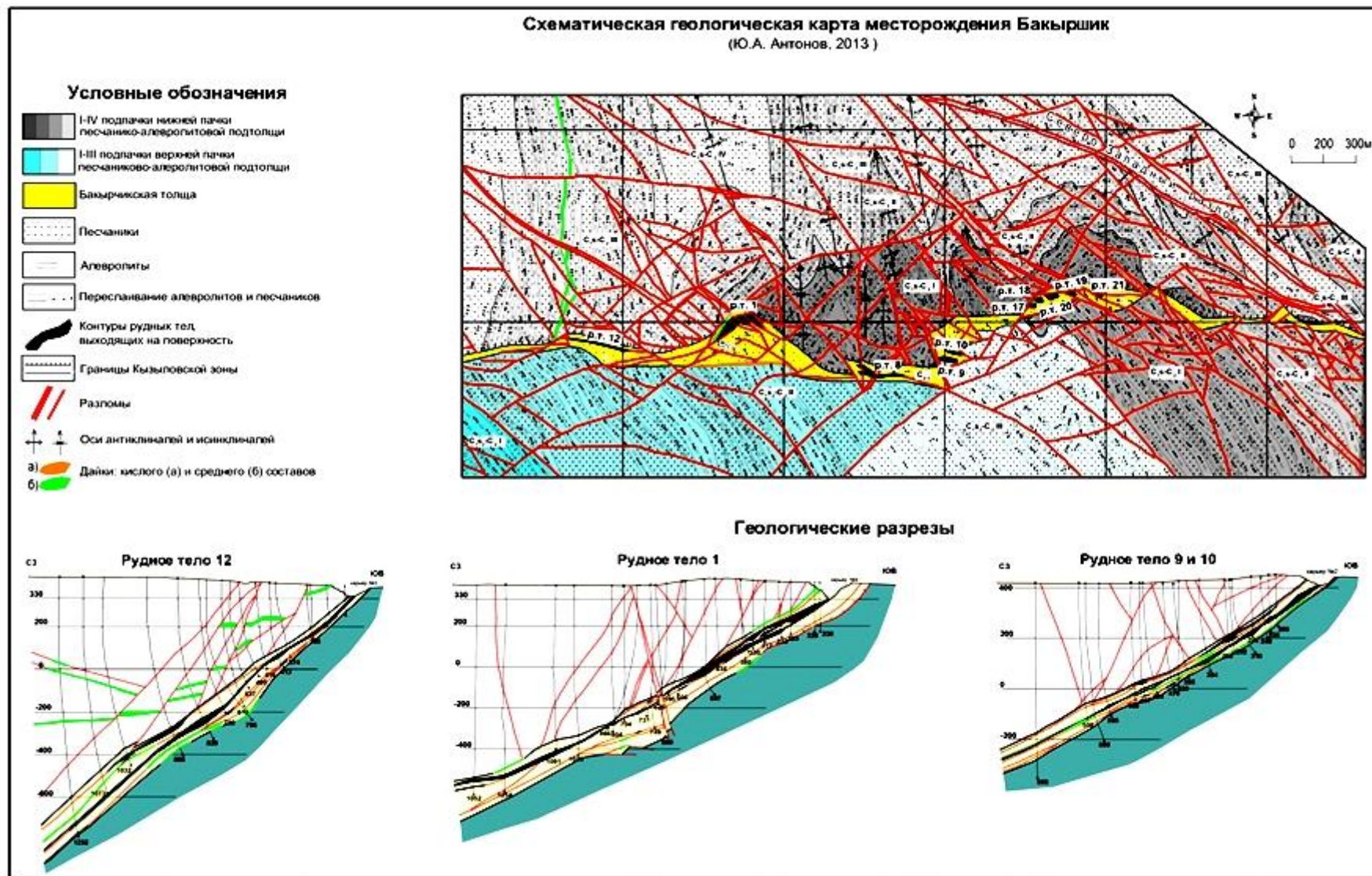


Рисунок 2 Схематическая геологическая карта месторождения Бакыршик

Это стратиформное месторождение приурочено к высокоуглеродистому терригенному осадочному комплексу бакыршикской толщи, которая датируется средней и поздней эпохами каменноугольного периода ( $C_2m-C_3bk$ ).

Специальный интерес представляют соотношения углеродисто-терригенных и вулканогенных пород. Разными геологами в составе бакыршикского горизонта выделялись субвулканические и межпластовые тела, покровы лав, прослои трахиандезитовых, дацитовых и риодацитовых туффитов (В.С. Шибко, В.И. Зенкова, Л.Г. Марченко, Н.А. Фогельман, А. Нурмагамбетов и др.) [5, с.8].

Эти обычно труднодиагностируемые образования - чуткий показатель условий формирования вмещающей толщи, специфический элемент рудоподготовительного этапа. Вулканогенные породы Бакыршика - отложения преимущественно среднего и щелочного состава, трахиты (лавы, туфы, туфолавы, туффиты, туфопесчаники, туфоалевролиты) [5, с.9]. Излияние вулканических продуктов происходило в подводных условиях одновременно с накоплением терригенных осадков. Туфолавы представляют собой кварц-серицитовый агрегат с реликтами излившихся вулканитов (50-70 %), сцементированных углисто-глинистым материалом. Обломочная часть обогащена игольчатым арсенопиритом. Туфоалевролиты и туфоалевропелиты также содержат зерна арсенопирита. Пирит концентрируется в большей степени в хемогенно-терригенных осадках кремнисто-глинистого, известково-глинистого и глинисто-известково-фосфатного состава. Ритмично-пульсационный механизм осадконакопления и вулканической деятельности предопределил изменчивое распределение в породах бакыршикской свиты углеродистого вещества, карбонатов, кремнезема, сульфидных минералов, элементов-индикаторов (Au, As, Fe, P, Ni, B, C<sub>1</sub> и др.) [5, с.12]. Терригенный разрез Бакыршика, содержащий вулканогенную компоненту, может быть параллелизован с одновозрастной C<sub>2</sub> вулканогенно-терригенной углеродсодержащей карашакской свитой в Узбекистане (песчаники, алевролиты, вулканомиктовые песчаники, туфоалевролиты, туфобрекчи), вмещающей гигантскую золото-сульфидную залежь Кокпатас [5, с.10].

Интрузивные образования, с которыми парагенетически сопряжены руды бакыршикского типа, представлены малыми штокообразными телами и дайками пестрого состава [5, с.11]. Это диорит-гранодиорит-плагиогранитовая формация кунушского коллизионного C<sub>3</sub> комплекса, дифференциаты которого на Бакыршике размещены ярусно, гранитоидный очаг залегает на глубине 3,0-3,5 км, а дайковые породы локализуются на верхнем горизонте - в зоне рудоносного надвига. Отдельного внимания заслуживают золото-платиноносные «углеродистые флюидизаты» взрывного происхождения - продукты длительной эволюции глубинных базит-гипербазитовых источников [6].

Руды Бакыршика залегают в углеродисто-терригенных породах одноименной свиты (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты), содержащих пирит-пирротиную, карбонатно-железистую (сидерит, анкерит)

и фосфатную минерализацию. Характерны тектоно-гравитационные микститы - грубокластические, несортированные и нестратифицированные комплексы пород, обломки которых (песчаники, алевриты, сланцы) сцементированы углисто-глинистым материалом, игравшим роль коллектора и геохимического барьера в формировании и распределении золотой минерализации [7]. Диагенетические и ранние метаморфические изменения соответствуют цеолитовой фации. Углеродистое вещество относится к керит-антраксолит-шунгит-графит-битумоидному ряду. В продуктивном горизонте присутствуют рассеянный углерод, растительные остатки, спорово-пыльцевые комплексы. По В.Н. Матвиенко и В.Л. Левину, для Бакыршика характерны цепочки двухмерноупорядоченного углеродистого вещества, гексагональные поликристаллы графита, тонкопластинчатые кристаллические агрегаты шунгита, пленки монтмориллонита, колломорфный кремнезем [5, с.15]. Иногда встречается карбин - линейный полимер углерода. По Л.Г. Марченко, значительная часть золота Бакыршика концентрируется в углеродистом веществе. Электронно-микроскопическими методами в шунгите обнаружены тончайшие выделения самородного Au. В битумоидах спиртобензольной фракции благородный металл связан с карбонильными и карбоксильными углеводородами. Предполагается наличие золотосодержащих металлоорганических образований [5, с.16]. Количество золота в углеродистых соединениях может достигать 10-30 % от его общего количества в руде [6].

Рудные тела представлены системой кулисообразных минерализованных зон значительной мощности (до 20 м) и протяженности (до 500 м), прослеженных на глубину более 1200 м. Руды имеют полосчатое и массивно-вкрапленное сложение. Околорудные изменения - серицитизация, карбонатизация и альбитизация; по зонам нарушения - графитизация. Состав руд: пирит, арсенопирит, антимонит, золото, марказит, халькопирит, пирротин, блеклые руды (теннантит и тетраэдрит), галенит, сфалерит, киноварь, самородное серебро, кварц, карбонаты.

Для Бакыршика характерны выраженная полихронность, несколько источников питания, ступенчатое концентрирование золота, контрастная зональность, размещение в достаточно ограниченном геологическом объеме.

Запасы золота сульфидного прожилково-вкрапленного геолого-промышленного типа месторождений в высокоуглеродистых терригенных комплексах примерно составляют 25,2 % общих запасов Республики Казахстан. По мнению крупных российских ученых, корифеев науки сульфидные зоны в так называемых «черных сланцах» будут главным объектом поисков благородных металлов [2]. Перечисленные факты являются серьезной предпосылкой для изучения Бакыршикского месторождения как генотипа важного стратиформного оруденения золота в высокоуглеродистом осадочном комплексе.

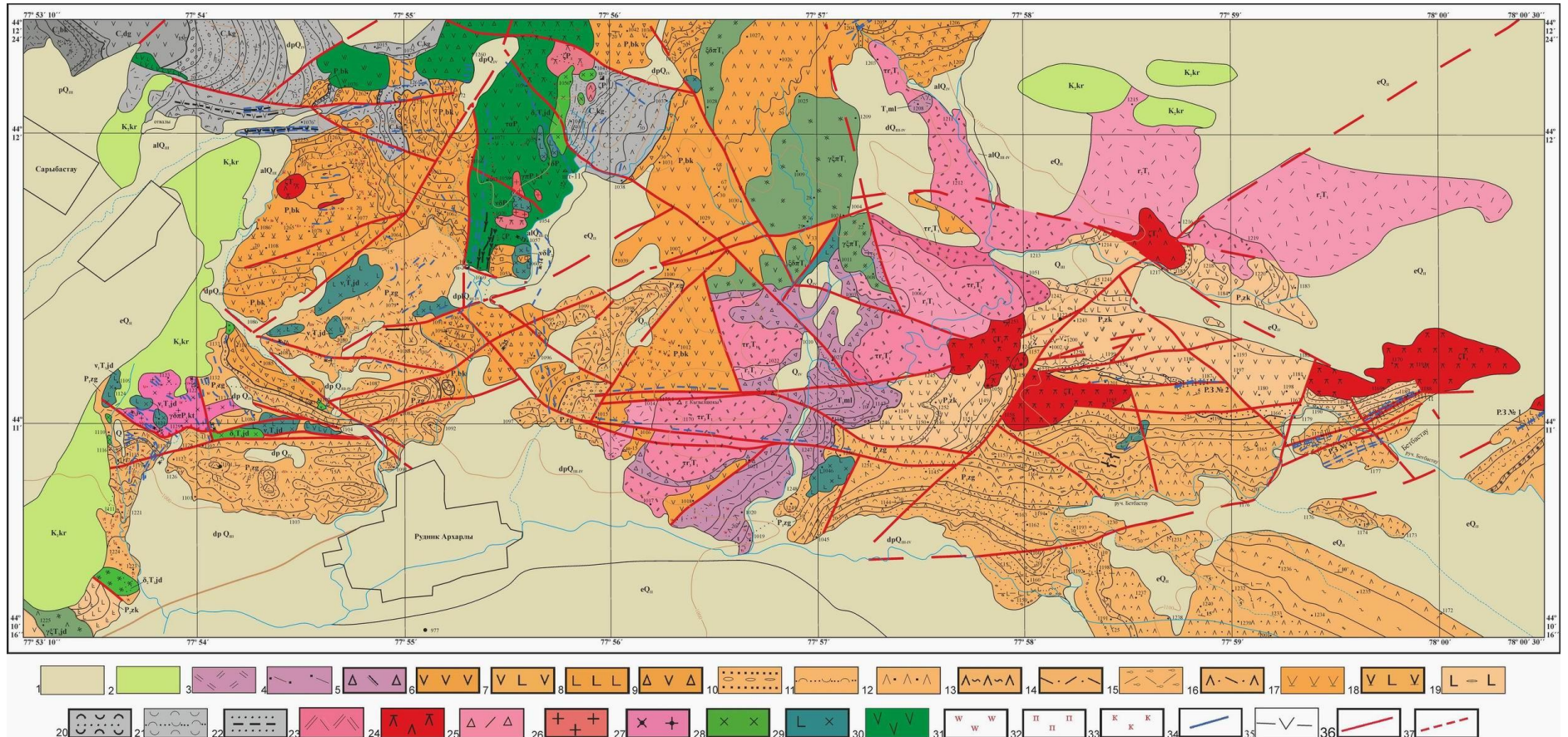
## **1.2 Месторождение Архарлы**

Архарлинское рудное поле расположено в осевой части позднепалеозойского Сарыозекского синклинория - крупной вулканотектонической структуры Прибалхашско-Илийского пояса, обрамляющей Джунгаро-Балхашский окраинный бассейн. Наземный вулканизм карбона и перми сформировал мощные накопления базальт-андезитового и риодацитового состава. Вулканические образования смяты в пологие складки субширотного простирания, пересечены разрывными нарушениями, на отдельных участках гидротермально переработаны и несут телетермальные золото-серебряные месторождения Архарлы, Бетбастау, Далабай, Иглик, и др. [7, с.3].

Месторождение Архарлы приурочено к околожерловым частям вулканической постройки центрального типа, одной из широтных брахиструктур, протягивающихся вдоль оси Сарыозекского синклинория [7, с.4]. Их ядерные части сложены осадочно-пирокластическими накоплениями позднекаменноугольного возраста и андезиитоидами ранней перми, прорваны субвулканическими телами и интрузивами. Осадочно-пирокластические отложения имеют риодацитовый состав, слагают крылья и периферию структуры, ядерные части прорываются субвулканическими телами и интрузивами и сложены осадочно-пирокластическим материалом ( $C_2$ ) и андезиитоидами ( $P_1$ ). [7, с.16]. Более поздние ( $P_2$  и  $T_1$ ) вулканотектонические синклиналильные складки имеют вид наложенных структур [7, с.18].

В геологическом строении рудного поля Архарлы участвуют вулканомиктовые терригенные отложения кугалинской, бескайнарской и жалгызагашской свит, которые слагают брахиформную антиклиналильную структуру, осложненную в восточной части брахисинклиналиью, образованной базальтами  $P_2$  (жельдыкоринская) и трахириолитами  $T_1$  (малайсаринская) свит (рисунок 3) [7, с.19].

В пределах Архарлинского рудного района (среди палеозойских отложений) широкое распространение имеют продукты пермского наземного вулканизма. Это следующие стратиграфические подразделения:



Стратифицированные образования: 1 – четвертичные отложения, 2-неогеновые галечники и глины. Отложения триаса: малайсаринская свита  $T_{1ml}$  (трахириолитовые-3-лавы, 4 – туфы, 5- околожерловые брекчии). Пермские отложения: жельдыкоринская свита  $P_{2zk}$  (6-андезиты, 7– андезибазальты; 8 – базальты; 9-кластолавы андезитовые, 10- песчаники, конгломераты); жалгызагашская свита  $P_{1zg}$  ( 11-туфопесчаники, 12- туфы дацитовые; 13 – туфолавы дацитовые; 14 – туфы риолитовые; 15 – игнимбриты; 16 – туфы риодацитовые); бескайнарская свита  $P_{1bk}$  (17- плагиоандезиты, 18 – пироксен-плагиоклазовые андезибазальты, 19-базальтовые шлаки); кугалинская свита  $C_{3kg}$  (20 – тонкое чередование песчаников и туфопесчаников; 21 – туфопесчаники с прослоями туффигов; 22 – песчаники с прослоями алевролитов); 23 –некки Кызылшоки, 24 – субвулканические дациты; 25 – жерловые и околожерловые брекчии Кызылшоки. Интрузивные породы южно-джунгарского комплекса: 26– гранит-порфиры, 27 – гранодиорит-порфиры, 28 – диориты; Сарыбулакский комплекс 29 - габбро-диабазы. Прочие обозначения: 30 –субвулканическое тело трахиандезита; 31- вторичные кварциты; 32 – пропилиты; 33 - калишпатизированные породы; 34 – золотоносные кварцевые жилы; 35 – дайки; 36 – разломы достоверные; 37 – разломы под покровом рыхлых отложений;

Рисунок 3 – Геологическая карта Архарлинского рудного поля (месторождения Архарлы и Бетбастау).  
Составили: Жаугигов Т.М., Скринник Л.И., Умарбекова З.Т., Гадеев Р.Р. с использованием материалов, ранее проведенных ГРП

бескайнарская (P<sub>1</sub>bk) - андезитовая эффузивно-пирокластическая, жалгызагашская (P<sub>1</sub>zg) - риолито-дацитовая туфо-терригенная, достарская (P<sub>2</sub>ds) - красноцветная молассовая и жельдыкоринская (P<sub>2</sub>zk) андезито-базальтовая. Каменноугольные отложения кугалинской свиты, нижнетриасовые малайсаринской распространены локально. Кугалинская свита сложена песчаниками, алевролитами, туффитами, известняками, конгломератами и вулканическими породами риолитового и дацитового состава и развита в северной части Архарлинского рудного узла. Отложения бескайнарской свиты, преимущественно продукты андезитового вулканизма слагают крупные поля в северной и центральной частях Архарлинского рудного района. Крупные постройки центрального типа сохранились частично и сложены стратифицированными накоплениями [7, с.23]. Они прорываются вулканическими аппаратами с оторочками околожерловых брекчий, экструзивами и полями кислотной гидротермальной проработки (вторичными кварцитами [8].

Среди рвущих тел самые крупные размеры имеет Андезитовая жерловина раннепермского возраста. Она имеет грушевидные очертания, ориентирована меридионально, размеры 0,5 X 1,5км, строение трёхфазное. Андезитовая жерловина окружена стратифицированными отложениями андезитовых туфов и лав. На карте месторождения Архарлы она занимает центральное место. К ней с севера примыкает цепочка штокообразных сателлитов и караваеобразных экструзии, представленных массивными и агломератовыми кластолавами, аналогичными выполняющим жерловины. Западнее, за пределами рудного поля располагается серия мелких базальтовых аппаратов. Обычно пропицитизированные агломератовые кластолавы андезитового состава составляют основной объем Андезитовой жерловины [7, с. 24]. Кластолавы постепенно сменяются массивными андезитами в северной половине тела. Вдоль восточного края Андезитовой жерловины слабо полосчатые дацитовые порфиры, прорывающие андезиты, образуют два штока размером 100x150 и 150x200м. Они принадлежат второй фазе внедрения. Линейное тело меридиональной ориентировки размером 30x100м в осевой части жерловины (невадитовые плагиориолит-порфиры) относится к третьей фазе [7, с. 25].

Невадитовые плагиориолит-порфиры -это смесь кристаллов плагиоклаза размером до 0,5-1 см с каемками кали-натриевого полевого шпата и небольшим количеством богатого калишпатом стекла в промежутках между ними. Можно предположить с большой вероятностью, что она представляет остаточную выжимку наиболее легкого расплава, питавшего Андезитовую жерловину [7, с.26].

Кремнекислые туфы и игнимбриты жалгызагашской свиты развиты в южной части Архарлинского рудного поля и перекрывают андезитоидные накопления бескайнарской свиты [7, с. 27]. Игнимбриты и туфы риолитового, риодацитового и дацитового состава, чередующиеся со слоистыми пачками (туфопесчаники, туфогравелиты, песчаники, гравелиты, конгломераты, тонкие пепловые и кристалловитрокластические туфы), показывающие перерывы

между крупными извержениями, слагают основной объем свиты. Мощность отложений варьирует от 500 до 1000м. [7, с. 28].

С размывом на различных горизонтах жалгызагашской свиты залегают базальные крупновалунные конгломераты (до 4 м), а выше – чередующиеся красно-бурые косослоистые песчаники, конгломераты с тонкими прослойками риолитовых туффитов, принадлежащие достарской свите позднепермского возраста. [7, с. 29]. О существовании крупного перерыва вулканической деятельности в середине пермского периода свидетельствует накопление красноцветов достарской свиты. На красноцветных песчаниках достарской свиты и кислых вулканитах жалгызагашской свиты залегают отложения следующей, жельдыкоринской свиты. Восточнее сопки Кызылшоки разрез жельдыкоринской свиты, сложен чередующимися покровами пироксен-плагиоклазовых, плагиоклазовых андезитов и базальтов. Мощность отложений около 350м. [7, с. 30].

Отложения раннетриасовой малайсаринской свиты в юго-восточной части рудного поля месторождения Архарлы представлены изолированными полями выходов вокруг жерловых тел Кызылшоки и сложены околожерловыми брекчиями, слоистыми туфами трахириолитового состава, туфопесчаниками, песчаниками. Мощность накоплений в пределах рудного поля около 100м.

Широко распространены субвулканические и жерловые тела пород основного и среднего состава, синхронные накоплениям жельдыкоринского комплекса. Они фиксируют ослабленные зоны. К этим зонам приурочены пропилитизация, образование вторичных кварцитов, адуляризация, прожилковое окварцевание, кварцево-жильные зоны и золотое оруденение. [7, с. 31].

Восточнее сопки Кызылшоки и вдоль северной границы рудного поля месторождения Бетбастау имеется дорудная субширотная цепочка плагиодацитовых экструзивов. В юго-восточной части рудного поля месторождения Архарлы наблюдаются трахириолитовые экструзивы и жерловины раннетриасового возраста. [7, с. 32]. Форма их выходов на поверхность близкая к изометричной, строение многофазное, в поперечнике они имеют размер, достигающие 0,5-1км. Жерловины Кызылшоки обрамляются мощными околожерловыми брекчиями и являются самыми крупными. Это тонкополосчатые красные, розовые, розово-серые и сиреневато-серые трахириолитами, большей частью с тонкой линейной полосатостью, ориентированной параллельно границам тел. Гидротермальный процесс и оруденение наложены на них.

Интрузивные образования Архарлинского рудного поля образуют два комплекса: раннепермский катутауский и позднепермский южно-джунгарский. Самые молодые отложения, которые они прорывают, относятся к жалгызагашской свите раннепермского возраста.

Катутауский комплекс. Непосредственно в рудном поле месторождения Архарлы на участке Центральном и Северо-Восточном располагаются мелкие штоки пород данного комплекса.

Интрузивы имеют штокообразную и линейную форму. Их размеры 0,1 и 0,3км<sup>2</sup>. В строении комплекса участвуют габбро-диабазы, диориты, гранодиориты и граниты, что показывает принадлежность к дифференцированным сериям. Плагиоклаз-роговообманковые гранодиорит-порфиры (тело неправильных очертаний 500x1000 на участке Центральном) наиболее кремнекислые в его составе. Два сближенных штока образуют диориты и сиенодиориты в юго-западной части Архарлинского рудного поля [8, с. 5]. На породы данного комплекса накладываются гидротермальные процессы [8, с. 6].

Пермские отложения на территории Архарлинского рудного поля прорывают небольшие интрузивы диабазов, диоритов и гранитов, которые принадлежат к южно-джунгарскому интрузивному комплексу. Штокообразной, пластовой, линейной формой представлены тела отдельных фаз. Небольшие тела микродиабазов, прорывающих все стратифицированные накопления, но не затронутые гидротермальной проработкой и, вероятно, пострудные, имеют более молодой возраст [8, с. 13].

В целом в рудном поле можно реконструировать крупную вулканическую постройку. Ядро - серия интрузивных тел, которые прорывают пропилитизированные накопления андезитового состава и пересекаются радиальной системой разломов, дайками андезитов и диабазов, рудоносными кварцевыми жилами и зонами адуляризации. Крылья антиклинали сложены туфами, игнимбритами и песчаниками жалгызагашской свиты, измененными до вторичных кварцитов, слабо золотоносными.

С севера и юга хр. Архарлы ограничивают главные разрывные структуры района. Они являются левосторонними сбросо-сдвигами, в единичных случаях надвигами, контролирующими размещение рудоносных зон. Их направление широтное, это долгоживущие нарушения, подновленные альпийскими орогеническими процессами. Правосторонние сдвиги более молодые, имеют северо-западное простирание и, вероятно, являются пострудными [8, с.15].

Рудоносные разломы на месторождении Архарлы в общем подчинены вулканической тектонике. Имеются кольцевые и радиальные системы разломов. В обрамлении некков Кызылшока известна в частности радиальная система сбросов. Они пересекают все домеловые образования, к ним приурочены зоны гидротермальной проработки и золоторудная минерализация. Андезитовую жерловину и окружающие ее стратифицированные отложения пересекают ортогональная и радиальная решетки рудоносных разломов [8, с.16]. Размещение зон адуляризации и прожилкового окварцевания на этом участке контролируют субширотные ослабленные зоны [8, с. 17].

Главной структурой среди наиболее крупных и долгоживущих разломов относящихся к дорудным разрывным нарушениям является Центрально-Архарлинский сбросо-сдвиг. Этот разлом в субширотном направлении прослеживается на 20км, располагаясь в средней части гор Архарлы. Сравнивая разные участки разлома можно отметить, что наиболее сложное строение он имеет в пределах рудного поля. Эта структура здесь ветвится, образуя систему из трех правых сбросо-сдвигов. На вертикальном разрезе каждое северное



крыло этих разломов относительно сопряженного южного закономерно приподнято. Горизонтальная составляющая по первому из них (северному) равна примерно – 300м, второму (среднему) – 500м и третьему (главному) – более 600м. [23, с.9].

Вдоль этих разломов на Северо-Восточном участке видны зеркала скольжения, зоны повышенной трещиноватости, тектонические брекчии, кварцевые жилы и линейные штокверки [23, с.10]. Сопряженные зоны трещин и кварцевых жил, ориентированные в северо-западном направлении, т.е. под углом 45-50° к разлому, расположены в южном крыле описываемого разлома. Подходя к сместителю, эти зоны обрываются (Северо-Восточный участок, Жильная зона V). Зоны жил и прожилков противоположного северо-восточного простирания (участки, Северный и Дальний) преобладают в северном крыле разлома. Направление тектонических движений по разломам неоднократно менялось во времени [23, с.23].

Сдвигами и сбросами представлены послерудные тектонические нарушения. Наиболее широко распространены сдвиги. Выделяются секущие сдвиги и сдвиги в плоскости рудных тел. Развиты довольно широко секущие сдвиги. Они все построены по правилу правого сдвига. Среди них выделяются нарушения, расположенные косо (под острым или тупым углом к жиле) и перпендикулярные по отношению к простиранию жил.

Как правило, плоскости сместителей всех секущих сдвигов, крутые, часто почти вертикальные [23, с.25]. Перемещение крыльев по ним достигают 2-20м. Обычно вдоль плоскостей сдвигов развиваются зоны тектонических брекчий, мощностью от нескольких сантиметров до первых метров и многочисленные зеркала скольжения с горизонтальными или слабонаклонными (10-15°) бороздами скольжения, а также зонки повышенной трещиноватости. На месторождении широко развиты, кроме описанных выше “секущих сдвигов”, горизонтальные перемещения вдоль контактов жил, так называемые, согласные сдвиги [23, с.11].

На месторождении Архарлы есть крутые и пологие сбросы. Вблизи участка Северо-Восточный есть крутопадающий сброс, пересекающий кварцевую жилу. Наблюдается зона дробления мощностью 0,3м вдоль плоскости его сместителя, наклоненного под углом 70° на север. Горизонтальная составляющая сброса 3м, вертикальная – 6м. [23, с.13].

Наличие рудовмещающих разрывов в едином поле деформации, вызванной правосторонними сдвигами, является общей особенностью для месторождения [23, с.15]. В результате сформировалось 4 типа зон трещиноватости [23, с. 16]:

- 1) система правых кулисных трещин;
- 2) система левых кулисных трещин;
- 3) система субпараллельных трещин типа зон смятия;
- 4) система параллельных трещин в поле деформации однородных массивов [23, с.16].

Зоны жил I-типа, построенные по правилу правых кулис (жильная зона участка Северо-Восточный, зона жил 11, 12, и 12а), встречаются наиболее

часто. Они состоят из сравнительно мощных и длинных жил, эти зоны самые протяженные [23, с.29]. Практически все зоны правых кулис имеют северо-западное простирание с падением жил на северо-восток. Встречаются реже зоны левых кулис II-типа и объединенные в них жилы менее протяжённые. По ориентировке в плане и по направлению падения они разнообразнее, чем первые. Среди них встречается зоны северо-восточного, субширотного и субмеридионального простирания. [23, с. 30].

Субмеридиональное простирание и развитую систему оперения часто имеет система субпараллельных трещин III типа (зона жилы №10, Жильная зона I) [23, с. 31]. Последняя сосредоточена в основном в висячем боку жил и ориентирована под острым углом к основной зоне с падением по направлению к ней. [23, с. 31]

В поле деформации субвулканических массивов (участок Центральный) развивается закономерная система параллельных трещин IV-типа. Вмещающие её жилы усложнены наличием многочисленных апофиз (жилы №37 и №60), систем мелких оперяющих жил и прожилков (жила №32).

Наряду с описанными выше типами трещинных и жильных зон, встречаются одиночные протяженные жилы (№1 и №9), они являются разрывами, оперяющими главную структуру [23, с. 32].

Жилы характеризуются наличием многочисленных пережимов, раздувов, ветвлений, имеют сложную форму. В плане среди них выделяются ступенчатые и прямолинейные тела. Ступенчатость, по-видимому, обусловлена существованием сети дорудной трещиноватости [23, с. 33].

Промышленные жилы месторождения в большинстве относятся к первому типу, т.е. они лишь незначительно изгибаются, погружаясь на глубину, не изменяя общего направления [23, с. 34]. Мощность промышленных жил колеблется от 1 до 17,0м. К центральной части рудного поля (участки Восточный I, Восточный II, Северо-Восточный) приурочены наиболее мощные из них. Мощность жил резко меняется по простиранию. В жилах северо-западного и северо-восточного простирания она наиболее изменчива. Колебания мощности, как правило, незначительные в субширотных и одиночных субмеридиональных жилах. В пределах жил всех направлений изменение мощности связано с изменением залегания отдельных их отрезков [23, с. 35]. Установлено, что на отрезках северо-западного, северо-восточного и субмеридионального простираний мощность жил всегда больше, чем на отрезках с субширотной ориентировкой [23, с. 36].

Наличие многочисленных апофиз, систем, оперяющих жил и прожилков усложняет форму большинства их. Жилы всех типов на выклинивании ветвятся и переходят в зоны прожилкового окварцевания, исчезающие на некотором удалении. Преобладают жилы субширотного и северо-восточного направлений на участках Южном, Северном и Дальнем [23, с. 37]. На Восточном I - северо-восточного, а на Центральном, Восточном II и Северо-Восточном - северо-западного направлений [23, с. 38].

Кварцевые жилы и зоны имеют резко изменчивую мощность, которая варьирует от 1 до 7-10м, так же, как и протяженность от 50 до 100 и даже 400м.

Можно предположить, что происхождение рудного вещества, его избирательное размещение в окружающих породах и пути миграции связаны с вулканизмом [23, с. 39].

Наибольшее количество полей вторичных кварцитов, полей пропилитизированных пород и проявлений золота кварц-адуляровой формации связано со становлением жельдыкоринской базальт-андезитовой формации [9]. Это обусловлено, возможно, некоторыми геохимическими и петрохимическими особенностями жельдыкоринского вулканизма [8, с. 45].

Жельдыкоринские субвулканические массивы, в геохимическом отношении, несут повышенные по сравнению с раннепермскими содержания висмута и цинка, особенно значительно превышение по отношению к кларку концентраций серебра в 7-8 раз, а дисперсия по серебру составляет 73-78 единиц [8, с. 47]. Это указывает на вероятность локальных рудных концентраций серебра [8, с. 48]. Основной минерал рудных жил - кварц. Адуляр (до 25%), аметист (до 30—35%), халцедон, хлорит (до 10—15%), серицит, карбонаты, барит (до 5—10%) менее развиты. По содержанию сульфидов месторождение относится к убогосульфидным (до 3%). Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, гематит, самородное золото.

Широкое распространение в рудах аметиста, адуляра, гематита, преобладание среди сульфидов сфалерита и пирита, а также разнообразие текстурных форм проявления жильного кварца (полосчатый, шестоватый, пластинчатый, друзовый и т. д.) является особенностью месторождения Архарлы.

Другая особенность месторождения Архарлы и других объектов жельдыкоринского комплекса— неглубокий эрозионный срез [9]. В ареале их влияния всегда имеется кровля, представленная эффузивами перми.

Месторождения золото-адуляр-кварцевой формации возникли в результате многостадийного гидротермального процесса. На дорудных и прерудных стадиях формировались зоны гидротермальных метасоматитов: эпидот-актинолит-хлоритовые и хлорит-карбонатные пропилиты. Собственно, околорудные (синрудные) метасоматиты имеют адуляр-кварцевый состав. Вокруг жил развиты первичные ореолы рассеяния золота, серебра, свинца, цинка, меди, молибдена, висмута и обширные ореолы калия. Пострудные образования представлены карбонатными, цеолитовыми, монтмориллонитовыми, флюоритовыми прожилками [10, 11, 12, 13].

Вмещающие породы несут довольно интенсивное гидротермальное изменение, выраженное в образовании полифациальных вторичных кварцитов и обширных полей пропилитизированных пород. В кварцевых жилах и зонах дробления, сцементированных жильным кварцем, которые преимущественно размещены в полях пропилитизированных пород концентрируется золотое оруденение.

На месторождении Архарлы по данным Е.П. Мамонова [9] выделено до 90 кварцевых жил, сгруппированных в 10 жильных зон: участки Центральный, Восточный I, II, Северо-Восточный.

Для месторождений золото-адуляровой формации региональным структурным фактором является контроль долгоживущими широтными разрывными нарушениями, преобладающими в районе, а в их зонах – малыми интрузивными и субвулканическими телами, имеющими соответствующую геохимическую специализацию.

### **1.3 Месторождение Бестобе**

Месторождение Бестобе расположено в Селетинском районе Акмолинской области в 80 км восточнее станции и поселка Аксу и открыто в 1931 г. геологами треста «Каззолото». В разведке и геологическом изучении месторождения принимали участие А.П.Груздев (1936), Ю.Н.Рожков., Г.М.Редькин (1936г.), В.И.Коробкин (1938). А.В.Богданов, Г.А.Тележко (1933г.), И.А.Сюткин, А.П.Смолин (1943.), П.Н.Переверзева (1952г), Г.Н.Шавкин(1953г.), Н.А.Малечкин (1952-1959г), З.М.Усачева (1953г), В.А.Таламасов, Н.Н.Шаповалов (1951-1969гг), П.И.Шумихин (1960-1966гг), В.М.Гришин (1953-1966гг), В.С.Коптев – Дворников, Н.Т.Воскресенская, П.Ф.Емельяненко, Г.Н.Назьмова, Ю.С.Шалаев и др. (1960-1966 г), В.А.Нарсеев (1968 г) и др. [14].

В геодинамическом плане Бестобинский минерагенический тип приурочен к Бестобинской ордовикской островодужной минерагенической зоне, заложенной на кембрий-нижнеордовикской океанической коре. Золото-кварцевые жилы месторождения Бестобе располагаются в туфогенно-осадочных породах изобильной и еркебидаикской свит среднего ордовика и в прорывающих их телах плагиогранитов, гранодиоритов и диоритов крыккудукского интрузивного комплекса. Некоторые исследователи относят интрузив, с которым связано золотое оруденение, к самостоятельному силурийскому степнякскому интрузивному комплексу. Осадочные породы среднего ордовика представлены туфогенными песчаниками, алевролитами, глинистыми и углисто-глинистыми сланцами, туффитами. Иногда среди них отмечаются прослой андезитов и их туфов [15].

В структурном отношении месторождение Бестобе находится в узле пересечения сквозного Бестобинского северо-восточного, Аксу-Бестобинского широтного и Бестобе-Домбралинского северо-западного глубинных разломов в области сочленения Ичкеольмесского антиклинория и Селетинского синклинория. Рудное поле сложено туфогенно-осадочной толщей ордовика: песчаниками, туфопесчаниками, алевролитами, углисто-глинистыми сланцами, андезитами и их туфами мощностью более 2000 м. Стратифицированные породы прорваны малыми интрузиями и дайками пестрого состава степнякского комплекса (силур). Состав интрузивов - кварцевые диориты, диориты, габбродиориты, габбросиениты, реже плагиограниты с краевыми фациями, которые ряд геологов относят к крыккудукскому интрузивному комплексу. Породы изменены до пропилитов, подверглись локальному контактовому ороговикованию и березитизации и содержат обильную вкрапленность сульфидов (пирит, арсенопирит и др.), в разной степени золотоносных.

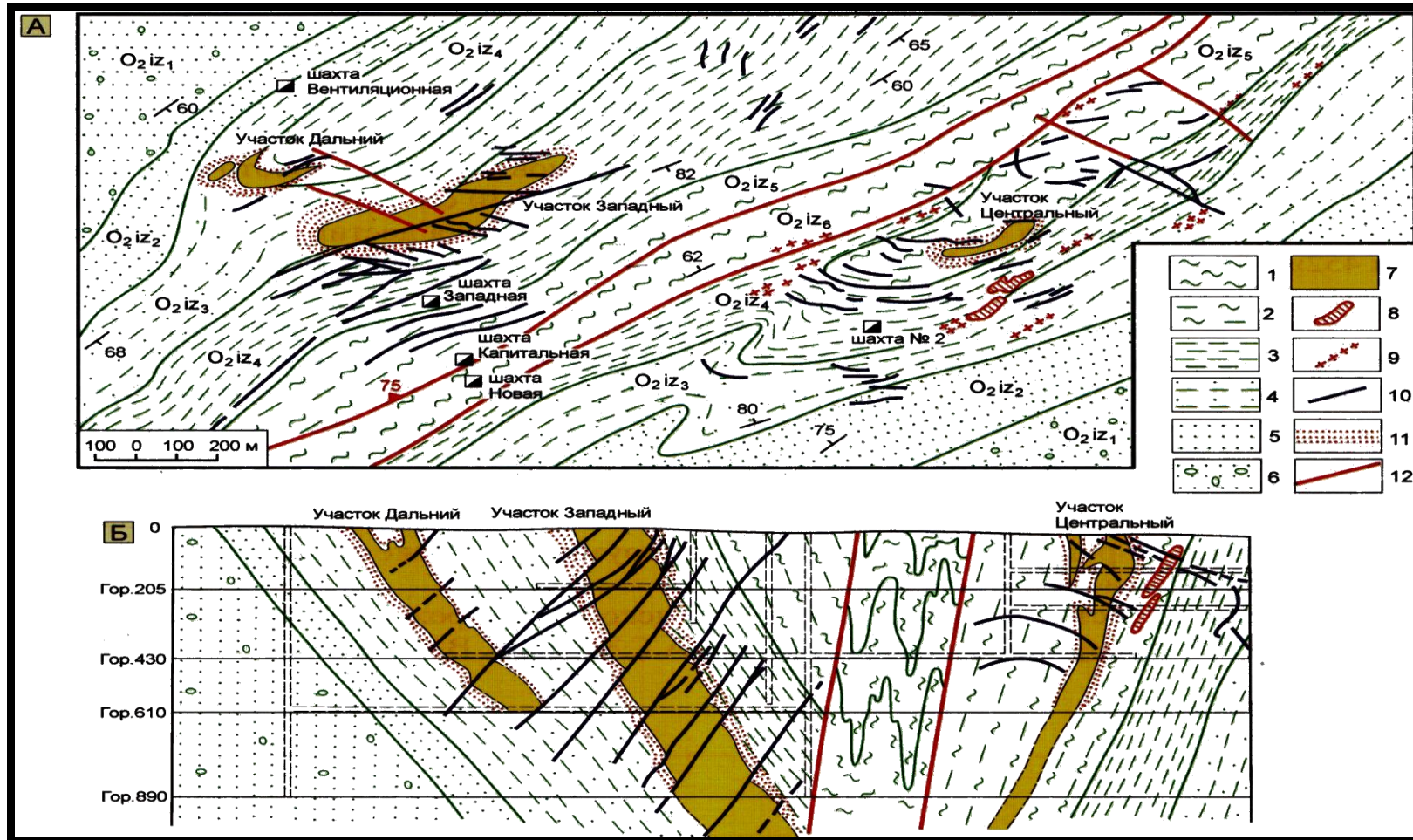
Месторождение представлено четырьмя морфологическими типами оруденения: главным - кварцевожилным, второстепенным прожилково-вкрапленным в березитах, золотоносными брекчиями в интрузиве, зонами золото-сульфидной минерализации в терригенных породах. Золотоносные кварцевые жилы контролируются разломами, образуя каркасную структуру, стержневое положение в которой занимают крутопадающие штоки гранитоидов, трассирующие оруденение на глубину более 1500 м. Всего на месторождении известно более 150 кварцевых жил [15].

Основное оруденение локализовано на двух участках - Западном и Центральном (рисунок 4). Насыщенность пород жильным оруденением выдерживается на значительную глубину при максимуме на горизонтах 250-350 м. Главные рудные минералы в кварцевожилном типе оруденения - арсенопирит, пирит, антимонит, золото, Общее количество сульфидов в кварцевых жилах 2-3%, кварца до 90% и более [14].

Месторождение Бестобе относится к эталонному классическому типу и перспективы его связаны с интрузивными телами крыккудукского интрузивного комплекса, прорывающими углеродистые породы вулканогенно-осадочных толщ ордовика. Океаническое основание требует проверки золотого оруденения на платиноносность.

На месторождении Бестобе к наиболее ранним гидротермальным проявлениям относятся зоны биотитизации, развивающейся по сети трещин в интрузивах степенякского комплекса. На участке шахты №2 развиты мелкие кварцевые прожилки с оторочкой биотитизированных вмещающих пород. Окварцованные пирит содержащие породы, именуемые березитами, наиболее интенсивно проявлены на участках Западном, Центральном и Восточном. В теле западного интрузива они образуют сложной формы участки, протяженностью до нескольких десятков метров и мощностью 2-3 м. Реже березиты развиваются в породах туфогенной толщи. Среди пород они приурочены к более лейкократовым разновидностям.

Слабо измененные породы характеризуются хлоритизацией и карбонатизацией, реже эпидотизацией темноцветных минералов, серитизацией плагиоклазов, развитием метасоматических новообразований кварца, часто приуроченных к контактам зерен. В более измененных разностях отсутствуют темноцветные минералы, развиты хлорит (пеннин, клинохлор) пирит, карбонаты. Плагиоклаз серицитизирован и карбонатизирован, корродирован кварцем, иногда вместо зерен плагиоклаза наблюдаются скопления метасоматического кварца, обогащенные серицитом и другими мелкодисперсными включениями. Структура породы гранобластовая. Наряду с разрушением зерен плагиоклаза исходной породы наблюдаются новообразования альбита, метасоматические образования кварца, имеющие неясно выраженные грани. Реже зерна кварца имеют дипирамидную форму. Включения в нем серицита и карбоната основной массы свидетельствует о метасоматическом происхождении.



1-6-отложения изобильной свиты ( $C_{2iz1}$ ) с пачками: 1-грубослоистых пород ( $iz_1$ ), 2- тонкослоистых песчаников, алевролитов и яшм ( $iz_2$ ), 3-полимиктовых песчаников ( $iz_3$ ), 4- кремнисто-глинистых алевролитов и аргиллитов ( $iz_4$ ), 5-частого-переслаивания песчаников и алевролитов ( $iz_5$ ), 6-углеродистых алевролитов ( $iz_6$ ); 7-диориты, габбро-диориты; 8- плагиограниты; 9-дайки; 10-золотоносные кварцевые жилы; 11-роговики; 12-разломы.

Рисунок 4 – Схематическая геологическая карта (А) и разрез (Б) месторождения Бестобе (использованы материалы Т.М. Жаутикова, Г.Б.Левина, К.Т.Тлеубергенова, М.М.Старовой, А.Г.Злобина, В.В.Уварова).

При процессах окварцования и пиритизации, идущих одновременно с серицитизацией и хлоритизацией, в породах увеличивается содержание новообразованных минералов и в редких случаях возникают породы почти мономинерального состава.

В.С. Коптев – Дворников, П.Ф. Емельянов и др. (1965) изучали зависимость сульфидной вкрапленности, содержания мышьяка и золота в 143 пробах, и они показали, что повышенные содержания золота (от 2 до 3,4 – 5,6 г/т) тяготеют к участкам скоплений мышьяка (2%). В участках, где мышьяка нет, содержание золота не превышает следов.

Золото добывается из кварцевых жил, которые группируются на участках, характеризующихся метаморфизмом туфогенной толщи и развитием интрузивных образований. По простиранию кварцевые жилы прослеживаются на расстояние до нескольких сотен метров. Наиболее протяженные и выдержанные по мощности рудные тела расположены в нарушениях второй системы. Кварцевые жилы, находящиеся в нарушениях третьей системы, не превышают первых сотен метров по простиранию, часто выклиниваются и резко колеблются в мощности.

На участке шахты Западной кварцевые жилы приурочены к нарушениям второй и третьей систем. На участках шахты №2 и №8 они распространены в нарушениях третьей системы. Заметное влияние на морфологию и протяженность кварцевых жил оказывают вмещающие породы. В интрузиях и роговиках рудные тела имеют форму лент с резко ограниченными ровными стенками. В алевролитах и сланцах они представлены многочисленными мелкими прожилками, пересекающими рассланцованную зону, часто короткими по простиранию (3-4 м), с линзами мощностью до 2-3 м необычно оригинальной морфологии, которые тяготеют к узлам пересечений разрывных нарушений.

Дорудный характер разрывной структуры на месторождении обусловил сложные формы рудных тел. Иногда наблюдается ступенчатое расположение отрезков жил по дорудной системе нарушений, вмещающих жилы. По существу, такие смещенные (до десятков метров) отрезки являются самостоятельными кварцевыми жилами, протяженность которых по всей длине нарушения зависит от степени разработанности трещины, физико-механических свойств и состава пород и условий формирования трещины в рудный этап. Рудные тела иногда имеют сложные формы (жилы №9 и №17), обусловленные расположением в системах сопряженных нарушений. Значительно реже наблюдаются внутрирудные и пострудные смещения жил, с амплитудами до 3-5 м.

На месторождении встречается штокверковый тип оруденения, представляющий морфологическую разновидность кварцево-жильного типа.

Изучение микроструктурных особенностей кварца штокверкового типа показало, что участки его концентрации были, как правило, менее подвижны, чем жильные трещины. В рудных телах этого типа содержание золота редко достигает промышленных значений, так как они были подвижными в определенных узких временных интервалах.

В контакте с кварцевыми жилами вмещающие породы подвергаются гидротермальным изменениям. На месторождении Бестобе процесс околожильных изменений, хотя и связан с формированием кварцевых жил, не является более ранним, представляя преджильную стадию. Это подтверждается развитием зон гидротермально измененных пород, разорванных и смещенных вдоль нарушений с кварцевыми жилами. При этом гидротермальные изменения непосредственно связанные с процессом формирования жилы, менее значительны. Обычно гидротермальные изменения первой и второй стадий пространственно совпадают.

Намечаются следующие четыре зоны гидротермально измененных пород: наиболее удаленная зона хлоритизированных и частично карбонатизированных пород; зона сульфидизированных, серицитизированных и карбонатизированных пород; зона серицитизированных, карбонатизированных и слабо окварцованных пород; зона интенсивно окварцованных, серицитизированных и карбонатизированных пород. Околожильные изменения наиболее интенсивно проявлены в диоритах и значительно слабее – в глинистых сланцах, роговики и туфопесчаники занимают промежуточное положение.

Основная масса сульфидной вкрапленности, связанной с формированием жильных рудных тел, находится в зоне гидротермально измененных пород.

Сульфидизация прежде всего охватывает темноцветные минералы. Содержание пирита и арсенопирита в зоне околожильных изменений растет до определенного предела. В краевых частях зоны количество сульфидов уменьшается, а содержание неизменных темноцветных минералов увеличивается. В местах, где породы интенсивно изменены и превращены в кварц-серицитовую массу, сульфиды отсутствуют. Оценивая пространственное положение пирита и арсенопирита, нельзя не прийти к выводу, что для образования этих минералов могло быть использование железа самих вмещающих пород при достаточном привносе серы и мышьяка.

В туфогенных песчаниках, переслаивающихся с черными битуминозными сланцами, в центральных частях зон наблюдается тонкодисперсные выделения углистого вещества размером в тысячные и сотые доли миллиметра. Они образуют плотные скопления в виде линзочек и комковатых образований. В результате подобных изменений возникают зоны гидротермально измененных пород, имеющих темносерый до черного цвет, иногда типичный графитовый блеск, и жирных на ощупь.

Сравнивая диаграммы распределения минералов в околожильных измененных породах, можно заметить, в них усиление карбонитизации и существенное обеднение кремнеземом. Обычно хлорит содержащие породы располагаются во внешней зоне ореола измененных пород. Однако наблюдаются случаи, когда интенсивно хлоритизированные породы непосредственно примыкают к жилам. Довольно часто прожилки и апофизы кварцевых жил обогащены хлоритом и карбонатом. Нередко на контакте с жилами в гидротермально измененных породах скапливаются карбонат, хлорит и сульфиды.



Сульфиды преджильной стадии гидротермального изменения пород обычно рассеяны в виде вкрапленности, вблизи жил расположены неравномерно. На контакте с жилами среди рассеянности сульфидов, относящихся к преджильной стадии, возникают изолированные прожилки, сложенные пиритом и арсенопиритом. По мере приближения к жиле вкрапленность сульфидов становится редкой и местами совершенно исчезает. В интенсивно раздробленных участках, где жильные рудные тела представлены множеством прожилков, сульфидная вкрапленность во вмещающих породах вовсе отсутствует или сульфиды развиваются в виде включений в кварце. Таким образом, материал, составляющий сульфиды, выносится в жильные трещины из боковых пород.

Как показывает микроскопические наблюдения, в местах скопления прожилковидных образований пирита и арсенопирита в большом количестве содержится волокнистый, стебельчатый, столбчатый кварц, образующий оторочки вокруг зерен пирита, а также развивающийся в нем по трещинам. Часто оторочка состоит из кварца, хлорита, карбоната и серицита, перемежающихся друг с другом. При этом образования пирита приобретают ксеноморфный облик. Ближе к жиле пирит отсутствует, много стебельчатого кварца, хлорита.

Рудные тела представлены кварцевыми жилами со сложными разнообразными текстурами. Выделяются массивнозернистая и друзовая текстура, а также две разности полосчатых текстур. Первая из них обусловлена последовательным отложением кварца в трещине, вторая – многократным приоткрыванием трещины и последовательным отложением кварца в образовавшихся полостях. Развиты брекчиевидные текстуры, обусловленные деформацией кварца в рудный этап) [15].

Кварцево - жильные руды формировались в четыре стадии. Главная масса золота отлагалась во вторую - золото-пирит-арсенопиритовую и третью - золото-полиметаллическую стадии. В отличие от других типов оруденения свободное золото отлагалось преимущественно в кварце (пирит и арсенопирит слабо золотоносны) и ассоциирует с тенантитом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, редко с блеклой рудой, антимонитом, марказитом и серебром. Кварцево-жильный тип оруденения характеризуется стабильным промышленным содержанием золота на всех уровнях месторождения с вертикальным размахом промышленного оруденения более 1500 м. Из общего количества кварцевых жил только 15% слабо золотоносны. Запасы золота в рудных столбах составляют около половины общих запасов.

Прожилково-вкрапленный тип золотого оруденения и зоны золото-сульфидной минерализации локализуются в ритмично переслаивающихся алевролитах и алевропесчаниках. Сульфиды представлены пиритом и арсенопиритом. Содержание золота в пирите 0,5 - 8 г/т, в арсенопирите 0,5 - 7 г/т.

Брекчиевые золотоносные трубки представляют самостоятельный тип оруденения. Тела брекчий приурочены к диоритам апикальной части апофизы интрузива. Гидротермальные изменения брекчиевого субстрата выражены в

серицитизации и карбонатизации. Сквозные золотоносные кварцевые жилы секут брекчиевое тело. Брекчиевые руды в цементе и кварц - карбонатных прожилках несут пирит - арсенопиритовую минерализацию с примесью сфалерита, блеклой руды, пирротина и халькопирита. Золото встречается в виде мельчайших выделений в пирите и арсенопирите.

В целом на месторождении сохраняется устойчивое среднее содержание золота на значительную глубину (более 1000 м) с тенденцией его возрастания на участке Центральный, что свидетельствует о промышленной перспективности месторождения, несмотря на значительную его отработанность (до глубины 400-450 м). По запасам золота месторождение относится к разряду крупных с четырьмя промышленными типами руд при главном кварцево-жильном, в котором сосредоточено более 80% общих запасов золота) [15].

Месторождение находится в подземной отработке с попутным наращиванием промышленных запасов за счет флангов и глубоких горизонтов силами геологической службы рудника и комбината.

## **2. ВЕДУЩИЕ ТИПЫ ЗОЛОТОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ КАЗАХСТАНА**

В предложенной классификации золоторудных и золотосодержащих формаций Казахстана (таблица 1) выделены три крупных генетических класса: магматогенный, метаморфогенный и экзогенный, которые характеризуются различной степенью распространенности и изученности, а также промышленной значимостью. В работе освещены представители главнейших типов, относящиеся к магматогенной и метаморфогенной формациям.

### **2.1 Золото-мышьяковая углеродистая формация**

В странах СНГ и за рубежом установлен ряд промышленных месторождений золота в тесной ассоциации с углеродистыми толщами. Эти рудовмещающие образования получили название черно-сланцевых формаций, углеродистых сланцев и т.п., а размещающиеся в них месторождения отнесены по генезису к плутоногенно- или метаморфогенно-гидротермальным, вулканогенно-гидротермально-осадочным и сингенетическо-эпигенетическим. Имеются также представления о формировании части месторождений из глубинных флюидов не гидротермального происхождения, обладавших высокими восстановительными свойствами.

Золотоносные углеродистые отложения в Казахстане имеют широкий возрастной (ранний протерозой - верхний палеозой) диапазон и принадлежат к различным формационным типам осадков, сформировавшимся в самых разнообразных геотектонических условиях. Изучением их занимались многочисленные коллективы геологов как научных, так и производственных организаций. Обобщение и анализ данных указанных авторов, а также результаты собственных исследований показывают, что золотое оруденение, ассоциирующееся с углеродистыми толщами Казахстана, имеет разную рудноформационную принадлежность. Значительная часть его (проявления Улутауского региона и др.) принадлежит к метаморфогенно-гидротермальной либо плутоногенно-гидротермальной золото-теллур-висмутовой формации. В ряде районов развиты золото-сульфидные месторождения, имеющие отчетливую парагенетическую связь с вулканизмом островодужных областей и, скорее, принадлежащие к семейству колчеданных руд. Эти представители золотого оруденения нами здесь не рассматриваются, как типы, относящиеся к другим рудным формациям.

Золото-мышьяковая углеродистая формация (золото-углеродисто-сульфидная) - это самостоятельный промышленно-генетический тип оруденения, которому отвечают рудопроявления и месторождения Калбинского региона Восточного Казахстана, сформировавшиеся в условиях орогенного развития Зайсанской складчатой системы. Проявления формации в этом регионе распространены на разных вертикальных уровнях (от среднего виле до верхнего карбона) и локализуются в флишоидных и молассовых отложениях. Отличительной особенностью рудовмещающей толщи является сопряженность по времени их образования с вулканическими процессами в пограничных с юго-запада (Жарминская) и северо-востока (Рудноалтайская) структурно-

формационных зонах, наличие в составе терригенных пород значительного количества вулканомиктового материала и рассеянного углеродистого вещества, последовательная смена морских условий осадконакопления на континентальные и др. Заметное влияние вулканической деятельности на осадконакопление устанавливается присутствием в составе алевритовых пород туфогенных примесей и повышенных содержаний хлора. Для отдельных отрезков разреза рудовмещающих отложений района характерны: застойный режим осадконакопления, обусловивший сероводородное заражение палеобассейна; повышенная фосфатность, кремнистость и углеродистость, соответствующие периодам затухания вулканических процессов; частая встречаемость среди рудовмещающих отложений сингенетических накоплений рассеянной золото-сульфидной минерализации. На Бакыршикском рудном поле в 1982 г. Н.А. Фогельман был установлен своеобразный "рудноносный" горизонт, содержащий флору верхнекаменноугольного возраста. Он состоит преимущественно из алевролитов, подчиненных прослоев известковистых песчаников, маломощных линзующихся пропластков сидеритов, сильно известковистых алевро-песчаников и небольших слойков антрацитоподобных образований (антраксолиты) или бесструктурных, обогащенных углеродистым веществом, пород. Темносерые алевропелитовые прослои этого горизонта содержат большое количество в разной степени перекристаллизованного глобулярного пирита.

Характерной особенностью рассматриваемых рудовмещающих отложений является наличие линзовидных тел подводно-оползневых брекчий с большим количеством обломков углистых алевролитов и алевропелитов, содержащих линзочки седиментогенных сульфидов. Цементом брекчий служат разномерные известковистые песчаники полимиктового состава. По данным В.Н. Сорокина седиментогенные пириты рудовмещающих отложений Бакыршика являются слабо золотоносными (среднее содержание его 0,52 г/т, а максимальное - 1,24 г/т). Наряду с этим повышенные концентрации золота отмечаются в неизмененных осадочных породах (сидеритах и известковистых аргиллитах), не содержащих пирита, что послужило основанием предположить накопление металла из морских вод совместно с карбонатами. Обогащение золотом могло произойти и биогенным накоплением древними микроорганизмами из обогащенных этим металлом седиментных вод, в местах подводной разгрузки горячих гидротерм.

Как выше отмечалось, одним из важных элементов месторождений золото-мышьяковой углеродистой формации является присутствие в составе рудовмещающих отложений и рудах органического углеродистого вещества. Содержание его в обычных породах колеблется от 0,2 до 1,5-2%. В наиболее обогащенных им разностях пород или отдельных линзах, или конкрециях антраксолитовых образований содержание  $C_{орг}$  достигает 26,48-54,04%. В виду высокой дифференцированной подвижности углеродисто-пелитовых компонентов, в пределах рудных зон происходит концентрация значительного количества органического вещества (до 0,45%). По данным Л.Г.Марченко высокие содержания С (до 13,38-15,17%) характерны для "углеродистых

эксплозивных брекчий" (брекчии тектонического выдавливания и гидропластического течения), являющиеся характерными образованиями рудных зон месторождений "черносланцевой" формации. В составе органического вещества определены битуминозные включения (масла, смолы, асфальтены) со средним содержанием от 0,005 до 0,025% (максимальное 0,264%). Характерна положительная корреляционная связь последних с Au, Ag, As, Fe, Ti, K, Al и отрицательная с Mg, Na. На основании полученных данных Л.Г.Марченко делает вывод о связи битумоидов с калиевыми слюдами и железистыми минералами, а также о возможности переноса золота и его элементов-спутников в виде металлоорганических соединений.

На основании микроскопических исследований выделяются три основных типа углефицированной органики: 1) обломочно-детритовый от тонкодисперсных частиц до псаммитовой размерности, 2) автохтонный с отчетливо слоистой текстурой пород (мощностью от сотых долей миллиметра до 5-10 см) и 3) миграционный (прожилки, сгустки и гнезда). Последний широко развит в зонах тектонических нарушений и встречается среди различных типов пород. Образование их связано с последующими термическими превращениями рассеянного органического вещества и переотложением вследствие конденсации карбоновых кислот гидротермальными растворами [16].

Таблица 1 - Главнейшие типы золоторудных и золотосодержащих формаций Казахстана

Использованы материалы Т.М.Жаутикова, М.А.Абдулкабировой, Н.А.Фогельман, В.А.Нарсеева, А.К.Каюпова, Г.Н.Щербы, В.М.Абишева, М.М.Бакенова, В.А.Глобы, В.И.Данилова, А.Б.Диарова, Г.М. и З.А. Козловских, Г.Б.Левина, Е.П.Миронова, А.М.Мысника и др.

Рудная субформация (с)	Минеральный тип	Ассоциирующие формации	магматические	Типовое месторождение
1	2	3		4
<b>Класс А. Магматические формации</b>				
<b>1.Плутогенные формации</b>				
Хром-платиновая*	Хром-платиноидный	Дунит-гарцбургитовая		Кемпирсай
Медно-никелевая	Халькопирит-пентландитовый	Перидотит-пироксенит-норитовая		Златогорское
Золото-кобальт-медная	Арсенопиритовый	Габбро-диорит-гранодиорит-гранитовая		Саяк
	Висмутин-халькопиритовый Халькозин-халькопирит-борнитовый			Ешкеольмес
Золото-молибден-медная с.золото-медная	Золото-пирит-халькопиритовый	Плагиогранит-гранодиоритовая, монзонит-гранодиоритовая		Юбилейное
с.молибден-медная*	Молибденит-халькопиритовый	Тоналит-плагиогранитовая		Бощекуль, Коунрад
Золото-теллур-висмутовая с.золото-поллиметаллическая (автоберезитовая)	Галенит-халькопирит-пиритовый	Плагиогранит-порфировая		Кызыл, Ушкыз
<b>Золото-теллур-висмутовая (кварцевая)</b>	Арсенопирит-висмутовый			Васильковка
	Пирит-сульфовисмутиновый	Диорит-гранодиоритовых малых интрузий		Акбеит
	Пирит-висмутиновый			Мыстобе
	<b>Арсенопирит-пирит-теллуридный</b>			<b>Бестобе</b>
с.золото-висмут-медная (турмалиновая)	Висмутин-халькопирит-пиритовый			Уштаган
Золото-ртутная (лиственитовая)	Золото-киноварный	Габбро-диабазовая		Вера-Чар
<b>2.Вулканогенные формации</b>				

		Зеленосланцевая джеспилитовая	Мык, Каиндаша
Золото-итабиритовая			
Золото-сурьмяная	Золото-киноварь-антимонитовый	Базальт-андезитовая	Лунинское, Тургай
Золото-серебряная			
<b>Золото-серебряная (адуляровая)</b>	<b>Халькопирит-галенит- сфалеритовый, пирит-аргентитовый</b>		<b>Архарлы</b>
	Полисульфидно-теллуридный	Гранит-порфир-липаритовая, андезит- дацитовая вулcano-плутоническая	Таскора Южный Кудер
С.золото-серебряная (вторично-кварцитовая)	Пираргирит-колорадоит- антимонитовый		Наурызбай
Колчеданная			Далабай
С.золото-колчеданная	Арсенопирит-пиритовый	Контрастная базальт-дацитовая	Кварцитовые Горки
С.колчеданно- медноцинковая*	Халькопирит-сфалерит-пиритовый		Космурун, Сувенир
С.колчедано- полиметаллическая*	Галенит-халькопирит-сфалерит- пиритовый	Последовательная и контрастная базальтоидная и кварц-кератофировая существенно натриевой щелочности	Месторождения Рудного Алтая
С.золото-барий- полиметаллическая	Золото-барит-полисульфидный		Жаналык
<b>Класс Б. Метаморфогенные формации</b>			
<b>Золото-мышьяковая углеродистая**</b>	<b>Пирит-арсенопиритовый</b>	<b>Гранитоидный малых интрузий и даек</b>	<b>Бакыршик</b>
	Арсенопирит-пиритовый		Иткудук
Золотая кварцевая	Пирит-пирротин-арсенопиритовый	Порфиритоидно-порфиroidная	Кууспек
Эклогитовая*)	Гранат-пироксеновый	Эклогитовая	Проявления Северного Казахстана

Исследования по выяснению природы и роли углеродистого вещества в процессах рудообразования проведены Л.И.Абаулиной, П.В.Иншиным и др., которые пришли к выводу, что углеродистое вещество на месторождениях Восточного Казахстана имеет гетерогенную природу. По мнению авторов, наряду с рассеянным сингенетическим, развиты наложенные эпигенетические формы, образовавшиеся путем метасоматоза (I этап) и гидрогенизации углеродистого вещества в зонах I этапа они связывают с совершенствованием его структуры по схеме антраксолит → шунгит → графит, а во втором сменой высших твердых битумов низшими (процесс "керитизации").

По данным изотопных исследований Н.М.Заири и др. [17] сделано заключение, что углерод антраксолитовых прожилков с вариациями  $\delta^{13}\text{C}$  от -22 до -26,8‰, имеет эндогенное происхождение, а рассеянное органическое вещество - типичные для осадочно-биогенных образований параметры  $\delta^{13}\text{C}$  (от -14 до -31,8‰).

В региональном плане проявления рассматриваемой формации приурочены к северо-западному простиранию структурно-фациальным зонам, а их узловое размещение определяется местами их пересечения с широтными разломами фундамента. Характерно, что локальными рудовмещающими структурами большинства месторождений являются зоны сдвигово-надвиговых нарушений субширотного или широтного простирания с падением на север или северо-восток под углом 30-60°. Наиболее крупные объекты формируются в зонах с углами падения 45-55°, для которых характерно западное склонение рудных тел под самыми различными углами. Меньше распространены структуры зон "вязких" разломов, с интенсивным проявлением приразломной складчатости.

Анализ тектонической обстановки на проявлениях рассматриваемой формации показывает, что они приурочены к участкам сложного взаимодействия разрывных и пликтивных деформаций пород, при широком проявлении шовной складчатости и унаследованной тектонической активности структур. Последняя отразилась в условиях осадконакопления, проявлении крайне угнетенного вулканизма и конседиментационных гидротермальных процессов. Наряду с длительностью формирования структур, решающие из них (вмещающие крупномасштабные объекты) возникли в позднеорогенную стадию и характеризуются единством их кинематической природы. Последняя позволяет рассматривать орогенные структуры юго-западной части Зайсанской складчатой системы как единое деформационное поле, в пределах которого сформировались близкие по морфологическим особенностям рудовмещающие структуры. При этом в формировании деформационных рудовмещающих структур Калбы, автор отдает предпочтение региональным сдвиговым перемещениям, как наиболее распространенным видам деформаций орогенного этапа развития каледонских и герцинских складчатых систем Казахстана.

В формировании прожилково-вкрапленного золото-сульфидного оруденения большое значение имеют процессы локального



динамометаморфизма пород, проявленные вдоль рудоконтролирующих сдвиго-надвиговых нарушений. Здесь, в условиях неравномерного трехосного сжатия происходит не только смятие, брекчирование и рассланцевание породно и широко развиты процессы дифференцированного гидропластического выдавливания и течения углисто-пелитовых слоев, твердое перемещение некоторых минеральных веществ (сульфидов, метаморфизованных углей и др.), будинирования и разлинзования хрупких разновидностей пород. Динамометаморфические преобразования происходили в условиях значительной насыщенности пород флюидными компонентами, что привело к образованию разнотектонических окатышей в полужидкой (разжиженной) массе с удлиненно-эллипсоидными, ромбовидными, округлыми и, реже, остроугольными формами (рисунок 5). Этим условиям отвечают нелитифицированные осадки, насыщенные газами, седиментогенными водами и др., которые при последовательном нарастании тектонических напряжений не только испытывают высокую текучесть, разлинзование и будинаж, но и теряют исходные структурно-текстурные признаки, подвергаются разуплотнению, дифференциальному растворению и перераспределению наиболее подвижных компонентов с образованием рудоносных гидротермальных систем.

На рудных полях золото-углеродисто-сульфидной минерализации Западной Калбы проявлены интрузивные образования, представленные габброидами, диоритами, диоритовыми порфиритами, плагиогранитами, плагиопорфирами, спессартитами, керсантитами и граносиенит-порфирами. Все они прорывают отложения  $S_3$  (возможно и  $P_1$ ) и, в свою очередь, секутся высокоглиноземистыми биотитовыми гранитоидами Калбинского комплекса. В тесной парагенетической ассоциации с ними отмечаются аутометасоматическое золото-березитовое (не промышленное) и золото-сульфидно-кварцевое оруденения, являющиеся более поздними по отношению к прожилково-вкрапленному золото-сульфидному. По-видимому, на основании лишь структурного совмещения этих типов оруденения, при наличии значительных минералогических и геохимических отличий руд, объединение их в единую формацию является не рациональным. Интрузивные образования с золото-сульфидным оруденением находятся в сложных возрастных взаимоотношениях и не составляют единую парагенетическую ассоциацию [16].

Имеющийся фактический материал значительно расширил представления об источнике золота на рассматриваемых месторождениях, являющийся, несомненно, гетерогенным. Прежде всего, в нем превалирует доля сингенетического золота, накопившегося при совмещении самых различных процессов: 1) биогенного в существенно известковистых породах, 2) адсорбционно-хемогенного в алевропелитах, богатых рассеянным органическим веществом, 3) гидротермально-осадочного в углисто-глинисто-кремнистых сланцах и др. Некоторое количество сингенетического золота было захоронено в виде металлоорганических, тиосульфатных и хлоридных комплексов, которые, как относительно малоустойчивые соединения, при

последующих преобразованиях пород (диагенезе, катагенезе, динамометаморфизме) подверглись разложению, а восстановленное золото фиксировалось на благоприятных геохимических барьерах. Ювенильный источник металла связан со становлением и эволюцией габбро-диоритового магматизма, наложенного на геохимически специализированную углеродисто-песчано-сланцевую толщу.

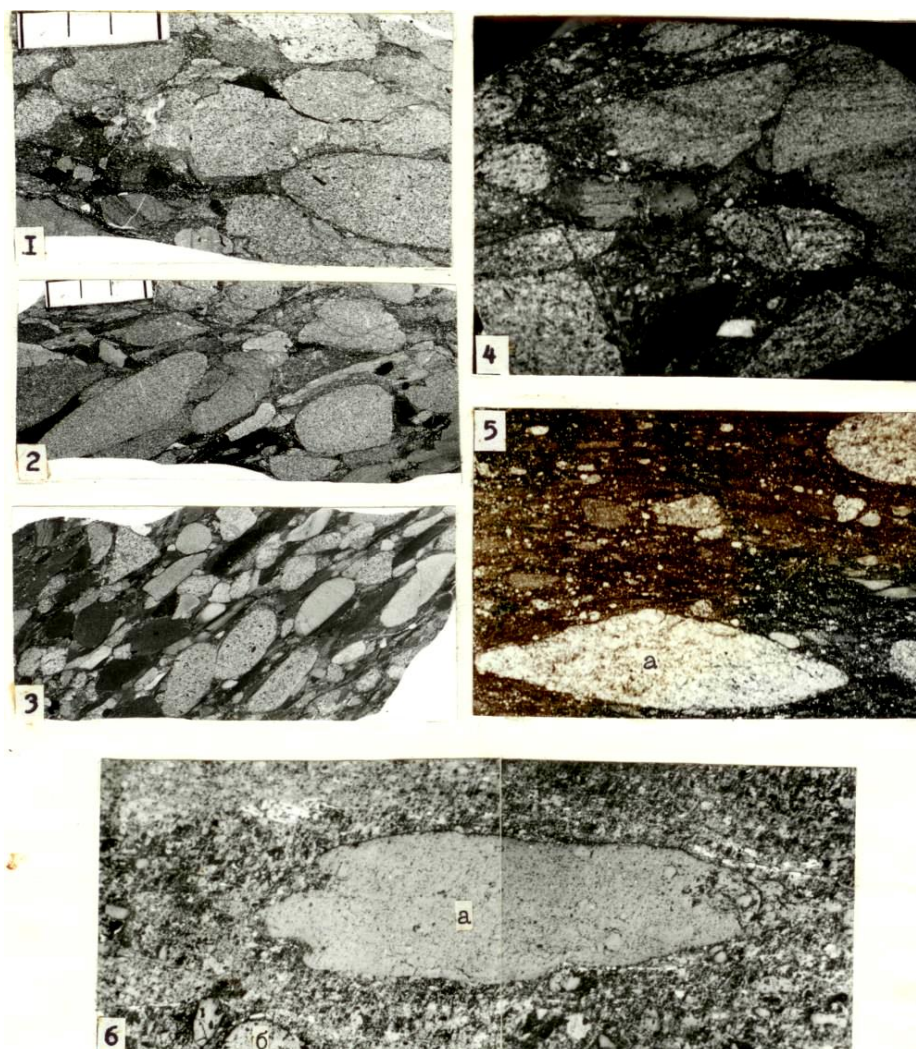


Рисунок 5 - Тектонические окатыши (1-6) в зоне динамометаморфизма, образовавшиеся инъекцией полужидкой смеси слаболитифицированных псаммитов с термальными флюидно-водными растворами. Среди тонкозернистых (0,01-0,1 мм) их разностей обособляются округлые (6-а) и удлиненные "плавающие" обломки (5-а, 6-б) экзотических очертаний (шлифы полиров., увел. 25). Месторождение Бакыршик.

В геохимическом отношении руды золото-углеродисто-сульфидных месторождений Калбы характеризуются смешанным набором элементов (siderофильных - Co, Ni, Fe, Mn; халькофильных - Pb, Zn, Cu, Ag, As и др.;

литофильных - Sr, В, Р, С<sub>1</sub> и др.), что подчеркивает полигенный характер рудообразующих процессов. По данным И.И. Овсянникова и А.В.Веселова концентрация наиболее характерных для этих руд элементов-примесей: Ag, Pb, W, Bi, Sb, Mo достигает значений, превышающих кларк его по А.П.Виноградову [18] от 10 до 100 раз, а КК<sub>А</sub> достигает 2-10 тысяч. Участки с высокими концентрациями золота характеризуются повышенным содержанием As, Ag, Sb, Sn, Ti, убогие руды обогащены Ga, V, Mn, Cr, Zr, W. По максимальным значениям элементов-примесей в направлении продольной оси склонения залежей, дается следующая схема геохимической зональности (сверху вниз):

Hg

Li, Rb, С<sub>5</sub> Зона выклинивания оруденения

Ag, Sb

Sr, Ba, As - An - Pb – Mo

Cu, Zn Зона максимального оруденения

Ni, V, Co, Cr Прикорневая зона

Изменение концентрации характерного для этих месторождений элемента мышьяка с абсолютными его содержаниями в рудах до 0,3-1,5% находится в прямой зависимости от минеральной зональности оруденения. М.М.Старова и др. [19] указывают, что в месторождениях Кызыловской группы отмечается преобладание пирита в апикальных частях оруденения и арсенопирита на глубоких горизонтах при переходе от вкрапленной к штокверковой минерализации. Так, на Бакыршикском месторождении, если в верхних частях рудных зон отношение арсенопирита к пириту в среднем составляет 1:3,5, то на нижних оно меняется до 3:1.

Рудные залежи месторождений данной формации характеризуются нестандартным сложным строением, наряду с участками равномерной золото-сульфидной минерализации, имеют место кварцево-жильные и штокверкообразные тела, относительно бедные или весьма богатые короткие линзы, отдельные будины или глыбы. Они унаследовали тектоническую неоднородность рудовмещающей структуры, особенно наглядно копируемой участками метасоматического замещения убого-сульфидным кварцем и будинообразными телами даек. Для рудных зон этого типа оруденения характерно преобладающее избирательное замещение пород золото-сульфидной вкрапленностью, часто унаследующей слоистость песчано-сланцевых образований (послойно-вкрапленные руды), неоднородное строение тектонитов и др. Характерна простая ленто- и уплощенно-столбообразная форма рудных тел, при выдержанных параметрах отношений длины по простиранию и падению к мощности.

Резюмируя приведенные данные по золото-мышьяковой формации Восточного Казахстана, необходимо подчеркнуть, что образование промышленных месторождений связано с тремя последовательно проявившимися полигенными процессами.

В седиментогенный этап ( $C_{2-3}$ ), в условиях континентального бассейнового осадконакопления происходит формирование геохимически специализированной углеродисто-песчано-сланцевой толщи с горизонтами черных алевропелитов, обогащенных глобулярным и метаколлоидным пиритом, линзами сидерита и антраксолита. Следующий тектоно-метаморфогенный этап совмещен с позднегенетическо-катагенетическим преобразованием слаболитифицированных осадков. В данный период вдоль локальных зон смятия происходит интенсивный динамометаморфизм и отделение флюидно-водных компонентов из вмещающих слаболитифицированных пород с формированием рудоносной гидротермальной системы, с динамикой и последовательной эволюцией которой связано образование широкого ореола углеродистых метасоматитов, прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд и зон окварцевания.

С завершающим этапом формирования связана парагенетическая ассоциация малых интрузий и даек габбро-диорит-плагиогранитного состава ( $C_3-P_1$ ) с постмагматическим гидротермальным оруденением, представленным четырьмя последовательными стадиями: автоберезитовой слабо золотоносной, ранней кварцевой, продуктивной золото-кварц-карбонат-полиметаллической и поздней кварц-антимонитовой. Предлагаемая генетическая схема не только удовлетворительно объясняет многие дискуссионные вопросы золотоносности углеродистой формации, но и приемлема для трактовки происхождения месторождений колчеданных руд, урана, медистых песчаников и др., отличающихся, прежде всего, спецификой геохимического и фациального состава исходных рудогенерирующих пород. При этом, во всех типах и на всех этапах преобразования рудогенерирующих пород важна роль органического вещества как в сингенетическом накоплении металлов, так и последующей миграции, а затем их концентрации.

## **2.2 Золото-серебряная формация**

Формация малоглубинных золотых и золото-серебряных месторождений (балеийский тип по Н.В.Петровской) приурочена к вулcano-плутоническим поясам, слагающим верхний структурный ярус складчатых областей Казахстана.

Впервые рассматриваемая формация выделена В. Линдгреном в 1934 г. под названием эпитеpmальной. В последующем появились термины малоглубинная, вулcanoгенная, пропилитовая, кварц-карбонат-каолинитовая и др. Автором же принято название золото-серебряная формация, употребляемое в работах И.С.Рожкова, Н.А.Шило, Ю.Г.Щербакова и др. Она расчленена на две субформации: золото-серебряную адуляровую и золото-серебряную вторично кварцитовую или кварц-гидрослюдистую.

Благодаря бурному развитию техники и технологии переработки золотосодержащих руд, в особенности с применением цианидных методов выщелачивания расширился круг месторождений с низким содержанием

золота, вовлекаемых в промышленное освоение. В настоящее время рентабельным считается отработка месторождений с содержанием золота в рудах 0,62 г/т. И это не предел. Всевозможная интеграция различных способов цианидного метода выщелачивания руд с фабричной технологией, делает возможным дальнейшее снижение среднего содержания золота в рудах до 0,3-0,5 г/т. Кроме того, необходимо учесть, что проводятся испытания по разработке других более дешевых по стоимости реагентов (тиомочевина, иодиды, хлориды и т.п.), которые позволят в будущем еще более снизить себестоимость производства золота [19].

Все эти обстоятельства позволяют нам рекомендовать промышленности Республики поставить на соответствующий уровень проблему освоения золото-серебряных месторождений в Казахстане. Как известно, числящиеся в государственном кадастре многочисленные объекты золото-серебряного оруденения в основном относятся к разряду рудопроявлений и только часть из них к мелким и средним по масштабам месторождениям. Однако пример освоения аналогичных объектов в России (Дукат, Олимпиадинское, Балей), Аргентине (Паскуа-Лама), Мексике (Пачука), Папуа Новой Гвинее (Поргера), Перу (Янокоча), Румынии (Рошия Монтанэ) и ряде других стран показывает, что при снижении бортового содержания промышленных руд до 0,5г/т и менее, многие ранее известные мелкие объекты превратились в крупные, а в ряде случаев достигли объема уникальных месторождений.

Месторождения золото-серебряной адуляровой субформации в Казахстане стали известны после работ Е.М Майрина, Г.М. Фремда, К.А. Азбея, А.Б.Диарова и др. Они представлены золоторудными и золото-серебряными объектами преимущественно жильного типа, приуроченными к области широкого развития позднепалеозойских вулканитов Северного Прибалхашья и Южной Джунгарии (Прибалхашско-Илийский вулканический пояс). По тесной связи с вулканогенными образованиями руд, они сходны с близповерхностными месторождениями Советского Дальнего Востока, Забайкалья, Тихоокеанского побережья Америки, Трансильвании и других областей, где данная золоторудная формация имеет промышленное значение.

Казахстанские месторождения золото-серебряной адуляровой субформации приурочены к верхнепалеозойским кольцевым вулканотектоническим структурам [20]. В их расположении ведущая роль принадлежит зонам глубинных разломов (Даулетбайский, Калмакэмельский и др.), в значительной степени скрытых под вулканическими сооружениями верхнего палеозоя. В гравитационном поле эти разломы отчетливо выражены региональными зонами градиента поля силы тяжести и, вероятно, обособляют отдельные блоки среднепалеозойского фундамента с различным геологическим строением. Зоны разломов представлены серией субпараллельно ориентированных разрывных нарушений, по которым внедрены дайки и субвулканические тела.

В пределах Прибалхашско-Илийского вулканического пояса оруденение рассматриваемой субформации характеризуется полихронностью (ранне-, средне- и верхнекаменноугольный, ранне- и позднепермский, раннетриасовый), связью с различного состава вулканоплутоническими формациями и самостоятельными дайковыми комплексами, значительным минералого-геохимическим отличием и изменением условий рудоотложения, а также различной степенью эродированной магматогенно-рудной системы. Совокупность этих факторов определила разнообразие минеральных типов субформации, а в некоторых случаях и существенные отличия, выходящие за рамки общей формационной характеристики. Учитывая отличительные особенности отдельных представителей субформации, ниже кратко охарактеризуем типичные примеры по важнейшим рудным районам Прибалхашско-Илийского пояса.

В возрастном ряду проявлений золото-серебряной формации наиболее молодыми являются месторождения Юго-Западной Джунгарии. По наложенности оруденения на пермско-триасовые отложения риолит-базальтовой формации (по К.А. Азбелю и М.Р. Борукаевой) и по данным свинцово-изотопных исследований Н.Г. Сыромятникова, О.Г. Кошевого и др. (среднее значение модельного возраста свинцов из галенита по 8 пробам составило  $240 \pm 4$  млн. лет), однозначно определяется позднепермско-раннетриасовый возраст руд. Наиболее типичным представителем формации в этом регионе является месторождение Архарлы, краткая характеристика которого приводится по данным А.М. Гребенчикова, А.Н. Семёненко и др. На рудных участках этого месторождения отмечается отчетливое наложение оруденения на дайки лампрофирового ряда, интрузирующие пермско-триасовые вулканогенные породы.

В определении тектонических особенностей месторождения Архарлы ведущая роль принадлежит трещинам отрыва, наложенным на элементы палеовулканической структуры и образованным в результате длительной сдвиговой деформации. Рудоносные кварцевые жилы выполняют кулисообразно эшелонированные трещины отрыва, развивавшиеся над потенциальными сдвигами фундамента вулканической постройки в определенной соподчиненности элементам кольцевых вулканотектонических структур.

По данным исследований В.А. Нарсеева, месторождение Архарлы в отличие от других представителей золото-серебряной формации Прибалхашско-Илийского пояса, характеризуется отчетливо выраженной фациальной зональностью рудоотложения. Она наиболее ярко проявлена в адуляр-кварцевых и галенит-сфалерит-кварцевых жилах месторождения. Первые в наименее эродированной части сложены слабозолотоносными друзовыми и крустификационными агрегатами кварца и адуляра с примесью барита и убогой вкрапленностью пирита. С глубиной они сменяются малосульфидными адуляр-кварцевыми рудами колломорфно-полосчатой

текстуры. Ниже по падению рудных тел количество серебряных минералов резко падает и преобладающими становятся сфалерит, электрум, халькопирит, пирит, а на выклинивании жил - пирит, халькопирит, электрум. Соответственно, в направлении от золото-аргентитовой зоны к золото-пирит-халькопиритовой тонкополосчатая колломорфная текстура жил сменяется неяснополосчатой и массивной; в жилах уменьшается содержание сульфидов, золота, хлорита, адуляра; окраска адуляра меняется с оранжевой на светло-розовую и желтоватую, исчезают аметист и барит; возрастает величина серебро-золотого отношения (от 5 до 40); уменьшается размах колебаний пробы золота и величина его выделений; дисперсия и средняя пробность золота увеличиваются.

Для месторождения Архарлы характерны резко изменчивые значения (10-50) Ag/Au отношения и относительно низкая (630-750) пробность золота. Понижение значений пробности золота А.М. Гребенчиковым связывается с повышением сульфидности руд месторождения.

Таким образом, главнейшими особенностями месторождений золото-серебряной формации являются:

1. Тесная структурно-парагенетическая связь малоглубинного золотого оруденения с магматизмом орогенных вулcano-плутонических поясов Казахстана, с которыми оно составляет единую магматогенно-рудную систему.

2. Приуроченность месторождений к зонам долгоживущих глубинных разломов, пересекающих сложные системы палеовулканических сооружений, фрагментам концентрических и радиальных разломов кольцевых вулcano-тектонических структур, специфическим рудоносным взрывным сооружениям, часто совмещенным с центрами вулканических построек.

3. Формация близповерхностных Au-Ag месторождений Казахстана может быть расчленена на аналогичные выделяемым М.М. Константиновым и др. генетические типы (субформации): субвулканический (Архарлы, Далабай, Музбель), вулcano-плутонический (Таскора), кислотно-сульфатный (Шунай), вулcanoгенно-осадочный (отдельные зоны Таскоры и Архарлы) и регенерированный (Слушоки).

4. Одним из характерных критериев оценки Au-Ag месторождений является отчетливо выраженная зональность (вертикальная и латеральная) в формировании метасоматитов, распределении минеральных ассоциаций, изменении структурно-текстурных особенностей руд и т.п. Она имеет важное значение при оценке объектов, как комплексный критерий определения различных параметров оруденения, в том числе степени эрозионного среза месторождений, возможного вертикального размаха, масштабов и интенсивности оруденения.

5. Широкое распространение полей эпидот-актинолит-хлоритовых пропицитов или низкотемпературных вторичных кварцитов, служащих одним из признаков оконтуривания площадей развития золото-адуляр-кварцевого оруденения.

6. Наличие собственно околожильных метасоматитов адуляр-кварцевого и гидрослюдисто-кварцевого состава, первичных ореолов рассеяния Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, As, обширных ореолов калия, а также отчетливо выраженной минералого-геохимической зональности оруденения.

7. Для многих крупных объектов Au-Ag оруденения характерно проявление рудоносных эксплозивных и эруптивных брекчий, которые наряду с их промышленной ценностью, указывают местоположение наиболее проницаемых участков рудоносных структур.

8. Наконец, существенную роль в выявлении геологических особенностей Au-Ag месторождений играет изучение закономерностей размещения в их пределах и параметров бананцевых рудных столбов, заключающих значительные запасы золота и отличающихся высокими, минимум на порядок, его содержаниями.

### **2.3 Золото-теллур-висмутовая формация**

Проявления золото-теллур-висмутовой формации являются одним из классических представителей собственно-золоторудных месторождений, которые по распространенности среди различных промышленно-генетических типов занимают одно из первых мест в Казахстане. Ввиду широкого диапазона геологических и физико-химических условий образования, месторождения данной формации локализуются в различных по возрасту и истории геотектонического развития геологических структурах. Отмечается тесная генетическая или парагенетическая связь с магматическими комплексами различной основности, разнообразие минеральных и геохимических типов, а также формирование месторождений среди различных по составу осадочных и вулканогенных пород (М.Б. Бородаевских 1947).

#### **Золото-теллур-висмутовая (кварцевая) субформация**

На территории Казахстана проявления золото-теллур-висмутовой (кварцевой) субформации известны в каледонских складчатых зонах Чингиз-Тарбагатай, Майкаинского и Чу-Илийского регионов, в герцинидах Урала, Юго-Западного Алтая и Джунгаро-Балхашской структуры. Незначительные по масштабам объекты отмечены среди докембрийских образований Казахстана, связанных как с метаморфическим преобразованием пород, так и с наложенными тектоно-магматическими процессами. Однако, она наиболее характерна для деструктивных окраин Кокчетавского срединного массива (деструктивные эвгеосинклинали или парагеосинклинали) и орогенных структур Зайсанской герцинской геосинклинали.

Рассматриваемая субформация относится к числу наиболее изученных типов золотого оруденения и, поэтому, не повторяя известные данные, остановимся на некоторых ее особенностях, имеющих либо принципиальное значение, либо относительно слабо освещенных в литературе.

Проявления золото-теллур-висмутовой кварцевой субформации с присущими для плутоногенно-гидротермального оруденения особенностями



локализуются в пределах самых разнообразных по своей кинематической природе и рисунку, постскладчатых (приразломных) структурах. Наиболее крупные из них сочетают признаки многократных деформаций, связанных с формированием сопровождающих глубинные или региональные сдвиговые структуры систем разрывов и шовной складчатости.

Анализ материалов по наиболее крупным объектам данной формации показывает, что оруденение на этих участках многоэтапное и сопровождается интенсивно проявленными метасоматическими процессами. На Степняжском, Бестобинском, Жолымбетском и других рудных полях вслед за приконтактовым ороговикованием, проявлены мощные процессы относительно высокотемпературного окварцевания (рисунок 6). Во многих рудных полях за ранними процессами окварцевания развивается мощная автometасоматическая березитизация, с которой связаны первые рудные накопления золота. В ряде объектов, автometасоматической березитизации предшествуют скрытые эксплозии, вносящие некоторые коррективы в дальнейший ход развития рудного процесса.

Многостадийность собственно рудного комплекса рассмотрена в работах В.М.Абишева, Б.И. Вейц, В.М. Гришина, З.А. Козловской, Е.П. Миронова, Э.М. Спиридонова, М.М. Старовой и многих других исследователей. Обобщенный ряд его минеральных ассоциаций по имеющимся данным можно представить в следующем виде: ранняя кварцевая с шеелитом (реже молибденитом) → ранняя сульфидная пиритовая (пирит-пирротиновая, пирит-арсенопиритовая, магнетит-пиритовая) → поздняя сульфидная (галенит-сфалерит-халькопиритовая, халькопирит-пиритовая и др.) → продуктивная (золото-теллуридная, золото-висмутин-теллуридная, золото-висмутиновая, золото-сульфоантимонитовая и др.). Золотоносность и общие геохимические особенности месторождений определяются степенью и полнотой проявления тех или иных ассоциаций, а также специфическими провинциальными особенностями формирования рудного комплекса. Содержание сульфидов в рудах золото-сульфидно-кварцевых месторождений не превышает 2-5% (убого- и малосульфидная формация) [21]). Редким исключением является месторождение Жетыгара, где среднее содержание сульфидов составляет 20% (максимальное до 40%). При большом разнообразии структурно-текстурных особенностей руд данной субформации, представленных преимущественно кварцем, соотношение последнего с сульфидами самые разнообразные (рисунок 6).

Самородное золото в рудах месторождений рассматриваемой формации изучалось З.А. Козловской, А.Г. Каймирасовой, В.М. Гришиным и др. Отложение его происходит, начиная с процессов автometасоматической и околожильной березитизации до проявления наиболее поздних кварц-карбонатных прожилков (рисунок 7). Наиболее продуктивными в отношении высококонцентрированного оруденения являются поздние ассоциации минералов с участием сульфидов меди, свинца, цинка, висмута, теллуридов и

сульфосолей. Часто геохимическими барьерами при отложении служат контакты сред с резко различным минералогическим составом (кварца с сульфидами, хлорит-серицитовыми метасоматитами, углеродисто-глинистыми алевролитами и др.). Исследованиями В.Н. Матвиенко установлено неоднократное внутростадийное отложение золота в рудах, изменение морфологических особенностей по последовательности образования минеральных ассоциаций, а также последующее растворение и переотложение с разнообразием кристаллических форм золотин.

Для золото-теллур-висмутовой кварцевой субформации Казахстана необходимо отметить, что большую роль в определении промышленной ценности ее объектов играет полнота проявления наиболее поздних продуктивных ассоциаций минералов. Отсюда и конкретизация геохимических критериев поисков, заключающаяся в наличии в составе комплексных ореолов (Си, РЬ, Zn, Мо, As и др.) наряду с золотом висмута, серебра, сурьмы и теллура. При микроскопическом изучении руд Бестобе автором были обнаружены сростки золота с тетрадимитом (продуктивная золото-теллуридная), наложенные на ранние кварц-пирит-арсенопиритовые руды (рисунки 8 и 9). Для данного типа оруденения также характерно резко пониженное значение (0,3-0,4) серебро-золотого отношения и повышенное содержание золота в пиритах рудного комплекса.

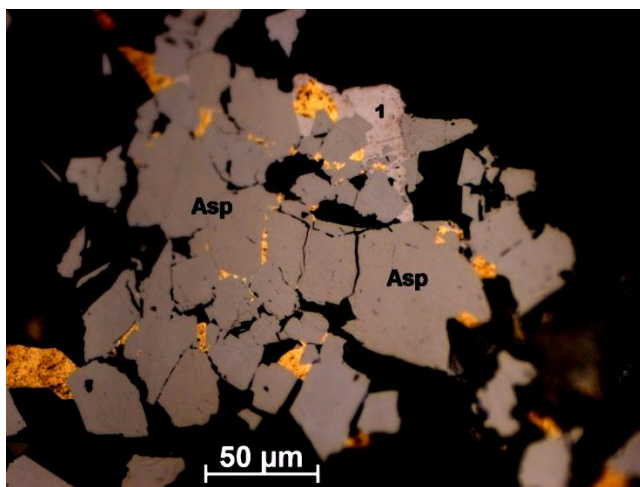


Рисунок 8 – Золото самородное (Au) в сростании с тетрадимитом (1) цементирует зерна арсенопирита (Asp). Черное – кварц.

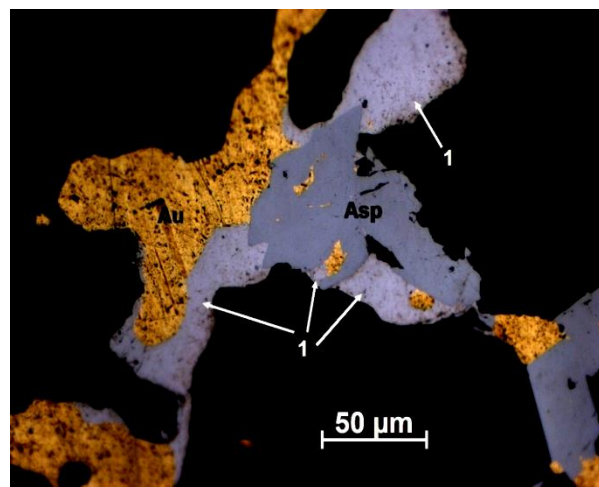


Рисунок 9 – Золото самородное (Au) в сростании с тетрадимитом (1) арсенопиритом (Asp). В арсенопирите (Asp) – мелкие включения золота. Черное – кварц.

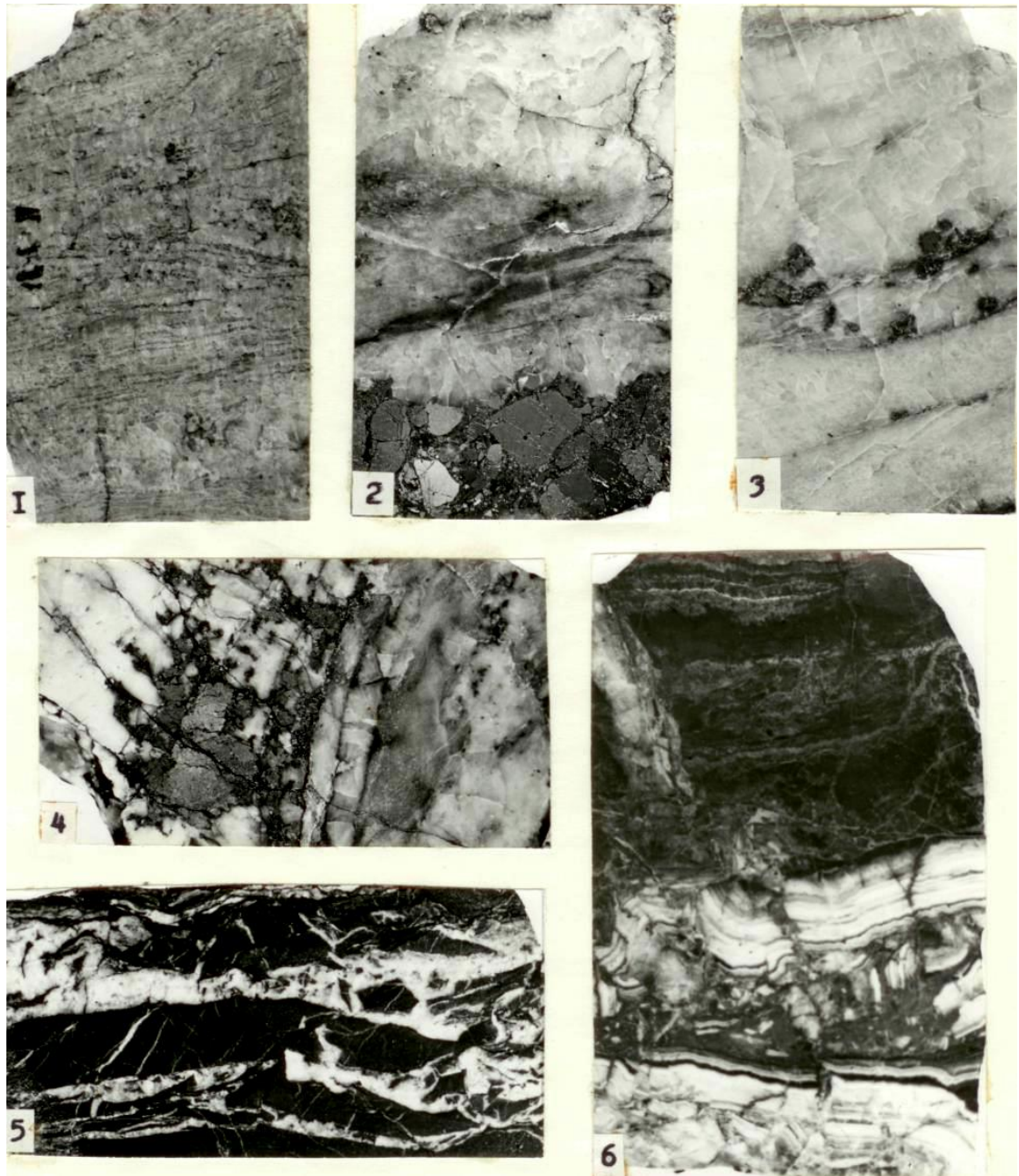


Рисунок 6 - 1 - тонкополосчатая текстура жильного кварца. Степняк. Увел.0,8; 2 - брекчирование золотоносных сульфидов поздним кварцем. Степняк. Увел.0,8; 3-4 - прожилковидно-гнездообразные скопления сульфидов, приуроченные к продольным трещинам жильного кварца. Байлюсты. Нат.вел.; 5 - лентовидное прожилкование золотоносного кварца. Бестобе. Увел.0,7; 6 - сочетание крустификационно-полосчатой и брекчиевой текстур в кварц-адуляровых жилах. Архарлы. Увел.0,5.



Рисунок 7 - сочетание послойной и прожилковидной тонкой вкрапленности сульфидов в околожильных базальтах. Увел.2; 2 -то же, что и на фото I. Шлиф полир., увел.50; 3,4 - послойная вкрапленность сульфидов, приуроченная к благоприятному прослою алевропесчаников. Шлифы полир., увел.50.  
Месторождение Бестобе.

### 2.1.1 Минералогия руд месторождения Бакыршик

Преобладающими рудными минералами являются пирит и арсенопирит, в приповерхностных горизонтах отмечается антимонит, более редки марказит,

халькопирит, пирротин, галенит. Различаются четыре разновозрастные парагенетические ассоциации - пирит-I - мельниковит - марказитовая, золото-I - пирит-II - арсенопиритовая, золото-II - сфалерит - галенит - халькопиритовая и золото-III - антимонит - марказит - энаргитовая (В.А. Нарсеев, М.М. Старова).

Минеральный состав руд довольно однообразен, хотя число рудных минералов превышает 35. Абсолютно преобладают дисульфиды железа, арсенопирит. Иногда встречаются антимониты. Остальные минералы являются редкостью. Золото в основном связано с пиритом и арсенопиритом и образует весьма тонкие выделения, фиксируемые лишь при больших увеличениях ( $1500\times$  –  $1600\times$ ). Ниже приводится краткое описание основных минералов [70, с. 60].

**Пирит** является наиболее распространенным сульфидом. Выделяется три его генерации. Пирит 1 ассоциирует с кристаллически незрелыми разновидностями бисульфидов железа. Он развит во всех разновидностях углистых осадочных пород [70, с. 61]. На долю разновидности приходится приблизительно около 5% от общего количества пирита. Пирит 1 имеет гексаэдрическую огранку кристаллов. Размеры кристаллических индивидов его изменяется в пределах от 0,1 до 1,2 мм. В кристаллических структурах травлением выявлено глобулярное внутреннее строение. Последнее дает основание говорить о том, что пирит 1, имеющий внешнюю кубическую огранку, образовался за счет бисульфидов железа глобулярного строения в результате перекристаллизации. Это подтверждается также и приуроченностью выделений пирита 1 (как и бисульфидов глобулярного строения) к участкам пород обогащенным графитом (рисунок 10).

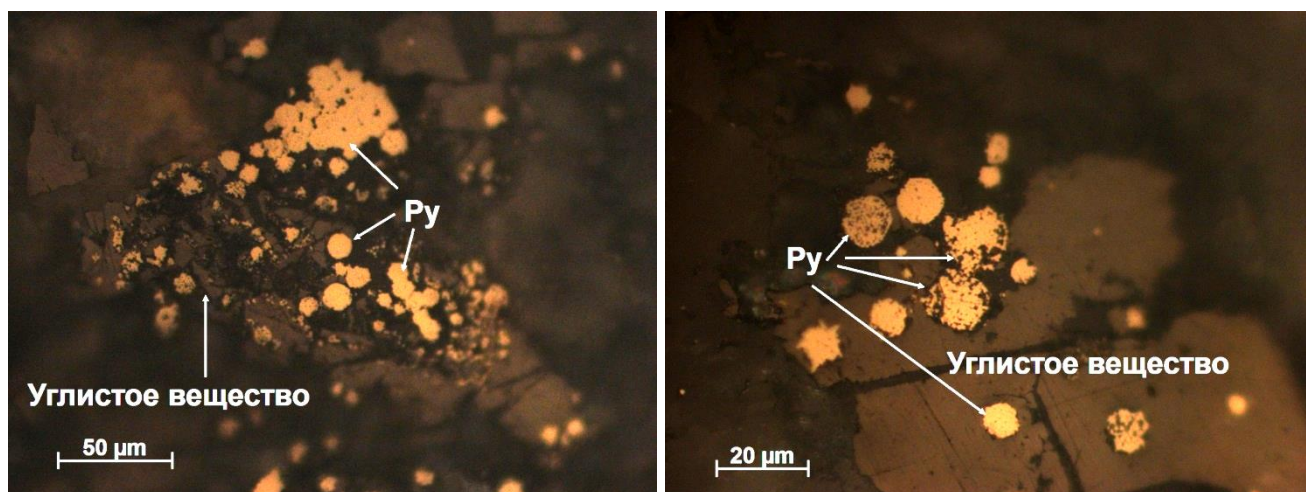


Рисунок 10 – Глобулярный пирит (Py) в тесном срастании с углистым веществом. Бакыршик.

Наиболее широко развит пирит II. Он характеризуется ясно выраженными кристаллическими образованиями пентагон-додекаэдрического, реже гексаэдрического облика. Отмечается также комбинационные формы

кристаллов преимущественного развития граней пентагон-додекаэдра и слабо развитых граней гексаэдра, реже наоборот. Наиболее тесно пирит II ассоциируется с арсенопиритом, при этом они создают гипидиоморфнозернистую, а в отдельных участках панидиоморфнозернистую структуры отложения. Размеры кристаллов варьируют в пределах от тысячных долей мм до 2-3мм. В углисто-глинистых сланцах и алевролитах, несущих густую вкрапленность пирит II, часто отмечается футлярообразные и скелеточные его образования. В одних случаях, идиоморфные вкрапленники пирита сцементированы нечетко кристаллическими образованиями арсенопирита со следами незначительной коррозии пирита. В других случаях, степень идиоморфизма пирит II и арсенопирита одинаковая. Взаимоотношения пирита и арсенопирита говорят о близко одновременном отложении этих минералов (рисунок 11). Халькопирит, блеклая руда, сфалерит, галенит и золото сопровождают пирит, нередко его корродируя. В пирите часты включения углефицированных фрагментов растительной ткани. Для пирита II очень характерны зональные кристаллы. Полигональные зоны роста легко выявляются травлением, при этом устанавливается неоднократная смена форм роста от центра и периферии с тенденцией к упрощению. В целом для кристаллически-зернистого пирита характерны весьма слабые признаки деформации или их отсутствие. Любопытно, что трещиноватость пирита часто напоминает дендритовидную, развивающуюся из центра зерен или радиальную с элементами концентрической.

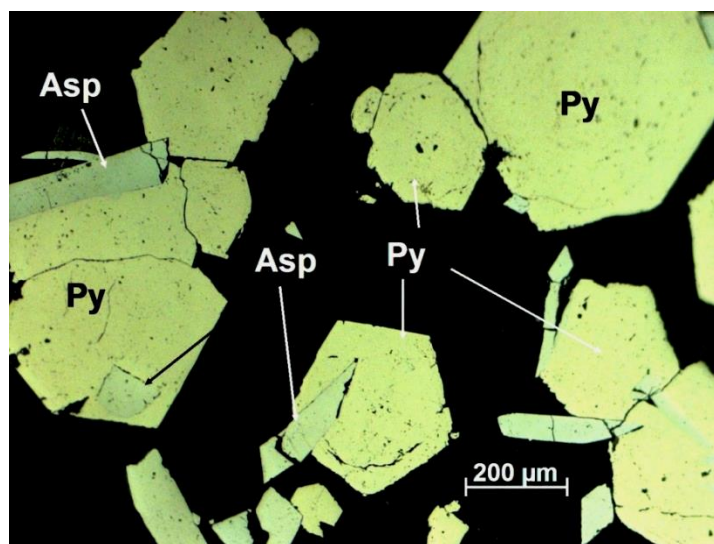


Рисунок 11 – Пентагондодекаэдрический пирит (Py) в сростании с арсенопиритом (Asp). Бакыршик.

Среди кристаллически зернистого пирита выделяются оригинальные скелетные формы, по внешним огранениям соответствующие, в большинстве случаев, пентагон-додекаэдру: в меньшей мере – кубу. Своеобразную форму

пириту придают реликтовые включения в нем нерудных минералов (чаще – это кварц и полевые шпаты в разной степени серицитизированные), которые могут размещаться в центральной частях и по всему объему пирита в виде угловатых и округлых частичек. Иногда пирит имеет весьма сложное строение и представлен многократно чередующимися зонами. Соотношение пирита и реликтов пород в скелетных зернах варьируют приблизительно в таких пределах: от 1:10 до 10:1. Скелетные кристаллы пирита являются, по видимому, метакристаллами-метасоматическими образованиями, растущими в твердой среде. Они имеют чаще всего полигональную зональность роста скелетных кристаллов и, часто, соответствие фигур внешним без смены их ориентировки.

Пирит скелетных форм встречается почти во всех структурно-литологических разновидностях руд в количестве от 1 до 10% и общей массе кристаллически-зернистого строения. По времени образования метакристаллы пирита является одновозрастными с кристаллически-зернистыми пиритом, описанным выше. Для них также характерна нечетность возрастных взаимоотношений с арсенопиритом и редкие (гораздо реже, чем в пирите без реликтов пород) микроскопические включения всех прочих рудных минералов.

В особую группу среди кристаллически-зернистого пирита II выделяются пирит массивных руд, представляющий собой раскристаллизованные гели. По морфологии индивиды пирита массивных руд изометричны и чаще всего соответствуют пентагон-додекаэдру по внешнему ограничению. Однако особенности их строения, выявленные структур, присутствие зон различной кристаллической зональности, выявленная местами колломорфная зональность, реликтовые трещинки дегидратации в хорошо раскристаллизованных зонах с полигональной кристаллической зональностью, позволяют предположить гелевую первичную природу отложения вещества этого пирита вокруг обломков осадочных пород и перекристаллизацию геля в процессе диагенеза.

Изучение распределения золота и элементов – примесей показало значительные колебания их содержаний. По данным анализа 25 мономинеральных проб пирита распределение золота в них полимодальное и соответствует наличию двух основных типов дисульфида железа. Наиболее золотоносен пирит, отобранный из глинисто-карбонатных, карбонатно-фосфатных и кремнисто-фосфатных конкреций (до 100 г/т) и из лиственитизированных «даек» трахиандезита (41-100 г/т). Максимальные содержания установлены в пирите II – 800 г/т.

Пирит III крупнозернистый кубической формы, развит в виде секущих прожилков. Он отличается простым внутренним строением и ассоциирует с сульфидами полиметаллов и пирротинном.

*Мельниковит* образует скрытокристаллические землистые массы, шаровидные скопления и глобулы микронных размеров, достигающие до нескольких мм. Ассоциирует с пирротинном, пиритом, редко арсенопиритом. В

нем отчетливо устанавливаются явления перекристаллизации из геля в зернистый агрегат.

**Мельниковит–пирит и мельниковит-марказит** более распространены. Образуют глобулярные, колломорфные, сферолитовые выделения микронных размеров, достигающие до десятых долей мм (редко более), ассоциируют с пиритом, марказитом, арсенопиритом. Наиболее часто ассоциирует с пиритом в углисто-карбонатных отложениях. Можно проследить все стадии перекристаллизации мельниковит-пирита в крупные выделения кристаллического пирита. Очень характерной формой выделения является глобули с оптимальным размером 0,002-0,001 мм. Большинство глобулей имеет равномернозернистое внутреннее строение. Интерстиции между зернами выполнены халцедоном, редко-сфалеритом, блеклой рудой, халькопиритом.

**Марказит** образует три разновидности. Первая – в виде зернистых и колломорфных выделений, ассоциирующая с пиритом и арсенопиритом, образовалась при метаморфизме и перекристаллизации метаколлоидов дисульфидов железа, обладает реликтами колломорфного строения. Вторая разновидность возникла при перекристаллизации первой и образует полисинтетические сдвойникованные кристаллы. Третья разновидность марказита отмечена в кварц-антимонитовых жилах в виде идиоморфных кристаллов, замещаемых антимонитом.

**Пирротин** отмечается в ассоциации с мельниковитом в метаколлоидных образованиях в виде глобулей. Реликты последних наиболее часто встречаются в арсенопирите. Кроме того, пирротин отмечен в ассоциации с сульфидами полиметаллов. В первом случае он может быть рассмотрен как продукт моносульфидизации дисульфидов железа под влиянием наложенных процессов (внедрение даек, наложение кварцевых жил и т.д.).

**Арсенопирит** представлен тремя разновидностями: мелкозернистый – кристаллы в комбинации призмы и пирамиды; среднезернистый – изометричные бипирамидальные кристаллы; крупнозернистый – игольчатые кристаллы с двойниками и тройниками срастания (рисунки 11 и 13). Обычно эти разновидности наблюдаются совместно, но для руд с полосчатой текстурой более характерна третья разновидность. Для арсенопирита, как и для пирита, характерны скелетные и футлярообразные формы, «тени давления» с кварцем и серицитом и включения фрагментов углефицированного растительного детрита. Арсенопирит наиболее тесно ассоциирует с пиритом II. Сульфиды полиметаллов, золото, блеклые руды и кварц нередко в виде прожилков секут арсенопирит.



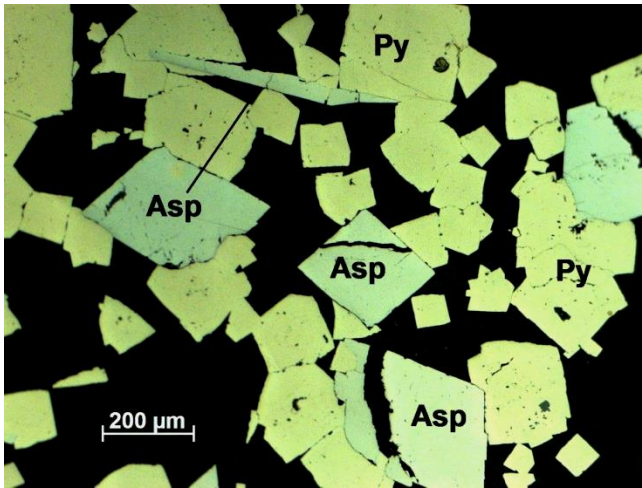


Рисунок 12 –Кубический пирит (Py) в срастании с призматическим арсенопиритом (Asp). Бакыршик.

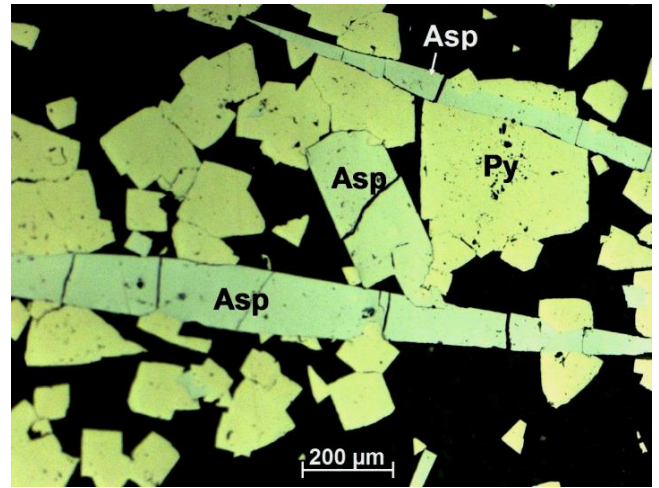


Рисунок 13 –Кубический пирит (Py) сечется игольчатым арсенопиритом (Asp). Бакыршик.

**Золото.** Основная масса золота локализуется в кристаллически зернистом пирите и арсенопирите в невидимой минеральной форме (при увеличении 600-1600 раз). Золотины размерами 0,5 мк до 5 мк составляют 83,7%. Существует положительная корреляция между содержанием золота в рудах и размерами его выделений.

Золото в рудах в основном тонкодисперсное, находится в арсенопирите и пирите в виде тонких (0,1-5 микрон) каплевидных включений, дендритов и зерен. Видимое золото (десятые доли миллиметра) встречается по трещинкам в сульфидах и в ассоциации с антимонитом. По данным В.Н. Матвиенко среди преобладающего тонкодисперсного золота выявлено три морфологических разновидности золотин - спутано-волоконистая, массивная и кристаллически-зернистая. Золото высокопробное (95-98%). Отмечается повышенная никеленность пирита (20-300 г/т) и арсенопирита (32-145 г/т). Тонковолокнистое золото часто ассоциирует с бунзеитом, найден интерметаллид  $AuNi_2$ . На месторождении установлены новые формы ультрамикроскопического самородного золота (нанозолото) - коллоидная и ионная фазы.

Наиболее обычными формами нахождения золота в пирите и арсенопирите является неправильные зерна: изометричные, сложной формы, удлиненные, каплевидные и жилковидные выделения. Форма выделений золота, в большинстве случаев, определяется видимо, уже готовыми формами в твердой среде: поры, межзерновые и межминеральные пространства, зоны роста, микротрещинки катаклаза и другие ослабленные места. По морфологическим особенностям можно выделить две разновидности золота; включения более или менее изометричные внутри зерен сульфидов, и жилковидные образования, приуроченные к межзерновым, межминеральным пространствам и микротрещинам катаклаза. В целом для руд характерно

значительное преобладание первой морфологической разновидности золота и некоторые колебания в количественных соотношениях обеих разновидностей для различных текстурно-литологических групп руд. В ряде случаев, жилковидное золото имеет несколько большие размеры, чем золото внутри зерен сульфидов. Встречаются тонкие пленки золота, которые представляют собой цемент в раздробленном или интенсивно катаклазированном пирите и арсенопирите. Золото в этих случаях имеет жилковидную форму сложной конфигурации. Наблюдаются локализации золота по зонам роста сульфидов в виде тончайших линий небольшой протяженности и штрихов, следующих кристаллографическим очертаниям арсенопирита (по ромбу) и пирита (полигональная фигура). В некоторых скелетных зернах пирита с идиоморфными огранениями, внутренние части которых представлены реликтовым материалом пород с неправильными включениями пирита, золото встречается в реликтах пород, в зонах контактов пирита и реликтов пород, сечет и корродирует пирит. В подобных ситуациях встречаются также блеклая руда и сфалерит непосредственно в сростании с золотом или без него. Основная масса золота, как включений, так и жилковидного, образует в сульфидах мономинеральные выделения и лишь в ограниченном числе случаев сопровождается непосредственно блеклой рудой, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, кварцем, карбонатом. В единичных случаях золото встречено в массе пород, вблизи сульфидов. Здесь оно образует, как и блеклая руда, сфалерит и халькопирит, включения в кварц-серицит-карбонатных оторочках сульфидов. На месторождении Бакыршик золото также находится в невидимой форме в углеродистом веществе углеродистых алевропелитов. Установлено присутствие нанозолота как в сульфидах, так и в углеродистом веществе. В настоящее время предполагается существование различных форм нахождения золота в сульфидах: изоморфная, в виде сульфидов золота, в качестве механической примеси микро- и наночастиц золота и смешанные. Большинство ученых считает, что нахождение невидимого золота в пирите связано с дефектами его кристаллической решетки [22].

Автором установлено, что в измененных углеродистых алевропелитах содержание невидимого золота составляет от 3,7 до 5,9 г/т, а в одной пробе достигает 9 г/т.

Автором работы, по данным микроскопических исследований для золота в сульфидах выделено: 1) раннее тонкозернистое и субмикроскопическое золото, выделившееся совместно с ранними сульфидами – пиритом, арсенопиритом. Мономинеральные пробы арсенопирита и пирита, отобранные из одной точки, показывает, что арсенопирит более обогащен золотом; 2) золото с кварцем, кальцитом и сульфидами полиметаллов выполняет трещинки дробления в ранних сульфидах (полиметаллическая стадия). Наиболее часто золото наблюдается в ассоциации с блеклой рудой, халькопиритом и кварцем; 3) позднее золото связано с антимонитом, самородным серебром и сурьмой в

кварц-кальцитовых прожилках, которые имеют крайне ограниченное распространение.

Расчет баланса показывает, что 90-95% золота в рудах связано с пиритом и арсенопиритом.

**Сфалерит** представлен клейофаном и образует включения и прожилки в ассоциации с блеклыми рудами, халькопиритом, галенитом и золотом. Иногда встречаются сфалерит со структурами распада халькопирита в нем. Травлением выявлены реликты тонкозернистой структуры, перешедшие в пластинчатые двойниковые агрегаты.

**Халькопирит** присутствует в рудах в подчиненном количестве в виде включений и тончайших прожилков. Ассоциирует со сфалеритом, блеклой рудой в карбонатных прожилках. В глобулях дисульфидов железа халькопирит иногда слагает ядерные части. Образует структуры распада с кубанитом и сфалеритом.

**Блеклые руды** представлены теннантитом в пирит-арсенопиритовых рудах и тетраэдритом – в кварц-антимонитовых жилах. Встречается довольно часто, но в ничтожных количествах. С блеклой рудой постоянно ассоциирует золото, зачастую – галенит, сфалерит, халькопирит.

**Галенит** встречается редко в ассоциации с минералами полиметаллической стадии.

В поздних кварц-карбонатно-антимонитовых жилах и прожилках установлены антимонит, киноварь, самородное серебро, сурьма и золото. При этом серебро и киноварь локализуются в участках графитизированных пород в ассоциации с глобулярными агрегатами дисульфидов железа.

### **2.1.1.1 Формы нахождения золота в рудах Бакыршика**

Исследованию форм нахождения золота в сульфидах и углеродистом веществе посвящены работы [23,24, 27], в которых говорится о существующих фазах золота, о роли наноминеральных частиц в процессе рудообразования и накоплении благородных металлов на месторождении «черносланцевого» типа, в частности на месторождении Бакыршик.

Матвиенко В. Н. [24] детально исследовались природные кластерные и коллоидные формы благородных металлов в рудах в целях создания нанотехнологий их извлечения. Им было установлено, что в золотосульфидных рудах преобладает коллоидная, гидроксидная и ионная фазы золота, а самородная в подавляющем большинстве представлена тонкодисперсной разновидностью. Максимальное количество самородной фазы золота зафиксировано в густовкрапленных и массивных, особенно в ранних слоистых пирит-арсенопиритовых рудах. Среднее количество самородной фазы золота в рудах не превышает 17%. В рудах широко развито углеродистое вещество преимущественно низших ступеней упорядоченности структуры: аморфное, двумерно– и трехмерноупорядоченное, антракосолит, шунгит и графит со слабоупорядоченной структурой. Было доказано широкое развитие на

месторождении природных кластеров, концентрирующих основную массу содержащегося в углеродистых породах золота [24, с.67]. С помощью электронно-микроскопических исследований в рудах золотосульфидных и эпitherмальных месторождений установлены различные по форме и размерам (от сотни до первых сотен ангстрем) преимущественно сферические образования, представляющие собой природные кластерные формы металлов, участвующих в рудном процессе.

Марченко Л.Г. [25, 26] проводились электронно-микроскопические исследования монопроб сульфидов методом съемки на просвет с применением микродифракции. Были выделены наноразмерные минералы и сопутствующие фазы из золотоносных арсенопиритов и мышьяковистых пиритов из шунгита, представленные большим разнообразием наноразмерных благородных металлов. Ею отмечается геохимическая роль поверхностной неавтономной фазы в поглощении микроэлементов, не совместимых со структурой пирита и аккумулирующихся в этом поверхностном слое. По данным электронно-микроскопических исследований выявлена приуроченность золота чаще всего к зонам дефектного строения сульфидов [25, с.45]. Большинство благородных металлов в нанослое сульфидов представлено кластерами сульфидов и сульфосолей. Встречено нановещество, представленное разновидностями с ограниченными фуллереноподобными структурами, в нанослое пентагондодекаэдрического золотоносного пирита. В нанослое шунгита также обнаружено большое разнообразие микроформ благородных металлов «чуждых» структуре минерала – хозяина [25, с.46].

Присутствие большей части золота в пирите и арсенопирите в невидимой форме придает ей упорные свойства, затрудняя извлечение из нее золота [25, с.47]. На рисунках 14 и 15 показано такое золото, которое удалось обнаружить автору на микрозонде.

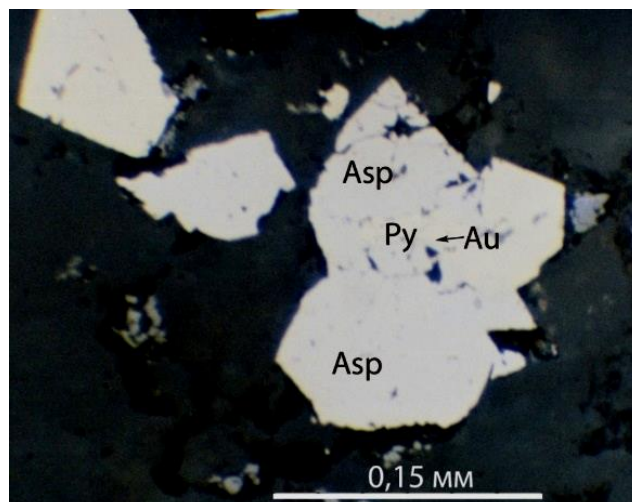


Рисунок 14 – Золото в пирит-арсенопиритовом сростке. Световой микроскоп. Бакыршик.

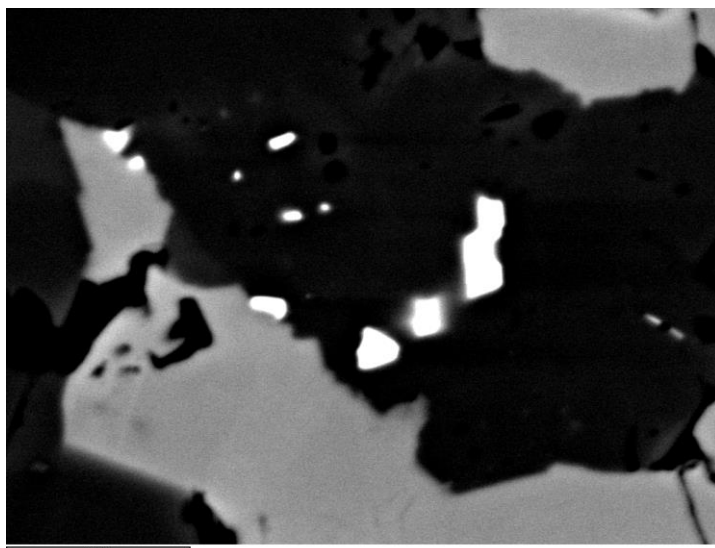


Рисунок 15– увеличенный фрагмент рисунка 14. Скопление зерен золота (белое) в пирите (черное) по границе с арсенопиритом (серое). Снято на микронзонде в режиме компо. Бакыршик.

Кроме того, автором работы изучены содержания золота в монофракциях пиритов различных морфологических разновидностей, арсенопиритов и углеродистого вещества из месторождения Бакыршик (таблица 2). Аналитические исследования руд месторождения проводились с применением методов химического, рентгенофазового, спектрального, электронно-зондового анализов. Наряду с использованием стандартных методов определения состава проб на золото, платину, мышьяк, углерод, применялся метод экспресс-анализа по определению золота, разработанный сотрудником Института геологии А.А. Солдатенко [28].

Таблица 2 - Фазовый анализ проб на золото (месторождение Бакыршик) [28, с.23]

№ п/п	№ проб	Содержание Au г/т в минеральных фазах						
		Общее содержание	I-сульфидная	II-тонкодиспер.	III-видимое	IV-в арсенопирите, пирите	V-в углерод. вещ-ве	VI-в силикатах
1	Б13-9	45,6	9,4	<0,1	<0,1	18,0	5,9	10,6
2	Б13-18	28,33	1,2	<0,1	<0,1	6,6	4,0	15,0
3	Б13-33	22,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,4	5,6	9,9
4	Б13-36	15,96	0,7	<0,1	<0,1	10,6	3,7	<0,1

Основная масса золота связана с сульфидами (от 4,4 до 18,0 г/т), присутствует золото также в силикатах и углеродистом веществе [28, с. 24]. Видимое и тонкодисперсное золото по данным анализа отсутствует (таблица 3).

Выполнены также исследования по изучению содержания золота в монофракциях сульфидов пиритов различных морфологических разновидностей, арсенопиритов и углеродистого вещества (таблица 3). Пирит в них характеризуется ясно выраженными кристаллическими образованиями пентагондодекаэдрического вида, осложненного гранями гексаэдрического облика в соответствии. Размер кристаллов от сотых до 1–2 мм. Часто встречаются сростания двух-трех и более индивидов пирита. Содержание золота в сульфидном концентрате первой пробы при соотношении пирит: арсенопирит, равным 1:2, 3, составило 233г/т, при этом в пирите содержание золота равно 52 г/т, в арсенопирите – 319,2 г/т, что вполне согласуется с расчетными данными по суммарному сульфидному концентрату (таблица 4) [28, с. 32]

Таблица 3 - Содержание золота и других элементов в концентратах и минералах проб. (месторождение Бакыршик) [28, с. 33]

№ п/п	№ проб	Название объекта исследований	Содержание Au(г/т), других элементов в %				Соотношение пирит : арсенопирит	Форма пирита, арсенопирита
			Au	As	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Fe)	S		
1	Б13-9,18,33	Сульфидный концентрат	233	0,7	не опр.	не опр.	1:2,3	
2	--	Пирит	52	Не опр.	--	--	–	Пентагондодекаэдрическая
3	--	Арсенопирит	319,2	--	--	--	–	Игольчатая, четкопризматическая, пикообразная
4	Б-600	Сульфидный концентрат	247,5	15,0	57,92 (40,5)	37,74	1:1,5	Форма сульфидов аналогична вышеописанным
5	Б-600а	Углеродистое вещество	10,0	Не опр.	2,07 (1,4)	Не опр.	–	–
6	Б11-9	Сульфидный концентрат	5,9	--	Не опр.	--	2,3:1	
7	--	Пирит	5,4	--	--	--	–	Кубический
8	--	Арсенопирит	7,07	--	--	--	–	–

Таблица 4 - Распределение золота, связанного с минералами сульфидного концентрата. [28, с. 34]

№п/п	Минерал	Содержание минералов, %	Содержание золота, г-т	Распределение
1	Пирит	30	52,0	6,58

2	Арсенопирит	70	319,2	93,42
1+2	Сульф.конц-т	100	236,9	100,0

В сульфидном концентрате из оруденелого алевролита 93,42% золота связано с арсенопиритом и 6,58% – с пиритом. В пробах ЖБ13-9, ЖБ18, ЖБ-33 произведен расчет содержаний и распределение золота в концентратах и хвостах (таблица 5) [28, с. 55].

Таблица 5 - Распределение золота в концентратах месторождения Бакыршик (кл–0,5мм) [28, с. 56].

№ п/п	№ пробы	Название продукта	Вес, г	Выход %	Содержание золота, г-т	Распределение, %
1	ЖБ13-9	Концентрат	5,12	16,81	218	88,54
2	--/--	Хвосты общ.	25,34	83,19	5,7	10,46
1+2	--/--	Исх. продукт	30,46	100,0	41,39	100,0
1	ЖБ13-18	Концентрат	8,48	12,61	233	73,75
2	--/--	Хвосты общ.	58,78	87,39	5,7	26,25
1+2	--/--	Исх. продукт	67,26	100,0	34,36	100,0
1	ЖБ13-33	Концентрат	12,98	9,0	218	86,38
2	--/--	Хвосты общ.	131,4	91,0	3,4	13,62
1+2	--/--	Исх. продукт	144,38	100,0	22,71	100,0

С концентратами связано от 73,75 до 88,54% золота, потери золота в хвостах вероятно связаны с присутствующем в них УВ. [28, с. 57]

Полученные результаты дают четкую ориентацию на использование пиритов различных морфогенетических типов в качестве поисково-оценочного критерия в плане оценки золотоносности изучаемых участков в черносланцевых толщах пород.

### 2.1.1.2 Углеродистое вещество в рудах и рудовмещающих породах Бакыршика

В последние десятилетия повышенный интерес к изучению углеродистого вещества (УВ) в рудовмещающих осадочных комплексах вызван тем, что это органическое вещество (ОВ) участвует в накоплении золота и платиноидов в седиментогенезе и предопределяет ход рудного восстановительного диагенеза. Изучением современных осадков морей, океанов и экспериментальными исследованиями установлено, что сорбция Au гуминовыми кислотами, являющимися компонентами ОВ, является одним из главных путей первичного седиментационного накопления золота и элементов группы платины (ЭГП) в высокоуглеродистых осадочных комплексах (ВУОК) [29,30,31]. Таким высокоуглеродистым осадочным комплексом является бакыршикская толща. Присутствие УВ в осадках предопределяет ход рудного восстановительного

диагенеза [32]. С органическим веществом связана концентрация благородных металлов в виде металлоорганических соединений – кластеров. В процессе постдиагенетических изменений и динамометаморфизма происходит трансформация УВ и распад рудных кластеров, сопровождающаяся выделением золота и образованием золотосодержащих пиритов и арсенопиритов. Да и само углеродистое вещество содержит золото и элементы группы платины, т.е. является носителем этих благородных металлов. Поэтому для комплексного наиболее полного извлечения золота и элементов группы платины необходимо всестороннее изучение углеродистого органического вещества [32, с.55].

В бакыршикской толще углеродистое вещество (УВ) встречено в двух типах пород, имеющих разный состав и генетическую природу: 1) в песчаниках, часто содержащих включения щебневых обломков, являющихся отложениями зерновых потоков, часто встречаются растительные остатки в виде ветвей, спор, пыльцы, листьев и ветвей [32, с.56]. Ветви имеют диаметр до нескольких сантиметров. В псаммитовых породах УВ сохранило черты растительного происхождения и имеет гумусовую природу. По данным [33] растительные остатки комковатого и рыхлого строения могут быть отнесены к группе структурного витринита. УВ сконцентрировано в цементе псаммитовых пород в виде дендритов, заполняет трещинки и огибает зерна и обломки пород. В связи с тем, что растительные остатки находятся в отложениях зерновых потоков, можно утверждать, что гумусовое органическое вещество имеет аллохтонную природу; 2) в рудовмещающих и рудоносных углеродистых алевропелитах. По наблюдениям в шлифах УВ находится в тонкодисперсной форме, имеет изометричную, комковатую, тонкопрожилковую форму и удлиненные конформные скопления в виде гнезд. Отчетливо выражена приуроченность переотложенного УВ в виде линз и прожилков в рудных телах, расположенных в зонах интенсивного дробления, милонитизации, на поверхности стилолитовых швов среди тектонитов, развитых во фронтальной части надвигов в Кызыловской зоне (рисунок 16).

Было выполнено термоаналитическое изучение углеродистого вещества из углеродистых алевропелитов. Диагностика порошковых проб выполнена по морфологии термических кривых и численному значению экзо- и эндотермических эффектов. Содержание  $C_{орг}$  в изученных пробах колеблется от 1,5 до 3,05 %. В образцах № 62, 92 и Б-4-V углеродистое вещество при нагревании дает интенсивный экзотермический эффект, регистрируемый в широком диапазоне температур от 100 до 900°C (рисунок 17) [33, с. 78].

По данным [34] такие экзотермические эффекты с одним или двумя перегибами установлены в сапропелевых углях и



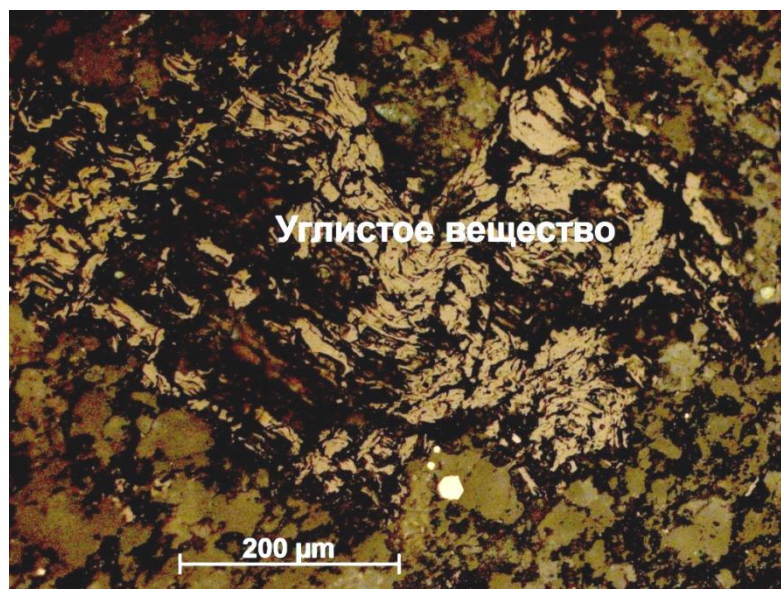


Рисунок 16 – Смятый агрегат углистого вещества в рудовмещающей породе. Бакыршик [34, с. 24]

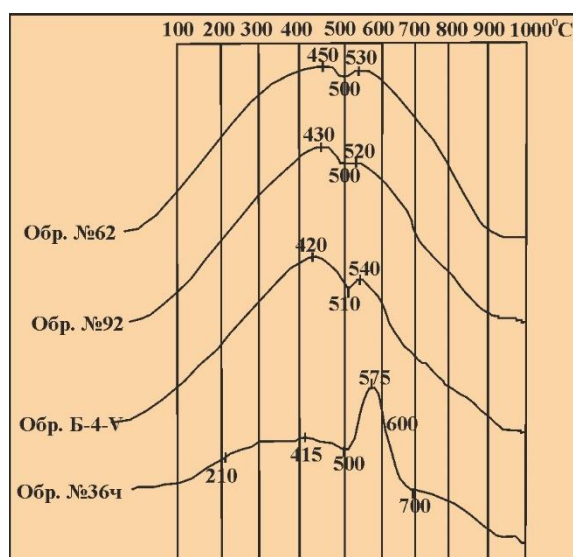


Рисунок 17 - Термоаналитические кривые (ДТА) углеродистых алевропелитов бакыршикской толщи. Исследование проводилось на дериватографе типа Q-1500 D системы F. Paulik, J. PaulikbL. Erdey, фирмы «МОМ» (Венгрия). Аналитик СНС И.Б. Саматов. [34, с. 25]

обусловлены присутствием сапропелевого ОВ. По температуре начала второго экзотермического эффекта, при котором происходит выгорание органического вещества, можно судить о степени метагенеза и метаморфизма рудовмещающих отложений. На рисунке 17 хорошо видно, что начало экзотермического эффекта в обр. 36ч начинается при 500°, в других образцах второй экзотермический эффект начинается в интервале 500-510°. [34, с. 26] По

данным [35] характерно для мусковит-хлоритовой стадии раннего метагенеза и динамометаморфизма. Это совпадает с наблюдениями в прозрачных шлифах, где установлено, что гидрослюды полностью трансформировались в мусковитоподобную слюду - серицит. В обр. 36ч по слабому эндотермическому эффекту, сопровождающемуся потерей веса, диагностируется присутствие доломита в количестве 1,26%.

Описывая углеродистое вещество руд следует отметить, что в процессе постдиагенетического изменения ОВ пород и руд вероятно на стадии катагенеза произошла генерация жидких битумов, которые были отложены в сферических трещинах (рисунок 18). По тончайшим извилистым и сферическим кольцевым трещинкам развивается вторичное черное углеродистое вещество [35, с. 43].

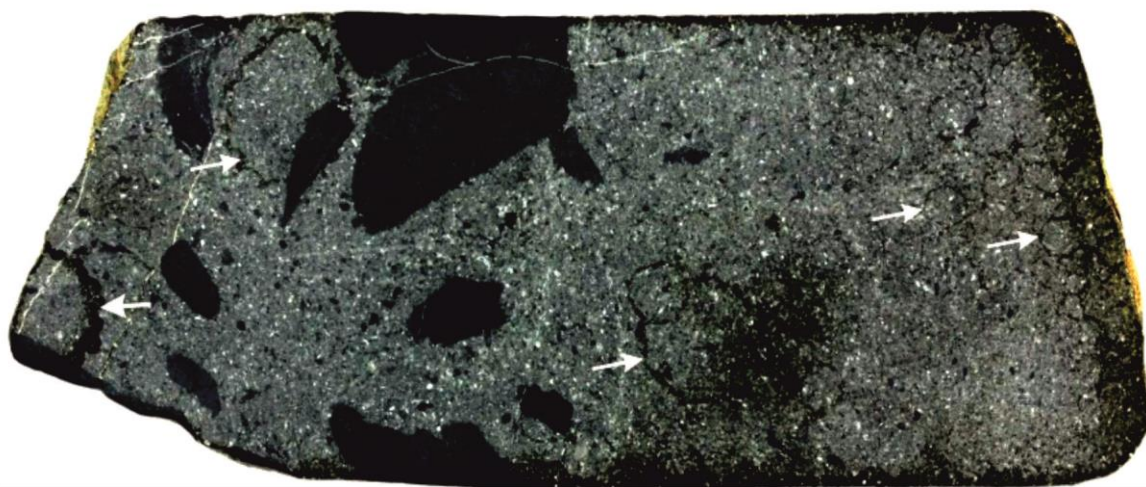


Рисунок 18 - Серый граувакковый песчаник с включениями щебневых обломков черных углеродистых алевропелитов, с извилистыми сферическими трещинками, заполненными углеродистым веществом. Видны ветвящиеся трещинки, образующие б-угольные, почковидные и округлые формы. Хорошо видны сферические трещинки диаметром 1,4-2см (показаны белыми стрелками) Месторождение Бакыршик [35, с. 44].

Трещинки ветвятся, образуя шести угольные, почковидные и округлые формы (мотивы). Сферические трещинки диаметром 1,4 - 2см имеют извилистые границы, подобно краям растворения в обломках и подобно шиповидным структурам. Такие сферические трещинки, заполненные органическим веществом (ОВ), образуются на стадии катагенеза при отделении жидкой фазы от сапропелевого ОВ [36].

Таким образом, термоаналитическим изучением углеродистых пород и руд установлено присутствие в органическом веществе сапропелиевого вещества и битума. Подтверждено присутствие доломита в рудовмещающих углеродистых алевропелитах. По началу и характеру экзотермических кривых при 500-510°C установлено, что постседиментационные изменения рудовмещающих пород и

руд находятся на мусковит-хлоритовой стадии раннего метабенеза и динамометаморфизма [36, с. 45].

Кроме того, автором работы углеродистое вещество и минералы сульфидной руды были проанализированы в полированных образцах под микроскопом отраженного света в масляном погружении (с использованием PPL, XPL и флуоресцентного света); минералогический и химический составы были измерены с использованием XRPD и XRF (университет Мишкольц, Венгрия). [36, с.47]. Полученные последние данные подтверждают предыдущие научные результаты и указывают на то, что твердый битум транспортировался через открытые поры трещины при дорудной минерализации и откладывался в основном в синруде и дважды пересаживался в поструде заполняя трещины и пустоты. Твердый битум с кристаллическими образованиями фрамбоидального пирита образует заполняющие пустоты включения с присутствием сульфатного бактериального восстановления в трещинах кварца. Твердый битум имеет тесную парагенетическую связь с рудными минералами, особенно с золотосодержащим арсенопиритом и пиритом. Это означает, что твердый битум можно использовать в качестве индикатора рудных минералов при разведке золота на Бакыршикском месторождении.

## **2.2.1 Минералогия руд месторождения Архарлы**

### **2.2.1.1 Первичные руды**

Руды месторождения характеризуется рядом особенностей, присущих всем близповерхностным месторождениям. Господствуют в них полосчатые, колломорфные и крустификационные текстуры минеральных агрегатов; достаточно обычны пластинчатые и каркасно-перегородчатые текстуры кварца. Основными жильными минералами является тонкозернистый метаколлоидный кварц и халцедон. В продуктивных жилах присутствует адуляр, сульфиды серебра и низкопробное золото [23, с. 28].

Специфическими чертами, присущими Архарлинскому месторождению, является широкое развитие аметиста, полисульфидность оруденения, преобладание среди рудных минералов сфалерита и пирита, наличие довольно большого количества гематита, практически полное отсутствие в рудах теллуридов и яркая розовая и оранжевая окраска адуляра за счет тонко диспергированных в нем окислов железа [23, с. 29]. Общее количество рудных минералов колеблется от 0,5 до 3%. [23, с. 29].

Главными среди рудных минералов являются пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, золото и гематит. К числу второстепенных и редких в ряде жил относятся акантит, борнит, пирротин, фрейбергит, полибазит, арсенопирит, пираргит, мельниковит-пирит, марказит, ближе не определенные теллурид серебра и сложный сульфид серебра и висмута (единичные находки), киноварь, гетит, халькозин. [23, с. 30]. Наряду с кварцем, халцедоном и аметистом в ряде жил присутствуют адуляр (5-25%), карбонат, цеолиты, хлорит, барит, серицит, монтмориллонит (все вместе взятые не более 5%)[23, с. 31].

Форма выделения минералов меняется в зависимости от изменения минерального агрегата. В жилах колломорфной текстуры в ассоциации с метаколлоидным кварцем и халцедоном ряд минералов образуют скелетные кристаллы (сфалерит, пирит), зерна неправильной формы, или шарообразные и почковидные выделения (гематит, сфалерит, пирит) [23, с. 44]. В ассоциации с шестоватым кварцем эти же минералы дают друзовидные агрегаты [23, с. 45].

Продуктивными золотоносными ассоциациями являются адуляр-кварцевая и галенит-сфалерит-кварцевая. Каждая минеральная ассоциация либо слагает самостоятельные разобщенные в пространстве и пересекающие друг друга жилы, либо участвуют в составе сложных жил, где внутри одного рудного тела четко наблюдается последовательность формирования разновременных ассоциаций [23, с. 46].

**Галенит-сфалерит-кварцевая ассоциация** – вторая (наиболее распространенная) продуктивная ассоциация на месторождении [23, с. 32]. В ряде жил в качестве второстепенных отмечаются гематит I, борнит, пирротин и более редкие – фрейбергит, марказит, штроемейерит, мельниковит – пирит и однозначно не определенные теллурид серебра и сульфид висмута. Среди жильных минералов, наряду с кварцем III, широким развитием пользуется аметист II. Вероятная последовательность выделения главных рудных минералов следующая: сфалерит II – халькопирит II – галенит II – золото II – пирит IV – гематит I [23, с. 12].

**Постпродуктивная халькопирит-кварцевая ассоциация** слагает на рудном поле немногочисленные зоны прожилков и единичные маломощные жилы [23, с. 13]. В небольшом количестве присутствует карбонат и хлорит. Предполагаемая последовательность выделения рудных минералов следующая: гематит II – пирит V – сфалерит III – галенит III + халькопирит III + блеклая руда [23, с. 14].

**Халцедоновая ассоциация.** Главным жильным минералом является тонко, реже неяснополосчатый халцедон III, окрашенный преимущественно в коричневый и фиолетово-коричневый цвет. Наряду с ним нередко встречаются аметист IV и кварц V. [23, с.15]. Единственным относительно распространенным (0,1%) рудным минералом является кубический пирит VI. В качестве единичных находок отмечались киноварь, гетит и халькозин. Предполагаемый порядок выделения рудных минералов данной ассоциации следующий: пирит VI – халькозин – киноварь – гетит [36, с. 26].

**Карбонатно-цеолитовая ассоциация.** Главные минералы кальцит и цеолиты (гейландит, десмин). Реже встречается железистый карбонат и арагонит [36, с. 27]. Иногда с карбонатами ассоциируется пирит VI и марказит (единичные находки), а с цеолитами – гидроокислы железа, окрашивающие их в розоватые и коричневые тона. Ассоциация слагают немногочисленные маломощные жилы и зоны прожилков, секущие кварцевые и халцедоновые жилы, цементирует в зонах брекчий обломки разновозрастных кварцевых жил (участки Восточный II, Северо-Восточный, Северный). [36, с. 33].

**Баритовая ассоциация.** Единственным минералом этой ассоциации является барит II, слагающий прожилки мощностью до 0,1м. Баритовые жилы сформированы после некоторого перерыва в деятельности горячих источников и фиксирует новый кратковременный этап их активности [36, с. 34].

**Гипогенное золото** в рудах месторождения выделялось позднее большинства сульфидов. А.М. Гребенников [37] установил золото 2-х генераций: золото-I в ассоциации с пиритом III, халькопиритом II, сфалеритом I и сульфидами серебра (адудярово-кварцевая ассоциация) и золото-II в ассоциации с галенитом II, сфалеритом II, пиритом IV, халькопиритом II, III и другими минералами галенит-сфалерит-кварцевой ассоциации. Пробность золота-I составляет 596-635, а золота-II – от 735 до 772. Низкопробное золото-I имеет зональную (не более 2-3 зон) внутреннюю структуру. Судя по характеру травления, проба золота во внешних зонах всегда ниже чем в центральной. Относительно высокопробное золото-II имеет комковатую искаженную форму монокристаллов, дендритов, пластинчатых частиц с губчатой поверхностью. Оно часто образует мономинеральные выделения в кварце, и изредка, сростки с кварцем в виде шарообразных, со сложной субграфической структурой и тонкогубчатых форм [37, с. 55]. Морфология золотин свидетельствует о том, что их кристаллизация происходила в вязкой (гелеподобной) среде (рисунки 19).

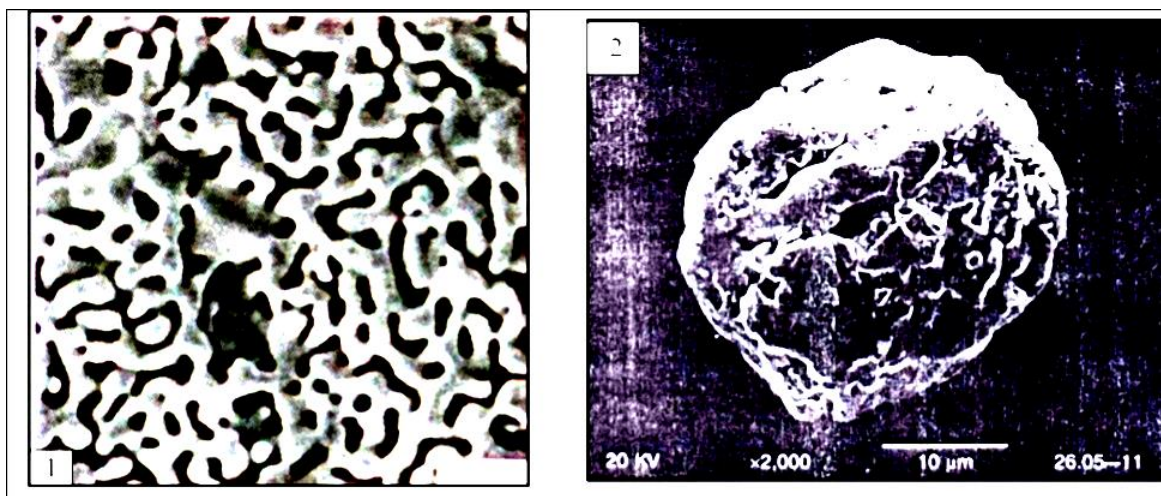


Рисунок 19 - Фрактальная перколяционная структура самородного золота;  
2-глобулярный агрегат пористого золота.

На рисунке 20 показан сросток золота с серебром (5) и гипергенное золото дендритовидной формы из жилы № 32.

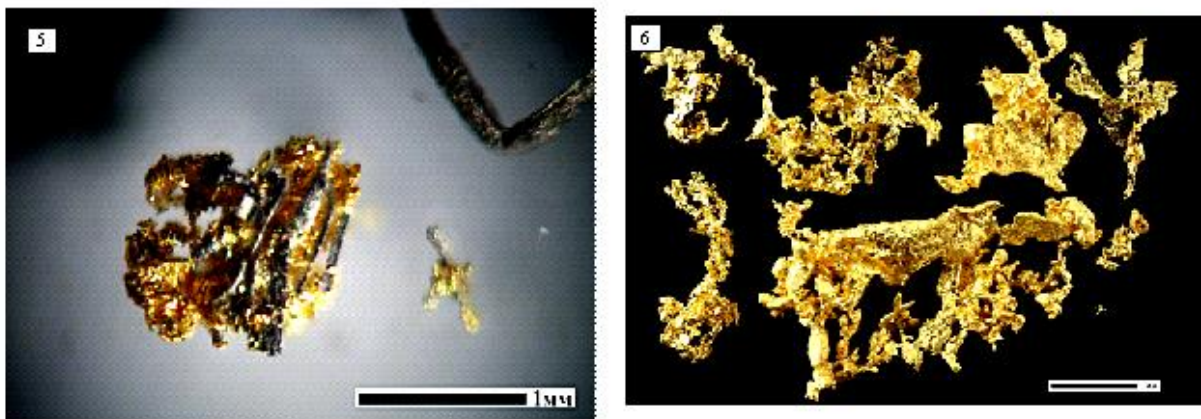


Рисунок 20 – Морфологические разновидности золота: 5 – сросток золота с серебром; 6 – дендритовидное золото.

### 2.2.1.2 Галоидные минералы серебра в зоне окисления

Известно, что галоидные минералы серебра являются наиболее характерными для областей с сухим климатом в настоящем или в прошлом. Например, месторождения Южной Америки, где галогениды серебра встречаются в значительных скоплениях (особенно в месторождениях Чили). Руды с кераргиритом обильны во многих сухих областях западной части США (Новая Мексика, Аризона, Юта, Невада и др.).

В СНГ месторождения с галогенидами серебра в зоне окисления имеются на Алтае, климат которого в прошлом был более сухим, чем в настоящее время. В степной части Казахстана галоидные минералы серебра установлены в месторождениях Майкаин, Джезказган, Джеламбет и Бесчоку. Климатические условия Центрального Казахстана характеризуются относительной сухостью. Кроме того, значительная часть территории Центрального Казахстана представляет собой бессточные области, в которых весьма широко распространены соляные озера. Отражением климатических условий является состав грунтовых вод казахстанских месторождений. Так хлор, служит особенно характерным компонентом вод месторождений, которые перекрыты новейшими отложениями, а воды, циркулирующие в-последних, судя по литературным данным, иногда представляют собой настоящие соляные рассолы.

Таким образом, связь образования галоидных минералов серебра с климатом отражает повышенное содержание галоидных элементов в водах сухих областей. В месторождениях Европы галогениды серебра редки или отсутствуют вообще. Точно также они достоверно не обнаружены на Северном и Среднем Урале, на Кавказе и в Забайкалье.

Следует подчеркнуть, что по имеющимся данным из галогенидов серебра наиболее распространен кераргирит, реже встречаются эмболиты и бромаргирит и еще реже — иодаргирит. Из них последний в существенных количествах обнаружен лишь в месторождениях Чили и в сухих областях

запада США, т. е. в районах с наибольшей концентрацией галоидных элементов в растворах. В месторождениях, где зона окисления формировалась в условиях более влажного климата, из галогенидов серебра обычно представлен только кераргирит. Причиной этого следует считать ничтожное содержание иода и брома в водах районов влажного климата. Количество хлора в водах тех же районов хотя и незначительно, но оно во много раз превышает содержание брома и иода и в ряде случаев может оказаться достаточным для осаждения заметных количеств серебра. Очевидно, что наличие бромистого и тем более иодистого серебра в зоне окисления служит наиболее надежным доказательством формирования ее в условиях сухого и притом жаркого климата. В условиях сухого, но холодного климата предпосылки для образования галогенидов серебра значительно менее благоприятны.

**Источники галоидных элементов и серебра.** По вопросу об источниках хлора и других галоидных элементов в природных водах высказывались разные мнения. Некоторые исследователи предполагают, что источниками хлора являются выветривающиеся горные породы, а другие ставят образование галоидных минералов серебра в связь с действием на рудные тела морской воды.

На основании собственных наблюдений и литературных данных автор считает, что представление о роли морской воды для образования галоидных соединений серебра не имеет значительного подтверждения в известных месторождениях минералов этой группы. Высокая концентрация хлора в подземных водах месторождений Казахстана отражает климатические условия этой области. Источниками хлоридов и других солей, содержащихся в грунтовых водах, служат выветривающиеся горные породы.

Источниками серебра, фиксированного в галоидных минералах, в значительной части несомненно является самородное серебро. Это было отмечено рядом авторов (В. И. Вернадский и др.). П. П. Пилипенко (1915) указал, что образование кераргирита в алтайских месторождениях связано с изменением самородного серебра, электрума и серебросодержащих сульфидов сажистых руд. Возможность образования галоидных минералов серебра в связи с выветриванием сульфидных минералов отмечена также Я.В. Самойловым (1906), Браунсом (1904) и др.

Наблюдения для степной части Казахстана позволяют сделать вывод, что наряду с самородным серебром и серебросодержащими сульфидами, существенным источником серебра галоидных минералов в природных условиях местами является самородное золото. Примером месторождения, в котором прослежено образование галоидных минералов серебра в результате гипергенного изменения золота, является Майкаин. Образование галоидных минералов серебра при выветривании серебросодержащих сульфидов прослеживается в Джезказгане.

Как известно, в некоторых месторождениях типа колчеданных залежей галоидные соединения серебра в повышенных количествах наблюдаются в

сероносных горизонтах в низах зоны окисления (Майкаин, Блява, Рио-Тинто). Установлено, что в Майкаине часть галогенидов в сероносном горизонте возникла в результате замещения аргентита, образовавшегося из нисходящих растворов. Возможно, что этот процесс имеет более широкое значение. Можно также допустить, что наряду с аргентитом в сероносных горизонтах образуется самородное серебро, которое также замещается галогенидами.

На всех объектах рудного поля в той или иной степени проявлена линейная кора выветривания гидрослюдисто-каолинитового типа в пределах Архарлинского рудного поля. По всей вероятности, она представляет собой остатки нижних зон нормального профиля допозднемеловой коры выветривания (зона дезинтеграции). В связи с изменениями гидрогеологической и климатической обстановок в различные периоды платформенного этапа развития региона, вертикальные уровни зон выщелачивания неоднократно сменялись зонами отложения, что обусловило вторичное золотое обогащение рудных тел на нескольких уровнях [37, с. 30]. Вертикальный размах зоны, обогащенной гипергенными золотом и серебром, достигает глубины 100-110 м от современной поверхности. Содержание серебра от 200-450 до 3632,9г/т. [37, с. 31].

Новообразованное гипергенное золото на месторождении ассоциирует с гематитом, лимонитом, ярозитом, малахитом, азуритом и др. минералами зоны окисления. Следует подчеркнуть, что гипергенное золото имеет самые различные морфологические типы: 1) довольно часто встречаются лапчатые дендриты веточковидной формы, с расходящимися под прямым углом осями; 2) дендриты звездчатой формы, состоящие из отдельных зональных таблиц, свидетельствующие о стадильности гипергенного минералообразования и различной степени обогащенности золотом отдельных порций растворов; 3) пылевидные золотины в ассоциации с лимонитом и ярозитом в кварцевой матрице; 4) округлые зональные образования наподобие колец Лизеганга, вероятно, образовавшиеся в результате периодического осаждения их из гелевых растворов при участии электрохимических процессов [37, с. 33]. Кроме того, тонкодисперсное золото адсорбируется гипергенными минералами железа и марганца. Особенно примечательно то, что ярозит в таких случаях по мере обогащения золотом меняет свой цвет от охристо-желтого до золотисто-желтого [38].

В результате детальных микроскопических и микрозондовых исследований руд зоны окисления месторождения Архарлы впервые установлены различные галогениды серебра и сростки электрума с самородным серебром, имеющие принципиальное значение при восстановлении процессов гипергенного минералообразования (таблица 6) [39].

На рисунках 21 - 26 показаны самородные золото и серебро и галогениды серебра, находящиеся в тесных сростаниях. Большая часть найденных зерен имеет зональное строение и состоит в основной своей массе из различных галогенидов серебра и самородного серебра с примесью галоидов йода, брома и



хлора. Химический состав ниже описанных минералов определен на микрозонде JСХА-733 (аналитики Левин В.Л., Котельников П.Е.). Снимки выполнены в режиме обратно-рассеянных электронов.

**Хлораргирит** – обнаружен в зональном сростке, в центре которого находится самородное серебро с мельчайшими включениями самородного золота, вокруг которого развивается каемка хлораргирита с оторочкой иодобромита (рисунок 21).

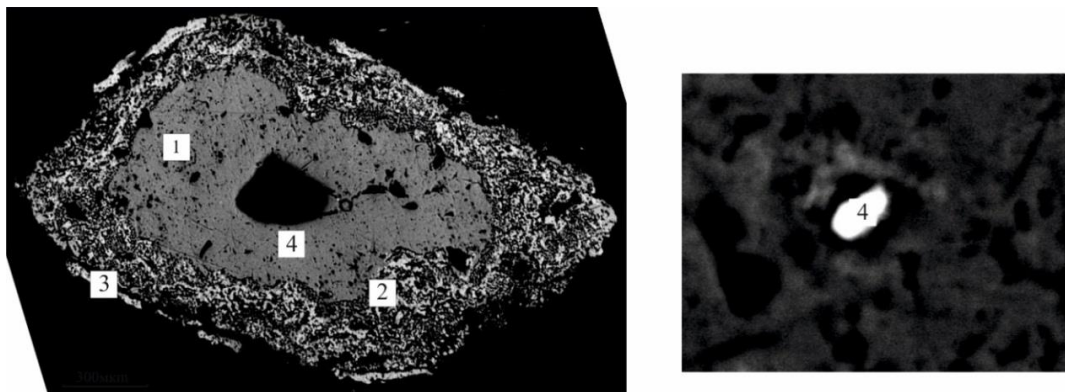


Рисунок 21 – Зональный сросток, состоящий в центре из самородного серебра с включением золота (1 и 4), каемки хлораргирита (2) с оторочкой иодобромита (3). Справа увеличенный фрагмент рисунка 1 с включением золота в самородном серебре Ув. 4500.

**Иодобромит** – в зональном сростке развивается в виде тонкой оторочки вокруг каемки хлораргирита (рисунок 21).

**Эмболит**  $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br})$  – в зональном сростке слагает основу, вокруг которого развивается тонкая каемка иодирита. В эмболите найдено тонкозернистое пористое самородное серебро (рисунок 22).

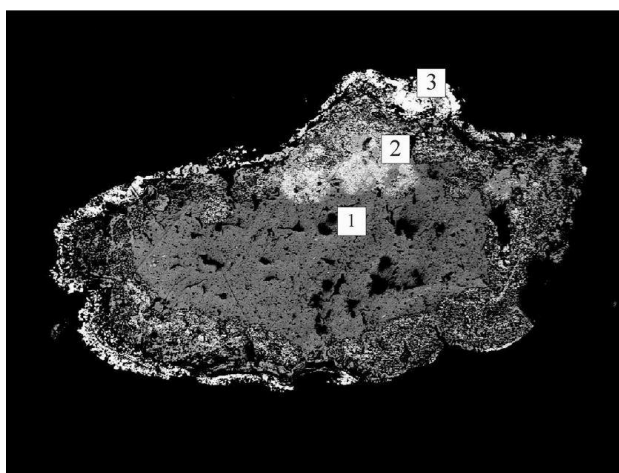


Рисунок 22 - Зональный сросток, в центральной части которого эмболит (1) с развивающейся вокруг тонкой каемкой иодирита (3). 2 – пористое включение самородного серебра. Ув. 220.

**Иодирит** AgI – развивается в виде тонких каемок в зональных сростках, вокруг эмболита, пористого самородного серебра, маккинстриита (рисунки 23 - 24).

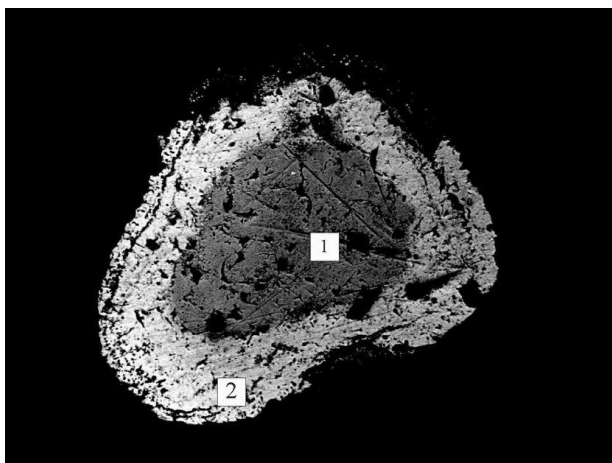


Рисунок 23 - Пористое самородное серебро (1) с каймой агрегированного пористого иодирита (2). Ув. 550.

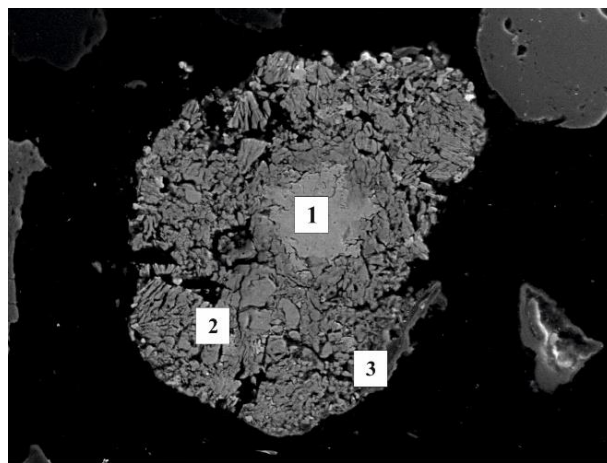


Рисунок 24 – Зональный сросток, в центральной части маккинстриит (1), вокруг - широкая каемка маккинстриита с примесью йода (2) с тонкой оторочкой иодирита (3). Ув. 560.

**Маккинстриит** (Ag,Cu)<sub>2</sub>S – сульфид серебра и меди обнаружен также в зональном сростке, в котором центральная часть представлена однородным образованием, вокруг которого растресканный маккинстриит с примесью йода, обрамленный оторочкой иодирита (рисунок 24).

**Золото и серебро самородное.** Серебро самородное встречается в зональных сростках с галогенидами серебра и обычно последние образуют тонкие каемки вокруг серебра (рисунок 21). Пористые включения серебра обнаружены в эмболите (рисунок 22). Найдено также пористое серебро, обрамленное пористой оторочкой иодирита (рисунок 23). Кроме того, можно наблюдать самородное серебро двух генераций: светло-желтый AgI и обрастающий его тонокзернистый пористый AgII (рисунок 25). Также самородное серебро отмечается в сростках с электрумом (рисунок 26). Самородное золото находится в подчиненном количестве, мелкие его включения найдены в самородном серебре (рисунки 21 и 23). Золото высокой пробы.

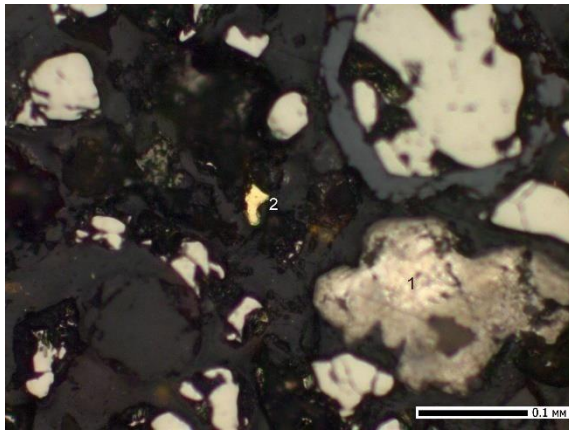


Рисунок 25 – Светло-желтый AgI (1), обрастающий пористым AgII. 2 – желтое – высокопробное золото. Ув. 200.

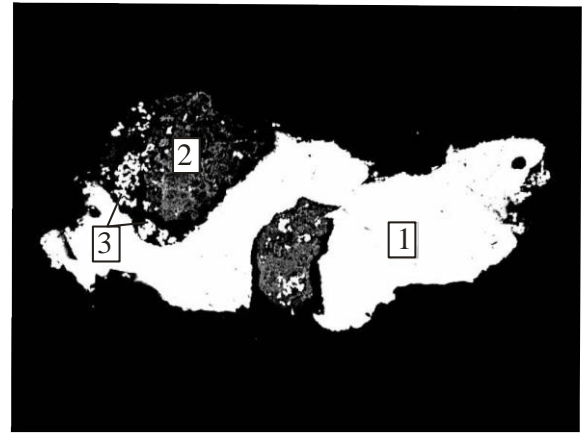


Рисунок 26 - Сросток электрума (1) и самородного серебра (2) с тонкими включениями высокопробного золота (3). Ув. 500.

Также изучение галогенидов серебра и благородных металлов из зоны окисления проводилось на сканирующем микроскопе «Zeiss EVO 15LS» с меняющимся давлением (рисунки 27-30 брикетов) в Отделе Наук о Земле Музея Естественной Истории г. Лондон (Великобритания). Результаты исследования приведены в таблице 7 и показаны на рисунках 31 - 37 и подтверждают микрозондовые данные, полученные автором работы в Институте геологических наук им. К.И. Сатпаева в таблице 6.

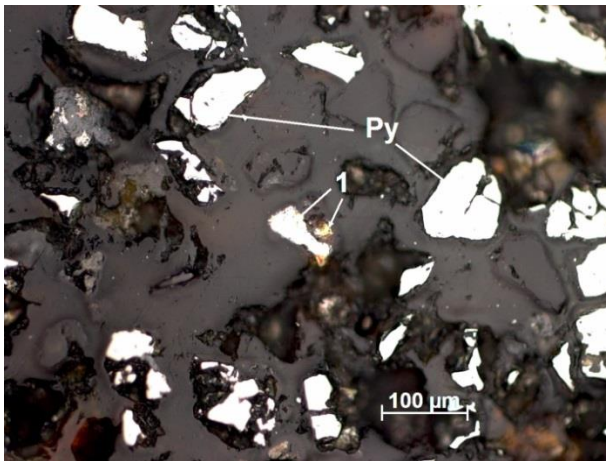


Рисунок 27 - Брикет 9-8-1

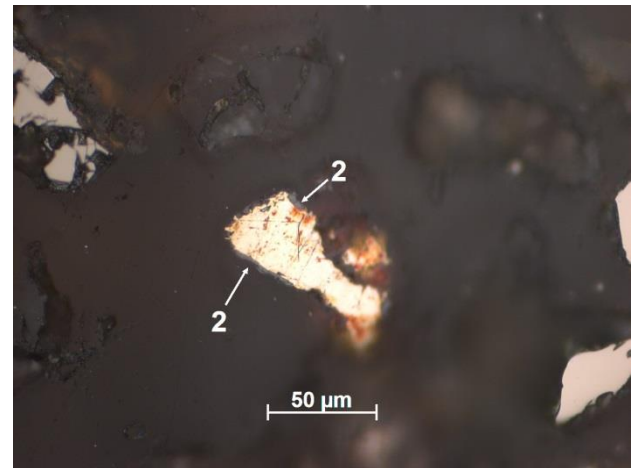


Рисунок 28 - Брикет 9-8-2

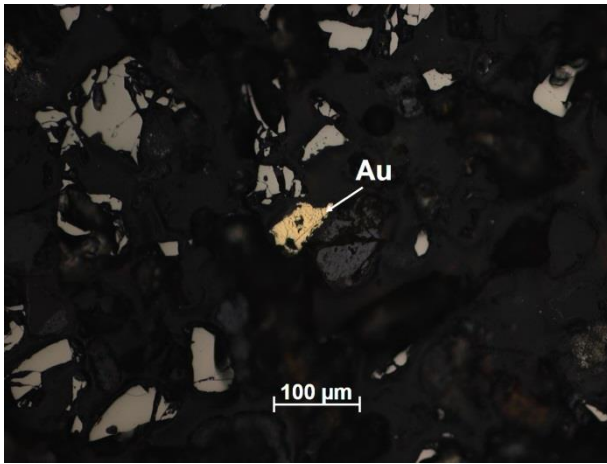


Рисунок 29 - Брикет 9-8-3

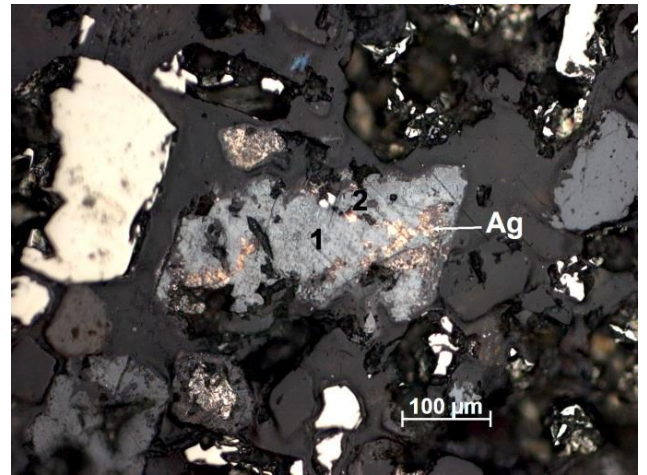


Рисунок 30 - Брикет 9-8-4

Таблица 7 – Состав минералов зоны окисления.

№	Элементы, вес. %						Сумма
	Ag	Au	Cl	Br	I	Fe	
1	67,13	-	15,73	14,59	-	-	97,45
2	52,05	-	-	-	45,54	1,23	98,82
3	58,12	-	-	4,85	-	8,51	71,48
4	82,67	-	9,92	7,81	-	-	100,40
5	-	101,21	-	-	-	-	101,21
6	37,94	63,27	-	-	-	-	101,21
7	49,14	-	-	-	50,55	-	99,69

1 - Бромсодержащий хлораргирит; 2 – Иодирит; 3 – Бромсодержащее самородное серебро; 4 - Бромсодержащий хлораргирит; 5 – Самородное золото весьма высокой пробы; 6 – Электрум; 7 – Иодирит. Сканирующий микроскоп «Zeiss EVO 15LS». Лондон (Великобритания).

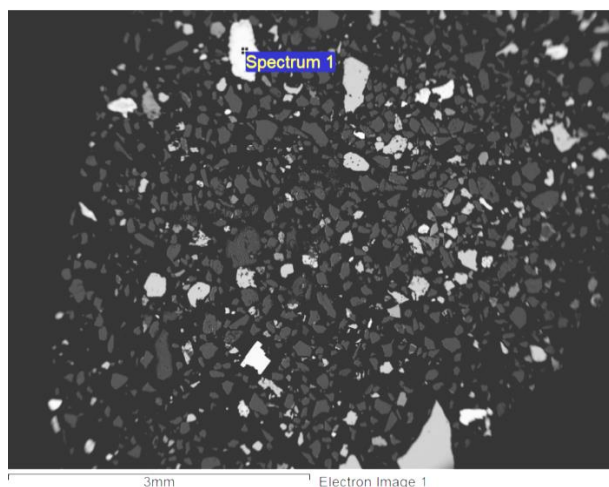


Рисунок 31 - Бромсодержащий хлораргирит. Анализ 1 (Spectrum 1).

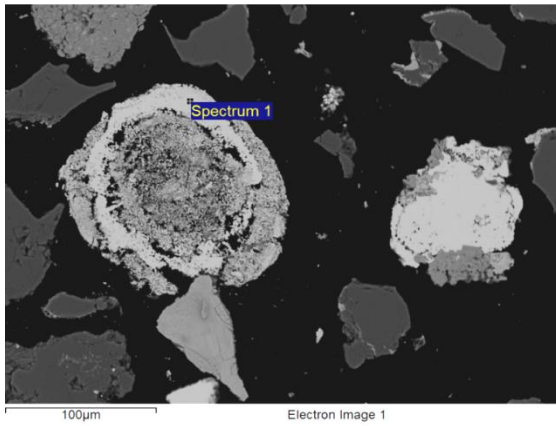


Рисунок 32 – Иодирит. Анализ 2(Spectrum 1).

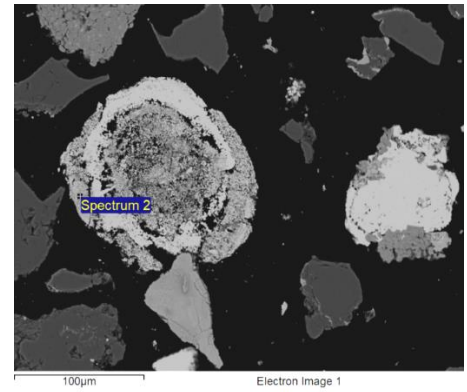


Рисунок 33 – Бромсодержащее самородное серебро? Анализ 3 (Spectrum 2).

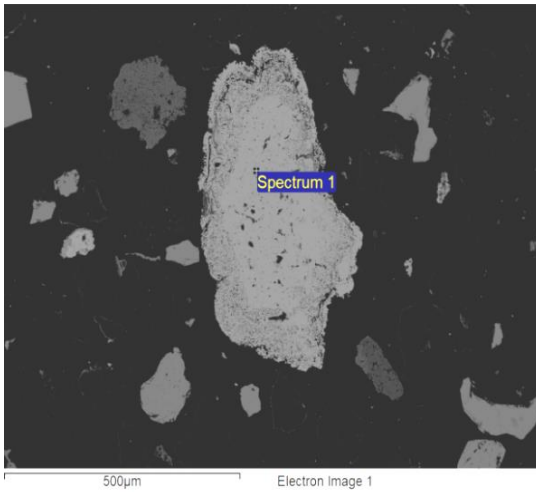


Рисунок 34 – Бромсодержащий хлораргирит. Анализ 4 (Spectrum 1).

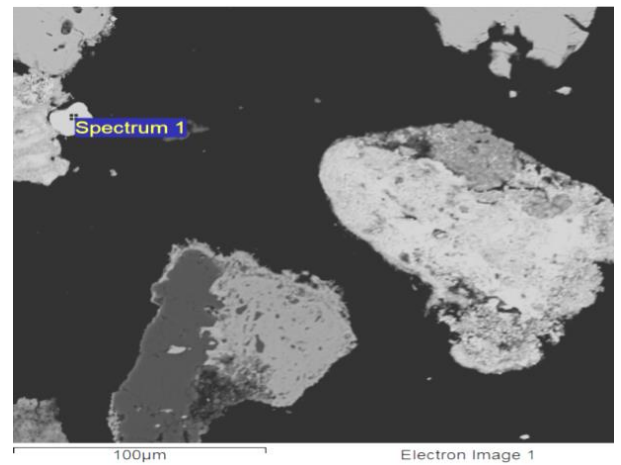


Рисунок 35 – Самородное золото весьма высокой пробы. Анализ 5 (Spectrum 1).

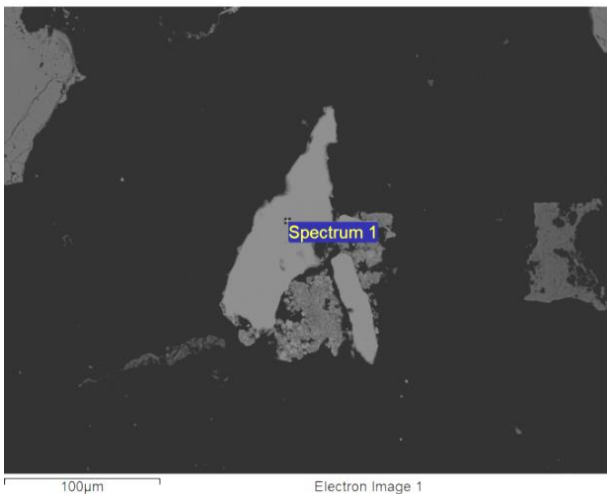


Рисунок 36 – Электрум. Анализ 6(Spectrum 1).

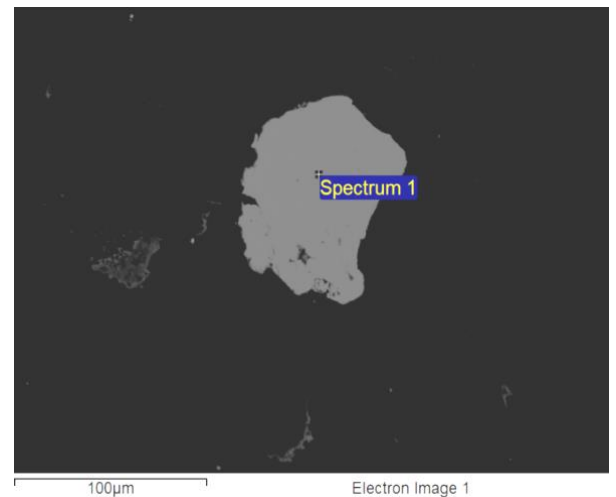


Рисунок 37 – Иодирит. Анализ 7(Spectrum 1).

Тесный парагенезис золота, серебра и галогенидов серебра указывает на гипергенный характер золота. Присутствие галоидных минералов серебра, в особенности бромидов и иодидов серебра в зоне окисления месторождения Архарлы служит наиболее надежным доказательством формирования ее в условиях сухого и жаркого климата. Образование самородного золота в зоне гипергенеза связывается с обогащенными золотом сульфатно-хлоридными водами, которые по мере фильтрации в более глубокие горизонты зоны окисления становятся менее окислительными и под воздействием различных восстановителей разрушаются с образованием самородного золота. На основании полученных данных по галогенидам серебра зоны окисления месторождения Архарлы и опираясь на результаты других исследователей при изучении зон окисления золото-сульфидных месторождений можно однозначно констатировать, что источником серебра в галоидных минералах является самородное серебро и золото, а также серебросодержащие сульфиды.

В зоне окисления также присутствуют гипергенные сульфиды меди (ковеллин, халькозин, борнит), гематит и гидроксиды железа (гетит, гидрогетит). Ковеллин в основном образует каемки, микропрожилки и тончайшие выделения в халькопирите, частично или полностью замещая последний. Халькозин встречается реже ковеллина, но обычно тесно с ним ассоциирует. Иногда он замещает сфалерит и борнит, образуя каймы и проникая в последние по ослабленным зонам.

Таблица 6 - Состав минералов по данным микрорентгеноспектрального анализа (масс.%) [46, с.67]

№ анализа	Элементы, вес. %											Формулы минералов		Названия минералов
	Au	Ag	Cl	J	Br	Cu	Fe	O	S	Zn	Mg	Эмпирические	Идеализированные	
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1		99,35		–	–	–	–	–	–	–	0,65			Серебро самородное
2		72,06	20,62	3,40	3,25							Ag <sub>2,02</sub> (Cl <sub>1,77</sub> Br <sub>0,12</sub> J <sub>0,08</sub> ) <sub>1,97</sub>	Ag(Cl <sub>0,9</sub> Br <sub>0,06</sub> J <sub>0,04</sub> ) <sub>1,0</sub>	Хлораргирит
3		65,69	0,65	24,22	9,13				0,31			Ag <sub>2,61</sub> (J <sub>0,82</sub> Br <sub>0,49</sub> Cl <sub>0,08</sub> ) <sub>1,39</sub>	Ag <sub>1,88</sub> (Cl <sub>0,06</sub> Br <sub>0,35</sub> J <sub>0,59</sub> ) <sub>1,0</sub>	Иодобромит
4	96,62	2,44	0,63	–	0,30									Золото высокопробное с примесью хлоробромистого серебра
1	–	77,24	12,04	–	10,72							Ag <sub>1,80</sub> (Cl <sub>0,86</sub> Br <sub>0,34</sub> ) <sub>1,2</sub>	Ag <sub>1,50</sub> (Cl <sub>0,71</sub> Br <sub>0,29</sub> ) <sub>1,0</sub> или Ag <sub>3</sub> (Cl <sub>1,42</sub> Br <sub>0,58</sub> ) <sub>2</sub>	Бромсодержащий хлораргирит
2	–	96,56	1,04	–	2,40									Самородное серебро с примесью бромида и хлорида серебра
3	–	52,45	–	46,68	0,28		0,58	–	–	–	–	Ag <sub>1,71</sub> (J <sub>1,28</sub> Br <sub>0,01</sub> ) <sub>1,29</sub>	Ag <sub>1,32</sub> J <sub>1,0</sub>	Иодирит
1	–	99,17	–	–	–						0,83			Серебро самородное
2	–	51,73	–	47,43	–		0,41	–	–	–	–	Ag <sub>1,12</sub> J <sub>0,88</sub>	Ag <sub>1,23</sub> J <sub>1,0</sub>	Иодирит
1	85,27	14,73	–	–	–									Золото умеренно-высокопробное
2	–	99,23	–	–	–						0,77			Серебро самородное
3	–	47,80	–	52,20	–							Ag <sub>1,04</sub> J <sub>0,96</sub>	Ag <sub>1,08</sub> J <sub>1,0</sub>	Иодирит
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	64,48	35,52	–	–	–	–	–	–	–	–	–			Электрум
2	–	82,82	–	–	–	–	5,44	10,04	0,51	–	–			Серебро с примесью оксидов железа
3	96,82	3,18	–	–	–	–	–	–	–	–	–			Золото высокопробное
1		65,61	–	–	–	18,39	–	–	16,0			Ag <sub>1,3</sub> Cu <sub>0,62</sub> S <sub>1,07</sub>	(Ag <sub>1,35</sub> Cu <sub>0,65</sub> ) <sub>2</sub> S	Маккинстриит
2	–	48,79	–	1,85	–	18,80	10,05	5,84	13,75	–	–	Ag <sub>1,15</sub> Cu <sub>0,75</sub> S <sub>1,1</sub>	(Ag <sub>1,2</sub> Cu <sub>0,80</sub> ) <sub>2</sub> S	Маккинстриит с оксидами Fe
3		56,33	–	41,52	–	0,64	1,52	–	–	–	–	Ag <sub>1,23</sub> J <sub>0,77</sub>	Ag <sub>1,60</sub> J <sub>1,0</sub>	Иодирит
18	93,09	5,88	–	–	–	–	1,03	–	–	–	–			Золото высокопробное
19	–	90,23	–	–	–	–	3,45	6,32	–	–	–			Серебро с гидроксидами Fe
20	63,70	36,30	–	–	–	–	–	–	–	–	–			Электрум
21	46,94	53,06	–	–	–	–	–	–	–	–	–			Электрум
22	92,20	7,80	–	–	–	–	–	–	–	–	–			Золото высокопробное
23				–	–	–	0,42	–	33,30	66,28	–	Zn <sub>1,48</sub> Fe <sub>0,01</sub> S <sub>1,51</sub>	(Zn <sub>0,99</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>1</sub> S	Сфалерит
24				–	–	76,10	0,52	–	23,29	–	–	Cu <sub>1,86</sub> Fe <sub>0,01</sub> S <sub>1,13</sub>	(Cu <sub>1,63</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>1,66</sub> S	Джирит

Аналитики: Левин В.Л.; Котельников П.Е.[46, с.67]

### 2.3.3 Минералогия руд месторождения Бестобе

Главные рудные минералы - самородное Au, арсенопирит, пирит, антимонит; второстепенные и редкие - сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, марказит, рутил, магнетит, апатит, сфен, лейкоксен, ильменит, леллингит, герсдорфит, саффорит, теннантит, тетраэдрит, бертьерит, бургюнит, молибденит, шеелит, висмутин, тетрадимит, алтаит, клапротолит, виттихенит, айкинит, самородные As, Sb и Ag, электрум, киноварь; нерудные - кварц, кальцит (главные), серицит, хлорит, альбит, магнезит, доломит, сидерит, барит, эпидот [75, с. 23]. Количество сульфидов в кварцевых жилах 2-3 %.

В процессе формирования жильных рудных тел месторождения Бестобе можно выделить ряд стадий, которые отличаются друг от друга ассоциациями рудных и жильных минералов и условиями формирования. В преджильную стадию проходило интенсивное гидротермальное изменение боковых пород, содержащих вкрапленность пирита-I, арсенопирита-I и золота. Кварцевожильная стадия 1 выражается в отложении кварца – I, пирита – II, арсенопирита II, золота, сфалерита, шеелита, галенита, халькопирита. Кварцевожильная стадия – 2 сопровождается отложением кварца II, карбоната I, пирита III, арсенопирита III, золота и минералов полиметаллической группы, сульфосолей, антимонита I. В кварцевожильную стадию отлагались кварц III, золото, антимонит. Наблюдается также их выщелачивание и переотложение. В пострудную стадию карбонатные и кварц-карбонатные жилы и прожилки.

Выделяются четыре разновидности жильного кремнезема: раннерудный молочно-белый массивный непрозрачный кварц I, продуктивные темносерые, серые полосчатые полупрозрачные кварцы II и III и позднерудный массивный прозрачный кварц IV. Наиболее широко распространен кварц первой генерации – кварц I (60-75%). Кварц I, слагающий основу рудных жил, имеет ангедральную, реже шестоватую форму зерен; он раздроблен, катаклазирован, перекристаллизован, содержит обломки вмещающих пород и поздние жилки серицита, карбоната, хлорита. С кварцем I ассоциируют ранние шеелит, пирит, арсенопирит, молибденит, висмутин. Макроскопически он образует несколько разновидностей, сменяющих друг друга по простиранию. Нередко устанавливается полосчатое строение кварца, обусловленное чередованием полос темно – серого и молочно-белого цвета. Часто полосы имеют плейчатое строение и повторяют контуры стенок трещин, являясь результатом выпадения кремнезема из коллоидных растворов. Преобладает кристаллически – зернистый кварц с массивной текстурой. Идиоморфные зерна характеризуются зональной структурой за счет размещения тонкодисперсных включений рудного материала.

Кварц II менее распространен, он составляет обычно 15-20% от общей массы жилы. В редких случаях удается наблюдать кварц II микроскопически в виде прожилков, секущих кварц I. Кварц II заполняет промежутки, образуемые зернами кварца I, и представляют собой агрегат мелких (0,07-0,2мм) зерен с ксеноморфными очертаниями. Отмечается ряд микроструктурных разностей,



переходных между кварцем I и кварцем –II. Кварц II тесно связан с поздними пиритом, арсенопиритом II, тонкодисперсным золотом,

Кварц III редко образует значительные скопления, он цементирует кварц I и кварц II и представлен мелкими зернами рисовидной формы. Кварц III содержит рудные минералы лишь там, где цементирует брекчию ранее сульфидизированных вмещающих пород. На удалении от рудных кварцевых жил, в прожилках, сложенных кварцем III, увеличивается количество карбонатов, хлорита, альбита, наблюдаются постепенные переходы к карбонатным жилам пострудного характера, кварц III связан со свободным Au, полиметаллическими сульфидами, сульфосолями Sb, Pb и Cu, теллуридами, висмутовыми минералами.

Водяно-прозрачный халцедоновидный кварц IV, ассоциирующий с хлоритом и карбонатом, спорадически развит на верхнем горизонте в висячем боку рудных тел. Он имеет неправильные или округлые выделения с размером зерен до 0,1-0,2 мм.

Среди карбонатов, карбонат I распространен слабо и образует мелкие включения в кварце II, в промежутках между зернами кварца первой генерации совместно с рудными минералами полиметаллической группы, золотом, антимонитом. Это генерация карбоната представлена кальцитом, магнезитом, доломитом. В мелких прожилках кварца II, находящихся в зальбандах жил, наряду с кварцем широко развит карбонат, ассоциирующий с хлоритом, редко с пиритом. В местах выклинивания жильных рудных тел карбонат более распространен, иногда образует значительные скопления, часто раздробленные и сцементированные кварцем III.

Карбонат II наиболее распространен и находится в ассоциации с кварцем III. Наблюдаются постепенные переходы к чисто карбонатным или карбонат – хлоритовым пострудным образованиям.

Среди сульфидов примерно 45-50% составляет пирит, 30-35% - арсенопирит, 5-10% - антимонит, 10-15% - прочие (при общем содержании сульфидов в жилах – 1-3 %). Первая генерация сульфидов (пирит I, арсенопирит I) формировалась до образования кварцевых жил в виде вкрапленности в гидротермально измененных породах преджильной стадии. Размер вкрапленников колеблется от сотых долей миллиметра до 0,5-1,0 мм. Количественные соотношения пирита и арсенопирита непостоянны. По данным спектральных исследований, сульфиды содержат до 0,003% золота, хотя микроскопически оно обнаруживается редко.

Вторая генерация сульфидов (пирит II, арсенопирит II) генетически связана с процессом формирования кварцевых жил. Размер зерен превышает 1 мм. Количественные соотношения пирита и арсенопирита также непостоянны. Ко второй генерации принадлежат новообразования пирита и арсенопирита, возникшие вследствие перекристаллизации пирита I и арсенопирит I. Спектральные исследования, показывают, что пирит II и арсенопирит II в большинстве случаев не содержат золота, кобальт и висмута. Третья генерация

сульфидов (пирит III и арсенопирит III) образуют вкрапленность в кварце и ассоциируют с полиметаллами и золотом.

**Золото** в жилах распределено неравномерно. Содержание его изменяется от одной до сотен и тысяч условных единиц. В плоскости жил выделяются участки, характеризующиеся в целом высокими средними содержаниями золота в руде. В литературе они получили название «рудные столбы» (Шахов, 1969). Руды содержат значительное количество золота, а также серебро (до 25,2 г/т), мышьяк (0,5%), селен и теллур (4,6 г/т). Кроме того, в них имеются примеси индия, галлия, таллия, кадмия. Их количество не превышает 0,0001%.

Золотоносные минеральные ассоциации (по М.М. Старовой): золото-пирит-арсенопирит-кварцевая, золото-кварцевая, золото-сфалерит-кварцевая, золото-халькопирит-кварцевая, золото-блеклорудно-галенит-сфалерит-кварцевая. В кварцевожильных образованиях ведущее положение занимает золото-блеклорудно-полиметаллическая ассоциация, в взрывных брекчиях — золото-пирит-арсенопирит-кварцевая.

Наиболее ранним является субмикроскопическое золото в пирите I и арсенопирите I (рисунок 38). Однако широкое распространение получило позднее золото в виде вкрапленности в кварце, слагающем жилы. Тесное взаимное срастание золота, арсенопирита, галенита, сульфоантимонитов (буланжерита, блеклой руды) позволяет предполагать, что они выпали из гидротерм одновременно.

Отмечаются наиболее поздние самородки размером 5-10 см. Золото имеет форму жилок, расположенных по трещинам в кварце I и в кварце II. Приуроченность и трещинкам и прожилковидный облик послужили основанием рассматривать все золото месторождения Бестобе как позднее, наложенное на кварцевые жилы. В местах развития этой морфогенетической разности золота кварц подвергается изменениям, выражающимся прежде всего в очищении его от мелкодисперсных включений рудного материала. Там, где этот процесс проявлен сравнительно слабо, в очищенном кварце наблюдаются стяжения золота. При более интенсивно выраженном метасоматическом процессе весь кварц, слагающий жилу, лишен каких-либо включений, в том числе и золота. Образование значительных скоплений золота такого морфологического облика вряд ли является следствием местной переконцентрации, не исключено, что оно переотложилось с более глубоких горизонтов.

Мощность прожилков, состоящих преимущественно из золота, в ряде случаев 3-5 см, длина до нескольких метров. Это важная особенность жил Бестобе - часты достаточно крупные гнезда и рудные столбы Au на фоне микроскопических и мелких (до 0,1 мм) выделений. Формы золотинок комковато-угловатая, прожилковая, пластинчатая, губчатая. Самородное Au ассоциирует с галенитом, сульфосолями Sb и Pb, тетраэдритом, поздним арсенопиритом. Нередко Au цементирует обломки арсенопирита, образует вроски в блеклой руде, пирите, полиметаллических сульфидах, слагает тончайшие пленки на

кристаллах пирита и арсенопирита. Пробность золота 840-880, примеси: Ag 12,88-14,0 %, Fe 0,13-0,18 %, Cu до 0,3 %, Sb 20-50 г/т, Hg 45-80 г/т, Bi 6-20 г/т. На участках совмещения золотой и сурьмяной минерализации установлен реакционный аурустибит  $\text{AuSb}_2$ , образующий каймы шириной до 0,5 мм вокруг зерен самородного Au или псевдоморфозы по золотинам размером до 0,2 мм. Состав аурустибита, %: Au-44,52, Sb -52,73, Ag- 0,12, Cu- 0,08, As -1,73, сумма - 99,18 % [Спиридонов и др., 1986].

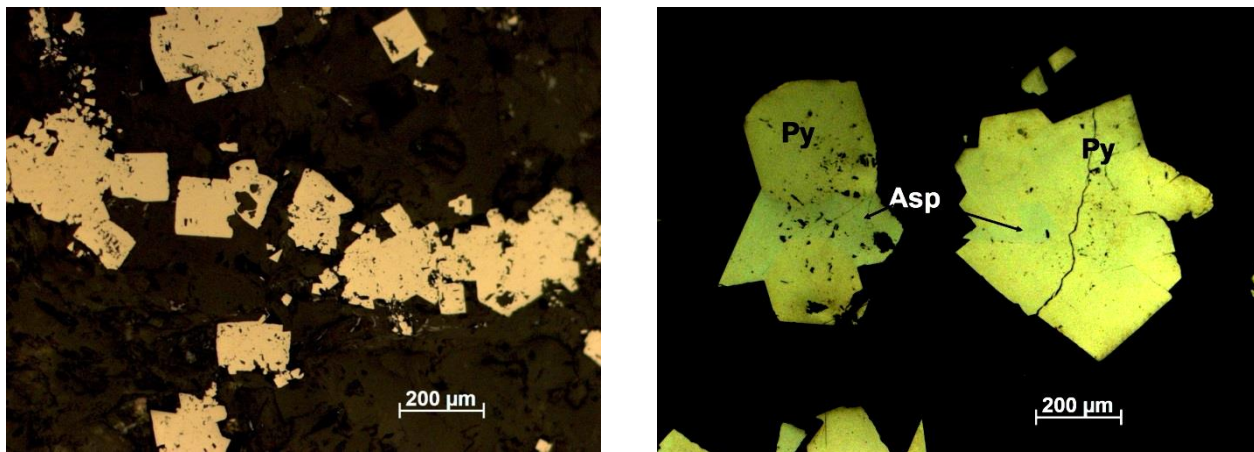


Рисунок 38 – Золотоносные ранние сульфиды. Пирит I (Py) и арсенопирит I (Asp).

### 3. ПРОЦЕССЫ ЗОЛОТООБРАЗОВАНИЯ

Золото является наиболее благородным и, следовательно, малоактивным металлом, имеющим самый электроположительный окислительно-восстановительный потенциал и поэтому устойчиво к большинству окислителей. Характерными особенностями золота являются склонность к комплексообразованию и легкость восстановления [40], что во многом и предопределяет миграционные способности благородного металла в природных условиях [40, с.22].

Причины химической инертности золота кроются в высоких значениях его окислительно-восстановительных потенциалов (E), обусловленных очень низкой устойчивостью его акваионов.

Окислительно-восстановительный потенциал комплексных соединений золота значительно ниже, чем акваиона, поэтому при участии в реакциях таких аддендов, как галогенидионы, возможно окисление золота более слабыми окислителями, чем в их отсутствии. Именно процессы комплексообразования, снижающие редокс-потенциал, предопределяют хорошую растворимость золота в хлоридных, бромидных и йодидных водах, в растворах тиомочевины, содержащих в качестве окислителя элементарный хлор, кислород, двуокись марганца, хлорид или сульфат железа (III). К тому же комплексообразование способствует повышению устойчивости соединений золота. Аурум образует в восстановительных средах стабильные комплексы с серосодержащими лигандами, цианидами и аммиаком [41, 42]. Следовательно, растворимость и форма нахождения в гидротермальном растворе золота, как элемента переменной валентности, находится в прямой зависимости от окислительно-восстановительного потенциала системы, а также от состава присутствующих активных аддендов, кислотности-щелочности, температуры и ионной силы системы. Лиганды, способные образовывать комплексные соединения с золотом, по степени снижения окислительного потенциала реакций можно представить в виде следующих рядов (таблица 8): [42, с. 33].

для восстановительных и нейтральных сред –  $\text{CN}^-$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{S}^-$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

и для окислительных систем –  $\text{I}^-$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ . [42, с. 33].

Наиболее активным для окисления золота аддендом является выявленный ещё в XIX столетии П.Р. Багратионом цианид, снижающий редокс-потенциал до  $-0,61$  В. При таком низком значении  $E^\circ$  аурум в присутствии цианида является сильным восстановителем и очень легко окисляется кислородом [43] в щелочных средах, что и предопределило широкое применение лиганда в технологическом процессе его выщелачивания из руд. Цианид-ион при наличии в качестве окислителя кислорода образует с золотом очень прочный комплекс  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ , константа диссоциации (нестойкости) которого при  $25^\circ\text{C}$  равняется величине  $K_{\text{нест}} = (\alpha_{\text{Au}^+} + \alpha_{\text{CN}^-}^2) / \alpha_{[\text{Au}(\text{CN})_2]^-} = 1,1 \cdot 10^{-41}$  [2]. Для окислительного

процесса  $\text{Au}^0 - e^- + 2\text{CN}^- = \text{Au}(\text{CN})_2^-$ ,  $E^0 = -0,61 \text{ В}$ ,  $\Delta G^0 = nFE^0 = 23060,9 \cdot (-0,61) = -14067 \text{ кал}$ .

Таблица 8 - Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы и константы нестойкости комплексных соединений золота.

Комплексный ион Au	ОВ полуреакция	Степень окис. Au	$E^0$ , В	$K_{\text{нест.}}$	Лит. источник
1	2	3	4	5	6
$\text{Au}(\text{OH})\text{Cl}^-$	$\text{Au}(\text{OH})\text{Cl}^- + \text{H}^+ + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$	+1	+1,584	$3 \cdot 10^{-6}$	3,2
$\text{AuCl}_2^-$	$\text{AuCl}_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{Cl}^-$	+1	+1,154	$5 \cdot 10^{-22}$	1,3,8
$\text{AuCl}_4^-$	$\text{AuCl}_4^- + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{Cl}^-$	+3	+1,002	$4 \cdot 10^{-23}$	1,3,4,7
$\text{AuBr}_2^-$	$\text{AuBr}_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{Br}^-$	+1	+0,960	$1 \cdot 10^{-25}$	1,3,8
$\text{AuBr}_4^-$	$\text{AuBr}_4^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{Br}^-$	+3	+0,854		1,3,8
$\text{AuJ}_2^-$	$\text{AuJ}_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{J}^-$	+1	+0,578		1,3
$\text{AuJ}_4^-$	$\text{AuJ}_4^- + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{J}^-$	+3	+0,56		1,3
$\text{Au}(\text{NH}_3)_2^+$		+1	+0,563		3
$\text{Au}(\text{NH}_3)_4^{3+}$		+3	+0,325		3
$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$	$\text{Au}(\text{SCN})_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{SCN}^-$	+1	+0,662	$1 \cdot 10^{-42}$	1,3,7
$\text{Au}(\text{SCN})_4^-$	$\text{Au}(\text{SCN})_4^- + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{SCN}^-$	+3	+0,636		1,3
$\text{Au}(\text{OH})_2^-$	$\text{Au}(\text{OH})_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{OH}^-$	+1	+0,40		3,2
$\text{Au}(\text{OH})_4^-$	$\text{Au}(\text{OH})_4^- + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{OH}^-$	+3	+0,485		3
$\text{H}_2\text{AuO}_3^-$	$\text{H}_2\text{AuO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 3\text{H}_2\text{O}$	+3	+1,80		1
$\text{H}_2\text{AuO}_3^-$	$\text{H}_2\text{AuO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 4\text{OH}^-$	+3	+0,70		1
$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+1	+0,142	$1 \cdot 10^{-26}$	5,9,3
$\text{Au}(\text{SO}_3)_2^{3-}$	$\text{Au}(\text{SO}_3)_2^{3-} + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{SO}_3^{2-}$	+1	+0,105		3,2
$\text{AuS}^-$	$\text{AuS}^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + \text{S}^{2-}$	+1	-0,47	$1,3 \cdot 10^{-40}$	10,11
$\text{Au}(\text{HS})_2^-$	$\text{Au}(\text{HS})_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{HS}^-$	+1		$1 \cdot 10^{-23,1}$	4
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	$\text{Au}(\text{CN})_2^- + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0 + 2\text{CN}^-$	+1	-0,61	$2,6 \cdot 10^{-38}$	1,3,7
$\text{Au}(\text{SO}_4)_2^-$		+3	+1,43		3
$\text{AuF}_3$		+3	$\approx +2,14$		12
$\text{AuF}_5$		+5	$> +2,64$		13
$\text{AuCl}_4^-$	$\text{AuCl}_4^- + 2e^- \leftrightarrow \text{AuCl} + 2\text{Cl}^-$	+3	+0,924		3
$\text{Au}^+$	$\text{Au}^+ + e^- \leftrightarrow \text{Au}^0$	+1	+1,83		1
$\text{Au}^{3+}$	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \leftrightarrow \text{Au}^0$	+3	+1,52		1
$\text{Au}^{3+}$	$\text{Au}^{3+} + 2e^- \leftrightarrow \text{Au}^+$	+3	+1,36		1

Образование синильной кислоты в эндогенных условиях возможно при высокотемпературном каталитическом окислении аммиака и метана:  $\text{NH}_3 + \text{CH}_4 = \text{HCN} + 3\text{H}_2$  [44]. Она может быть и продуктом реакции  $\text{CO} + \text{NH}_3 + 11 \text{ кал} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{HCN}$ , которая в восстановительных обстановках, обогащенных CO и  $\text{NH}_3$ , в присутствии катализатора уже при  $500^\circ\text{C}$  сдвинута вправо – в сторону развития HCN. Используя эти данные, А.Л. Павлов (1976) термодинамически обосновал и теоретически разработал возможность участия цианидных

комплексов золота (как и других тяжелых металлов) в восстановительных средах эндогенного рудообразования. Он пришел к выводу, что цианидные соединения золота должны играть существенную роль в формировании рудных месторождений, поскольку они хорошо растворимы в воде, устойчивы в щелочно-восстановительных растворах и легко разрушаются при росте окислительного потенциала и кислотности системы. Рядом исследователей предполагается и подтверждается возможность миграции золота в цианидной форме, в частности, на месторождении Карлин и других рудных объектах при перераспределении углеродистых соединений [45].

Термодинамическими, экспериментальными и минералогическими исследованиями последних двух десятилетий, как и нашими данными, обосновывается значительная роль в миграции золота йодидных, тиосульфатных, бромидных, аммиачных и золотоорганических комплексных соединений наряду с общепринятыми хлоридной, гидросульфидной, сульфидной и гидроксокомплексными формами. Требуют специальных исследований теллуридные и вольфраматовые комплексные соединения золота, а также гетерополиядерные комплексы Au с мышьяком и сурьмой. По нашим результатам, вопреки сложившемуся к настоящему мнению исследователей, главенствующую роль в формировании эндогенного оруденения ряда типов золоторудных месторождений (Васильковское и др.) принадлежит фторокомплексам золота (таким как  $AuF_4^-$ ,  $[BrF_2^+]\cdot[AuF_4^-]$ ,  $[ClF_2]\cdot[AuF_4^-]$  и др. в струях инертных газов или как их многоядерные аддукты с низкоактивными компонентами, золото-фторуглеродные соединения и др.). Эффективными окислителями золота являются  $F_2$ , HF,  $BrF_3$ ,  $ClF_3$  и др., что подтверждается технологической практикой переработки проб золотоносных руд [46] и химическими исследованиями.

### **3.1 Пробность золота как индикатор физико-химических условий гидротермального рудообразования на золото-серебряных месторождениях**

Пробность самородного золота издавна привлекала внимание ведущих ученых мира, рассматривающих её как типоморфный признак, обусловленный физико-химическими условиями образования золоторудных месторождений. В частности, В.В. Щербина (1954) ещё полвека назад придавал отношению Au/Ag значение геохимического индикатора миграционной способности золота и серебра и причин их геохимической дифференциации в различных геологических процессах. Важность этого параметра, как критерия определенных условий формирования конкретных золоторудных и золото-серебряных месторождений при их классификации и формационной идентификации отмечается в многочисленных работах многих исследователей [46, с.18]. Так Г. Моррисоном с соавторами по пробности самородного золота предложена классификация золоторудных месторождений на шесть основных типов. По их оценкам для плутоногенного типа диапазон вариации пробности Au составляет 650–970, для порфирирового – 650–1000, для вулканогенного –

520–870, для эпitherмального – 0–1000. Ряд ученых считают, что пробность золота возрастает с увеличением температуры и глубины рудообразования [46, с. 20]. В частности, И.В. Петровская с соавторами констатирует, что золото высоко-температурных глубинных месторождениях высокопробное, среднеглубинных – среднепробное, а малоглубинных – изменяется в широком диапазоне и определяется температурным режимом, хотя она и не отрицает существенного влияния на состав Au рН и Eh среды [47]. Напротив, Е.Н. Диман на основе детальных исследований по растворимости Au-Ag сплавов считает, что на пробность золота влияют, в основном, кислотность-щелочность гидротермальных растворов и содержание в них серы и лишь в меньшей степени она зависит от температуры. Наши исследования по рассматриваемой тематике базируются на результатах экспериментального изучения, полученных при этом термодинамических константах и, главным образом, на электрохимическом анализе окислительно-восстановительных процессов образования, миграции и разрушения комплексов золота и серебра в различных по кислотности-щелочности и редокс-потенциалу гидротермальных растворах [76, с. 34]. Расчет свободной энергии и окислительного потенциала различных комплексов благородных металлов позволяет оконтурить поля их устойчивости на диаграммах Eh – рН и определить ход эволюции гидротермальной системы при формировании золоторудных месторождений. Такие исследования позволяют рассматривать направленность окислительно-восстановительных реакций различных соединений, устойчивость и реакционная способность которых предопределяется Eh – рН гидротермальной системы [76, с. 35]. Этот подход, основывающийся на применении методов физической химии, обоснован фундаментальными исследованиями термодинамики процессов минералообразования корифеев советской и зарубежной геологической науки Д.С. Коржинского, А.Г. Бетехтина, В. Латимера, а затем М. Пурбе, Г.М. Гаррелса, Ф.А. Летникова, Т.М. Сьюард Х.Л. Барнса и других.

### **3.2 Геохимические барьеры – осадители и концентраторы золота**

Для золота характерно большое разнообразие форм его комплексных соединений и закономерная зависимость их устойчивости и миграционной способности от окислительно-восстановительного потенциала, кислотности – щелочности системы, её температуры и давления. Поэтому их разрушение и осаждение золота происходит на участках резкой смены физико-химических и термодинамических условий, являющихся геохимическими барьерами на пути движения рудоносных растворов [48, 49, 50].

#### ***Основные типы золото локализирующих геохимических барьеров***

В связи с широким диапазоном вариации окислительного потенциала образования соединений золота – от резкоокислительной (+2.1 ÷ +0,7 В) для галогидных до восстановительной (– 0,47 В) для его сульфидных форм – существенно видоизменяются тип и характер функционирования

геохимических барьеров. В частности, хлоро- и бромоаураты при встрече с сероводородными водами разлагаются с осаждением самородного золота на этом восстановительном барьере. Напротив, для сульфидных и гидросульфидных комплексов благородного металла присутствие  $H_2S$  лишь способствует их устойчивости и миграции. Поэтому специфику проявления геохимических барьеров целесообразно рассмотреть отдельно для галоидных и сернистых соединений золота, стабильных соответственно в окислительной и восстановительной средах, выделив две группы восстановительных барьеров: слабо- и сильновосстановительные, первый из которых способен восстанавливать золото из галоидоауратов, а второй – из сульфидоауратов.

Существенное влияние на миграционную способность различных соединений золота оказывает резкая смена кислотности–щелочности и температуры среды, что предопределяет функционирование разнообразных щелочных и термодинамических геохимических барьеров.

Анализ физико-химических условий миграции комплексных соединений золота и причин их разрушения позволяет наметить несколько качественно отличных типов геохимических барьеров с большим разнообразием их подтипов:

- 1) слабовосстановительные барьеры галоидных комплексов золота,
- 2) сильновосстановительные барьеры сульфидных и гидросульфидных комплексов золота,
- 3) щелочные и кислые барьеры,
- 4) термодинамические барьеры.

Отложение рудных элементов на щелочных и некоторых типах восстановительных барьеров подтверждено результатами экспериментального моделирования процесса рудоотложения на проточном реакторе [51,52].

#### ***Слабовосстановительные геохимические барьеры галоидных комплексов золота***

Галоидные соединения золота характеризуются высокими окислительными потенциалами и поэтому их разложение может происходить в слабоокислительных–слабовосстановительных средах на слабовосстановительных геохимических барьерах. Таким барьерами, способными осадить золото из бром-, йодо- и хлороауратных соединений, могут быть горизонты и зоны пород, обогащенные органическим веществом (углеродистый барьер),  $H_2S$  (сероводородный),  $FeO$  или  $Fe_3O_4$  (железо-оксидный),  $(Mn, Ca)_3[Si_3O_9]$  (марганцевосиликатный) и другие.

#### ***Углеродистый слабовосстановительный геохимический барьер***

Особая значимость для концентрации золота на месторождениях черносланцевого типа, неотъемлемой особенностью которых является их обогащенность органическим веществом, принадлежит углеродистым геохимическим барьерам. Золото хлоридных комплексов при их взаимодействии с органическими соединениями восстанавливается до самородного состояния с одновременным окислением углерода:

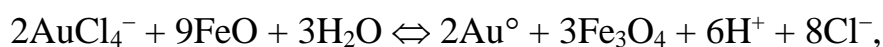




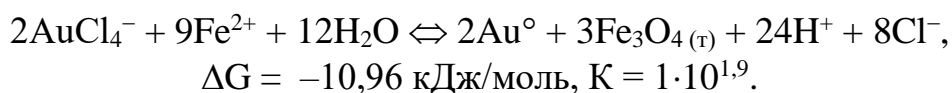
поскольку редокс-потенциал полуреакции окисления  $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \Leftrightarrow \text{CO}_2(\text{r}) + 4\text{H}^+$   $E^\circ = +0,169$  [4] значительно меньше  $E^\circ$  полуреакции восстановления  $\text{AuCl}_4^- + 3\text{e}^- \Leftrightarrow \text{Au}^\circ + 4\text{Cl}^-$  ( $E^\circ_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}^\circ} = 1,002\text{В}$ ). Осаждение золота в результате взаимодействия между органическим веществом и окислителями гидротермального раствора, в качестве которых могут выступать галоидоаураты, подтверждено изучением изотопного состава углерода гидротермальных карбонатов и рассеянной органики на конкретных золоторудных месторождениях [53]. Широкое распространение и большая восстановительная ёмкость органического вещества предопределяет масштабную концентрацию золота на этом типе восстановительного барьера, который превалировал, в частности, при формировании таких золоторудных гигантов, как *Сухой Лог*, *Мурунтау*, *Кумтор*, *Бакыришик* и многих других.

### **Железооксидный слабовосстановительный геохимический барьер**

Высокоэффективными концентраторами золота являются железооксидные барьеры, относящиеся к типу слабовосстановительных. Они представлены горизонтами и зонами, обогащенными ферроокислами, способными экстрагировать золото из поступающих гидротермальных растворов с галогенидоауратами. Функциональное действие барьера связано с восстановлением золота из привносимых его комплексов при окислительно-восстановительной реакции с  $\text{FeO}$ , который окисляется на первом этапе до  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :



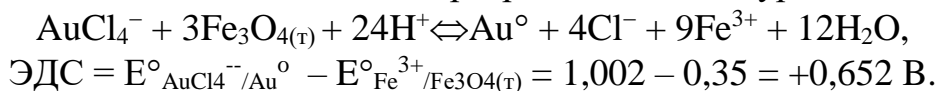
так как её электродвижущая сила – величина положительная ( $\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}^\circ + 4\text{Cl}^-} - E^\circ_{\text{FeO}(\text{r})/\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{r}) + 2\text{Fe}^{2+}} = +1,002 - 0,593 = +0,409 \text{ В}$ ). Термодинамическая предпочтительность отложения золота в ассоциации с одновременно с ним образующимся магнетитом при взаимодействии потоков окислительных гидротерм хлороауратов с растворами, содержащими незакомплексованные ионы  $\text{Fe}^{2+}$ , показана В.А.Летниковым и Н.В.Вилором (1981):



Слабовосстановительный железомоноксидный геохимический барьер проявлен при формировании месторождений *Лэди Миллер*, *Айрон-Кинг* (рудное поле Норсмен), *Копперхед* (рудное поле Йилгарн), *Маунт-Магнет*, *Лэнкфилд* (рудное поле Лавертон), *Вайоминг* (США), золоторудные залежи которых локализованы в горизонтах железистых кварцитов.

Да и сами магнетитсодержащие зоны способны эффективно выполнять функцию слабовосстановительных *железооксидных* барьеров с осаждением золота из его галоидных комплексов, обладающих намного большим редокс-потенциалом по сравнению со стандартным потенциалом участвующей в этом процессе окислительной полуреакции  $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{r}) + 8\text{H}^+ + \text{e}^- \Leftrightarrow 3\text{Fe}^{3+} + 4 \text{H}_2\text{O}$  ( $E^\circ =$

+0,35 В[42]. Благоприятная для разложения хлороауратов восстановительные условия создаются благодаря более легкому выщелачиванию из магнетита иона закисного железа и окисления его до трехвалентного состояния. Процесс восстановления золота на этом типе барьера описывается уравнением:



Железооксидному типу слабовосстановительного барьера обязано своим возникновением крупное месторождение *Теннант–Крик* (рисунок 24), из недр которого уже извлечено за период с 1934 по 1986 г 100 т Au, оставшиеся запасы оценены в 50 т, а ежегодная добыча составляет 3 т благородного металла. Это одно из наиболее обогащенных золотом месторождений мира с одним из самых высоких содержаний Au в рудах, достигавших в 1950–1951г 61,6 г/т, а в 1972 г – 76,5 г/т. Золоторудная минерализация на рудном поле Теннант–Крик тяготеет к зонам метасоматитов, резко обогащенных магнетитом.

### ***Сильновосстановительные геохимические барьеры сульфидных и гидросульфидных комплексов золота***

Специфической особенностью сульфидных и гидросульфидных соединений золота является низкий редокс-потенциал образования и устойчивость в восстановительных средах. Поэтому осаждение Au из них может происходить лишь на резко восстановительных барьерах с более отрицательным, чем у Au(HS) (<–0,47 В) окислительным потенциалом. Высоко восстановительные условия формирования золотого оруденения из серосодержащих комплексов подтверждена детальными исследованиями месторождения Лаованчжай (КНР), зафиксировавшими изменения Eh рудоосаждения от –0,481 до –0,912 В. Более благоприятны для осаждения золота на таком типе барьера щелочные условия, поскольку сильные восстановители с окислительным потенциалом, значительно меньшим нижней границы термодинамической устойчивости воды не стабильны и могут в кислых средах восстанавливать её до водорода.

Среди сильновосстановительных барьеров, способных восстановить золото до самородной формы из его сульфидных комплексов, выделяются следующие основные подтипы:

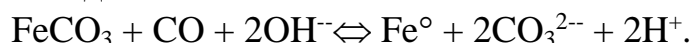
- 1) углеродисто-железистокарбонатно-кварцевый,
- 2) углеродисто-железооксидно-кварцитовый,
- 3) углеродисто-железосульфидный.

### ***Углеродисто-железистокарбонатно-кварцевый сильновосстановительный барьер***

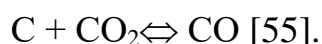
Углеродисто-железистокарбонатно-кварцевые сильновосстановительные геохимические барьеры являются одними из наиболее эффективных и широко распространенных. Такими осадителями золота на пути миграции сульфидоауратов являются горизонты окварцованных пород, обогащенные углеродистым веществом и железо-магниевыми карбонатами. Последние на

одних месторождениях представлены анкеритом, на других – сидероплезитом, а на третьих – сидеритом.

Функционирование углеродисто-железистокарбонатно-кварцевого барьера обязано проявлению нескольких последовательных реакций. Основной многоступенчатого процесса в ТР-условиях вязкопластического течения горных пород является декарбонатизация железистых карбонатов в щелочных средах под воздействием СО – продукта разложения органического вещества с высвобождением свободного железа:

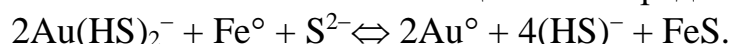
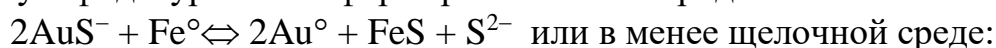


Реакция идет в прямом направлении (слева направо), так как редокс-потенциал полуреакции окисления в щелочных условиях  $\text{CO} + 2\text{OH}^- - 2e^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$ ,  $E^\circ = -1,223 \text{ В}$  [54] значительно меньше стандартного потенциала полуреакции восстановления:  $\text{FeCO}_3 + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^\circ + \text{CO}_3^{2-}$ ,  $E^\circ = -0,756 \text{ В}$  [4] и, следовательно, её ЭДС – величина положительная. Источником СО является разлагающееся органическое вещество, которое к тому же при температуре 400 – 500°C начинает взаимодействовать с  $\text{CO}_2$ , образуя монооксид:



Возможность образования самородного железа в таких условиях подтверждается его нахождением в метасоматитах и гидротермальных образованиях на многих месторождениях и даже в современных осадках и железо-марганцевых конкрециях Тихого океана. В частности, теллурическое золото (феррит) встречено в скоплениях сидерита, золото- и платиноносных россыпях, в песчаниках и каменных углях, где оно находится в тесном сростании с пирротинном [56]. Выделения самородного железа обычно представлены низкотемпературной альфамодификацией, устойчивой до 910°C.

Возникшее свободное железо вступает в реакцию с привнесенными сульфидоуратами с формированием самородного золота и пирротина:

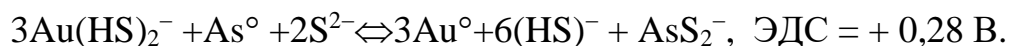


Процесс идет слева направо, поскольку редокс-потенциал полуреакции восстановления  $\text{AuS}^- + e^- \rightleftharpoons \text{Au}^\circ + \text{S}^{2-}$  ( $E^\circ = -0,47 \text{ В}$  [57]) больше, чем полуреакции окисления  $\text{Fe}^\circ + \text{S}^{2-} - 2e^- \rightleftharpoons \text{FeS}$  ( $E^\circ = -0,95 \text{ В}$  [43]).

Декарбонатизация железистых карбонатов, предопределяющая восстановление и осаждение золота из его гидросульфидных и сульфидных соединений, установлена на многих золоторудных объектов хоумстейкского и карлинского типов [58]. Она проявлена на месторождениях карлинского типа области Голд-Бар (США) в главную стадию золоторудной минерализации и сопровождается ассоциацией Au, As, Sb и  $\text{SiO}_2$  [59]. На самом месторождении Карлин образование золоторудных скоплений за счет замещения карбонатных минералов прослоев углеродсодержащих доломитов подтверждено детальным изучением руд, их изотопии и газовой-жидких включений. На золоторудном

гиганте Хоумстейк развитие процесса декарбонатизации сидероплезита фиксируется присутствием его реликтов в золотосульфидных залежах [60].

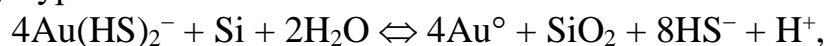
Резковосстановительная среда функционирования геохимического барьера подтверждается присутствием в золото-сульфидных рудах на ряде месторождений (Хоумстейк, Карлин и др.) самородных мышьяка, сурьмы и ртути ( $E^{\circ}_{AsS_2^-/As^{\circ} + 2S^{\circ}} = -0,75$  В;  $E^{\circ}_{SbS_2^-/Sb^{\circ} + 2S^{\circ}} = -0,85$  В;  $E^{\circ}_{HgS/Hg^{\circ} + 2S^{\circ}} = -0,70$  В [4]). Каждый из них, образуясь при более низком, чем  $Au(HS)_2^-$  окислительном потенциале, может способствовать разложению гидросульфидных и сульфидных комплексов с восстановлением золота:



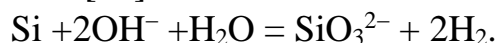
Подтверждением возможности такого процесса осаждения золота является его тесная ассоциация с самородными ртутью, мышьяком и сурьмой на ряде месторождений (Карлин и др.). В такой резковосстановительной обстановке свободный кремний, в случае его выщелачивания из кварца в щелочных условиях под воздействием монооксида углерода разлагающегося органического вещества в щелочных средах и ТР условиях вязко-пластического течения пород:



также может быть достаточно эффективным восстановителем гидросульфидоауратов:



поскольку редокс-потенциал полуреакции восстановления  $Au(HS)_2^- + e^- \rightleftharpoons Au^{\circ} + 2HS^-$  ( $-0,47$  В) больше, чем  $E^{\circ}$  полуреакции окисления  $Si + 2H_2O - 4e^- \rightleftharpoons SiO_2 + 4H^+$  ( $-0,86$  В [4]). Но самородный кремний обладает очень сильным сродством к кислороду и при температуре выше  $400^{\circ}C$  окисляется до  $SiO_2$ . К тому же он легко реагирует с едкими щелочами, даже в очень разбавленных растворах с образованием силикат-ионов [61]:



В кислых средах редокс-потенциал восстановления Si из  $SiO_3^{2-}$  в реакции:  $SiO_3^{2-} + 6H^+ + 4e^- \rightleftharpoons Si^{\circ} + 3H_2O$  составляет  $-0,455$  В [4]. Поэтому для возникновения металлического кремния необходимы специфические условия, и он встречается очень редко.

При преобладании в сульфидной системе двуокиси углерода и присутствии самородного Fe восстановление золота может происходить и с образованием, помимо пирротина, ещё и карбоната железа:



Этим объясняется распространение на ряде месторождений (Хоумстейк и др.) среди главных минеральных ассоциаций золото-кварц-анкерит-пирротиновой, иногда обособляющейся в самостоятельные жильные системы [45].

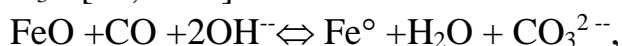
Именно углеродисто-железистокарбонатно-кварцевый резковосстановительный барьер проявлен на золоторудных гигантах

Хоумстейк, Морроу-Велью, на месторождениях Рапосос, Карсон-Хилл, Эгнико-Игл и многих других [45, с. 36].

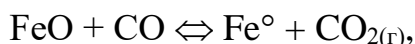
### **Углеродисто-железооксидно-кварцитовый сильновосстановительный барьер**

Углеродисто-железооксидно-кварцитовый барьер является близким аналогом углеродисто-железистокарбонатно-кварцевому. Но в нем первичную функцию по восстановлению феррума выполняют вместо  $\text{FeCO}_3$  монооксиды железа, содержащиеся в широко распространенных на ряде золоторудных полей горизонтах железистых кварцитов и джаспероидов [45, с. 37]. Одним из характерных его представителей является месторождение Белл карлинского типа, содержащее оксидные руды. Его образование американские исследователи объясняют моделью смешения растворов глубокой циркуляции, богатых  $\text{H}_2\text{S}$  и экстрагирующих золото из подстилающих пород в форме  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ , с метеорными водами и закисью железа рудовмещающей толщи, что приводит, по их мнению, к образованию пирита и осаждению дисперсного золота:  $\text{Au}(\text{HS})_2^- + \text{FeO} + \text{H}^+ \Leftrightarrow \text{Au}^0 + \text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{H}_2$ . [56, с. 47].

Но осуществление этой реакции энергетически затруднено, поскольку  $\text{FeO}$ , характеризуясь более высоким ( $E^\circ_{\text{FeO}/\text{Fe}^0} = -0,052 \text{ В}$  [42], чем  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  ( $E^\circ_{\text{Au}(\text{HS})_2^-/\text{Au}^0} = -0,47 \text{ В}$  [57] значением редокс-потенциала, не может быть восстановителем золота гидросульфидного комплекса, хотя таковым является, как было показано нами в предыдущей главе, для хлороауратов. Термодинамически вероятнее осуществление серии последовательных реакций. В начале при высоких температуре и давлении происходит реакция разложения оксида железа под воздействием монооксида углерода при его окислении в щелочной среде до  $\text{CO}_3^{2-}$  [57, с. 23]:



поскольку её электродвижущая сила превышает 1 В: ЭДС =  $E^\circ_{\text{FeO}/\text{Fe}^0} - E^\circ_{\text{CO}_3^{2-}/\text{CO} + 2\text{OH}^-} = -0,059 - (-1,223) = +1,171 \text{ В}$ . Только при сочетании благоприятных кинетических факторов вероятно осуществление восстановления оксида железа ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  или  $\text{FeO}$ ) до свободного состояния металла под воздействием широко представленных на такого типа месторождениях продуктов разложения углеродистого вещества [57, с. 24]:



$$\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{FeO} + 2\text{H}^+/\text{Fe}^0} - E^\circ_{\text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}^+/\text{CO}(\text{r})} = -0,052 - (-0,106) = +0,054 \text{ В}$$



$$\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{H}^+/\text{Fe}^0} - E^\circ_{\text{CO}_2(\text{r}) + 2\text{H}^+/\text{CO}(\text{r})} = -0,085 - (-0,106) = +0,021 \text{ В. [57, с. 25]}$$

Затем в результате взаимодействия образованного свободного железа с гидросульфидауратом восстанавливается самородное золото и формируется пирротин (или пирит) [57, с. 26]:



Реакция термодинамически осуществима, поскольку её электродвижущая сила положительна [57, с. 28]:

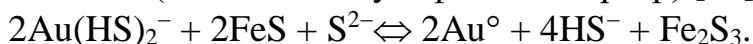
$$\text{ЭДС} = E^{\circ}_{\text{Au}(\text{HS})_2^- / \text{Au}^0} - E^{\circ}_{\text{FeS}/\text{Fe}^0 + \text{S}^{2-}} = -0,47 - (-0,95) = +0,48 \text{ В. [57, с. 29]}$$

Функционирование углеродисто-железосульфидно-кварцитового резковосстановительного барьера отмечено, в частности, на месторождениях Лупин (Канада), Сентрал Патрица (США) и др. Пластовые рудные тела рудного поля *Лупин*, расположенного в толще амфиболитовые сланцы архейского зеленосланцевого пояса, локализованы в горизонте железистых кварцитов [57, с. 30]. Последний совместно со сланцами смят в узкие, опрокинутые под углом  $75^\circ$  на запад мезозональношовные складки с почти вертикально погружающимися шарнирами. Крылья складок осложнены мелкими перегибами [60]. В золотоносном горизонте кварц разделяет сульфидные слои, в которых преобладают арсенопирит или пирротин и значительно менее развиты пирит и халькопирит. Наличие в сульфидных рудах самородного серебра свидетельствует о высоковосстановительных условиях рудообразования ( $E^{\circ}_{\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}^0 + \text{S}^{2-}} = -0,655 \text{ В}$  [54]). Протяженность золотоцентрирующего пласта кварцитов 600м, при мощности от 1 до 25м. Прогнозные запасы месторождения значительны: к концу 1983 г добыто 42 т золота, а в 1984г получено 5,5т, среднее содержание 13,5 г/т. [54, с. 89]

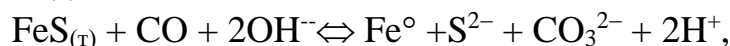
#### ***Углеродисто-железосульфидный сильновосстановительный барьер***

Углеродисто-железосульфидный геохимический барьер характерен для многих золото-колчеданно-полиметаллических месторождений, на которых присутствуют горизонты или зоны пород, обогащенные сингенетичными сульфидами железа и углеродистым веществом [54, с. 90].

Горизонты пород с повышенной концентрацией пирротина также могут выполнять роль восстановительных барьеров на пути движения рудоносных растворов, непосредственно оказывая разрушающее воздействие на сульфидные и гидросульфидные соединения золота, восстанавливая его до элементарного состояния (железомоносульфидный барьер) [61]:



Реакция термодинамически осуществима, так как её ЭДС  $= E^{\circ}_{\text{Au}(\text{HS})_2^- / \text{Au}^0 + 2\text{HS}^-} - E^{\circ}_{\text{Fe}_2\text{S}_3/\text{FeS} + \text{S}^{2-}} = -0,47 - (-0,715) = +0,245 \text{ В}$ . Эффективность железомоносульфидного барьера резко возрастает в присутствии углеродистых соединений (СО и др.), которые вступают во взаимодействие с FeS и FeS<sub>2</sub>, разлагая их в условиях вязкопластического течения пород в щелочной обстановке до свободного железа:



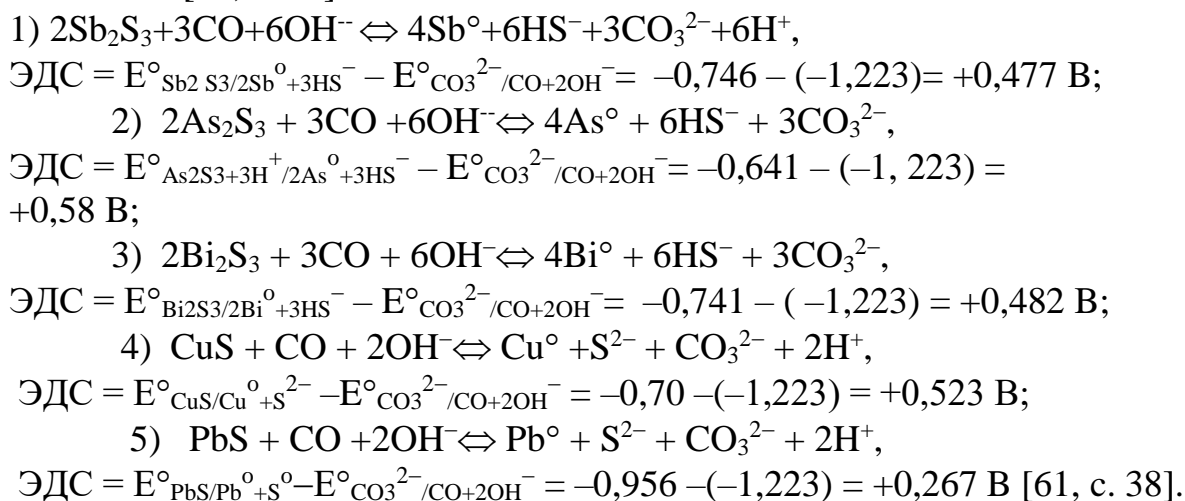
$$\text{ЭДС} = E^{\circ}_{\text{FeS}_{(\text{T})}/\text{Fe}^0 + \text{S}^{2-}} - E^{\circ}_{\text{CO}_3^{2-}/\text{CO} + \text{OH}^-} = -0,95 - (-1,223) = +0,273 \text{ В.}$$

Свободное железо, возникшее при  $E^{\circ} = -1,223 \text{ В}$ , восстанавливает золото из привносимых Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> и AuS<sup>-</sup> до самородного состояния и регенерирует FeS и FeS<sub>2</sub> : [61, с. 35]



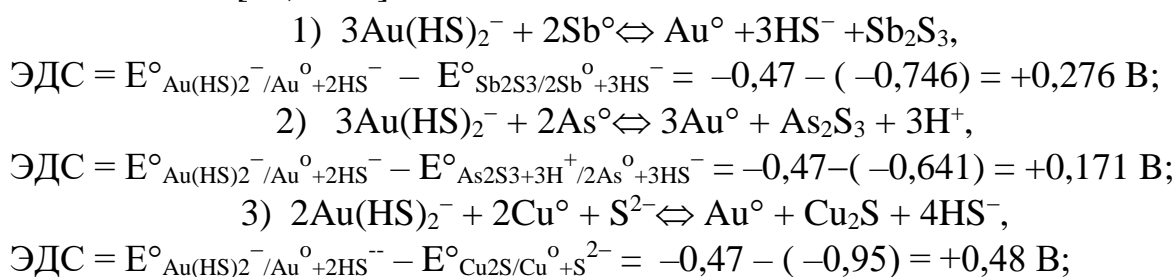
$$\text{ЭДС} = E^{\circ}_{\text{AuS}^- / \text{Au}^0 + \text{S}^{2-}} - E^{\circ}_{\text{FeS}_{(\text{T})}/\text{Fe}^0 + \text{S}^{2-}} = -0,47 - (-0,95) = +0,48 \text{ В. [61, с. 36]}$$

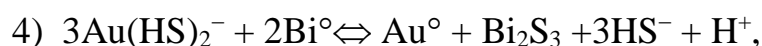
Под воздействием дислокационно-метаморфогенных процессов в термодинамических условиях вязкого течения пород и под влиянием высокоактивных углеродистых соединений вполне вероятно частичное разложение антимонита, реальгара, висмутина, халькопирита, галенита, киновари и других сульфидов до свободного состояния рудообразующих элементов [61, с. 37]:



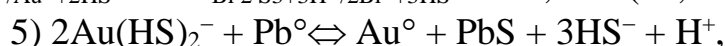
Такая возможность образования самородных Fe, Cu, Pb, Zn, Sb, As и Bi подтверждается их широким распространением, наряду с золотом и серебром, в гидротермальных рудах месторождений [56,62,63]. По данным М.И.Новгородовой (1983), самородные металлы, их природные твердые растворы и интерметаллические соединения Au, Ag, (Au, Ag), (Ag, Sb), Cu, (Cu, Zn), Fe, Cr, (Fe, Si), Pb, Zn, Bi, Co и Cd вместе с графитом, углеродистым веществом и карбидами металлов образуют в рудах различных типов месторождений устойчивые минеральные ассоциации, тесно связанные с кварц-карбонат-полевошпатовыми метасоматитами инфильтрационного типа.

Элементарные Zn ( $E^\circ_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^\circ} = -0,76 \text{ В}$ ), As ( $E^\circ_{\text{AsS}_2^-/\text{As}^\circ + 2\text{S}^{2-}} = -0,75 \text{ В}$ ), Cu ( $E^\circ_{\text{Cu}_2\text{S}(\text{T})/2\text{Cu}^\circ + \text{S}^{2-}} = -0,798 \text{ В}$ ), Pb ( $E^\circ_{\text{PbS}(\text{T})/\text{Pb}^\circ + \text{S}^{2-}} = -0,93 \text{ В}$ ), Bi ( $E^\circ_{\text{Bi}_2\text{S}_3(\text{T})/2\text{Bi}^\circ + 3\text{HS}^-} = -0,741 \text{ В}$ ), Sb ( $E^\circ_{\text{Sb}_2\text{S}_3(\text{T})/2\text{Sb}^\circ + 3\text{HS}^-} = -0,745 \text{ В}$ ) могут образоваться в лишь щелочных гидросульфидных системах, в кислых средах они разлагают воду. Возникшие в щелочно-резковосстановительных условиях в выше указанных окислительно-восстановительных процессах самородные Cu, Bi, Pb, As, Sb способны осаждать золото из сульфидоауратов с одновременной регенерацией сульфидов этих элементов [56, с. 45]:





$$\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{Au}(\text{HS})_2^- / \text{Au}^\circ + 2\text{HS}^-} - E^\circ_{\text{Bi}_2\text{S}_3 + 3\text{H}^+ / 2\text{Bi}^\circ + 3\text{HS}^-} = -0,47 - (-0,741) = +0,271 \text{ В};$$



$$\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{Au}(\text{HS})_2^- / \text{Au}^\circ + 2\text{HS}^-} - E^\circ_{\text{PbS} + \text{H}^+ / \text{Pb}^\circ + \text{HS}^-} = -0,47 - (-0,988) = +0,518 \text{ В. [56, с.47].}$$

В этих случаях восстановительный барьер согласно сути проходящих процессов, следует именовать углеродисто-сульфидным [56, с.48].

Наличие пластовых скоплений сингенетического пирита, обычно сохранившихся лишь в виде реликтовых зон среди эпигенетического гидротермально-метасоматического оруденения, является характерной особенностью золото-колчеданно-полиметаллических месторождений. Им же свойственна повышенная углеродистость рудовмещающих толщ и горизонтов в различных регионах мира. [56, с.49].

Особо высокие содержания углеродистого вещества (от 4 до 27 %) отмечено в углисто-глинистых сланцах и доломитах рудовмещающей свиты на месторождении Текели. Все это создает физико-химические предпосылки функционирования на золото-колчеданно-полиметаллических месторождений сильновосстановительных углеродисто-железосульфидных барьеров при процессах эпигенетического рудообразования и концентрации на них золота, а также сульфидов меди, свинца и цинка при разложении их комплексных соединений [56, с. 52]. Роль органического вещества, как осадителя рудных компонентов для этого типа объектов Рудного Алтая впервые отмечена Н.Г. Сергиевым и М.В. Тащииной (1959). Повсеместно фиксируемое концентрирующее воздействие пирита на золото-медно-колчеданных месторождениях Урала дало основание В.Г. Прохорову (1970) впервые ввести понятие сульфидный барьер [56, с.53].

Наглядными примерами локализации золотого оруденения на железомоносульфидном сильновосстановительном барьере может служить рудное поле *Хемло* (провинция Онтарио) [56, с.54]. Оно расположено в архейском метавулканическом поясе Херон-Бей среди вулканитов, фельзитовых порфиритов и метаосадочных пород формации Муз-Лейк. Золоторудная минерализация на нем четко контролируется горизонтом кварц-мусковит-пиритового состава, приобретая его пластовую морфологию и протягиваясь в южном крыле синклинали Хемло (рисунок 30) в приграничной зоне метаосадочных и метавулканических пород на

#### ***Щелочные и кислые геохимические барьеры***

Основные формы комплексных соединений золота существенно отличаются спецификой миграции и устойчивости в меняющихся кислотно-щелочных условиях геологической среды. Так, если хлороаураты характеризуются повышенной устойчивостью в кислых растворах и разрушаются в щелочных, то гидросульфидные комплексы золота, напротив,

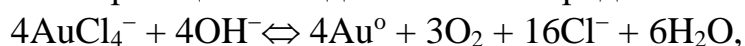


обладают повышенной стабильностью в щелочных средах, снижающейся с ростом её кислотности. Соответственно осадителями и концентраторами для первых являются щелочные, а для вторых – кислые геохимические барьеры. По данным экспериментальных исследований А.Н. Зотова с соавторами (1987), растворимость золота при повышении щелочности в хлоридных растворах снижается на 5-6, а в гидросульфидных увеличивается на 3 порядка. Следовательно, тип геохимического барьера, осаждающий золото при резком изменении рН раствора, предопределяется формой и условиями миграции комплексов благородного металла.

### ***Щелочные геохимические барьеры***

Щелочные геохимические барьеры функционируют на контактах алюмосиликатных пород с известняками. Они имеют существенное значение в концентрации золота в основном лишь из его хлоридных и бромидных соединений, характеризующихся устойчивостью и повышенной миграционной способностью только в кислых термах (рН < 4–6). Взаимодействие таких растворов с известняками приводит к повышению щелочности и осаждению золота на фронте их нейтрализации.

Хлороаураты в резкощелочных условиях, в которых их стандартный окислительный потенциал выше границы термодинамической устойчивости воды, вступают с ней в реакцию с выделением самородного золота и кислорода:



$$\text{ЭДС} = E^\circ_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}^0+4\text{Cl}^-} - E^\circ_{2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2/4\text{OH}^-} = 1,002 - 0,401 = +0,601 \text{ В.}$$

Именно поэтому многочисленные экспериментальные исследования фиксируют резкое понижение растворимости золота в хлоридных растворах с ростом щелочности [64,65].

Осаждение золота на щелочном барьере сопровождается образованием обильной пиритовой минерализацией, так как реакции нейтрализации, интенсивно протекающие при избытке карбонатов, способствуют разложению хлоридных комплексов  $\text{FeCl}_2^0$  и  $\text{FeCl}_3^-$ , преобладающих в кислотно-окислительной системе при температурах 350 – 400°C и сдвигают равновесие диссоциации сероводорода в сторону формирования сульфид-иона. Последний связывает незакомплексованный катион  $\text{Fe}^{2+}$  в твердую фазу  $\text{FeS}_2$  [65].

Примером функционирования щелочного барьера на контакте кислых пород с известняками, взаимодействие хлоридного раствора с которыми приводит к повышению его щелочности, является месторождение **Салсинь** (Франция). Оно приурочено к лежащей складке, надвинутой на кристаллические сланцы “Х” (О) и сложенной известковистыми сланцами и рассланцованными филлитами (О) с толщами песчаников, известняков и хлоритовых сланцев девона в её ядерной части [60]. Меридиональные и северо-западные разрывы сопровождаются при пересечении известняков лентообразными залежами сульфидно-вкрапленных метасоматических руд.

Проникая в выше и ниже лежащие горизонты песчаников, филлитов и сланцев, залежи переходят в сульфидно-кварцевые жилы.

Щелочные барьеры внесли существенный вклад в осаждение золота и на скарновых месторождениях. В частности, на месторождении Саяк IV (Центральный Казахстан) золоторудная минерализация локализовалась на этом типе геохимического барьера, функционировавшего во фронтальной зоне кварц-хлоритовых апоскарнов вдоль границы с нескарнированными известняками тастыкудукской свиты (С<sub>2</sub>), образовав вытянутые вдоль неё лентовидные залежи [66]. Более мелкие золоторудные линзы развиваются в переходной зоне в почве и кровле пластовых тел кальцит-хлоритовых апоскарнов в контакте с подстилающими и перекрывающими горизонтами кислых туфоалевролитов. Наиболее богатое оруденение тяготеет к участкам небольших антиклинальных перегибов пологопадающих толщ.

#### ***Кислые геохимические барьеры***

Кислые геохимические барьеры способствуют осаждению золота из его сульфидных и гидросульфидных комплексов в местах резкого снижения щелочности среды. Нейтрализация щелочных растворов при повышенных температурах приводит, по данным Г.Р. Колонина с соавторами (1981), к снижению концентрации благородного металла на 3- 4 порядка. Аналогичные результаты получены и А.В. Зотовым (1987). А.Л. Павлов (1976) показал, что гидролиз дисульфид-иона  $S^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HS^- + OH^-$  тесно коррелирует с рН и устойчивость гидролизованного иона  $HS^-$  находится в диапазоне рН = 7,05 – 12,9. При термодинамическом моделировании Г.Р. Колонин и Г.А. Пальянова (2000, 2004) установили, что в щелочном растворе с умеренным содержанием хлоридов (6 мас.% NaCl) и концентрацией сульфидной серы, равновесной пирит-пирротинному буферу, при температуре 300 – 500°C, господствующий дигидросульфидный комплекс Au при уменьшении рН до 6 сменяется моногидро-сульфидным соединением. При снижении температуры ниже 200°C этот переход происходит при рН = 8.

Особо эффективное значение имеет комплексный кислотно-сильновосстановительный барьер, предопределяющий наиболее высокое концентрирование золота в участках резкого повышения восстановительной обстановки с одновременным понижением щелочности растворов под реакционным воздействием с контактирующими кислыми породами (фельзитами, песчаниками и др.), что отмечено на многих золоторудных месторождениях (Хемло, Розбери, Вудлаун, Хоумстейк и других).

#### ***Термодинамические геохимические барьеры***

Функционирование термодинамических барьеров связано с существенным понижением температурных условий миграции растворов или резким снижением давления. По данным О.Е. Звягинцева (1941) растворимость золота в растворах гидросульфидов натрия и калия растет с повышением температуры и при 300°C достигает величины в 600 раз большей, чем при 15°C.

Значительное увеличение растворимости золота зафиксировано и детальными исследованиями Т. Сьюарда [67]. По обобщенным данным Ф.А. Летникова и Н.В. Вилора (1981) растворимость Au (г/кг H<sub>2</sub>O) в кислых хлоридных растворах, составляющая 0,031 – 0,063 при температурах 300-400°C, повышается при 500°C до 0,41, достигая величины 1,67 г/кг при 600°C. Согласно экспериментальным исследованиям Р. Хенли [68] концентрация хлорокомплекса золота в хлоридных растворах с высоким окислительным потенциалом резко увеличивается с 0,01 г/л при 300°C до 1 г/л при 400°C. По данным А.Г. Миронова с соавторами (1989) растворимость самородного золота в 1N водных растворах HCl интенсивно возрастает с повышением температуры в диапазоне 175 – 820°C от 0,000п до 0,5 мас. %.

Особенно важным фактором рудообразования является дегазация флюидов, обусловленная резким понижением давления [49]. Ей обязана локализация урановых и мышьяковых руд из карбонатных соединений. Термодинамический (дегазационный) барьер для осаждения золота имеет особо существенное значение при формировании эпитермальных золото-серебряных месторождений вулканогенного типа, что наглядно подтверждается целенаправленными исследованиями рудолокализации современных терм, в частности геотермальной системы *Бродлэндс–Охааки* (Новая Зеландия).

Важная роль в осаждении золота из галоидных комплексов принадлежит дегазации рудоносных растворов и на слабовосстановительных углеродистых барьерах. На них осуществляется, как было показано ранее, характерная реакция взаимодействия органического вещества с привносимыми хлороауратами:  $4\text{AuCl}_4^- + 3\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Au}^0 + 3\text{CO}_{2(\text{r})} + 12\text{H}^+ + 16\text{Cl}^-$  (ЭДС  $= E^\circ_{\text{AuCl}_4^-/\text{Au}^0 + 4\text{Cl}^-} - E^\circ_{\text{CO}_{2(\text{r})} + 4\text{H}^+/\text{C}} = 1,002 - 0,169 = +0,833 \text{ В}$ ), приводящая к осаждению самородного золота и выделению газа CO<sub>2</sub>. В условиях пульсирующих тектонических напряжений и связанных с ними многократным уменьшением давления в высокопроницаемых зонах вязких разломов шовной складчатости эта окислительно-восстановительная реакция, согласно принципа Ле Шателье, резко ускоряется в сторону возрастания числа образующихся молекул газа диоксида углерода, то есть в сторону интенсификации осаждения и концентрирования золота. В такой ситуации проявляется комплексный слабовосстановительно-термодинамический (углеродисто-дегазационный) барьер, на котором реакция восстановления Au интенсифицируется дегазацией CO<sub>2</sub>.

Представляли своеобразные пульсационно действовавшие элементарные насосы, осуществлявшие транспорт флюида и предопределявшие осаждение рудных элементов и многостадийность минерализации [69,70]. Поэтому все крупные золоторудные месторождения черносланцевого типа контролируются зонами вязких разломов и кливажирования (или рассланцевания), особенно при осложнении основной складчатости наложенной. Эти высокопроницаемые зоны выполняли не только роль структурного контроля, а напрямую

инициировали и интенсифицировали как экстракцию золота из вмещающих пород, так и определяли направленность окислительно-восстановительных реакций рудообразования, обуславливая тем самым органическую взаимосвязь тектонических процессов с рудолокализацией. В этой обстановке пульсирующие тектонические напряжения выступают в необычном качестве своеобразного “химического реагента“ удаления газообразных продуктов реакций типа:  $4\text{AuCl}_4^- + 3\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Au}^0 + 3\text{CO}_{2(\text{г})} + 12\text{H}^+ + 16\text{Cl}^-$ , тем самым резко ускоряя восстановление золота из его комплексных соединений.

Подытоживая рассмотрение роли геохимических барьеров в локализации руд, следует констатировать многообразие форм соединений золота, каждая из которых обладает характерной для неё стабильностью лишь в определенных значениях Eh – pH растворов – от кислотно-сильноокислительных до щелочно-повышено восстановительных. Поэтому тип геохимического барьера, способного осадить благородных металлов, предопределяется формой миграции его комплексов и их окислительным потенциалом. В зависимости от последней восстановление золота происходит для его хлоридных и бромидных соединений при смене сильноокислительных условий на слабоокислительные (слабовосстановительные барьеры) или кислых на щелочные (щелочные барьеры), а для гидросульфидных и сульфидных комплексов – при изменении слабовосстановительных сред на высоковосстановительные (сильновосстановительные барьеры) или щелочных на кислые (кислые барьеры).

Наибольшей эффективностью обладают барьеры слабовосстановительные углеродистые и железооксидные для галоидных соединений золота и сильновосстановительные углеродисто-железистокарбонатно-кварцевые и углеродисто-сульфидные для гидросульфидных и сульфидных комплексов, особенно при комплексировании их с щелочными (щелочно-слабовосстановительные), кислыми (кислотно-сильновосстановительные) или термодинамическими (восстановительно-дегазационные) барьерами.

### **3.3 Эволюционная направленность золоторудного процесса**

Комплексное изучение рудовмещающих отложений и магматизма, околорудных метасоматитов и вещественного состава руд, геодинамических моделей формирования этих месторождений, а также эволюции морфопризнаков самородного золота, состава кремнезема и углеродистого вещества позволили обосновать, а в ряде случаев уточнить, характер последовательно проявленных полигенных физико-химических и термодинамических процессов, при которых происходит отчетливо выраженное эволюционно-направленное преобразование метастабильных миграционно-способных седиментогенных форм золота в самородную его фазу. На основании полученных данных по рудогенезу разработана единая стилизованная геодинамическая модель формирования золоторудных месторождений и сформулировано представление о степени организации

золоторудного процесса, о литогеохимической формации как основном источнике рудного вещества, а также сделаны выводы о существенной роли геля кремнекислоты в неоднократном переотложении кремнезема при формировании рудовмещающей матрицы. В большинстве изученных объектов отмечается пространственная совмещенность в рудных залежах прерудного и собственно золоторудного процессов, которые разорваны во времени. Степень их завершенности оценивается масштабом проявления самородной фазы золота (максимальная) или отношением суммы ионного и коллоидного золота к количеству его свободной формы (промежуточная).

Наиболее полно золоторудный процесс с образованием преобладающих количеств самородной фазы золота и его интерметаллических соединений развит на золото-сульфидно-кварцевых (90-95%) и эпитептермальных золото-серебряных (до 45-60%) месторождениях с крайне неравномерным пространственным размещением оруденения (рудные столбы, богатые бананцы, отдельные «струи», ленты и т.д.) и резкими колебаниями содержаний Au (+Ag) от следов до нескольких килограммов на тонну.

По результатам выполненных совокупных исследований сделаны следующие выводы, имеющие важное значение для дальнейшего развития теоретических представлений на образование месторождений золота, а также повышения результативности геологоразведочных работ.

1. Обязательное наличие в пределах рудных полей всех месторождений специализированной на золото литогеохимической формации, независимо от ее возраста, с широким развитием обогащенных углеродистым веществом карбонат содержащих осадков, формирующихся в закрытых палеобассейнах в условиях сероводородной среды.

2. Эволюционная направленность рудного процесса по схеме: седиментация --- ранний диагенез --- поздний диагенез --- эпизона --- динамометаморфизм --- мезозона (+катазона) --- интрузивный (эффузивный) магматизм, благодаря чему происходит постепенное преобразование изначально миграционно способных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную. На его завершающей стадии под воздействием интрузивного (эффузивного) магматизма и тектоно-метаморфических процессов происходит резкое увеличение в рудах самородной фазы с уменьшением миграционно способных форм золота, вплоть до образования компактных золото-кварцевых рудных тел с ограниченным количеством сульфидов [67, с. 35].

1. Формы миграции золота в бассейны отложения литогеохимических формаций:

- хлоридные ( $\text{AuCl}_4$ ,  $\text{AuCl}_2$ ), сульфидные  $\text{AuS}$ , и гидросульфидные -  $\text{Au}(\text{HS})_2$  комплексы;
- комплексы с F, P, W, As, Sb, типа  $\text{WS}_4$  ( $\text{AuPMePh}_2$ )<sub>2</sub>;
- золото, адсорбированное углистым и глинистым веществом, гидроокислами Fe, Mn и др.;
- золото коллоидное –  $\text{Au}_n(\text{OH})_m$ , например- $\text{Au}(\text{OH})_3$ .

## 2. Формы осаждения золота в составе литогеохимических формаций:

- биогенная;
- хемогенная;
- адсорбционная;
- захоронение в виде золотоорганических соединений;
- коллоидная;
- в составе гелей;
- восстановленная;
- кластогенная;
- тончайшие частицы самородного золота.

Концентрация свободного золота, главным образом, на жильных и штокверковых месторождениях золото-сульфидно-кварцевой и золото-серебряной формаций в виде бонанцевых рудных столбов является одной из закономерностей его распределения на этих объектах.

3. Структуризация кремнистой матрицы рудных тел, происходящая по схеме: миграционно способный гель кремнекислоты --- опал --- халцедон --- кварцин --- кварц (в редких случаях коэсит и стишовит) под воздействием исключительно тектоно-метаморфических процессов.

4. Эволюционно-направленное преобразование («структуризация») углеродистого вещества рудовмещающих толщ и рудных тел по схеме: металлоорганические соединения --- аморфное углеродистое вещество --- УВ с двумерно упорядоченной структурой --- УВ с трехмерно упорядоченной структурой --- антраксолит --- шунгит --- карбин --- графит (графит со сверхупорядоченной структурой, редко лонсдейлит и алмаз) под воздействием исключительно тектоно-метаморфических процессов.

Специфика геолого-структурных и геодинамических условий формирования золоторудных месторождений каждого геолого-промышленного типа имеет важное значение, обуславливая масштабы проявления вышеперечисленных черт интегральной модели, а, следовательно, и особенности частных геодинамических моделей.

### **3.4 Продуктивные на золото стратиграфические уровни и литогеохимические формации**

Изучение положения тесной пространственно-генетической или парагенетической ассоциации золотого оруденения на разных стратоевнях выявило целый ряд важнейших металлогенических закономерностей, играющих большую роль в поисковой практике. Это, прежде всего, наличие сингенетического накопления золота, часто обуславливающее первичную металлогеническую специализацию рудных районов, таких как Акбакайский, Степнякский, Бакыршикский и др. При этом устанавливается большое разнообразие условий и способов накопления золота (биогенное, хемогенное, адсорбционное, захоронение в виде металлоорганических и тиосульфатных соединений и т.п.), сопутствующее самым различным по возрасту и

формационному типу осадкам. В этом отношении весьма показательны данные по всемирно известной группе месторождений Витватерсранд (общие запасы бассейна более 50000 т Au), которые получены зарубежными геологами с применением точной электронной аппаратуры и других современных методов. Не исключая детритовое происхождение некоторой части золота они пришли к выводу о том, что основная масса его накопилась в этап формирования отложений надсерий Доминион-Риф, Витватерсранд, Вентесдорп и Трансваль с возрастом 2,48-2,37 млрд. лет в виде высокомиграционных метастабильных форм. В ряде этих месторождений Д.К. Халбауер установил биохимическую (органогенную) минерализацию, представленную нитевидным (диаметром 1-2 мкм) золотом в массе углеродистого вещества. На активную фиксацию рудных компонентов микроорганизмами в биотах некоторых раннепротерозойских прибрежно-морских зон указывает Мортон Р.Д. и Хангаоти А.

Признаки биогенного накопления золота в Казахстане впервые были установлены Т.М. Жаутиковым при специальном изучении пород из фаунистических горизонтов ордовикских отложений хр. Чингиз. Здесь, наряду с обычными фоновыми содержаниями (3,92-6,0 мг/т) золота, выявлены отдельные горизонты известковистых пород с концентрацией золота до 0,2-0,43 г/т. Эти данные в известной мере сопоставимы с результатами исследований осадков Карибского моря, где отмечается высокая корреляция между содержаниями Au и CaCO<sub>3</sub>, определенных в составе известковистого ила.

В Улутауском регионе работами Ю.В. Рощина установлена повышенная (до 0,15-0,44 г/т) золотоносность алюмофосфатных горизонтов жалтауской свиты. Локальные зоны золотоносных отложений часто образовывались на границе между восстановительными и окислительными обстановками, при литологической смене горизонтов, обогащенных органикой, на существенно карбонатные. При этом отмечается весьма узкая (до нескольких сантиметров) зона локализации благородных металлов в почве углеродистых сланцев, содержащих фосфаты и бораты.

Ярким примером осадочного накопления Au и др. металлов могут служить данные по глубоководным впадинам Красного моря. Здесь, в темных и пестрых глиноподобных кремнисто-железистых илах мощностью около 20 м (иногда до 100 м) отмечены повышенные содержания Au (1,3 г/т) и Ag (130 г/т).

Приведенные примеры показывают, что изучение процессов осадочного накопления золота требует тонких знаний геохимии седиментогенеза, фациальных обстановок осадконакопления и учета многообразия способов транспортировки, отложения, захоронения и дальнейшего перераспределения рудного вещества в породах.

Одной из главных прикладных задач всего комплекса геологических, геофизических, геохимических и др. исследований является прогнозирование и оценка рудоносности изучаемых территорий, решаемых методами общей,

специальной и локальной металлогении. Это научное направление, основы которого были заложены трудами замечательных советских ученых В.А. Обручева, А.Е. Ферсмана, В.И. Смирнова, С.С. Смирнова, Ю.А. Билибина, Д.Н. Щербакова, К.И. Сатпаева, В.И. Смирнова, В.А. Кузнецова, Е.Т. Шаталова, А.К. Каюпова, Г.Н. Щербы, Т.М. Жаутикова, И.Г. Магакьяна, Д.В. Рундквиста, Г.А. Твалчрелидзе и многих других.



#### 4. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Во многих иностранных аналитических обзорах Казахстан рассматривается как один из крупнейших потенциальных поставщиков золота в мире. На это действительно имеются веские основания. В пределах нашей Республики проявлены почти все известные в мире геолого-промышленные типы месторождений золота. Однако, несмотря на большое количество установленных геолого-промышленных типов месторождений, основные разведанные запасы золота заключены в нескольких из них: золото-сульфидно-кварцевом жильном и штокверковом (38 %) - Бестобе, золото-углеродисто-сульфидном (17 %) - Бакыршик, золотосодержащем колчеданном (27 %) и меднопорфировом (12 %). Пока что запасы скарновых (2 %), коровых (2 %), золото-серебряных (1 %) – Архарлы, и россыпных (0,3%) месторождений достаточно скромны и они представлены относительно мелкими объектами, хотя перспективы некоторых из них весьма высокие.

Несмотря на относительно высокую изученность месторождений с уникальными запасами (наличие, наряду с густой сетью разведочных выработок, глубоких - до 1380 м - структурных скважин, а также вертикальных и горизонтальных горных выработок и карьеров), существенный прирост запасов ожидается именно в их пределах, как за счет доразведки глубоких горизонтов и флангов известных месторождений, так и открытия новых месторождений, рудных тел, а также за счет перевода забалансовых запасов в балансовые в связи с возможностью переработки этих руд новыми физико-химическими геотехнологическими методами. Кроме того, почти на всех месторождениях рассматриваемых рудных полей также в значительных объемах проявлены стратифицированные прожилково-вкрапленные залежи, пригодные для переработки кучным, шахтным или скважинным подземным выщелачиванием или биогидрометаллургическими методами. Все это обосновывает дальнейшее интенсивное развитие золотой промышленности в пределах этих рудных полей. Низкая доля (1 %) казахстанских Au-Ag месторождений в общем балансе запасов скорее связана с недостаточно квалифицированным их изучением и схематичностью расшифровки рудовмещающих вулканических структур.

Таким образом, есть все основания рекомендовать значительное увеличение производства геологоразведочных и добычных работ, интенсификацию золотоперерабатывающей промышленности, которые позволят, с одной стороны, в ближайшем будущем удвоить-утроить разведанные запасы, с другой, - увеличить производство золота в стране в несколько раз.

Для интенсификации производства необходимо сделать резкий прорыв в области разработки теоретических основ инновационной прогнозно-поисковой технологии выявления новых месторождений золота с обязательной заверкой

их полевыми исследованиями. Выполнение этой задачи требует решения следующих вопросов)[100, с. 43].

1. На основе всего имеющегося комплекса данных геолого-структурных, петрологических, минералогических, литологических, геохимических, геофизических, аэро- и космоматериалов по месторождениям золота создать всеобъемлющую базу данных, охватывающую все информативные признаки проявления ведущих промышленных типов месторождений золота и закономерности их пространственно-временного размещения (рисунки 39 и 40) [100, с. 44].

2. Разработать универсальную компьютерную программу обработки наиболее информативных признаков золотого оруденения с целью создания полной математической модели ведущих геолого-промышленных типов месторождений золота (рисунок 39) [100, с. 45].



Рисунок 39 - Принципы обработки прогнозно - поисковых моделей месторождений золота в электронном варианте) [100, с. 46].

3. Произвести выбор разноранговых эталонных объектов с формированием их интегральной модели и переводом данных на формализованно-информативную основу с учетом параметров интенсивности проявления или информационного веса тех или иных рудоконтролирующих факторов)[100, с. 47]. Необходимо учесть, что в природе почти не существует двух одинаковых по всем параметрам объектов (имеется в виду одноранговые) и поэтому, сам эталонный объект должен состоять из определенного множества, составляющего закономерный информативный ряд родственных по геолого-генетическим особенностям объектов. Это позволит учесть вариации в смене роли ведущих признаков от одного объекта к другому, возможные колебания

значений информационного веса рудоконтролирующих структурных элементов и т.п. [100, с. 47].

При подготовке интегральной модели эталонного объекта произвести ранжирование их по величине запасов. Дело в том, что уникальные и крупные объекты в связи с их длительным и многоэтапным формированием имеют ярко выраженное большое множество признаков. В то же время мелкие объекты имеют слабо выраженные либо отрывочно проявленные признаки. Поэтому модель объекта–эталона должна иметь интегральный образ, учитывающий все элементы информативного ряда родственных между собой формационных типов объектов.

4. Произвести прогнозную оценку новых наиболее перспективных рудных узлов и крупных известных объектов на основе разработанной интегральной модели разноранговых эталонных объектов с использованием многофакторных металлогенических признаков прогнозируемых рудных районов, рудных полей и месторождений благородных металлов.

Многофакторные металлогенические признаки, взаимообусловленные между собой парагенетичностью их формирования, будут переведены в цифровую программу с послойным кодированием родственных признаков по отдельности.

В рамках разработки общих принципов прогноз-поисковой модели месторождений золота нами собраны в виде таблиц региональные, локальные поисковые критерии признаки в таблицах 9, 10.

Разработка геодинамических моделей формирования различных геолого-промышленных типов месторождений золота показали, что здесь закономерно, в определенной последовательности, проявлены сложные полигенные физико-химические и термодинамические процессы, при которых происходит отчетливо выраженное эволюционно-направленное преобразование метастабильных миграционно-способных седиментогенных форм золота в самородную его фазу.

Рудный процесс протекает по схеме: седиментация --- ранний диагенез --- поздний диагенез --- эпизона --- динамометаморфизм --- мезозона (+катазона) -- - интрузивный (эффузивный) магматизм.

Рудообразование сопровождается определенной структуризацией кремнистой матрицы (опал, халцедон, кварцин, кварц, стишовит) и преобразованием углеродистого вещества рудовмещающих толщ.

Таблица 9. Ряды региональных поисковых критериев различных рангов геологических объектов - эталонов (металлогеническая зона или область - рудная зона или рудный. Район - рудное поле - месторождение)

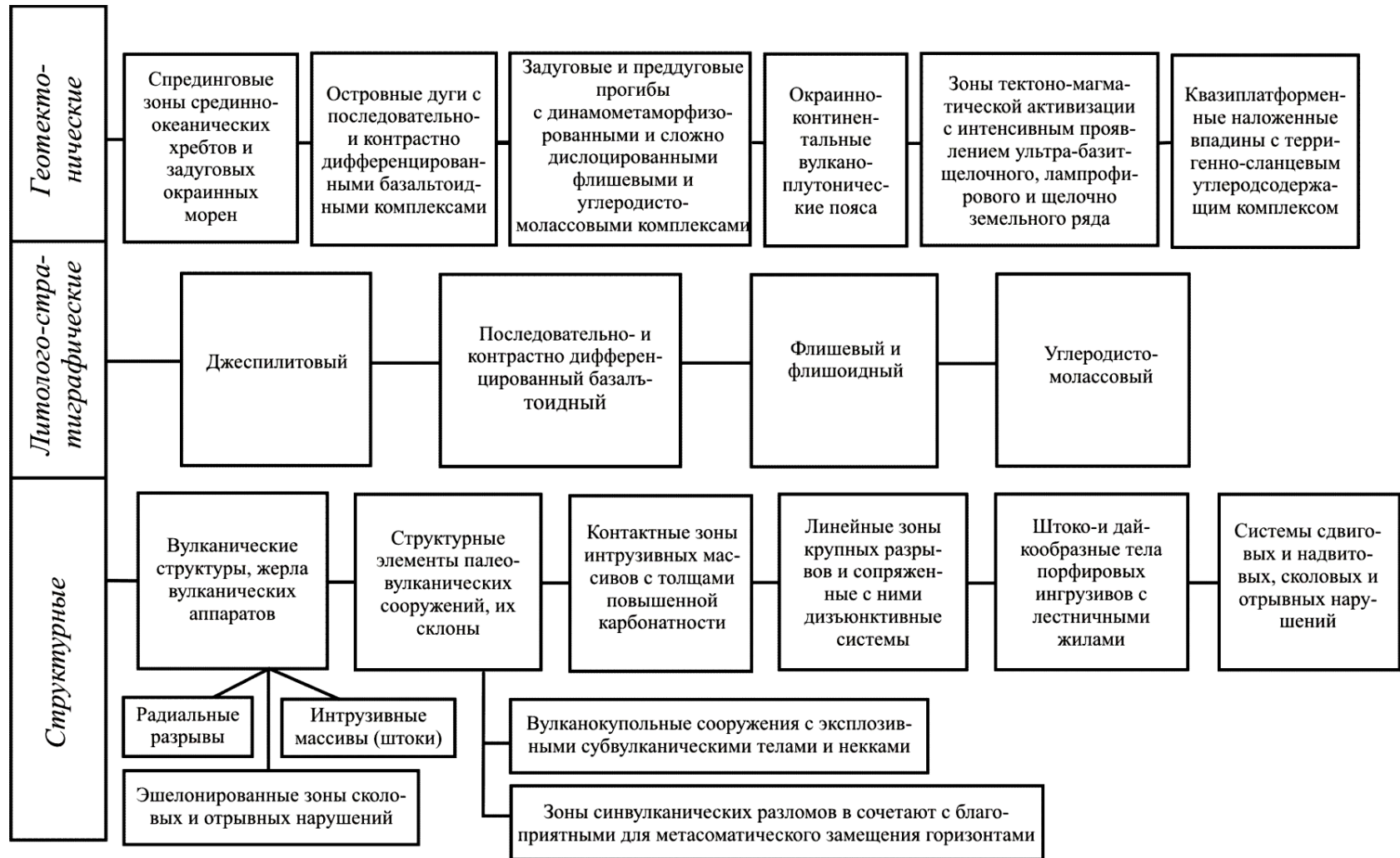


Таблица 9 (продолжение)

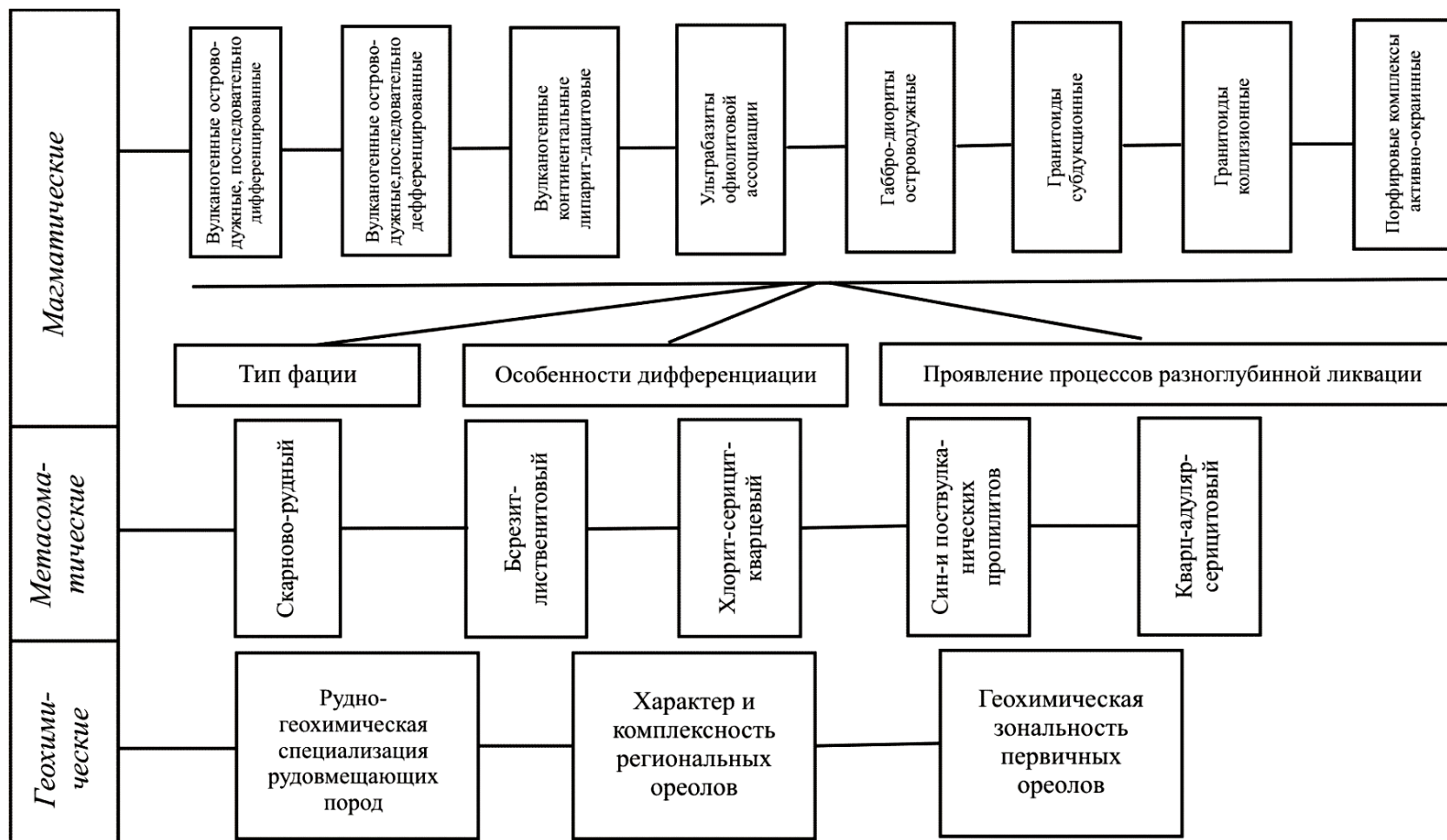


Таблица 9 (окончание)



Таблица 10 - Ряды локальных поисковых критериев и признаков (прямых и косвенных) золоторудных полей и месторождений

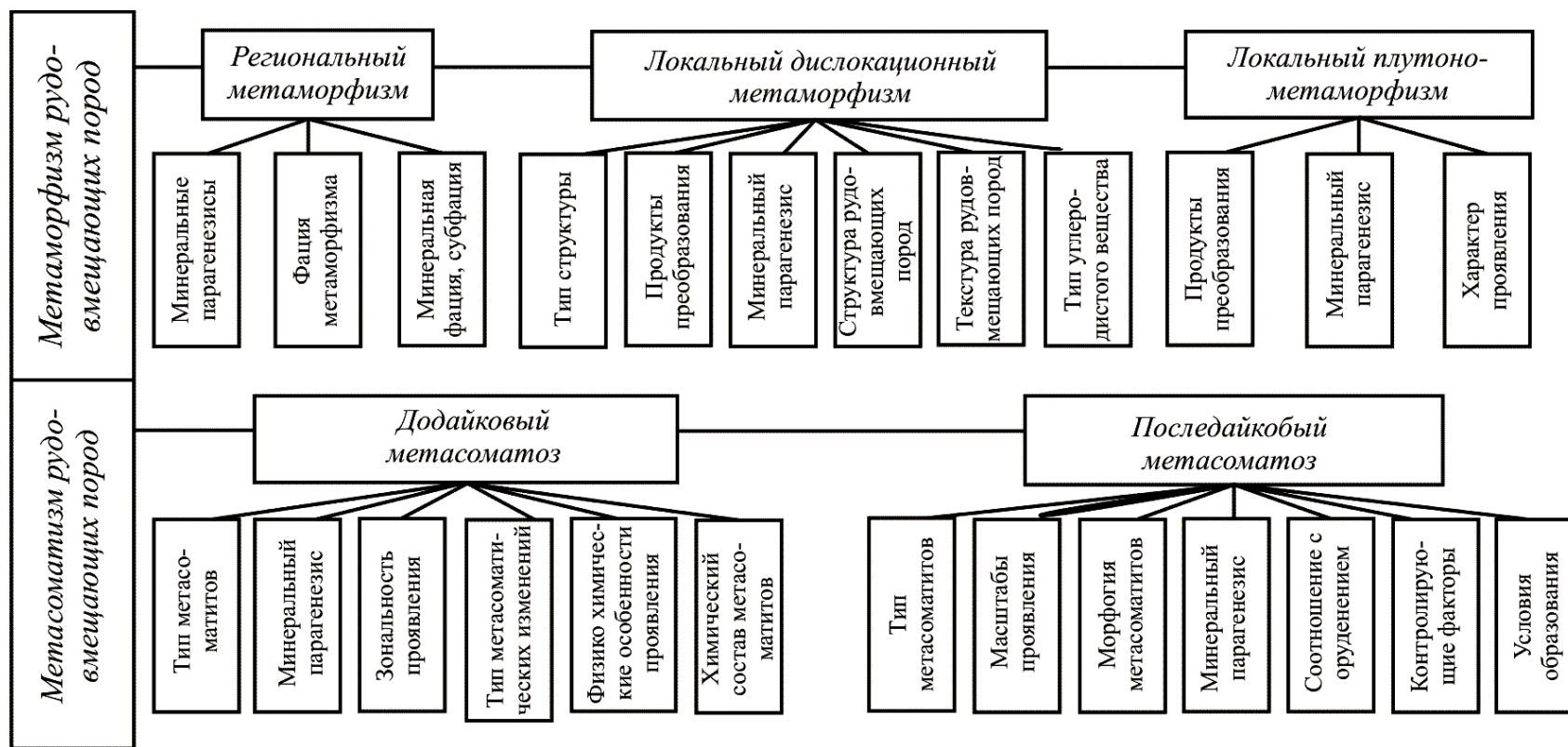


Таблица 10 (продолжение)

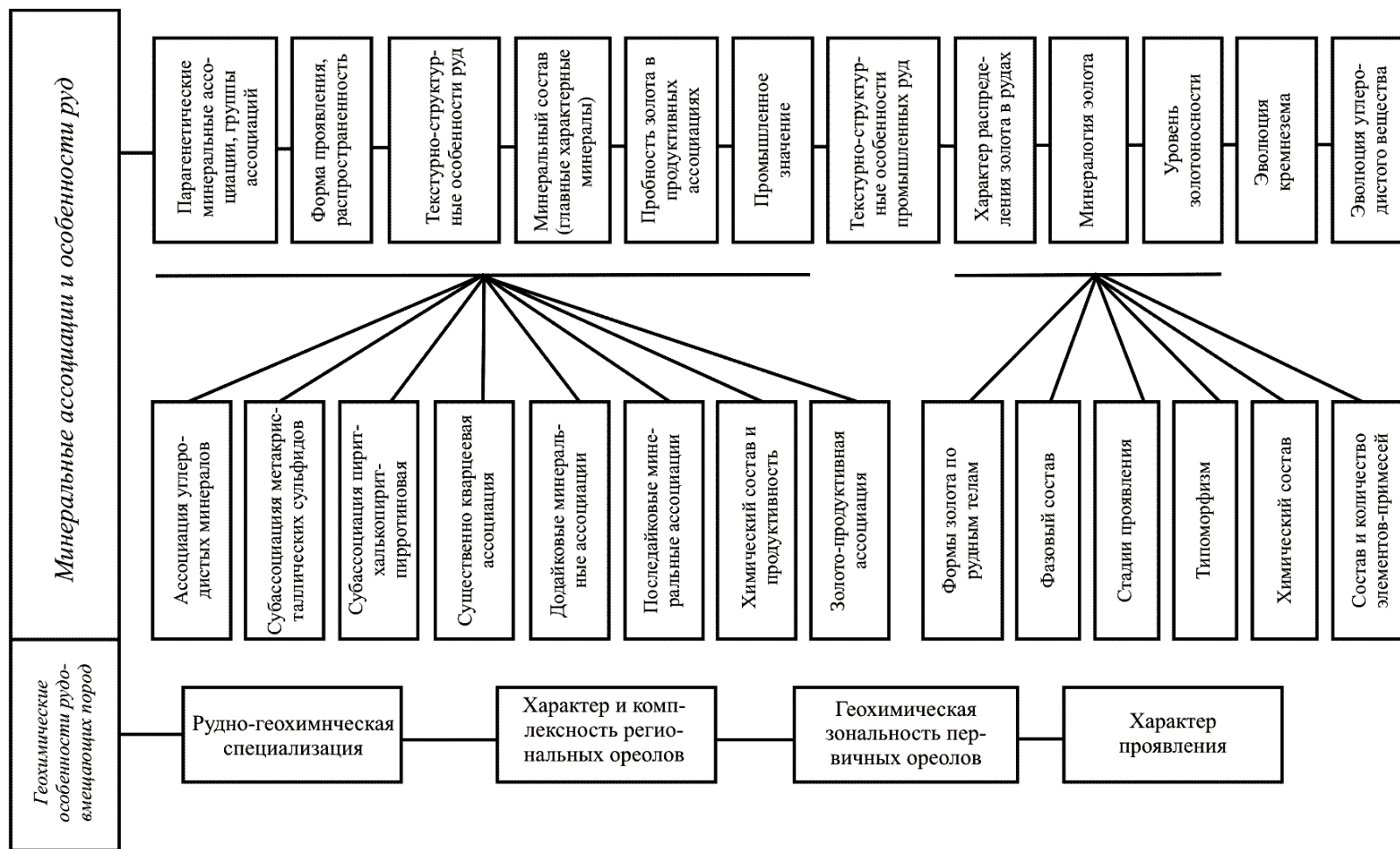
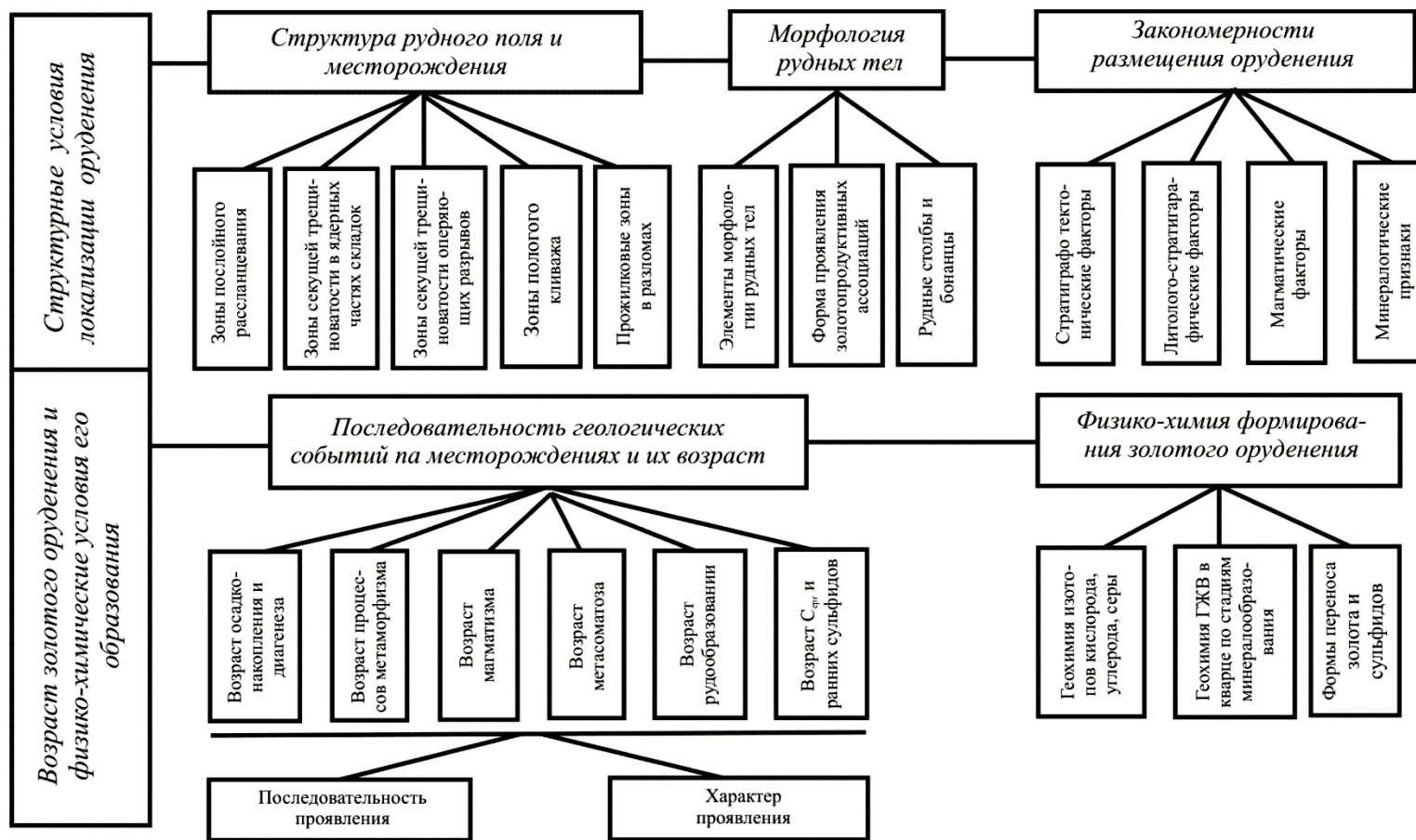




Таблица 10 (окончание)



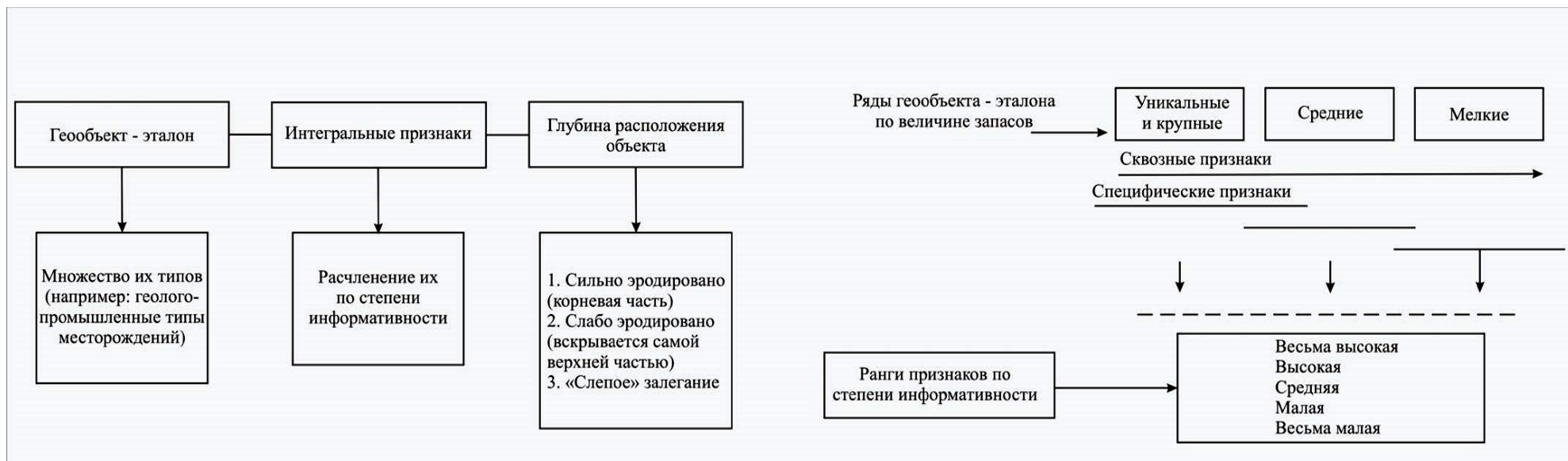


Рисунок 40 - Принцип разработки модели эталонного объекта и его поисковых признаков

Изучение этих особенностей, выраженных в тесной пространственно-генетической или парагенетической ассоциации золотого оруденения на разных стратоуровнях, выявило целый ряд важнейших металлогенических закономерностей, играющих большую роль в прогнозно-поисковой практике. Это, прежде всего, сингенетическое накопление золота, обуславливающее первичную металлогеническую специализацию рудных районов. При этом устанавливается большое разнообразие условий и способов накопления золота (биогенное, хемогенное, адсорбционное, захоронение в виде металлоорганических и тиосульфатных соединений и т.п.), сопутствующее самым различным по возрасту и формационному типу осадкам [71].

При изучении последовательно проявленных геолого-металлогенических процессов роль диагенеза и совмещенных с ним ранних этапов динамометаморфизма до последнего времени практически полностью была исключена из поля зрения специалистов. Наблюдая пространственную ассоциацию золотого оруденения и сульфидов с органическим углеродистым веществом, исследователи зачастую приходили к выводу об их отрицательной корреляции друг с другом, что противоречило представлению об их сингенетичности. Многочисленные формы диагенетической и динамометаморфической трансформации петро- и рудогенных компонентов слабо литифицированной седиментогенной среды принимались за признаки эпигенетичности руд. Все это приводило к ошибке в классификации и оценке признаков металлогенической специализации стратиформных образований за пределами рудных полей, где якобы было исключено влияние эпигенетических (в том числе и гидротермальных) процессов. При этом исследователи не учитывали не только специфику формирования литогеохимических формаций, но и характер эволюции рудоносных слабо литифицированных осадков.

Вторым после первичного обогащения осадков при равных геодинамических обстановках важнейшим этапом формирования уже промышленных месторождений золота являются длительно проявленные коллизионные процессы (ранее именовавшиеся орогенезом) и связанный с ними магматизм, обеспечивающие мобилизацию и переотложение петрогенных и рудных компонентов литогеохимических формаций. Благодаря им широко и масштабно проявляются динамометаморфизм и метаморфизм зеленосланцевой фации, происходит образование складок течения и покровов, надвиговых, сдвиговых и шовных образований, благоприятствующих формированию рудолокализирующих структур. Большое значение для рудогенеза в этот этап приобретают флюидонесущие интрузивные комплексы различного уровня формирования и сложного фазово-фациального состава, в том числе, дайковые образования лампрофирового ряда, связанные с субдукцией литосферных плит. Благодаря этим процессам развиваются масштабные рудоформирующие системы, результатом деятельности которых являются многие крупные (Бестобе) и уникальные (Бакыршик) месторождения Казахстана.

На этом этапе формирования месторождений важную роль играют различные физико-химические и термодинамические барьеры, которые способствуют отложению промышленных концентраций золота.

При подготовке интегральной модели эталонного объекта необходимо произвести ранжирование их по величине запасов. Дело в том, что уникальные и крупные объекты в связи с их длительным и многоэтапным формированием имеют ярко выраженное множество признаков. В то же время мелкие объекты имеют слабо выраженные либо отрывочно проявленные признаки. Поэтому модель объекта – эталона должна иметь интегральный образ, учитывающий все элементы информативного ряда родственных между собой формационных типов объектов. Прогнозная оценка новых наиболее перспективных рудных узлов и крупных известных объектов должна быть произведена на основе интегральной модели разноранговых эталонных объектов с использованием многофакторных металлогенических признаков прогнозируемых рудных районов, рудных полей и месторождений благородных металлов.

Многофакторные металлогенические признаки, взаимообусловленные между собой парагенетичностью их формирования, должны быть переведены в цифровую программу с послойным кодированием родственных признаков по отдельности.

## 4.1 Геологические модели основных промышленных месторождений

### 4.1.1 Модель образования золотого оруденения на месторождении

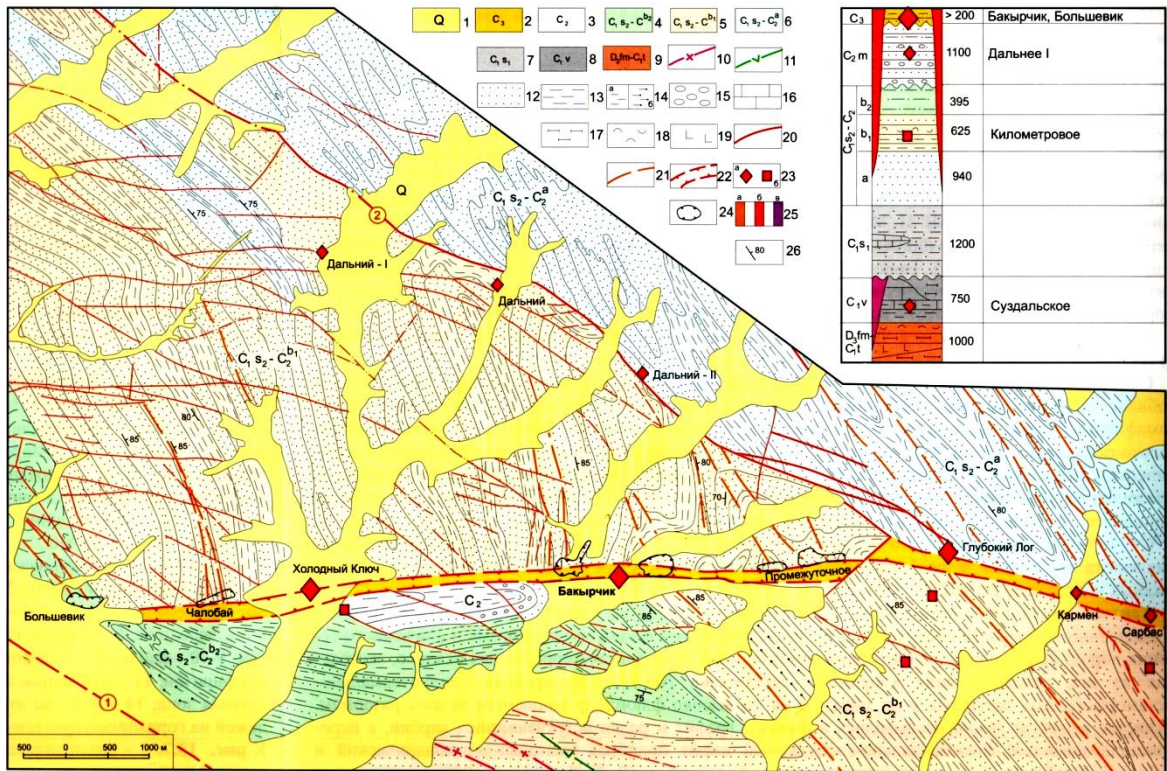
#### Бакыршик

Уникальное по запасам золота месторождение Бакыршик является близким аналогом всемирно известного гиганта Мурунтау в Узбекистане и имеет много общих с ним черт в формировании промышленных золотых руд. Основная особенность становления месторождения - ремобилизация сингенетического золота из черносланцевых углеродисто-аргиллит-алевролитовых отложений в основном процессе тектонометаморфического преобразования пород. Оруденение на месторождении Бакыршик разведано на глубину 1000-1500 м, а рудолокализирующие структуры прослежены геофизическими методами до глубины 3 км, среднее содержание золота 9,4 г/т.

Бакыршикское рудное поле, включающее углеродисто-золотосульфидные месторождения Бакыршик, Большевик, Глубокий Лог, Промежуточное, Чалобай, Холодный Ключ и Сарбас, расположено на участке осложнения зон позднегерцинских коллизий симатических блоков и блоков тектонизированных офиолитов Зайсанской складчатой системы. Сложено каменноугольными морскими ( $C_S$ - $C_2b$ ), прибрежно-морскими (буконьская свита  $C_2m$ ) и континентальными (бакыршикская черносланцевая толща  $C_3$ ) терригенными отложениями с несколькими стратоединицами золотоносных углеродисто-алевролит-пелитовых горизонтов с сингенетичной золото-пиритовой минерализацией. Содержание золота в них на порядок выше фонового, а в бакыршикской черносланцевой толще 100-150 мг/т, органического вещества от 0,2 до 1,5-2,0%, в линзах антракосолита бакыршикской толщи достигает 26,5-54,1%. В алевролит-песчаниковых отложениях единичны горизонты туфов и покровы трахиандезитовых порфиритов. Каменноугольные терригенные толщи прорваны одиночными штоками и многочисленными дайками плагиогранит-порфиритов и диоритовых порфиритов, образующих пояса северо-западного и субширотного простираний.

Осадочные отложения смяты основной складчатостью мезозонально-шовного типа в сжатые (северо-западной ориентировки) линейно вытянутые складки с широким развитием вязких разломов и зон кливажного течения пород. Они пересечены мощной (50-350 м) субширотной Кызыловской надвиговой зоной смятия, проявленной вдоль одиночного глубинного разлома верхнемезозонально - шовную зону наложенной складчатости. В лежащем боку и центральной её части развита система сближенных, полого падающих на север, вязких разломов, сопровождаемых наклонно лежащими сжатыми складками, послойным кливажированием и плейчатостью. Отмечается будинирование даек лампрофиров и прослоев песчаников, развитие складок нагнетания. В тектонически ослабленную Кызыловскую зону внедрена плагиогранит-гранодиоритовая интрузия кунушского комплекса ( $C_3$  -  $P_1$ ), выявленная геофизическими исследованиями на глубине 2-5 км. Она сопровождается золото-кварцевожильными проявлениями (Километровая,

Золотая, Фабричная и др.), являющимися более поздними по отношению преобладающему углеродисто-золотосульфидному оруденению. Для месторождений характерен четкий структурный контроль золотого оруденения. Все рудные объекты углеродисто-золотосульфидного типа расположены в пределах Кызыловской зоны смятия и приурочены к узлам пересечения ею вязких разломов основной складчатости (рисунок 41) [23, с.28].



1 - неоген-четвертичные осадки; 2 - бакыршикская черносланцева толща  $C_3$ ; 3 - буконьская конгломерат-песчаниковая свита  $C_2 m$ ; 4-6 - пачки алевролит-песчаниковой толщи  $C_1-S_2-C_2 b$ : 4 - верхняя пелит-алевролитовая, 5 - средняя алевролит-песчаниковая, 6 - нижняя песчаниковая; 7 - аганактинская алевролит-песчаниковая свита  $C_1 S_1$ ; 8 - опановская аргиллит-известняковая свита  $C_1 v$ ; 9 - карабайская базальтово-кремнистая свита  $D_3 f m_2-C_1 t$ ; 10-11 - дайки: 10 - субщелочных гранит-порфиров и монцонит-порфиров, 11 - диабазов и диоритовых порфиров; 12-19 - разновидности пород: 12 - песчаники, 13 - переслаивание песчаников и алевролитов, 14 - алевролиты глинистые (а) и глинисто-углистые (б), 15 - конгломераты, 16 - известняки, 17 - фтаниты, 18 - туфы, 19 - базальты и андезиты; 20 - разломы (1 - Западно-Калбинский, 2 - Северо-Западный); 21 - вязкие разломы; 22 - Кызыловская надвиговая зона; 23 - месторождения углеродисто-золотосульфидного (а) и проявления золото-кварцевожильного (б) типов, 24 - золотодобывающие карьеры; 25 - интрузивные комплексы: а - габбро-монцонит-граносиенит-гранитпорфировый (семейтауский Т1), б - гранодиорит-плагигранитовый ( $C_3-P_1$ ); в - протрузии ультрабазитов; 26 - элементы залегания пород. [23, с.29].

Рисунок 41- Приуроченность золоторудных месторождений Бакыршикского рудного поля к участкам пересечения Кызыловской зоны смятия с вязкими разломами основной складчатости. [23, с.29].

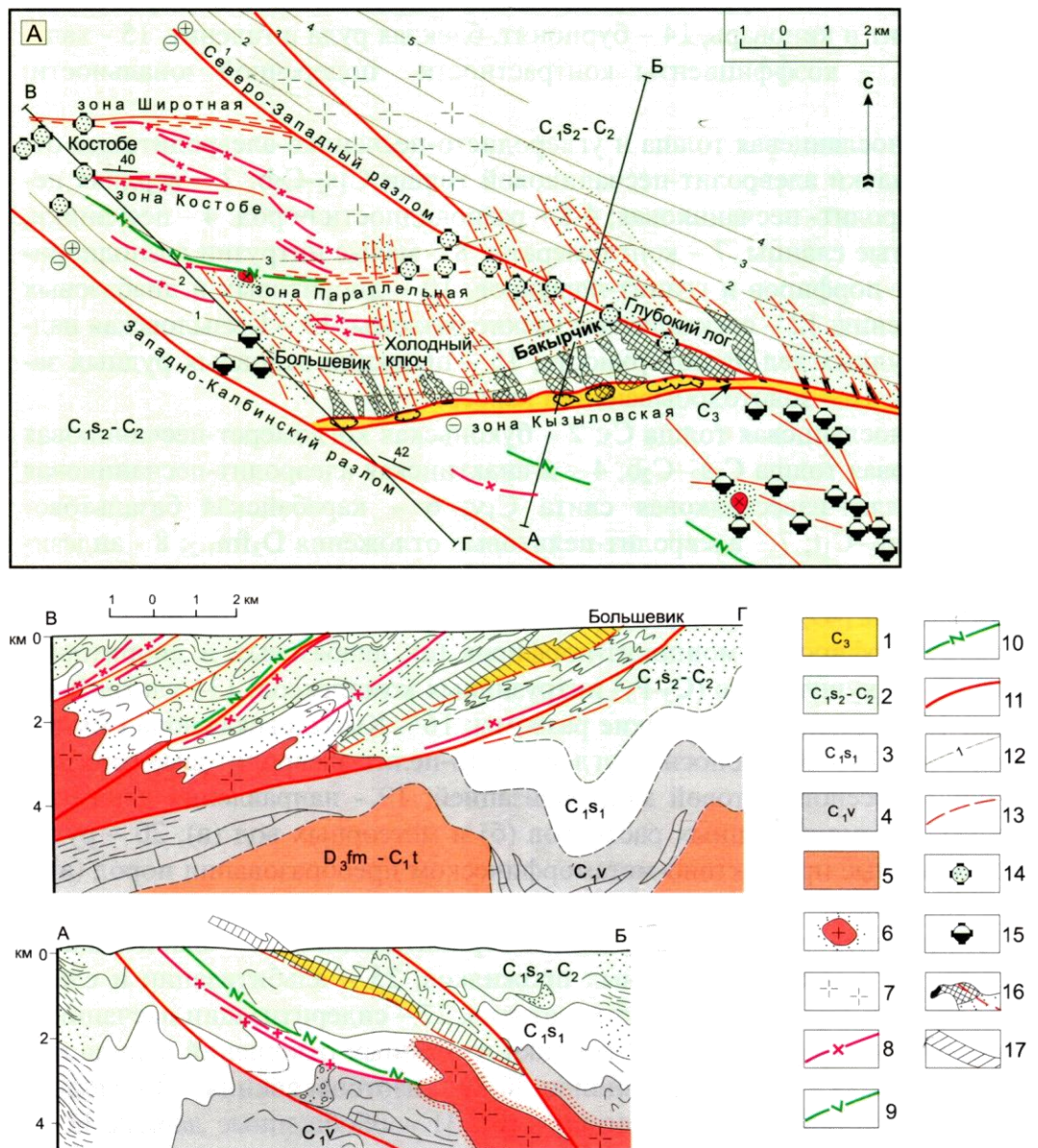
Рудные тела представлены разнообразностью субсогласно линзообразной формы. Они погружаются на север под углом 35-40°, вытягиваясь по падению Кызыловского надвига вдоль линий пересечения с вязкими нарушениями и зонами кливажного течения пород ранней складчатости (рисунок 42). В частности, все золоторудные залежи месторождения Большевик контролируются областью сочленения Кызыловской зоны смятия с серией вязких разломов, развитых в осевых плоскостях тесно сжатых конгруэнтных складок (рисунок 42). Длина рудных тел по простиранию не превышает 120 м, протяженность в направлении погружения превосходит 1200 м.

Структурный контроль оруденения подтверждается трассированием рудолокализирующих зон дислокаций вторичными комплексными и пометальными ореолами рассеяния As, Sb, Mo, W, Au.

На месторождении развиты углеродисто-серицитололитовая, каолинит-гидрослюдистая, кварц-серицитовая, серицит-флогопит-карбонатная, хлорит-альбитовая и другие метасоматические ассоциации. Ведущим типом гидротермальных изменений является углеродисто-серицитололитовый. Общее количество углерода от 0,3 до 26,5 % во вмещающих терригенных породах и 2,5-6,0 % в рудных зонах. Углерод представлен окисленной (карбонаты) и восстановленной (керит, антраксолит, шунгит, графит, битумоиды) формами [23, с.38].

Карбонаты образуют метасоматические нередко сульфидизированные доломитовые, доломит-анкеритовые, брейнеритовые тела. Керит-антраксолит-шунгиты, графит и битумоиды имеют «сквозное» развитие в рудоносной толще. В ореольном пространстве преобладает спиртобензольный битумоид, в рудных телах - хлороформенный [23, с.39].

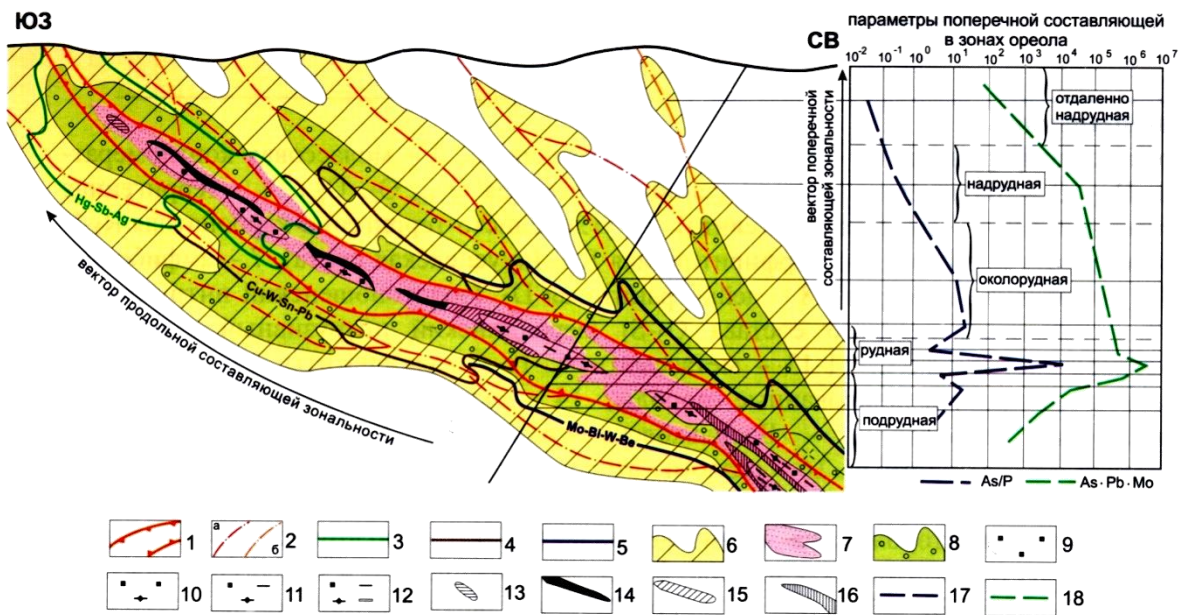
Серицит в рудолокализирующих участках ассоциирует с углеродистым веществом, карбонатом и кварцем (до 60-80 %), на периферии интенсивность данного парагенезиса снижается до 10-20 % [23, с.40].



1 - бакыршикская черносланцевая толща  $C_3$ ; 2 - алевролит-конгломерат-песчанниковые отложения  $C_1S_2-C_2m$ ; 3 - аганактинская свита  $C_1S_1$  - песчаники и алевролиты глинистые; 4 - опановская свита  $C_1v$  - кремнистые алевролиты, фтаниты, песчаники, известняки; 5 - карабайская вулcano-генно-кремнистая свита  $D_3fm-C_1t$  - базальты, туфы, фтаниты; 6-7 - гранодиорит-плагиигранитовые интрузии  $C_3 - P_1$ : 6 - выходящие на поверхность, 7 - скрытые (по геофизическим данным); 8-10 - дайки: 8 - плагиигранит-порфиры, 9 - диоритовые и трахиандезитовые порфиры, 10 - диабазовые порфиры; 11 - разрывные нарушения; 12 - изолинии плоскостей разломов (км) по данным сейсморазведки МОВ; 13 - вязкие разломы; 14-15 - месторождения и рудопроявления: 14 - углеродисто-золотосульфидные, 15 - золото-кварцевожильные; 16 - рудные тела и их проекции на горизонтальную плоскость; 17 — интенсивно дислоцированные в надвиговой зоне золотоносные углеродисто-аргиллит-алевролитовые отложения.

Рисунок 42 - Погружение рудных тел по падению рудовмещающей Кызыловской надвиговой зоны вдоль линий пересечений со складчатыми вязкими разломами. А - геолого-геофизическая карта, Б - разрезы. [23, с.41].





1 - границы Кызыловской золотолокализирующей надвиговой зоны; 2 - нарушения: а - хрупкие, б - вязкие; 3-5 - типоморфные геохимические ассоциации зональной колонны золоторудной залежи: 3 - фронтальная (Hg-Sb-Ag), 4 - центральная (Cu-W-Sn-Pb), 5 - тыловая (Mo-Bi-W-Be); 6 - первичный ореол золота; 7-8 - области накопления: 7 - Au, As, Ag, Sb, 8 - P, B, Li, Pb, Cs, Co, Ni, Cl; 9-12 - продуктивная вкрапленность: 9 - пирита, 10 - пирита с игольчатым арсенопиритом, 11 - пирита с арсенопиритом и пирротинном, 12 - пирита с арсенопиритом, пирротинном и молибденитом; 13-16 - позднепродуктивная убогая сульфидная минерализация в карбонатно-кварцевых прожилках: 13 -антимонит и киноварь, 14 - бурнонит, блеклая руда и галенит, 15 - халькопирит, 16 - молибденит; 17-18 - коэффициенты контрастности поперечной зональности: 17- As/P, 18-Ag Pb Mo. [71, с.20].

Рисунок 43 - Минералого-геохимические ореолы типоморфных ассоциаций в вертикальном разрезе Кызыловской золотоносной зоны [71, с. 20].

Метасоматическая зональность Бакыршика выглядит следующим образом. Углеродисто-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты проявлены на верхних горизонтах, углеродисто-серицитолитовые изменения имеют "сквозное" распространение (максимально выражены в центральной части), серицит-флогопит-карбонатная с апатитом и турмалином ассоциация занимает нижние уровни [71, с. 21]. Рудные минералы образуют пять парагенетических ассоциаций: раннюю мельниковит-пирит-пирротин-марказитовую (с никелином, пентландитом); рудные золото-пирит-арсенопиритовую (с кубанитом, герсдорфитом), золото-кварц-полиметаллическую (с блеклой рудой, халькопиритом, галенитом, сфалеритом) и золото-кварц-карбонат-шеелит-халькопиритовую с брейнеритом, доломитом, айкинитом, свободным Au; позднюю кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовую с марказитом и тонким переотложенным Au[71, с. 22]. Золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация имеет «транзитное» развитие, мельниковит-пирит-пирротин-марказитовая и

золото-кварц-карбонат-шеелит-халькопиритовая отмечаются на больших глубинах, золото-кварц-полиметаллическая и кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая тяготеют к средним и верхним горизонтам [72].

В суммарном балансе золота ведущую роль (более 90 %) играет прожилково-вкрапленная золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация (пирит 1,5-22,0 %, арсенопирит 3,0-15,0 %). На верхних горизонтах пирит преобладает над арсенопиритом (соотношение 3,5:1), на средних и глубоких пирит имеет подчиненное развитие (1:3). Дисульфид Fe образует агрегативные скопления, глобулы, кубические, пентагондодекаэдрические, кубооктаэдрические кристаллы.

*Генезис месторождения* продолжает оставаться дискуссионным. Значительная часть исследователей – Х.А. Беспаяев, В. Глоба, В.И. Фомичев и др. признают существование рудоподготовительного экзогенного этапа, и наложенного эндогенного гидротермально-метасоматического в над интрузивной зоне кунушского комплекса малых интрузий. Но эти интрузивы отсутствуют в Кызыловской зоне надвигов – в главной рудоконтролирующей структуре. Иногда на контакте даек бывает виден пирит и контактовые изменения. Но они очень малы в сравнении с масштабом стратиформных рудных тел месторождения Бакыршик. Это следует помнить всем, кто связывает образование этого месторождения с магматизмом. По мнению В.Н. Любецкого [73] образование этого месторождения связано с мантийными флюидами потоками, с которыми по мнению этого исследователя связан углеродистый метасоматоз. Но эта точка зрения должна обязательно подтверждаться присутствием мантийного углерода.

Оруденение сформировано в три основных этапа: 1) седиментный осадочно-диагенетический, 2) тектоно-метаморфогенный и 3) интрузивно-термально-метаморфогенный.

*Седиментный осадочно-диагенетический этап* - золото, как и ассоциирующие с ним никель и кобальт, экстрагировались ювенильными флюидами в период тектонической активизации из ультрамафитовых пород океанического основания и зон серпентинитовых протрузий. Мобилизованное золото осаждалось в илоподобной среде мелководных бассейнов и подводных дельт, богатой органическим веществом и сероводородом, развивались глобулярно-фрамбоидальные включения и прожилки пирита с образованием в процессе диагенеза ритмично-слоистых золотоносных углисто-глинистых и углисто-алевролит-пелитовых осадков (рисунок 44). Изотопный состав углерода ритмитов  $\delta^{13}\text{C} = -14 \div -31\text{‰}$  указывает на его биогенную природу (Н. М. Заири, 1978) [74]. Ремобилизация и миграция золота при диагенезе (слабощелочная среда,  $T = 100-150^\circ\text{C}$ ) осуществлялась в виде гидросульфидных комплексов  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ .

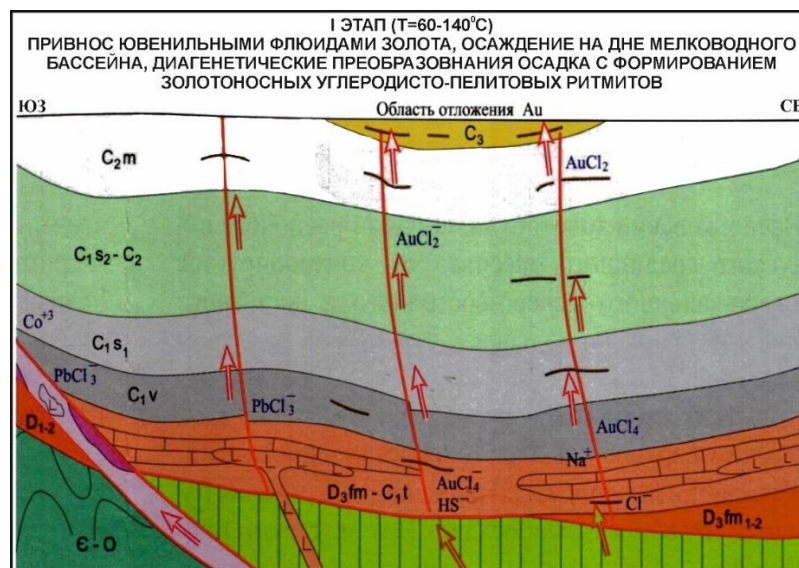


Рисунок 44 - А – Графическая модель процесса диагенеза ритмично-слоистых золотоносных углисто-глинистых и углисто-алевролит-пелитовых осадков. Условные обозначения смотри на рисунке 50.

В процессе трансформации рудного вещества и образования промышленных прожилково-вкрапленных золото-сульфидных руд ведущая роль принадлежит метаморфизму и динамометаморфизму пород, проявившихся вследствие интенсивно развивавшейся коллизионной тектоники в позднекаменноугольную и пермскую эпоху дислокаций. В составе углеродисто-терригенного комплекса преимущественным распространением пользуются прибрежно-морские молассовые отложения (C1s-C2b) мощностью 2000-4500 м. По содержанию углерода ( $S_{орг} = 0,3 - 2,1\%$ ) они относятся к малоуглеродистым породам. Выше морская моласса сменяется высокоуглеродистой наземной, в составе которой преобладают сероцветные аргиллито-песчаниковые и флювиолимнические высокоуглеродистые черносланцевые литофации с рассеянным органическим веществом сапропелевой и растительно-детритовой природы и содержаниями  $S_{орг}$  от 0,3-0,6% до 14,5%, в среднем 0,96%. Широко развиты линзы антракосолита и прослойки каменного угля, стяжения сидерит-шамозитовых болотных руд, фосфатонесных конкреций [23, с. 55], горизонты и линзы разнозернистых осадков суспензионных потоков и обвальных брекчий взмучивания с «катышами» черных алевролитов (рисунки 45 и 47). В рудных зонах углеродистое вещество развито в виде слепых микропрожилков, вкраплений и мелких гнезд [23, с. 56]. В зонах дробления появляются мятые, рассланцованные породы и кварц-углеродистые брекчии, обогащенные золотоносным пиритом. В составе этих брекчий были выявлены мономинеральные обособления углеродистого вещества, соответствующего шунгиту (по Марченко Л.Г.). По данным Веселова А.В., на основании

термографических исследований углеродистое вещество вмещающих пород было отнесено к группе антраколита [23, с. 57].

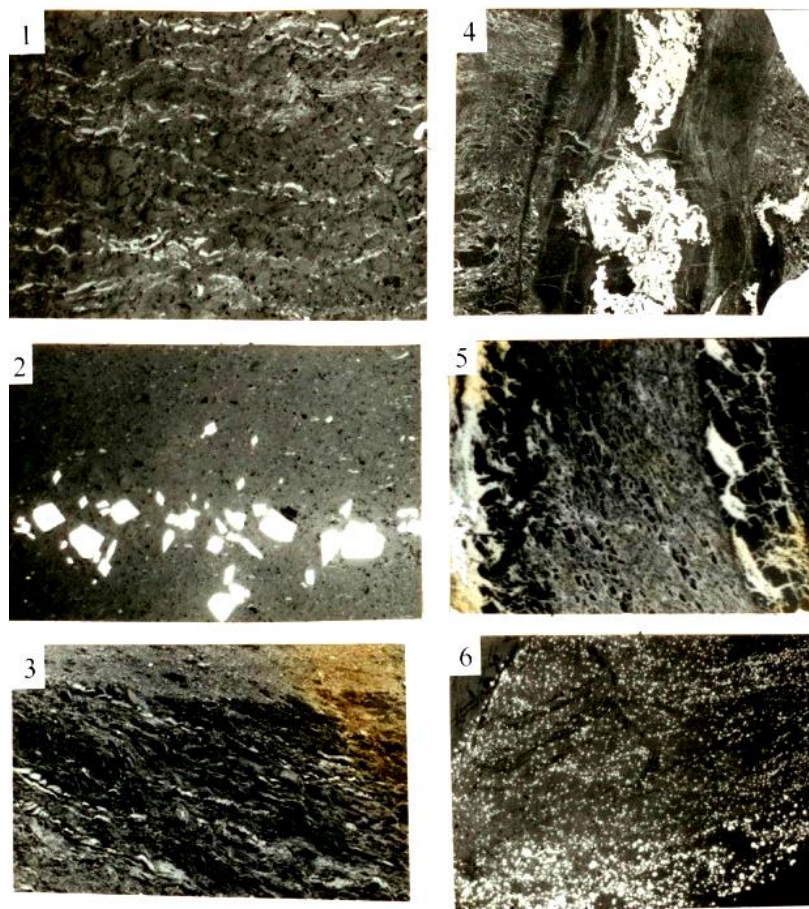


Рисунок 45 - Характер распределения органического вещества в рудовмещающих отложениях (Cg) месторождения Бакыршик. 1 - микрослойки и пылевидный детрит углистого вещества в алевропесчаниках. Шлиф полированный, ув. 25; 2 (3) - линзующиеся прослои антраколита в углистых алевролитах (уступ карьера - 3 на гор.330 м); 3 (4) - ассоциация антраколита, углистых пелитов и седиментогенного пирита (светлое); 4 (6) - субмикроскопические псевдоморфозы пирита по органике. Шлиф полированный, ув 50. [23, с. 31]



Рисунок 46 - Глобулярный пирит (яркие шарики) в углистом веществе.  
Бакыршик

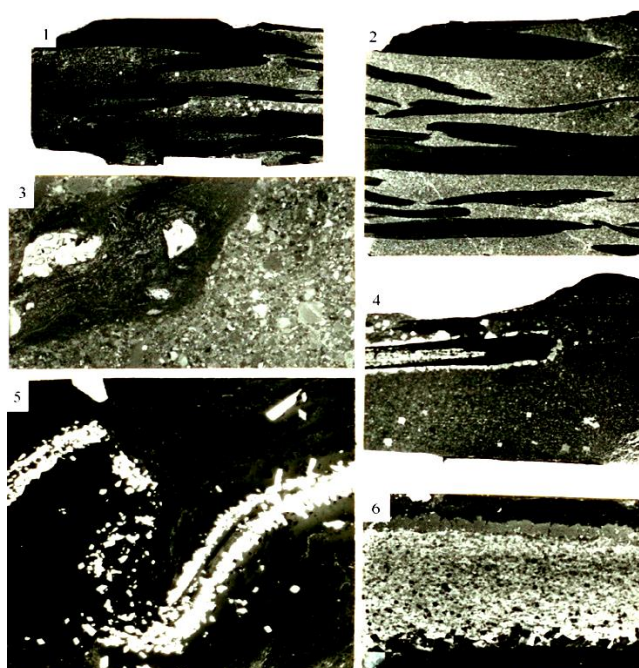


Рисунок 47 - Подводно-оползневые брекчии (1-4) с избирательным метасоматическим замещением сульфидами цементирующей их массы и прослоев известковистых алевропесчаников (5,6). В брекчиях часто встречаются обломки углеродистых алевролитов с сингенетическими сульфидами (3,4). На фиг.4, 6 видно отложение метакристаллов пирита на поверхности углистых алевролитов. Образцы полированные, натуральная величина.

**Тектоно-метаморфогенный этап** - образование мезозонально-шовной складчатости в условиях повышенных температур цеолитовой и хлорит-серицитовой фаций метаморфизма и кливажного течения пород, происходили дегидратация эпизональных углеродисто-терригенных осадков, экстракция из них золота в виде хлоридных комплексов  $AuCl_2$  и формирование

гидротермально-метаморфогенных растворов и их циркуляция по высоко флюидопроницаемым вязким разломам (рисунок 48) [70, с.54]. Угlistое вещество преобразовывалось в шунгит, графит и редко встречающийся карбин, а перекристаллизованный фрамбоидально-глобулярный пирит приобрел пентагон-додекаэдрический и кубический габитус. В этот этап (стресс-метаморфический, по В. Б. Чекваидзе, 1999) миграция метаморфогенных растворов сопровождалась рассеянной околоразломной серицитизацией, проявлением кливажно-прожилкового окварцевания и образованием шунгито-серицитовых метасоматитов [70, с.55]. Содержание углеродистого вещества в обрамляющих оруденение шунгитово-серицитовых метасоматитах и тектонитах - 13,4-15,2%. Ремобилизованное золото осаждалось на восстановительных геохимических барьерах, наиболее интенсивно на участках слияния разнонаправленных потоков гидротермально-метаморфогенных растворов, циркулировавших по вязким разломам основной складчатости и Кызыловской зоны смятия. Метаморфогенная природа новообразований подтверждается изотопами углерода шунгитов ( $\delta^{13}\text{C} = -22 \div 26,8\%$ ), кислорода и углерода карбонатов ( $\delta^{18}\text{O} = +12 \div +18 \%$ ,  $\delta^{13}\text{C} = -2,5 \div -10\%$ ) [70, с.56]. Температурный интервал метаморфогенного преобразования составляет 200 - 250°C (Н. М. Заири, 1978). Преобладание в газовой фазе флюидов азота, водорода, метана, диоксида углерода (В.А. Нарсеев, 2001) обусловлено их формированием в процессе разложения органических, в том числе азотсодержащих соединений при тектонометаморфическом преобразовании пород [70, с.57].

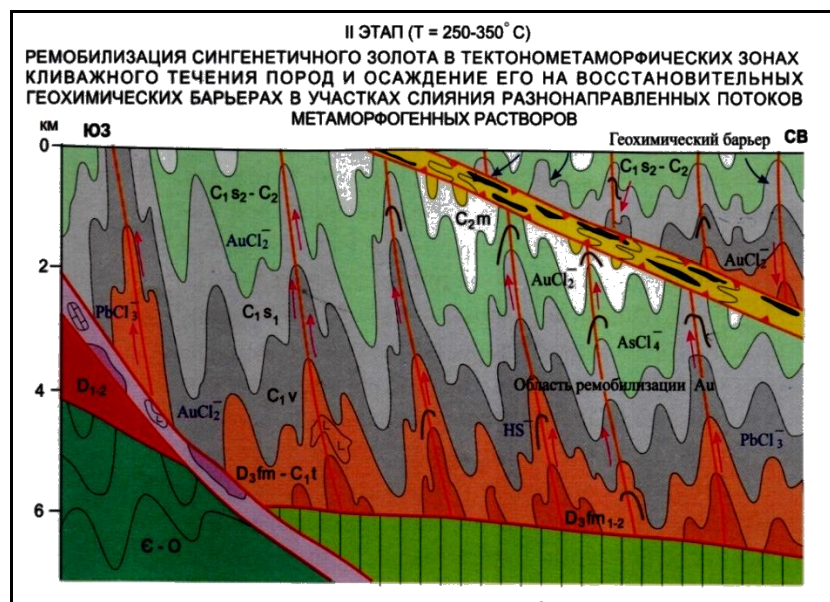


Рисунок 48 - Графическая модель тектоно-метаморфогенного этапа. Условные обозначения смотри на рисунке 54 [70, с.57].

**Тектоно-метаморфогенный этап** совмещен с поздне-диагенетическо-катагенетическим преобразованием слабо литифицированных осадков. В этот период вдоль покровно-надвиговых нарушений происходит интенсивный динамометаморфизм рудовмещающих пород, совмещенный с региональным метаморфизмом каменноугольных отложений всей Западно-Калбинской металлогенической зоны, с гидропластическим выдавливанием и течением сульфидоносных пелитов, их будинированием, разлинзованием, брекчированием и смятием (рисунки 49-53) [23, с. 34].



Рисунок 49 - Зона смятия с максимальным преобразованием углеродистого вещества в зеркалах скольжения. Пришлифовка.



Рисунок 50 - Распределение пиритовой и арсенопиритовой минерализации и кварцевых просечек в будине, обогащенной углеродистым веществом. Образец.

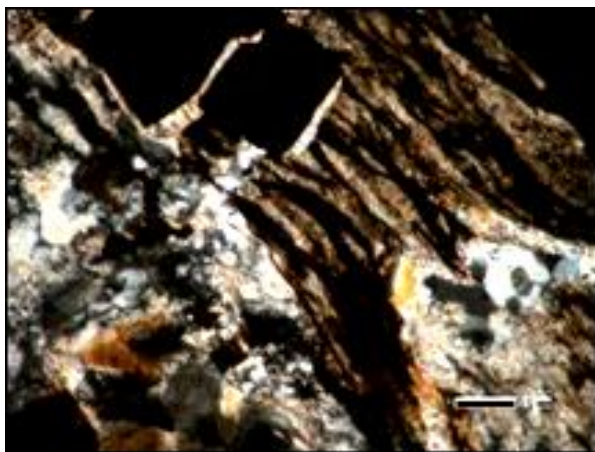


Рисунок 51 - Рассланцованный брекчированный аргиллит с вкрапленностью пирита и арсенопирита с оторочками («тени давления») из кварца. Прозрачный шлиф.

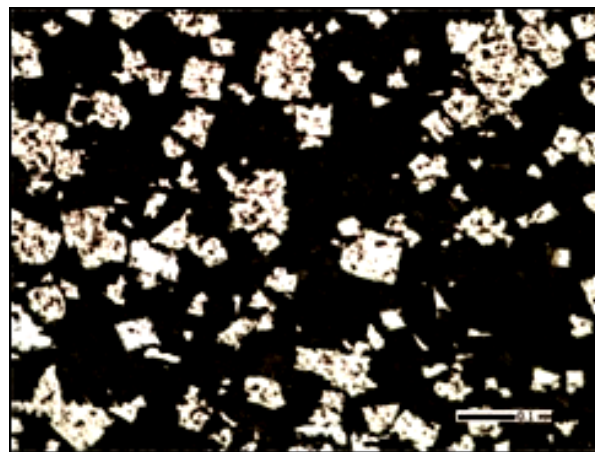
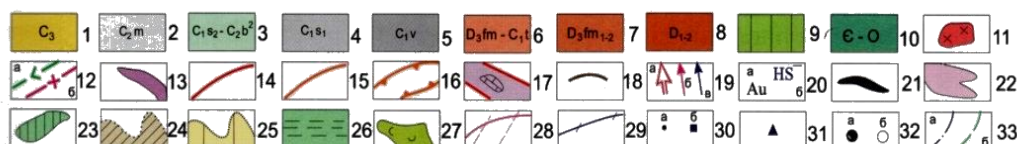
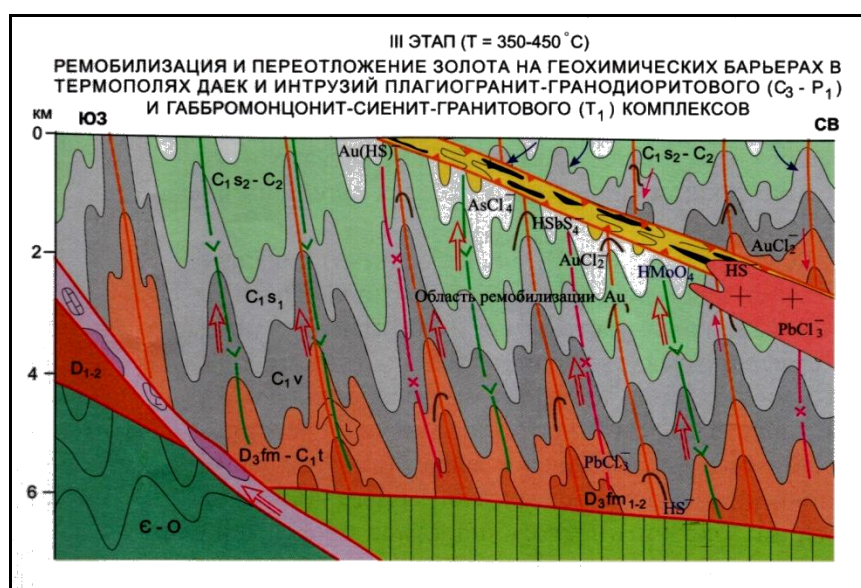


Рисунок 52 - Пирит-арсенопиритовая руда в углеродистом рассланцованном аргиллите. Аншлиф.



Рисунок 53 - Будина с зональным распределением пирит-арсенопиритовой минерализации, наложенной на параллельно-слоистую породу. Образец.

**Интрузивно-термально-метаморфогенный этап** - ремобилизация сингенетического и гидротермально-метаморфогенного золота в ареалах воздействия интрузии и даек гранодиорит - плагиогранитового комплекса ( $C_3$ - $P_1$ ) и пироксеновых диабазов семейтауского интрузивного комплекса ( $T_1$ ); транспортировка золота гидротермальными растворами по вязким нарушениям, образование золото-антимонит-энаргитовой парагенетической ассоциации с обогащением ранее образованных рудных залежей и сопровождающих их метасоматитов (рисунок 54). В отличие от свинцов ранних руд абсолютный возраст свинцов флюидов интрузивно-термально-метаморфогенного этапа  $300 \pm 15$  ( $C_3$ - $P_1$ ) и  $230 \pm 10$  ( $T_{1-2}$ ) млн. лет (Н. Г. Сыромятников, 1999) [70, с.58].



К условным обозначениям: 1 - бақыршикская черносланцевая толща  $C_3$ ; 2 - буконьская конгломерат-песчаниковая свита  $C_{2m}$ ; 3 - алевролит-песчаниковая толща  $C_{1s2-C2b}$ ; 4 - аганактинская алевролит-песчаниковая свита  $C_{1s2}$ ; 5 - опановская аргиллит-



известняковая свита  $C_{1v}$ ; 6 - карабайская базальтово-кремнисто-известняковая свита  $D_3fm_2-C_{1t}$ ; 7 - алевролит-пелитовые отложения  $D_3fm_1-2$ ; 8 - андезит-базальтово-терригенные отложения; 9 - основание океанического типа; 10 - андезит-базальтово-кремнисто-терригенные образования  $C_1-O_2$ ; 11 - плагиогранит-гранодиоритовые интрузии  $C_3 - P_1$  12 - дайки субщелочных гранит-порфиров и монцонит-порфиров (а), диабазовых и диоритовых порфиров (б) семейтауского (Т1) и кушунского ( $C_3-P_1$ ) интрузивных комплексов; 13- ультрабазиты; 14- разрывные нарушения; 15 - соскладчатые вязкие разломы; 16 - Кызыловская зона смятия; 17 - серпентинитовый литомеланж; 18 - золотоносные углеродисто-пелит-алевролитовые горизонты с сингенетичной золото-пирит-арсенопиритовой минерализацией; 19 - направления движения ювенильных флюидопотоков (а), метаморфогенных растворов (б) и метеорных вод (в); 20 - рудо-генные компоненты, ремобилизованные при тектоно-метаморфическом преобразовании пород (а) и привнесенные ювенильными флюидами (б); 21 - золоторудные залежи; 22-27 - околорудно-метасоматические ореолы: 22 - интенсивного окварцевания и серицитизации, 23 - альбитизации, хлоритизации и карбонатизации, 24 - анкерит-кварцевых прожилков, 25 - альбитизации и слабо проявленной серитизации, 26 -шунгит-серицитовых метасоматитов, 27 - сидеритизации песчаников; 28-29 - графики изотопных отношений свинца моделей: 28 - одностадийного развития, 29 - плюмботектоники; 30-31 - изотопы свинца: 30 - данные О.Г. [70, с.59]. Кошевого по рудам (а) и сингенетичной минерализации (б), 31 - обобщенные данные Н. Г. Сыромятникова; 32 - средние по горизонтам значения изотопного состава серы пиритов (а) и арсенопиритов (б); 33 - тренды распределения по падению рудных залежей значений  $\delta^{34}S$  пиритов (а) и арсенопиритов (б).

Рисунок 54 - Графическая модель интрузивно-термальнометаморфогенного этапа, характеризующая ремобилизацию сингенетичного и гидротермально-метаморфогенного золота. [70, с.59].

Золото, связанное с этим этапом, играет ведущую роль и концентрируется в двух сульфидах – пирите и арсенопирите в невидимой форме, придавая рудам их упорность и тем самым требуя от технологов разработки особых схем извлечения такого золота. На рисунке 55 показаны главные концентраторы невидимого золота. С помощью растрового электронного микроскопа обнаружено ультрадисперсное золото, невидимое в световой микроскоп (рисунок 56).

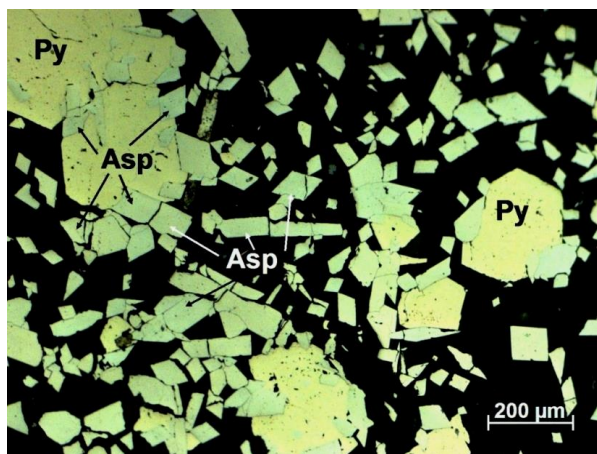


Рисунок 55 – Пентагондодокаэдрический и кубический пирит (Py) в сростании с арсенопиритом (Asp).

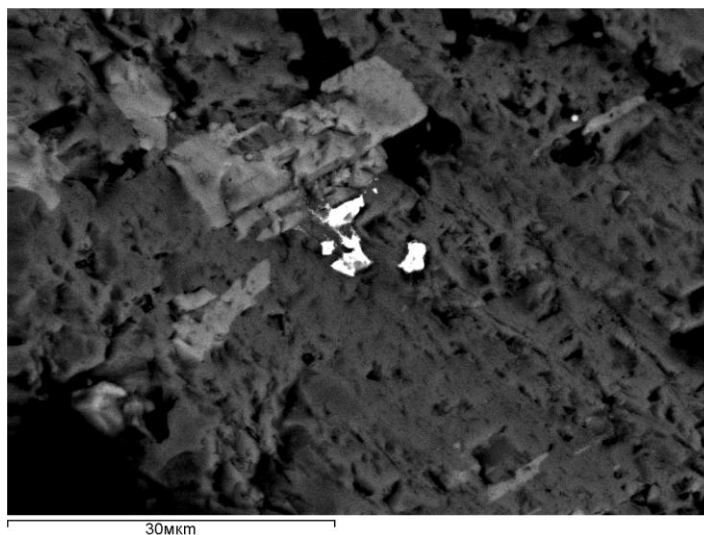


Рисунок 56 – Ультрадисперсное золото (белое) в мышьяковистом пирите (серое). Растровый электронный микроскоп (РЭМ).

Таким образом, к основным индикаторам месторождений бақыршикского типа относятся:

1. Золотоносные ритмично-слоистые углеродисто-глинистые и углеродисто-алевролит-пелитовые микрофации черносланцевой толщи с повышенными содержаниями сингенетичного золота (10-150 мг/т), органического вещества (1-10%) и в форме глобулярно-фрамбоидального пирита.

2. Интенсивное проявление мезозонально-шовной складчатости, сопровождаемой вязкими разломами и зонами кливажного течения пород, многоэтапность деформационных процессов и образование гибридных структур пересечения пликативных дислокаций [70, с.62].

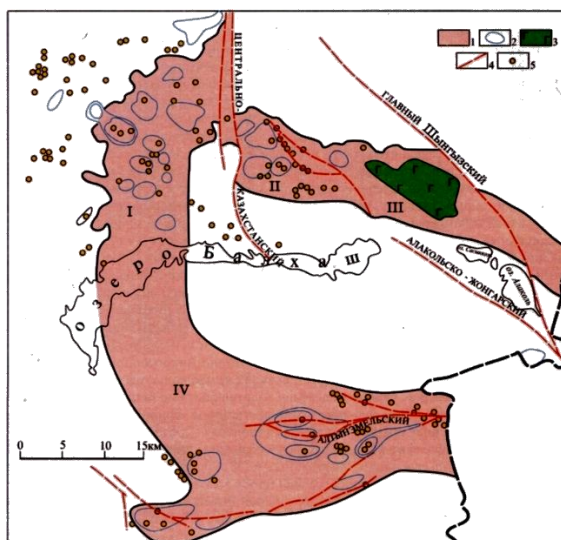
3. Широкое развитие хлорит-альбитовых, шунгит-серицитовых и серицито-флогопит- карбонатных метасоматитов в зонах кливажного течения и вязких разломов.

При составлении модели учтены материалы Т.М. Жаутикова, Ю.В. Гостева, В.И. Зенкова, Л.Г. Марченко, Е. Нусипова, В.Б. Чекваидзе, А.А. Шиганова [70, с.63].

#### **4.1.2 Модель образования золотого оруденения на месторождении Архарлы**

Месторождения рассматриваемого комплекса приурочены к различному рангу структурам центральной области Прибалхашско-Илийского окраинно-континентального пояса (рисунок 57). Металлогения пояса характеризуется проявлением различных формационных и возрастных групп цветных, благородных и редких металлов [70, с.64]. Среди проявлений благородных металлов наиболее типично разновозрастное золото-серебряное оруденение. В Токрауском и Калмак-Эмельском синклиниях оно тесно ассоциирует с группой андезит-липаритовой формации и имеет возраст от раннего карбона до

нижней перми. В пределах Илийской зоны преобладают позднепермско-раннетриасовые его представители.



1 - верхнепалеозойский вулcano-плутонический пояс; 2 - палеовулканические сооружения; 3 - трахибазальты с медно-цеолитовой минерализацией; 4 - разломы; 5 - кварцадуляровые вторично-кварцитовые золото-серебряные проявления порфировых систем. Районы: I - Токрауский, II - Калмак-Эмельский, III - Баканасский, IV – Илийский

Рисунок 57 - Схема золотоносности верхнепалеозойского вулcano-плутонического пояса.

Месторождения золото-серебряной формации представлены золоторудными и золото-серебряными объектами, преимущественно жильного типа, приуроченными к области широкого развития позднепалеозойских вулканитов Северного Прибалхашья и Южной Джунгарии. По тесной связи руд с вулканогенными образованиями они сходны с близповерхностными месторождениями Дальнего Востока, Забайкалья, Тихоокеанского побережья Америки, Трансильвании и других областей, где данная формация имеет промышленное значение.

Казахстанские месторождения золото-серебряной формации приурочены к верхнепалеозойским кольцевым вулcano-тектоническим структурам. В их расположении ведущая роль принадлежит зонам глубинных разломов (Даулетбайский, Калмак-Эмельский и др.), в значительной степени скрытых под вулканическими сооружениями верхнего палеозоя. В гравитационном поле эти разломы отчетливо выражены региональными зонами градиента поля силы тяжести и, вероятно, обособляют отдельные блоки среднепалеозойского фундамента с различным геологическим строением. Зоны разломов представлены серией субпараллельно ориентированных разрывных нарушений, по которым внедрены дайки и субвулканические тела.

В пределах Прибалхашско-Илийского пояса оруденение рассматриваемой формации характеризуется полихронностью ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $T_1$ ), связью с

вулcano-плутоническими формациями различного состава и самостоятельными дайковыми комплексами, значительным минералого-геохимическим различием, обусловленным изменением условий рудоотложения, а также различной степенью эродированности магматогенно-рудной системы. Совокупность этих факторов определила разнообразие минеральных типов формаций, а в некоторых случаях и существенные отличия, выходящие за рамки общей формационной характеристики.

В возрастном ряду проявлений золото-серебряной формации наиболее молодыми являются месторождения Юго-Западной Жонгарии. По наложенности оруденения на отложения риолит-базальтовой формации (Р-Т<sub>1</sub>) и по данным свинцово-изотопных исследований Н. Г. Сыромятникова и др. (среднее по 8 пробам 240±4 млн. лет), однозначно определяется Р<sub>2</sub>-Т<sub>1</sub> возраст руд. Наиболее типичным представителем формации в этом регионе является месторождение Архарлы, на рудных участках которого отмечается отчетливое наложение оруденения на дайки лампрофирового ряда, интродуцирующих вулканогенные породы (Р-Т<sub>1</sub>).

В определении тектонических особенностей Архарлинского месторождения ведущая роль принадлежит трещинам отрыва, наложенным на элементы палеовулканической структуры и образованным в результате длительной сдвиговой деформации. Рудоносные кварцевые жилы выполняют кулисообразно эшелонированные трещины отрыва, резвившееся над потенциальными сдвигами фундамента вулканической постройки в определенной соподчиненности элементам кольцевых вулканотектонических структур.

Месторождение Архарлы, в отличие от других представителей золото-серебряной формации Прибалхашско-Илийского пояса, характеризуется отчетливо выраженной зональностью рудоотложения (рисунок 58). Она наиболее ярко проявлена в адуляр-кварцевых и галенит-сфалерит-кварцевых жилах месторождения. Первые в наименее эродированной части сложены слабо золотоносными друзовыми и крустификационными агрегатами кварца и адуляра с примесью барита и убогой вкрапленностью пирита. С глубиной они сменяются малосульфидными адуляр-кварцевыми рудами колломорфно-полосчатой текстуры. Ниже по падению рудных тел количество серебряных минералов резко падает, и преобладающими становятся сфалерит, электрум, халькопирит, пирит, а на выклинивании жил - пирит, халькопирит, электрум увеличивается.

Соответственно, в направлении от золото-аргентитовой зоны к золото-пирит-халькопиритовой, тонкополосчатая колломорфная текстура жил сменяется неяснополосчатой и массивной; в жилах уменьшается содержание сульфидов, золота, хлорита, адуляра; окраска адуляра меняется с оранжевой на светло-розовую и желтоватую; исчезают аметист и барит; возрастает величина серебро-золотого отношения (от 5 до 40); уменьшается размах колебаний

пробы золота и величина его выделений; дисперсия и средняя пробность золота.

Для месторождения Архарлы характерны резко изменчивые значения (5-50) Ag/Au отношения и относительно низкая (630-750) пробность золота.

Таким образом, главнейшими особенностями золоторудных месторождений Балхашского металлогенического комплекса являются:

1. Тесная структурно-парагенетическая связь малоглубинного золотого оруденения с магматизмом вулканоплутонического пояса, с которым оно составляет единую магматогенно-рудную систему.

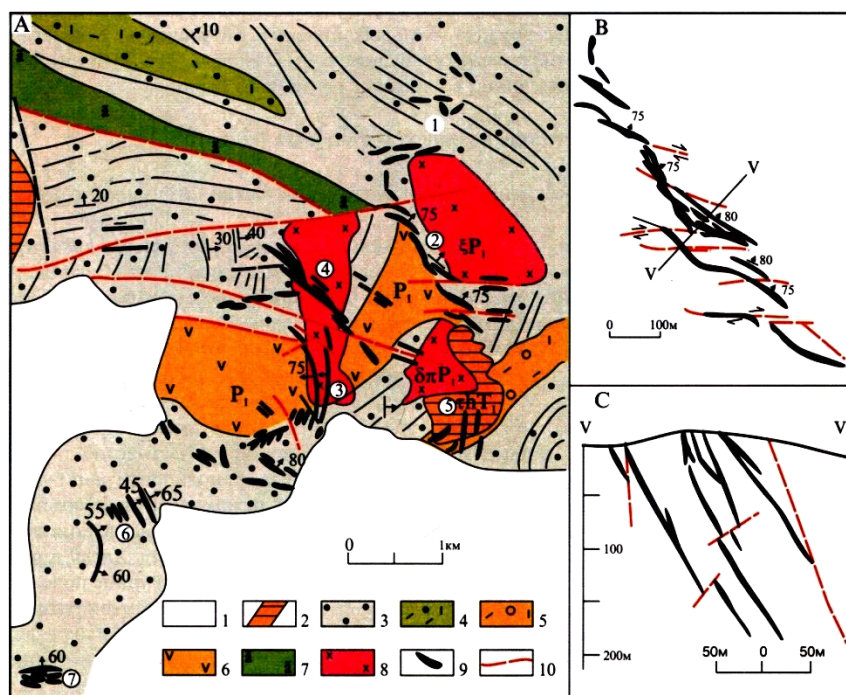
2. Приуроченность месторождений к зонам долгоживущих глубинных разломов, пересекающих сложные системы палеовулканических сооружений, фрагментам концентрических и радиальных разломов кольцевых вулканотектонических структур, специфическим рудоносным эксплозивным сооружениям, часто совмещенным с центрами вулканических построек. [120, с. 31].

3. Широкое распространение полей эпидот-актинолит-хлоритовых пропицитов или низкотемпературных вторичных кварцитов, служащих одним из признаков оконтуривания площадей развития золото-адуляр-кварцевого оруденения [120, с. 32].

4. Наличие собственно околожильных метасоматитов адуляр-кварцевого и гидрослюдисто-кварцевого состава, первичных ореолов рассеяния Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, As, обширных ореолов калия, а также отчетливо выраженной минералого-геохимической зональности оруденения [120, с. 33].

5. Значительная изменчивость Ag/Au отношения руд основных месторождений, при относительно низкой пробности золота. Отмечается некоторая зависимость понижения пробности Au в связи с увеличением сульфидности руд [120, с. 34].

В целом, данный металлогенический комплекс имеет большие перспективы в выявлении промышленных месторождений золота и серебра. Первоочередными для изучения авторы считают следующие вулканотектонические структуры: Архарлинско-Дегересскую, Жельдыкаринскую, Катутаускую, Коашагайскую, Кетменьскую, Калмакэмельскую и Южно-Калмакэмельскую рудные зоны (Музбель, Туз, Туйетас, Жалтас и др.), прогнозные суммарные ресурсы которых по золоту составляют не менее 635 тонн.



1 - современные отложения; 2 - раннетриасовые некии трахиолитов; 3-8 - пермские образования: 3 - осадочные породы, 4 - игнимбриты, 5 - риодациты, 6 - дациты, 7 - андезитодациты, 8 - субвулканические тела диоритов и диоритовых порфиритов; 9 - золотонесные кварцевые жилы; 10 -разломы. Участки: 1 - Северный, 2 - Северо-Восточный, 3 -Восточный, 4 - Восточный II, 5 - Кызылшоки, 6 - Центральный, 7 – Южный

Рисунок 58 - Балхашский металлогенический комплекс. Архарлинское месторождение Архарлы. Северо-восточный участок. Схема размещения золотонесных кварцевых жил в плане (B), в разрезе (C).

#### 4.1.3 Модель образования золотого оруденения на месторождении Бестобе

Месторождение Бестобе приурочено к осевой части узкой грабен-синклинали северовосточного простирания, входящей в состав Селетинского прогиба (рисунок 59). Рудовмещающая толща представлена преимущественно терригенным комплексом отложений среднего ордовика (лландейл - нижний карадок), относимых к изобильной свите (рисунок 60). Они на месторождении расчленены на 6 пачек (снизу вверх): 1) грубослоистых пород-песчаников, алевролитов с горизонтами и линзами порфиритов и их туфов; 2) тонкослоистых отложений-песчаников, алевролитов и яшмовидных пород; 3) полимиктовых песчаников; 4) слоистых кремнисто-глинистых алевролитов и аргиллитов; 5) часто переслаивающихся песчаников и алевролитов; 6) слоистых темно-серых углеродистых алевролитов с подчиненными горизонтами песчаников. Рассматриваемый комплекс охарактеризован граптолитовой фауной и слагает неравномерно ритмичную флишоидную формацию с большим количеством детрита, микрослойков (до 1-2 мм) и линз углеродистого вещества (антроксолит, шунгит) и сингенетического глобулярного пирита.

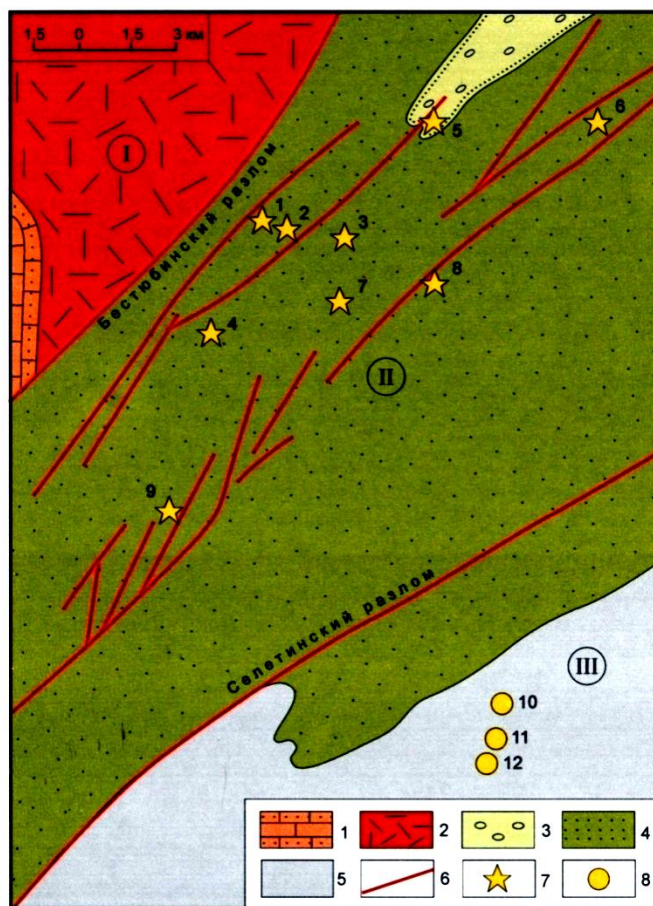
Общее простирание рудовмещающих пород северо-восточное, падение северо-западное, крутое ( $60-80^\circ$ ), до вертикального и даже запрокинутое на юго-запад.

Интрузивные образования месторождения отнесены к широко распространенному в Северном Казахстане степнякскому интрузивному комплексу и представлены двумя обособленными телами размерами менее  $0,1 \text{ км}^2$ : Восточным и Западным. Восточное тело сложено плагиогранитами и состоит из двух разобщенных дайкообразных тел северо-восточного простирания, длиной до 300 м и при мощности 35 м. На глубине оба тела соединяются и имеют крутое ( $70-80^\circ$ ) падение субсогласно слоистости вмещающей толщи.

Западное тело имеет в плане форму полумесяца, обращенного выпуклостью на юго-восток. Его падение крутое ( $70-80^\circ$ ) на юго-восток. Сложено оно кварцевыми диоритами, габбро-диоритами. В 300 метрах к северо-западу от основного интрузива обнажается небольшое тело кварцевых диоритов «Зоны Дальней». Оно вытянуто на северо-восток, форма его линзообразная с крутым ( $65-70^\circ$ ) падением на юго-восток (рисунок 59). Детальное изучение «Зоны Дальней» (Жаутиков, 1984) показало, что в ее составе широко развиты своеобразные эруптивные брекчии с прожилково-вкрапленным золото-сульфидным оруденением. Рудно-метасоматические процессы (автоберезитизация) являются докварцево-жильными и наложены как на брекчиевые породы, так и на массивные диориты.

Дайки гранит-порфиров, плагиогранит-порфиров, диоритовых порфиритов и спессартитов слагают пояс северо-восточного простирания с крутым ( $50-70^\circ$ ) до вертикального падения. Длина даек 100-200 м при мощности 10-20 м.

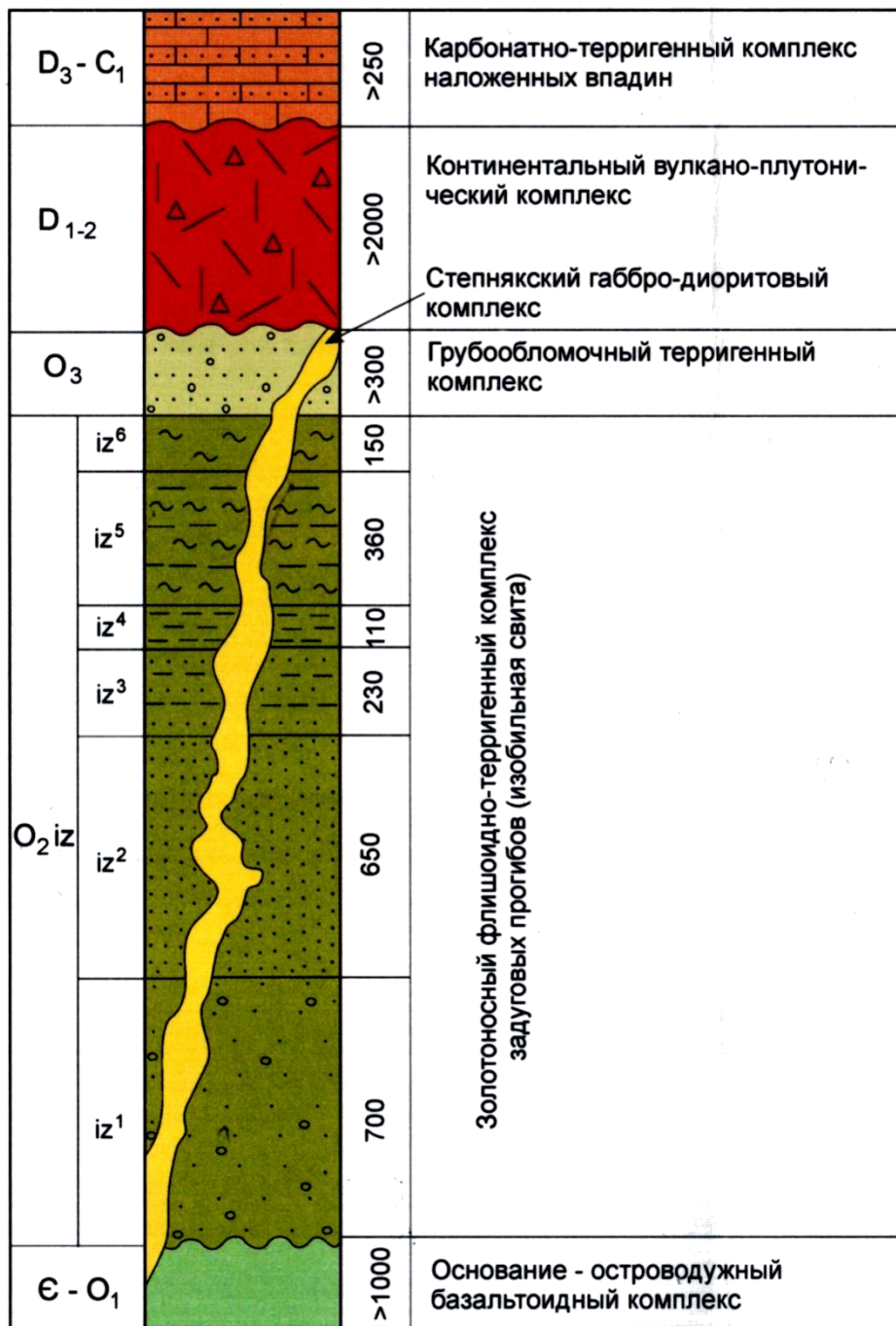
Структурная позиция месторождения определяется его приуроченностью к узлу пересечения грабен-синклинали со скрытым глубинным разломом широтного простирания. Широко проявлены внутри грабен-синклинали приразломная складчатость и разрывные деформации, создающие систему северо-восточных разрывов, расположенных друг от друга на расстоянии 45-50 м. В целом структурная обстановка месторождения Бестобе весьма сходна с объемной моделью весьма крупного (более 305 т золота) жильного месторождения Сигма-Ламак Канада) и относится к объектам со значительным (более 1,5 км) вертикальным размахом оруденения, что подтверждается выдержанностью параметров оруденения с глубиной и данными глубоких (до 1275 м) структурных скважин. Главной системой рудовмещающих структур являются сколовые разрывы северо-восточного ( $65^\circ$ ) простирания, представленные зонами перемятых и рассланцованных пород мощностью 0,7 м. Нарушения других направлений располагаются в пределах рудного поля крайне неравномерно, создавая его блоковое строение.



1-карбонатно-терригенный комплекс (Д<sub>3</sub>-С<sub>1</sub>); 2-континентальный вулканоплутонический комплекс Д<sub>1-2</sub>); 3-глубообломочный терригенный комплекс (О<sub>3</sub>); 4-флишоидно-терригенный комплекс (О<sub>2</sub>); 5-островодужный базальтоидный комплекс (С<sub>1-3</sub>); 6-разломы; 7-месторождения (1-3-Бестюбе с участками: 1-«Зона Дальняя», 2-Западный,3-Центральный) и рудопроявления (4-9) золота; 8-рудопроявления колчеданно-полиметаллические золотосодержащие. Структурные элементы: 1-наложенные впадины, II-Селетинский прогиб, III-Ерейментауский антиклинорий.

Рисунок 59 -Геолого-структурная карта района месторождения Бестюбе





1-дайки гранит-порфиров и плагиогранит-порфиров; 2- стратиграфическое положение месторождений (а) и рудопроявлений (б).

Рисунок 60 - Стратиграфическая колонка района месторождения Бестобе

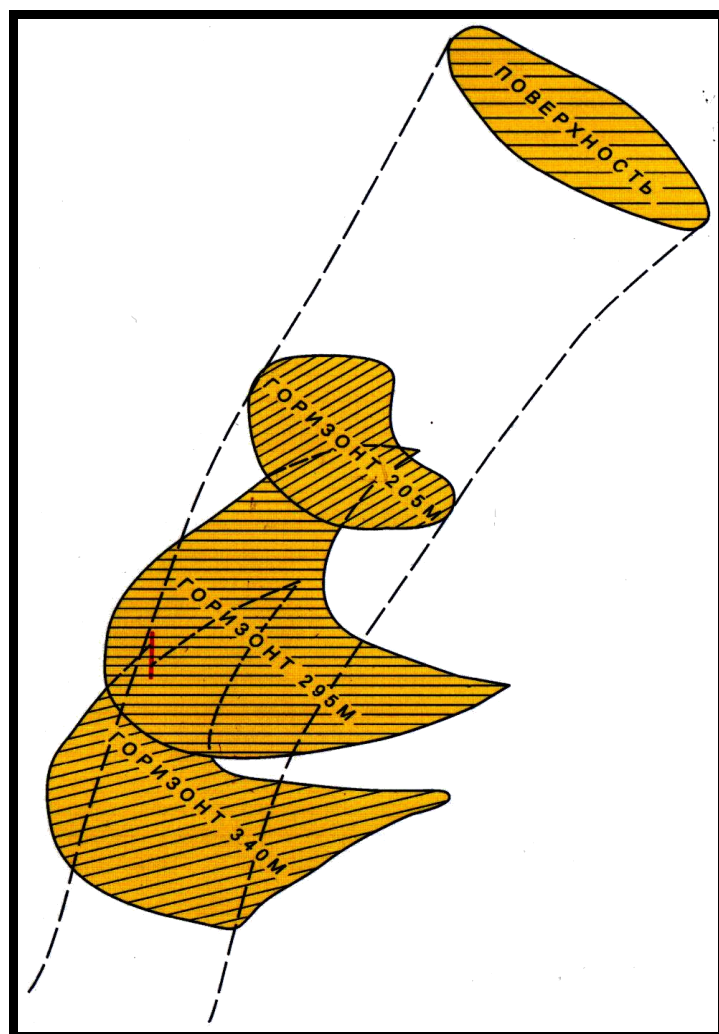


Рисунок 61 - Блок-диаграмма участка "Зона Дальняя" месторождения Бестобе

Выделяется четыре типа промышленных руд: кварцево-жильный (основной), прожилково-вкрапленный в эксплозивных брекчиях, березитовый и минерализованных осадочных пород, которые отличаются по морфологии рудных тел, распространению продуктивных минеральных ассоциаций, золотоносности сульфидов и структурно-текстурным особенностям минералов.

Золотоносные кварцевые жилы, контролируемые широтными, северо-восточными и северо-западными разломами, локализуются в Западном и Центральном участках.

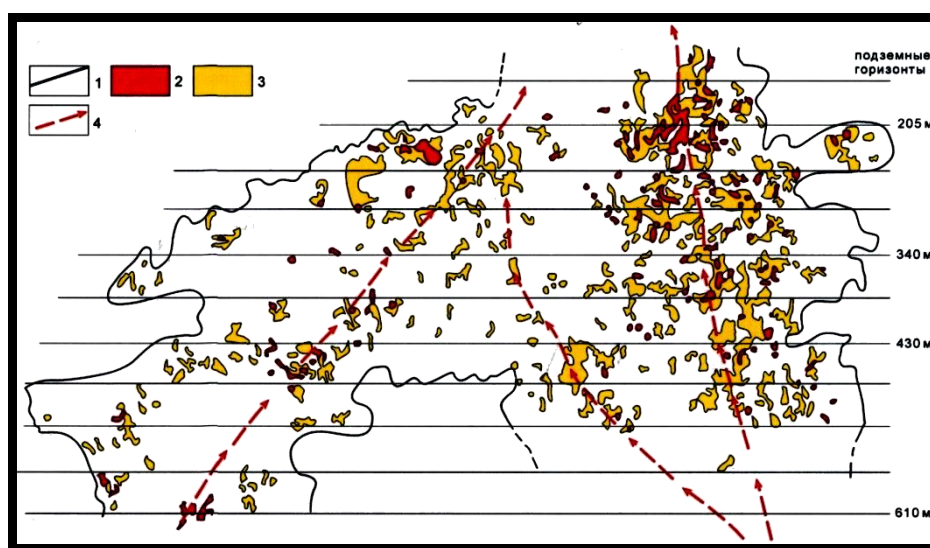
Западный рудный участок расположен в северо-западном крыле Бестобинской синклинали. Главными жилами участка являются Южная-4, Южная-1, Южная и Северная-6. К этому же участку приурочена золотоносная брекчиевая трубка и прожилково-вкрапленное золотосульфидно-кварцевое оруденение «Зоны Дальней» (рисунок 61). Падение кварцевых жил крутое (65-70°) в северных румбах. В тонкослоистых вмещающих породах оруденение представлено зоной прожилков. Жилы северо-западного простирания

распространены в интрузивных породах, тогда как широтные - только в зоне ороговикованных вмещающих породах.

Центральный участок площадью 1 км<sup>2</sup> расположен в юго-восточном блоке Бестобинского синклинория. На западе и востоке он ограничен меридиональными разломами, с падением 70-80° навстречу друг другу, а с северо-запада и юго-востока - северо-восточными разломами, падающими на юго-восток под углом 50°. В пределах Центрального участка установлено более 30 золотоносных кварцевых жил, тяготеющих к северо-восточным (65°), широтном и северозападным (310°) нарушениям. Шаг между рядами жил составляет 35-40 м. Протяженность жил колеблется от 75 до 150 м; чаще всего это криволинейные, сложно построенные жильные системы с многочисленными раздувами и пережимами. Морфология жил сложная ветвящаяся, с большим количеством апофиз и кулис.

М.М. Старова выделяет в рудах 16 парагенетических ассоциаций, входящих в состав четырех стадий минералообразования.

Самородное золото в рудах встречается сравнительно часто. Оно отмечается как в высокотемпературных, так и в низкотемпературных ассоциациях кварцево-жильных руд, являясь сквозным элементом. Распределено оно крайне неравномерно с образованием вытянутых и лентовидных бананцевых рудных столбов часто с «ураганными» содержаниями золота (рисунок 62).

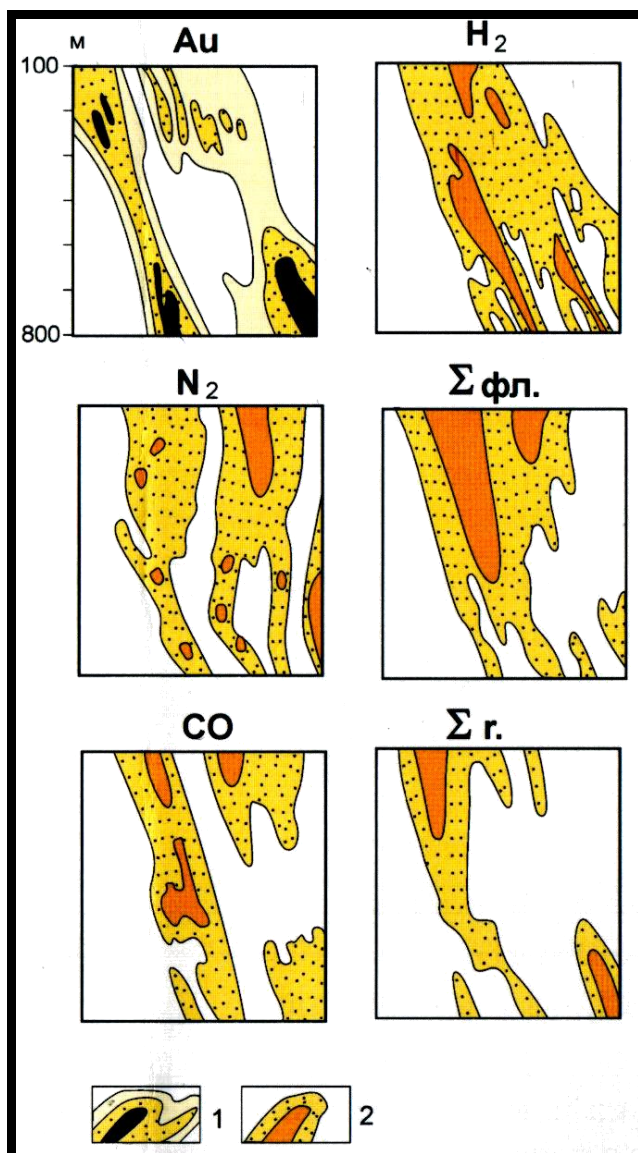


1-контур промышленного оруденения; 2-рудные столбы с бананцевым (2) и обычным (3) содержанием золота; 4-направления гидротермальных потоков.

Рисунок 62- Расположение рудных столбов и направления гидротермальных потоков в плоскости жилы Южная-4 Западного участка месторождения Бестобе

Задokumentированы богатые (до нескольких килограммов на тонну) золото-кварцевые ленты и полосы длиной 1-1,2м при мощности до 1 см и ширине 20-30 см. В штучных образцах, отобранных из локальных участков

«Зоны Дальней» содержания золота, достигает 160 г/т, в жиле «Скважины 452» - 5,67 кг/т; в жиле «Южная-4 - 460-1000 г/т, в жиле «Скважины 970» - 3,1 кг/т. Такие рудные столбы хорошо картируются флюидными ореолами (рисунок 63).



1-рудные столбы; 2-изолинии содержаний газов:  $H_2$ -водорода,  $CO$ -оксида углерода,  $N_2$ -азота,  $\Sigma_{фл.}$ -суммы флюидных компонентов (включая воду),  $\Sigma_{г.}$ -сумма газов.

Рисунок 63 - Флюидные ореолы рудных столбов месторождения Бестобе

Проведенный комплекс изотопно-геохимических, термобарометрических и минералогических исследований обосновывает трехэтапное формирование месторождения от образования значительно обогащенной метастабильными формами золота специфической литохимической формации до формирования секущих жильных месторождений при существенном развитии золота в рудах в виде самородной фазы (рисунок 64).

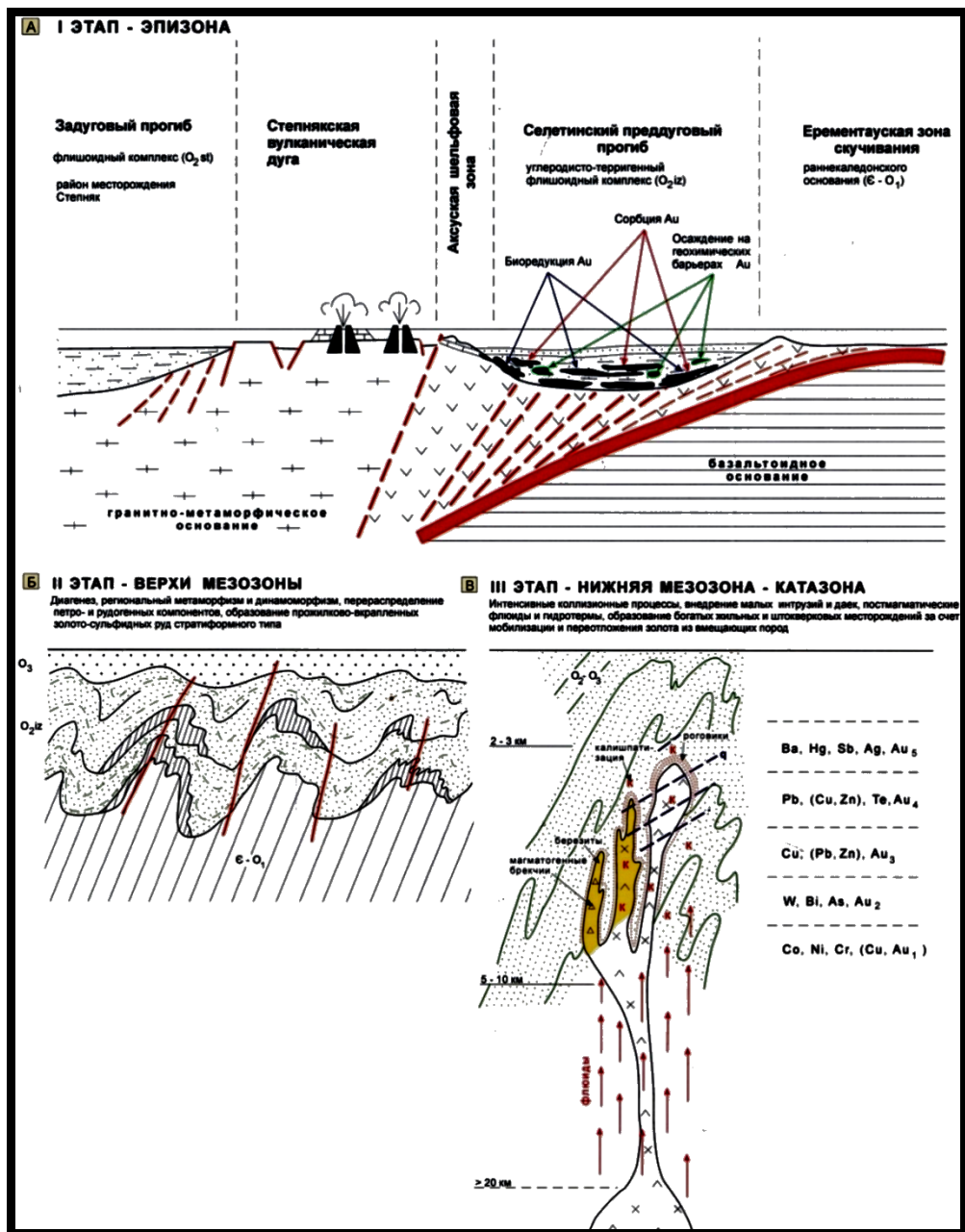


Рисунок 64 - Модель формирования месторождения Бестобе

Разработанная модель формирования месторождения расширяет перспективы выявления на рудном поле новых запасов руд золота, в особенности прожилково-вкрапленной стратиформной минерализации во вмещающих толщах месторождения и березитовых руд в связи с внедрением интрузивов, а также новых участков (Южное Бестобе) кварцево-жильного оруденения.

В процессе составления модели Бестобинского месторождения использованы материалы Т.М. Жаутикова, Г.Б.Левина, К.Т. Тлеубергенова, М.М. Старовой, А.Г. Злобина, В.В. Уварова.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены золоторудные объекты - Бакыршик, Архарлы, Бестобе, которые входят в состав 3 главных геолого-промышленных типов коренных золоторудных месторождений Казахстана: 1) золото-сульфидный, развитый в углеродистых толщах различного возраста (Бакыршик, Большевик, Васильевское и др.); 2) золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный - Архарлы, Таскора, Ушшоки); 3) золото-сульфидно-кварцевый (Акбакай, Аксу, Бестобе, Жолымбет, Степняк и др.). Среди них ведущим в мире и в Казахстане является золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе). Однако акцент в работе делался на перспективные типы - золото-сульфидный, развитый в углеродистых толщах (Бакыршик, так например, преобладающая часть запасов, более 50 %, коренного золота в России сосредоточена в месторождениях углеродисто-терригенных комплексов) и золото-серебряный (Архарлы) близповерхностный.

В работе решены важнейшие проблемы рудогенеза, имеющие отношение ко всем типам месторождений:

1. Обоснована прямая зависимость пробности золота от Eh-pH условий эволюционирующих гидротермальных систем. Так, наиболее широкая вариация пробности Au отмечается для Au-Ag месторождений, которые характеризуются многостадийностью и изменчивостью рудообразующих процессов. В золото-углеродисто-сульфидных месторождениях она варьирует в пределах 1000-850, понижаясь в более поздних ассоциациях.

2. На примерах типовых месторождений Казахстана и мира идентифицированы разнотипные геохимические барьеры – концентраторы Au и дана их классификация. Разрушение комплексов золота, его осаждение и концентрация происходят на участках резкой смены окислительно-восстановительного потенциала, кислотности-щелочности рудообразующей системы, её температуры и давления, являющихся геохимическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов [100, с. 56].

3. Разработана генеральная геологическая модель формирования золоторудных месторождений, в основу которой положены представления об эволюционной направленности рудного процесса по схеме: седиментация --- ранний диагенез --- поздний диагенез --- эпизона --- динамометаморфизм --- мезозона (+катазона --- интрузивный (эффузивный) магматизм, благодаря чему происходит постепенное преобразование изначально миграционно способных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную. На его завершающей стадии под воздействием интрузивного (эффузивного) магматизма и тектоно-метаморфических процессов происходит резкое увеличение в рудах самородной фазы с уменьшением миграционно способных форм золота, вплоть до образования компактных золото-кварцевых рудных тел с ограниченным количеством сульфидов [100, с. 57].

**I. Золото-сульфидный тип, развитый в углеродистых толщах (месторождение Бакыршик) – уникальный и перспективный тип в Западно-Калбинском золоторудном поясе [100, с. 58].**

1. Изучением углеродистых компонентов руд и рудовмещающих пород установлено присутствие в них сапропелелевого органического вещества (ОВ) и битума, по характеру экзотермических эффектов установлена степень постседиментационных преобразований на стадии раннего метазенеза и динамометаморфизма. ОВ с начала седиментогенеза концентрировало золото в виде кластеров и нанокластеров и является источником золота для образования золотоносных сульфидов на последующих стадиях литогенеза и динамометаморфизма [100, с. 59]. Содержание золота в ОВ составляет от 3,7–5,9 г/т (по данным атомно-абсорбционного анализа) до 10 г/т (по данным автора). Значительные запасы золота в виде кластеров и нанокластеров, не извлекаемые в процессе обогащения, не учитываются при подсчете запасов. Необходимо разработка новых способов извлечения золота из углеродистых пород, что в значительной степени увеличит запасы месторождения [70, с. 31].

2. К основным индикаторам месторождений бакыршикского типа относятся: а) золотоносные ритмично-слоистые углеродисто-глинистые и углеродисто-алевролит-пелитовые микрофации черносланцевой толщи с повышенными содержаниями сингенетического золота (10-150 мг/т), органического вещества (1-10%) и глобулярно-фрамбоидальный пирит; б) интенсивное проявление мезозонально-шовной складчатости, сопровождаемой вязкими разломами и зонами кливажного течения пород, многоэтапность деформационных процессов и образование гибридных структур пересечения пликвативных дислокаций; в) широкое развитие хлорит-альбитовых, шунгит-серицитовых и серицито-флогопит-карбонатных метасоматитов в зонах кливажного течения и вязких разломов [70, с. 32].

**II. Золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный) тип (месторождение Архарлы) - это существенно кварцевые руды с тонкодисперсным золотом.**

1. Эпитермальные золото-серебряные месторождения Архарлинского рудного поля по особенностям геологического строения, условиям рудоотложения и минеральному составу руд являются аналогами всемирно известных крупных и средних по запасам месторождений этого геолого-промышленного типа, таких как Крипл-Крик, Ангостура, Янокоха, Кочбулак и др. В отличие от этих месторождений степень разведанности Архарлы ниже, что должно быть восполнено в процессе его обработки [70, с. 34].

2. Результаты полученных исследований показывают, что: а) месторождение сформировалось в течение многостадийного гидротермального процесса. Смена минеральных ассоциаций во времени свидетельствует о постепенном охлаждении растворов, а также об уменьшении потенциала серы и увеличении потенциала кислорода в процессе их формирования; б) растворы, отлагавшие золото, были обогащены цинком, свинцом, серебром и медью, в отличие от более ранних и более поздних порций растворов, содержавших в

незначительном количестве лишь железо и медь; в) в кварцевых ассоциациях отношение серебра к золоту закономерно увеличилось по мере охлаждения гидротермальных растворов и увеличения потенциала кислорода [70, с. 35].

3. Впервые в зоне окисления месторождения Архарлы были обнаружены галогениды серебра (хлориды, бромиды, йодиды), присутствие которых служит надежным доказательством формирования ее в условиях сухого и жаркого климата. Образование самородного золота в зоне гипергенеза связывается с обогащенными золотом сульфатно-хлоридными водами, которые по мере фильтрации в более глубокие горизонты зоны окисления становятся менее окислительными и под воздействием различных восстановителей разрушаются с образованием самородного золота. На основании полученных данных по галогенидам серебра зоны окисления месторождения Архарлы и опираясь на результаты других исследователей при изучении зон окисления золото-сульфидных месторождений можно однозначно констатировать, что источником серебра в галоидных минералах является самородное серебро и золото, а также серебрясодержащие сульфиды.

Детальное изучение особенностей формирования гипергенного золота и серебра в зоне окисления имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. Оно необходимо для расшифровки поведения золота и серебра в несущих растворах и определения физико-химических параметров последних, а также имеет практическое значение при решении практических задач для разработки новых технологий извлечения золота и серебра [70, с. 22].

**III. Золото-сульфидно-кварцевый тип (месторождение Бестобе)** - широко представлен в Казахстане. В составе их руд развиты три типа продуктивных ассоциаций: березитовый, кварцево-жильный и бонанцевый [70, с. 23]. Первый из них характеризуется преимущественным развитием в составе руд золота, связанного с сульфидами, второй – преобладающими самородными выделениями золота разной размерности (от самородков до нанозолота), третий – это весьма богатые руды с крупным золотом. Даже при таком кратком изложении понятно, что они значительно различаются по своим технологическим свойствам. Однако на практике они перерабатываются по одной или по двумя технологическим схемам и обычно порой много золота остается в хвостах [70, с. 35].



## СПИСОК ИСПОЛЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 С.А.Акылбеков, Н.М.Жуков, Л.А.Мирошниченко и др., Минерагеническая карта Казахстана масштаба 1:1 000 000 (объяснительная записка). Алма-Астана, 2007.180 с.
- 2 Х.А.Беспаяев, Ю.С.Парилов Западно-Калбинский золоторудный пояс (Восточный Казахстан. Алматы 2018. с.39.
- 3 Паталаха Е.А., Белый В.А. Офиолиты и тектоника Казахстана // Проблемы тектоники Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1980. – С.42–53.
- 4 Мизерная М.А. Шунгиты Западной Калбы (особенности формирования, закономерности размещения, критерии прогнозной оценки): автореферат на соискание ученой степени канд. г.-м. наук. Усть-Каменогорск. 2001. 29 с.
- 5 Зенкова В.И. Условия образования пород и руд месторождения Бакыршик // Геол., геох. и минерал. золоторудных районов месторождений Казахстана. Алма-Ата. 1975. С.104-113.
- 6 Марченко Л.Г. Модель формирования месторождений благородных металлов с тонкодисперсными рудами в черных сланцах. // Геология и охрана недр. 2007. № 1. С. 3341.
- 7 Нарсеев В.А., Гостев Ю.А., Захаров А.В. и др. Бакыршик (геология, геохимия, оруденение). М. 2001. 174 с.
- 8 З.Т. Умарбекова, Р.Р. Гадеев, К.У. Булегенов, Р.А. Аманбаев «Кварц-адуляровый золотосеребряный (Архарлинский) тип в вулканических толщах» Алматы 2018. с.1.
- 9 Мамонов Е.П. Геолого-минерагеническое картирование масштаба 1:20000 Западных отрогов Джунгарского Алатау отчет. Алматы. 2010г.
- 10 Аверин Ю.А., Бланк В.Я., Диаров А.Б., Нарсеев В.А., Нурмаганбетов А.А. Условия образования золоторудных месторождений в вулканогенных поясах Казахстана и Средней Азии // Геология, геохимия и минерагения золоторудных районов и месторождений Казахстана. - Алма-Ата, Каз ИМС, 1972. - С. 11-32.
- 11 Бакенов М.М. Золоторудные формации Казахстана. - Алма-Ата, 1976. - 228 с.
- 12 Борукаева М.Р., Гребенчиков А.М., Семионенко Н.Н. Пространственная и временная связь метасоматитов // Геология, геохимия и минералогия золоторудных районов и месторождений Казахстана. – Алма-Ата, 1979. - Вып. 8. – С. 130-136.
- 13 Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана. Автореф докторской дисс. Алма-Ата, 1987г.
- 14 Отчет «Металлогения месторождения золота Казахстана (1971-1975)» том 2
- 15 Минерагенической карта Казахстана масштаба 1:1000000 Объяснительная записка. Алматы, Астана 2007. с.28.

16 Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана. Диссертация. Алма-Аты 1987. С.123-168

17 Заири Н.М., Ляшенко Л.Л., Маршак Н.А., Васюта Ю.В. Изотопно-геохимическая методика поиска и оконтуривания техногенных углеводородных скоплений // Сборник статей: Прикладная геохимия, выпуск № 2 М.: Экологическая геохимия, ИМГРЭ, 2001. - 136- 147 с.

18 Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия. - 1962. - № 7. - С. 555-571.

19 Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана. Дисс. докт. геол-минер. наук – Алматы, 1987. - 448 с.

20 Жаутиков Т.М., и др. Типоморфизм самородного золота в основных геологопромышленных типах месторождений Казахстана. – Алматы, 2004. – С. 230-240.

21 Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана. Дисс. докт. геол-минер. наук – Алматы, 1987. – 103-128 с.

22 Жаутиков Т.М. Золотоносность углеродистых формаций Казахстана // Изв.АН КазССР.Сер.геол.1983 №6. С.18-25

23 Старова М.М. и др. Месторождение Бакыршик // В кн: Металлогения Казахстана – Алма-Ата, 1980. – С. 52-61.

24 Матвиенко В.Н., Калашников Ю.Д, Нарсеев В.А. ЗАО «Аналитические технологии МПГ-ПГО». Кластеры – протоформа нахождения драгметаллов в рудах и минерализованных породах // Руды и металлы. – 2004. - №5. - С.28-36.

25 Марченко Л.Г. Рудоносность углеродистых формаций // Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. - Алматы: КазИМС. - 1980. - С. 82-94.

26 Марченко Л.Г. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. -Алматы: Интерпресс-Казахстан, 2010. - 146 с.

27 Марченко Л.Г., Комашко Л.В., Роль Наноструктурированных частиц и углеродных пленок в накоплении благородных металлов на месторождениях «черносланцевого» типа. -ИГН им.Сатпаева, 2010.

28 Жаутиков Т.М и др., Золото-серебряное оруденение Казахстана // Геология Казахстана.Алматы. 2008.С212-221.

29 Фишер Э.И., Фишер В.Л. Роль гумусовых кислот в процессах сорбции золота морскими осадками // Литология и полезные ископаемые. 1984 N5. - С. 77-82

30 Пашкова Е.А., Данилова Е.А., Василевская Ы.А. Роль гуминовых кислот в формировании сингенетичной золотоносности морских осадочных углеводородистых толщ // Геохимия. - 1989. - №6. - С. 798-805

- 31 Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Чхетия Д.И., Холин Ю.В., Шумская Т.В., Тютюнник О.А., Кощеева И.Я., Корочанцев А.В. Сорбция на гуминовых кислотах как основа механизма первичного накопления золота и элементов группы платины и черных сланцев // Литология и полезн. ископаемые. - 2000. - №6. - С. 605-611,
- 32 Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса // Российская академия наук (Труды геологического института). - М.:2006. - 608 с. (Тр.ГИН РАН; Вып.574).
- 33 Ручкина Ю.Р. Обстановки накопления и типы органического вещества золотоносных черносланцевых отложений // Руды и металлы. - 1993. - № 3-6. - С. 25-28.
- 34 Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розинова Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород - Ленинград.: Недра, 1974. - 399 с.
- 35 Блюман В.А., Иванова В.П., Красавина Т.Н., Хорева Б.Я. Термический критерий уровня метаморфизма углеродсодержащих пород (на примере Западного Узбекистана) // Зап. Всес. минер, общества. -1970. - Вып. 5- С. 575-579.
- 36 Ермолаев Н.П., Созинов Н.А. Стратиформное рудообразование в черных сланцах - М: Наука. 1986. - 174 с.
- 37 Гребенников А.М., Диаров А.Б. Золото-адуляр-кварцевая формация // Сводово-глыбовые структуры и металлогения золота Казахстана. - Алма-Ата, 1982. - С. 149-165.
- 38 Жаутиков Т.М., Котельников П.Е., Левин В.Л., Плехова К.Р., Солдатенко А.А. Золото и серебро зоны гипергенеза золоторудных и золотосодержащих месторождений Казахстана. Известия Серия геологии и технических наук. Алматы 2011 №3, с.15-33.
- 39 Умарбекова З.Т., Плехова К.Р., Дюсембаева К.Ш. Галогениды серебра в зоне гипергенеза золото-серебряного месторождения Архарлы (Южная Жонгария)
- 40 Некрасов Б.В. Основы общей химии. -М.: Химия, т -1, 1969; т.-3, 1970. С. 413.
- 41 Малышев В.М., Румянцев Д.В. Золото. -М.: Металлургия-1979. - 288 с.
- 42 Турьян Я.И. Окислительно-восстановительные реакции и потенциалы в аналитической химии. - М.: Химия-1989. - 248 с.
- 43 Латимер В. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. - М.: ИЛ, 1954. -398 с.
- 44Павлов А.Л. Эволюция физико-химических параметров гидротермальных систем при рудообразовании. -Новосибирск: Наука СО, 1976. - 221 с.
- 45 Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и мира. -М.: Научный мир, 2000. - 272 с.
- 46 Митькин В.Н. Фторокислители в аналитической химии благородных металлов // Журнал аналитической химии, 2001- т. 56, № 2, С.118-142.

- 47 Петровская Н.В. Самородное золото. -М.: Наука, 1973- 330 с.
48. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. -М., 1968. 295 с.
- 49 Перельман А.И. Закономерности концентрации рудных элементов на геохимических барьерах // Эндогенные источники рудного вещества. -М.: Наука, 1987. -С. 141-160.
- 50 Крылова Г.С., Седельникова Г.В. Кюветное выщелачивание золота йодными растворителями из продуктов ШОУ // Год. инф. -аналит. бюл. - Московского горного университета. - 2003. - № 3. -С.133.
- 51 Фомичев В.И., Шмонов В.М., Витовтова В.М Экспериментальное моделирование процесса рудоотложения на щелочном геохимическом барьере// Вестник АН КазССР, 1983. - № 7. - С. 55-60.
- 52 Фомичев В.И., Шмонов В.М., Витовтова В.М. Влияние эволюции физико-химических систем на рудоотложение при формировании стратиформных свинцово-цинковых месторождений // Генезис редкометальных и свинцово-цинковых месторождений. -М.: Наука, 1986. - С.110-116.
- 53 Банникова Л.А., Барсуков В.Л., Григорян С.С., Волков В.В. Влияние окислительно-восстановительных реакций с участием углерода на формирование золоторудного месторождения Армянской ССР. // Геохимия, 1982. - № 7. - С. 961-970.
- 54 Лидин Р.А., Андреева Л.Л., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. -М.: Химия, 1987. - 320 с.
- 55 Глинка Н.Л. Общая химия. -Ленинград: Химия, 1989. -704 с.
- 56 Минералы: Справочник. -М.: Изд-во АН СССР, 1960. -Т.-1. - 617 с.
- 57 Пещевицкий Б.И., Белеванцев В.И., Земсков С.В. Новые данные по химии соединений золота в растворах // Известия СО АН СССР. -Серия хим. наук, 1976. - Вып. 2, № 4. - С. 24-45.
- 58 Пальянова Г.А., Колонин Г.Р. Физико-химические особенности поведения золота и серебра в процессах гидротермального рудообразования // Докл. АНРАН, 2004. Т. 394. -№ 3. С. 389-392.
- 59 Yigit O., Hofster A.H. Litho geochemistry of Carlin-type gold mineralization in Gold Bar district, Battle Mountain-Eureka trend, Nevada // Ore Geol. Rev. 2003. № 3-4. P.201-204.
- 60 Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. -М.: Недра, 1988. 286 с.
- 61 Реми Г. Курс неорганической химии. Т.II.-М.: Мир, 1963. - 220с.
- 62 Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. -М.: Наука, 1983. - 287 с.
- 63 Никольский Н.С. Флюидный режим эндогенного минералообразования. -М.: Наука, 1988. -199 с.
- 64 Зотов А.В., Варьяш Л.В., Кудрин А.В., Левин К.А. Формы переноса рудных элементов гидротермальными растворами // Эндогенные источники рудного вещества. -М.: Наука, 1987. -С.115-140.

65 Вилор Н.В., Казьмин Л.А. Исследований равновесий в гидротермальных растворах методом моделирования на ЭВМ // Физико-химия эндогенных процессов. Новосибирск: Наука СО, 1979. - С. 44-65.

66 Остапенко Р.Н., Фомичев В.И., Кулкашев Н.Т. Месторождение Саяк IV // Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд золота. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1980. - С.82-86.

67 Seward T.M. The Complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solution – Geochim. et Cosmochim. Acta. 1973.-V.-37, № 3.P. 379 – 400.

68 Henley R.W. Solubility of gold in hydrothermal chloride solution – Chem. Geology, vol.11, № 2, 1973.- P. 73-88.

69 Паталаха Е.И. Тектонофаціальний аналіз і метаморфогенне рудообразование складчатих областей // Процеси і закономірності метаморфогенного рудообразования. Київ: Наукова думка, 1988. - С.44-50.

70 Паталаха Е.И., Фомичев В.И., Смирнов А.В., Атрушкевич П.А. Тектонофаціальний аналіз і метаморфогенне оруденення в світє “живої тектоники” // Металлогения докембрія і метаморфогенне рудообразование. Тезисы докладов. Ч.П. Київ, 1990. - С.27-28.

71 Отчет 2006-2007

72 Z. Umarbekova, R. Seltman, K. Dyusseмбаева The gold ore deposit Вакурсуик and views on the formation of the mineral deposits. Albena, Bulgaria, 2017. С.1111-1117

73 В.Н. Любецкого О связях золотого оруденення Калбы с глубинной зоной ультраметаморфизма и гранитизации//Геол.месторожд. золота Казахстана. Сборник научных трудов. Алма-Ата. КазИМС.1984. С. 3-14

74 Заири Н.М., Глухов А.П. и др. Изотопные-геохимические модели золоторудных месторождений // Сов.геология. 1987.№6. С. 37-25.