

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела имени К.И. Турысова  
Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений  
полезных ископаемых

УДК 553.3

На правах рукописи

Отарбай Самал Отарбайқызы

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их  
перспективы на золото и платиноиды

Направление подготовки 7M07206 - «Геология и разведка месторождений  
полезных ископаемых»

Научный руководитель

к.г.-м.н., ассоциированный профессор  
кафедры ГСПиРМПИ



А.А. Жунусов

«10» июня 2022 г.

Рецензент

Доктор PhD, заведующий лабораторией  
редких и редкоземельных металлов  
Института геологических наук  
имени К.И. Сатпаева



К.С. Тогизов

«16» июня 2022 г.

Нормоконтролер

доктор PhD, сениор-лектор



М.К. Кембаев

«17» июня 2022 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
Бекботаева А.А., PhD

степень, уч. звание



Подпись

Ф.И.О.

«18» 06

2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела имени К.И. Турысова

Кафедра геологической съемки, поисков и разведки месторождений  
полезных ископаемых

7M07206 - «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ  
Бекботаева А.А.

*степень, уч. звание*

PhD, ассоциированный профессор

*Подпись* *Ф.И.О.*

«18»06 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Отарбай Самал Отарбайқызы

Тема Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их перспективы на золото и платиноиды

Утверждена приказом Ректора по Университету № 2028-М от "03" ноября 2020 г. и № 1986-М от "20" декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы «17» июня 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: геологические, текстовые и графические материалы при разведке месторождений Восточного Казахстана

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) сбор, обобщение и анализ материала по геологии и минералогии на современном этапе изученности

б) изучение особенностей литологического состава рудовмещающих черносланцевых толщ

в) выявление минералогических особенностей месторождения

г) определение перспективности месторождения на золото и платиноиды

Рекомендуемая основная литература:

1. Марченко Л.Г. Рудоносные углеродистые формации. Сборник. Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. КазИМС, Алма-Ата, 1980
2. Париллов Ю.С. Аналитическая геохимия благородных металлов в рудах черносланцевого типа. ИГН им. К.И.Сатпаева, Алматы, 2021

## ГРАФИК

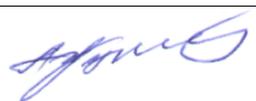
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Общие сведения о районе	10.10.2020	
Геологическое строение района	12.02.2021	
Изучение геологических особенностей месторождений района	23.04.2021	
Микроскопическое исследование образцов с месторождений	07.04.2022	
Заключение	01.05.2022	

## Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты ФИО (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общие сведения о районе	Жунусов А.А. Кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ	18.05.2022	
Геологическое строение района	Жунусов А.А. Кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ	18.05.2022	
Изучение геологических особенностей месторождений района	Жунусов А.А. Кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ	18.05.2022	
Микроскопическое исследование образцов с месторождений	Жунусов А.А. Кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ	18.05.2022	

Заключение	Жунусов А.А. Кандидат геолого- минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры ГСПиРМПИ	18.05.2022	
Нормоконтролер	Доктор PhD, сениор-лектор SatbayevUniversity М.К.Кембаев	17.06.2022	

Научный руководитель



Жунусов А.А.

Задание принял к исполнению  
магистрант



Отарбай С.О.

Дата

«10» июня 2022 г.

## АНДАТПА

Жұмыстағы зерттелген көміртекті қалыңдықтар географиялық жоспарында Қазақстанның шығыс жағында орналасады және олар алтын мен платиноидтарға перспективді қалыңдықтар болып қарастырылады.

Диссертациялық жұмысында көміртекті қалыңдықтардың геологиялық құрылымының және минералдық құрамының ерекшеліктері туралы толық сипаттама беріліп тұр. Жұмыс ауданның геологиялық ерекшеліктері мен басты руда минералдары айқындалған.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мақсаты Шығыс Қазақстанның кенорындарының геологиялық құрылымын, олардың стратиграфия және тектоникасын толық зерттеп, минералдық құрамымен бірге кенорындарының болашақтағы экономикалық мәнін және оның алтын мен платиноидтарға перспективасын анықтау болып табылады.

## АННОТАЦИЯ

Углеродистые толщи, рассматриваемые в работе, расположены на территории Восточного Казахстана и изучаются в качестве перспективных на золото и платиноиды.

В диссертационной работе подробно описано геологическое строение и особенности вещественного состава руд месторождений Восточного Казахстана. Были определены особенности геологии района и особенности оруденения на данной территории.

Самой главной целью диссертационной работы является детальный анализ геологического строения месторождений Бакырчик, Суздальское и Васильевское, их стратиграфии и тектоники, определение вещественного состава руд, а также определение и обоснование экономической ценности данных месторождений в будущем и их перспективности на наличие золоторудного оруденения и платиноидов.

## **ANNOTATION**

The carbonaceous strata, which is considered in this dissertation, in geographical meaning is located in eastern region of Kazakhstan.

The dissertation work fully describes geological structure and specificities of the mineral ore composition of deposits in carbonaceous strata in Eastern Kazakhstan. Also the geological features of the work area and the significant ore minerals are explained.

The main goal of this dissertation work consists of detailed exploration of deposit's geological structure, its stratigraphy and tectonics, also identification of mineral composition and the last, but not least, figuring out the future economic meaning of these deposits and its prospects for gold and platinumoids.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 История изучения черносланцевых толщ	12
2 Состав и строение черносланцевой толщи Восточного Казахстана	15
Типичные месторождения, связанные с черносланцевой толщей	
3 Восточного Казахстана	24
Перспективность черносланцевых толщ на золотое оруденение и	
4 платиноиды	32
Современные методы анализа золота и платиноидов в	
5 черносланцевых толщах	42
Заключение	53
Список использованной литературы	54
Список графических приложений	
Приложение А	
Приложение Б	
Приложение В	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Среди месторождений черносланцевого типа выделяется несколько разновидностей. Особое место среди них занимает группа собственно золоторудных месторождений. Среди них распространены и гигантские по запасам золота месторождения. Вторую группу составляют рудные объекты, в которых преобладающим распространением пользуются платиновые металлы. Они не столь многочисленны и крупные по запасам, но удивительно богаты благородными металлами. В последние годы во многих месторождениях бурых и каменных углей, графитов и горючих сланцев установлены промышленно значимые содержания благородных металлов. В результате выделена самостоятельная группа месторождений черносланцевого типа.

Золотое оруденение в углеродистых (черносланцевых) толщах известно давно и вызывает особый интерес. Проявления характеризуются стратиформностью, при относительно низких содержаниях металла имеют большое площадное развитие. Оруденение определяют одна или две рудные формации: золото-кварцево-жильная и золото-сульфидно-углеродисто-вкрапленная.

Черносланцевые формации довольно широко распространены в различных структурах земной коры. Они привлекают внимание исследователей, поскольку с ними пространственно связаны крупные и уникальные по запасам месторождения многих металлов. В последнее время в рудах отдельных месторождений золота этого типа установлены повышенные содержания элементов платиновой группы, что в перспективе может значительно повысить их ценность. Это позволяет говорить о золоторудных месторождениях в черносланцевых формациях, как о важном источнике золота не только в настоящее время, но и в ближайшем будущем, чем определяется актуальность и перспективность исследований по данной проблеме.

**Цель работы.** Изучение и выявление особенностей черносланцевой толщи Восточного Казахстана на примере крупных месторождений и определение их перспектив на золото и платиноиды.

**Объектом исследования** является важнейший для Казахстана геолого-промышленный тип - золото-сульфидный в терригенных углеродистых комплексах, который представлен суперкрупным месторождением Бакырчик.

**Предметом исследования** являются руды из данного геолого-промышленного типа Казахстана, их микроскопическое изучение, а также детальный анализ уже имеющихся данных и сведений по месторождению.

**Фактический материал.** Фактическую основу диссертации составляют материалы с геологическими данными месторождения, а также образцы пород.

**Задачи исследований.** В соответствии с поставленной целью основные задачи включали:

- 1) сбор, обобщение и анализ материала по геологии и минералогии на современном этапе изученности;
- 2) изучение особенностей литологического состава, а также регионального метаморфизма и метасоматизма рудовмещающих черносланцевых толщ, их фоновой золотоносности;
- 3) выявление минералогических особенностей месторождения;
- 4) определение перспективности месторождения на золото и платиноиды.

**Практическое значение.** Во время диссертационной работы был изучен и проанализирован минеральный состав пород месторождения и определена локализация и формы нахождения золота и платиноидов.

**Публикации.** Опубликованы всего 2 научные статьи: в научно-исследовательском издании Казахского Национального Исследовательского Технического Университета имени К.И. Сатпаева "Сатпаевские чтения - 2021", а также в сборнике "Международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию и памяти ученого, горного инженер-геолога, академика МАИ РК, кандидата геолого-минералогических наук, профессора РАЕ Темирхан Ниязовичу Жаркинбекову".

**Новизна работы.** Новизной работы является изучение магистрантом современных способов анализа золота и платиноидов в черносланцевых толщах.

**Составная часть и объем магистерской диссертации.** Диссертация написана на 58 страницах компьютерного текстового набора и состоит из аннотации, содержания диссертации, введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, включающих 17 наименований.

Диссертация включает в себя всего 10 рисунков, 3 приложения.

# 1 ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ

Месторождения золота в черносланцевых толщах фанерозоя занимают важное место в сырьевой базе золотодобывающей промышленности большинства стран мира, в том числе и Казахстана. Ж.Ж.Баш относит данные месторождения к "месторождениям, считающимся стратиграфическими в вулканогенно-осадочных толщах" и также отмечает, что с данным типом золотого оруденения связано около 30,62% мировых запасов этого металла без учета запасов известного всем Витватерсранда. Поэтому на проблему золотоносности черносланцевых формаций исследователи издавна обращали пристальное внимание.

Первоначально интенсивные исследования золотоносности черносланцевых толщ начались за рубежом. Зарубежные золоторудные месторождения в углеродистых терригенных толщах известны со второй половины восемнадцатого века и достаточно полно охарактеризованы в опубликованной литературе.

Многие аспекты данной проблемы широко обсуждаются и издаются в печати и на территории стран СНГ, начиная с 40-50-х годов прошлого столетия. Наиболее важные публикации по данной тематике принадлежат таким видным геологам как В.А.Нарсеев, М.С.Рафаилович, М.А.Абдулкабирова, У.А.Асаналиев, Ж.Ж.Баш, В.А.Буряк, П.Ф.Иванкин, А.Ф.Коробейников, Л.Г.Марченко, В.В.Масленников, В.Г.Моисеенко, И.С.Рожков, А.А.Сидоров, Н.А.Созинов, С.Д.Шер, В.С.Шибко, Н.А.Шило, и другими геологами.

Благодаря анализам размещения рудоносных, черносланцевых толщ в различных структурах земной коры, которые были проделаны вышеупомянутыми исследователями было выяснено, что золотоносными оказались углеродистые формации, залегающие, главным образом, в геосинклинально-складчатых областях.

Было выяснено, что формации черных сланцев всех золотоносных регионов возникали в близких условиях, что отражается в сходстве их строения и состава. Например, для черносланцевых формаций Енисейского кряжа А.П.Лопатин отмечает ритмическую слойчатость, наличие градационной и косой слоистости потокового типа. Отмечается вкрапленность пирита, а также сапропелевый характер  $S_{орг.}$  и очень малые содержания битумоидов (0,006-0,008%). [1] Схожим строением обладают черносланцевые толщи золоторудных районов Восточной Якутии и Западного Узбекистана. Здесь отмечается наличие слоек с различным содержанием пелитового и алевритового материала, оползневые явления и близкие содержания  $S_{орг.}$  Анализ опубликованных материалов дополнительно показал, что самые крупные и уникальные месторождения золота тяготеют к офиолитовым поясам.

Генезис и геохимия черных сланцев наиболее полно были изучены геологами Я.Э.Юдовичем, М.П.Кетрис, В.А.Буряком, Ю.С.Ананьевым и др. Также множество геологов были задействованы в вопросе о формационной

классификации рудоносных черносланцевых толщ. Так, например, геологи Р.В.Гецева, А.А.Дерягин, Н.А.Созинов выделили следующие формации черных сланцев: терригенно-глинисто-углеродистую, кремнисто-глинисто-углеродистую, карбонатно-глинисто-углеродистую, вулканогенно-кремнисто-карбонатно-углеродистую.[2]

Вопрос о природе оруденения был и остается до сих пор без четкого и единогласного ответа. У каждого из геологов существует свое мнение и гипотеза на данный счет. Например, Н.К. Курбанов, который занимался изучением условий локализации золотого оруденения в углеродисто-терригенных комплексах Средней Азии, выдвигает предположение об осадочно-метаморфогенной модели происхождения. Она заключается в образовании промышленного золотого оруденения, в результате сегрегации и переотложения рассеянного в докембрийских флишоидных толщах хомогенного и кластогенного золота, попавшего туда при размыве древних кор выветривания. С другой стороны, геолог В.А. Буряк разработал иную модель в ходе изучения золото-кварц-сульфидного оруденения «сухоложского» типа. Это метаморфогенно-гидротермальная модель, которая рассматривает образование руд с проявлением высокоградиентного зонального метаморфизма, широко распространенных в орогенно-складчатых областях.[3] Другую модель, модель интрателлурического углеродного метасоматоза предложил П.Ф. Иванкин с соавторами для объяснения условий формирования золоторудных месторождений в черносланцевых толщах на материале наблюдений на ряде рудных полей Западного Узбекистана. Геологи В.В. Масленников и В.Я. Микитченко предлагают магматогенно-гидротермальную модель. Она является наиболее ранней и хорошо разработанной из всех. Данная модель предполагает связь золотого оруденения с растворами магматического происхождения, источниками которых могли служить интрузии гранитоидов. Подобная связь предполагается В.В. Масленниковым и В.Я. Микитченко для месторождений Бакырчикского района.[4] Геологи В.А.Нарсеев, А.А.Сидоров, Н.А.Фогельман, В.М.Яновский признают вулканогенно-осадочный, сингенетично-эпигенетический, метаморфогенно-гидротермальный и магматогенно-гидротермальный генезис прожилково-вкрапленного, штокверкового и жильного золотого оруденения в черносланцевых толщах различных регионов страны. Ими были изучены несколько типов рудовмещающих углеродистых толщ: глинисто-терригенный, вулканогенно-кремнистый, карбонатно-кремнисто-вулканогенный, карбонатный. В терригенных комплексах развиты формации вкрапленных золото-сульфидных, золото-кварц-сульфидных, а также жильно-штокверковых золото-кварцевых, золото-сульфидно-кварцевых, золото-серебро-кварцевых, золото-антимонитовых месторождений. Показано, что крупные рудоносные зоны в структурах планеты это самостоятельные геологические образования с длительной историей развития, нередко превосходящей длительность магматических и тектонических циклов.[5]

Особый вклад в изучении золотоносности черносланцевых толщ Казахстана внесли такие геологи как Л.Г.Марченко, М.С.Рафаилович и Б.А.Дьячков. Л.Г.Марченко и др. изучали генезис и минеральные ассоциации золота и платиноидов в месторождениях черносланцевого типа Казахстана. Именно Л.Г.Марченко были впервые определены формы платиноидов в месторождениях Бакырчикского и Боко-Васильевского районов и месторождения Кварцитовые Горки, что возымело большое практическое значение и возвысило статус данных месторождений месторождений до золото-платиноидных. Также, помимо этого, Л.Г.Марченко был разработан и предложен способ извлечения благородных металлов из тонкодисперсных руд упомянутых месторождений. К тому же, геолог утверждает, что черные сланцы объединяют большое разнообразие углеродистых формаций, которые разделены на несколько типов. Это терригенно-углеродистые, карбонатно-вулканогенно-терригенно-углеродистые, вулканогенно-кремнисто-углеродистые, кремнисто-углеродистые и карбонатно-углеродистые. Все они имеют различную металлогеническую специализацию. На золото специализируются только первые две формации.[6] С другой стороны, геологи Б.А.Дьячков, М.С.Рафаилович и М.А. Мизерная изучали месторождения золота, которые находятся в ассоциации с черносланцевыми толщами. Объектами их исследований на территории Казахстана являлись крупные месторождения Бакырчик и Суздальское и др. Они выявили новые данные по геохимии, геологии и вещественному составу руд этих месторождений.[7] Недавно в ИГН им.К.И.Сатпаева завершена работа по оценке территории Восточного и Юго-Восточного Казахстана на большеобъемное благороднометальное оруденение в черных сланцах.

## 2 СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ТОЛЩИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Рассмотрим глубинное строение Западно-Калбинской структурно-формационной зоны. Зона герцинид Зайсанской складчатой области, характеризующаяся развитием золото-сульфидной минерализации расположена в центральной части области и прослеживается в северо-западном направлении более чем на 200 км при ширине до 80 км. В гравитационном поле ей отвечает область высоких горизонтальных градиентов силы тяжести, разделяющая региональные положительные и отрицательные аномалии от смежных структурно-формационных зон.

Мощность гранитно-метаморфического слоя в пределах зоны составляет 14-16 км, а мощность собственно осадочного слоя - 8-14 км.

Осадочный слой характеризуется резко выраженным трехъярусным строением.

Первый структурный ярус представлен комплексом метаморфических пород условно докембрийского возраста и составляет тот субстрат, на котором формировался геосинклинальный прогиб Западно-Калбинской зоны. Верхняя граница этого структурного яруса проводится условно из-за отсутствия данных ГСЗ, а нижняя - более уверенно, по данным сейсмологических исследований Н.К.Булина. Субстрат зоны резко разнороден по вещественному составу для северо-западной и юго-восточной части зоны. Это связано с тем, что юго-восточная часть зоны закладывалась и развивалась на сиалической коре, а северо-западная - на коре океанического типа. Верхний уровень гранитизации колеблется от 14 до 17 км, поэтому в область гранитизации частично попадал древний базальтовый слой земной коры, представленный в современном разрезе гранат-глаукофан-амфиболитовыми сланцами. Последние образованы в результате диафтореза по эклогитам.

Второй структурный ярус представлен складчатым комплексом, сформировавшимся в конце ранней стадии развития эвгеосинклинального прогиба. Раннеинверсионные складчатые структуры резко выражены в гравитационном поле, поскольку слагающие их отложения характеризуются достаточно высокой плотностью. По вещественному составу ярус сложен карбонатными, кремнистыми и вулканогенными образованиями, близкими, по-видимому, выходящим на поверхность отложениям силурийской карбонатно-песчано-сланцевой и девонской известняково-кремнисто-диабазовой формациям Чарского антиклинория.

Третий структурный ярус Западно-Калбинской зоны представлен образованиями формаций средней и орогенной стадий, несогласно перекрывающих раннеинверсионные структуры. В его строении участвуют, главным образом, отложения среднего-верхнего визе, образующие три синхронно формирующиеся в разных подзонах формации (известняково-кремнисто-базальтовую; известняково-кремнисто-песчаниковую, флишоидную), и нижнего намюра (молассоидная формация). Последняя

формация широко развита в пределах всех структурно-формационных подзон. В меньшей мере развиты отложения орогенной стадии: прибрежно-морская молассовая, наземная молассовая и трахиандезит-молассовая формации среднего-верхнего карбона и перми. Отложения верхнего структурного яруса собраны в крупные пологие преимущественно синклинальные складки, усложненные мелкой крутой складчатостью. Таким образом, структурный план отложений верхнего яруса не совпадает с раннеинверсионным.

Подобное "ярусное" глубинное строение весьма характерно для многих золоторудных районов СССР, когда в составе нижних структурных ярусов значительное место занимают толщи известняков и основных эффузивов, а в составе верхнего - терригенные отложения, вмещающие месторождения золота.[8]

К раннеинверсионным прогибам, выполненным терригенными отложениями верхнего яруса значительной мощности, приурочены крупные батолитообразные гранитоидного состава, а к раннеинверсионным поднятиям с мощным разрезом кремнисто-карбонатно-вулканогенных отложений второго структурного яруса, наоборот, преимущественно мелкие тела лакколито- и штокообразной формы сложного габбро-диорит-гранодиорит-плагиигранитового состава. И те, и другие интрузивные тела слабо вскрыты эрозией: с поверхности это чаще всего отдельные мелкие штоки, основные части плутонов перекрыты терригенными комплексами.

Роль структурного контроля выполняют также участки пересечения на глубине крутопадающих разрывов типа сбросов и пологопадающих им навстречу зон смятия типа сдвига-надвигов. Крутопадающие разрывы являются магмо- и рудопроводящими, пологие зоны смятия - рудолокализирующими. Рудные тела формируются в верхней части зон смятия, по восстанию, на значительном удалении от интрузивных тел.

Все известные месторождения золота перспективной золото-сульфидной формации в углеродистых толщах приурочены к склонам раннеинверсионных поднятий, сложенных карбонатно-вулканогенными и перекрытых терригенными углеродистыми толщами, усложненных поперечными зонами разрывных нарушений и прорванных интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плагиигранитового состава.

Рудные тела зачастую контролируются зонами смятия, располагаясь на значительном удалении (до 4 км) по восстанию зон от указанных выше интрузий. В итоге рудные тела месторождения в совокупности с интрузиями образуют единые рудно-магматические системы.

Наиболее характерной чертой глубинного строения Западно-Калбинского золоторудного района, локализованного в углеродистых толщах является "ярусное" строение верхних горизонтов земной коры. В состав нижних ярусов входят метаморфические сланцы докембрия, офиолитовые островодужные ассоциации пород, а верхних - песчано-сланцево-углеродистые толщи. Ярусы разделены поверхностями межформационного несогласия, структурные планы их резко не совпадают.

Поверхности ярусов неровные, образуют ряд поднятий и прогибов. Характерно наличие глубинных, большей частью не выходящих на эрозионную поверхность интрузий габбро-диоритового состава.

Выявлены критерии пространственной локализации оруденения:

1. Тесная связь оруденения с малыми интрузиями габбро-диорит-гранодиорит-плагиогранитового состава.

2. Структурная приуроченность указанных интрузий и оруденения к раннеинверсионным поднятиям, предпочтительно к их склонам, усложненным поперечными пологопадающими зонами разрывных нарушений.

3. Локализация рудных тел в зонах поперечных разрывов, в 2-4 км по восстанию от интрузий, на участках локальных перегибов и отслоений, возникших в процессе характерных для этой системы разломов сдвигово-надвиговых перемещений.

Также выделены следующие моменты:

1. Более благоприятными для формирования оруденения золото-сульфидного типа являются терригенно-углеродистые толщи, накапливающиеся в геосинклинальных прогибах, заложенных на коре океанического, либо переходного типов.

2. Наличие пространственной близости песчано-сланцево-углеродистых толщ с офиолитовыми и островодужными ассоциациями пород по латерали и вертикали.

3. "Ярусность" разреза, характерная для золоторудных провинций.

4. Наличие малых глубинных интрузий сложного габбро-диорит-плагиогранитового состава, тяготеющих к выступам основания терригенных прогибов, усложненным зонами пологих поперечных разрывов.[9]

Углеродистые образования составляют значительную часть отложений палеозоя и протерозоя Казахстана.

Терригенно-углеродистая и вулканогенно-углеродистая формации среднего карбона - молассовая и вулканогенно-молассовая толщи буконьской свиты мощностью до 1000 м и вулканогенная толща даубайской свиты Западной Калбы мощностью до 300 м. Содержит группу месторождений с золото-сульфидной и золото-кварцевой минерализацией бакырчикского и васильевского типов. Терригенно-углеродистая и вулканогенно-углеродистая формации ордовика - туфогенно-осадочная толща Селетинского синклинория, включает часть руд гидротермальных золоторудных месторождений бестюбинского типа.

Особенности золотоносных литофаций состоят, прежде всего, в их высокой химической, структурно-текстурной неоднородности, в немонотонности рудовмещающих толщ. Наличие в разрезе горизонтов и толщ, существенно различающихся литосоставом и физико-механическими свойствами (песчаники с проявлениями алевросланцев или алевролиты с прослоями песчаников, песчаники полимиктовые, кварц-полевошпатовые, вулканомиктовые), является благоприятным для оруденения. Кроме того, в

качестве важного фактора, контролирующего размер золотого оруденения, выступают полупроницаемые для растворов экраны регионального распространения - более молодые молассовые образования, представленные терригенными и вулкано-терригенными, часто грубообломочными породами. В роли локальных экранов для размещения золото-сульфидной минерализации выступают аргиллиты, кремнистые сланцы, известняки, наклоннозалегающие дайки и штоки интрузивных пород.

Металлогеническое районирование Западно-Калбинского золоторудного пояса выполнено на основе глубинного строения – выделено пять золоторудных зон: Суздальско-Акжальская, Кемпир-Жананская, Кедей-Баладжальская, Бакырчик-Кулуджунская и Эспе-Жанаминская. Они тяготеют к определенным структурам по границам блоков земной коры различного типа, глубинным разломам, надвиговым зонам, островодужным структурам.

Суздальско-Акжальская золоторудная зона приурочена к юго-западному борту Знаменско-Горностаевского прогиба. Месторождения сформировались вблизи палеограницы Казахстанского континента, на его шельфе и подводном склоне в рудовмещающей аркалыкской свите кремнисто-углеродисто-карбонатных фаций. Они залегают в лежащем боку подзоны субдукции, которую с юго-запада ограничивает Горностаевско-Аркалыкско-Боконский глубинный разлом (сутурный шов). Одна группа месторождений - Васильевское, Боко, Жолпак-Тобе и другие месторождения, приурочена непосредственно к выходу на дневную поверхность глубинного разлома, другая - Суздальское, Суурты, Акжал, удалены от него на некоторое расстояние, третья группа в центральной части золоторудной зоны - месторождения Аркалык, Жетык, Жайма I, Жайма II, контролируются зоной смятия, оперяющей главный глубинный разлом.

Кемпир-Жананская золоторудная зона расположена в пределах Кояндинско-Аркалыкской структурно-формационной подзоны, в краевой части Казахстанского континента, в надсубдукционной части Горностаевско-Аркалыкско-Боконской палеозоны субдукции. Кояндинско-Аркалыкская подзона представляет собой своеобразный пояс на докембрийском цоколе, представленном породами гнейсогранулитовой фации меланократового состава. Золоторудная зона тяготеет к области относительно слабой деструкции докембрийского цоколя, в пределах которой золотопроявления связаны с энсиалическим андезитом-базальт-риодацитовым туфотерригенно-карбонатным комплексом островных дуг. Энсиматические и энсиалические островодужные комплексы, сформированные в области интенсивной полной деструкции докембрийского цоколя, лишены золотопроявлений.

Кедей-Баладжальская золоторудная зона располагается в северной и центральной частях Чарского скрытого палеостроводужного поднятия висячем боку Чарского глубинного разлома (сутурного шва). В северо-западной части зоны находится группа месторождений - Мукур, Жерек, Такудук, Скак. Они локализованы в экзоконтакте Семейтауской вулканотектонической структуры, в широтной зоне разломов на границе с

Мукурским палеостроудужным поднятием, среди известняков, пиритизированных углеродистых алевролитов и песчано-сланцевых отложений карбона.

Бакырчик-Кулуджунская золоторудная зона тяготеет к скрытому Миялинско-Самарскому палеостроудужному поднятию, выделяемому по геофизическим данным в основании Западно-Калбинского терригенного прогиба, к узлам пересечений поднятия разломами близширотного направления. Зона включает ряд месторождений, приуроченных к Кызыловской зоне смятия, а также месторождения Миялы, Сенташ, Кулуджун и другие.

Эспе-Жанаминская золоторудная зона включает месторождения Эспе, Казаншункур, Жанатас, Жанама, Джумба и др., тяготеет к осевой части Казаншункур-Курчумского междугового палеопргиба, наложенного на разнородные комплексы склонов на юго-западе Чарской энсиматической островной палеодуги, на северо-востоке – энсиалической Миялинско-Самарской. Зона проходит вдоль Центрально-Калбинского разлома, к которому приурочен пояс скрытых интрузий диорит-гранодиоритового состава, а также малых тел и даек кунушского комплекса  $S_3-P_1$ , которые на глубине объединены в более крупные тела. На уровне верхней мантии прогибу соответствует апикальная часть резкого поднятия астеносферного слоя.

В Западной Калбе группа золоторудных месторождений локализуется в сложной пачке, состоящей из вулканогенно-терригенных, вулканогенных, криптовулканических отложений среднекарбонного возраста, пронизанной согласными субвулканическими и дайковыми телами. (рис.2) Рудовмещающая пачка совмещена с нижней подсвитой буконьской свиты и подстилается флишоидной кокпектинской свитой. Верхняя подсвита (пачка) представлена в основном осадочными отложениями - конгломератами, алевролитами, сформированными в континентальных условиях, и близка молассовой формации. Вулканогенно-терригенные отложения представлены груборитмичным переслаиванием вулканомиктовых песчаников, туфопесчаников, туфоалевролитов, туффитов и туфов смешанного дацито-андезито-базальтового состава и редкими прослоями серых и черных углеродистых аргиллитов. Относятся эти отложения к сероцветной формации, близкой к вулканогенной молассовой. Строение этой пачки осложнено эксплозивными брекчиями (Бакырчик), с которыми в основном совмещены зоны минерализации. Она обогащена углеродистым веществом, накопление и миграция которого определяются многими процессами, в том числе эндогенными. В районе Васильевского рудного поля нижняя буконьская подсвита надвинута на более молодые вулканогенные отложения даубайской свиты. На этом контакте развиты гибридные углеродистые лавобрекчии, к которым приурочены основные зоны минерализации.

Вулканогенно-терригенные породы обогащены пиритом, меньше арсенопиритом, структура выделений пирита - колломорфная или тонкозернистая, а текстура - массивная и вкрапленная. В этой пачке пород

развиты карбонаты магниально-железистой группы (анкерит, сидероплезит, сидерит) и меньше - кальциевой группы (кальцит). Для пород с песчано-алевритовой структурой характерны повышенные содержания натрия, а для аргиллито-пелитовой - калия. Для туфогенных и пелитовых разностей характерно изменчивое содержание алюминия, железа, кальция и магния и повышенное - хлора, бора, фосфора. Степень метаморфизма этих пород низкая и отвечает цеолитовой фации стадии зеленых сланцев.

Зоны минерализации золото-сульфидно-вкрапленные сочетаются с кварцевыми жилами и линейными кварцевыми штокверками. На Западной Калбе проявления с золото-сульфидно-вкрапленным оруденением преобладают над золото-кварцево-жильными. Рудные и кварцевые тела обычно согласные и субсогласные с простираем и рассланцованностью пород, в плане имеют форму линз, пластов, осложненных тектоническими смещениями. Кварцево-жильный тип оруденения распространен зонально выше сульфидновкрапленного. В размещении типов руд намечается для Калбинского района следующая закономерность: месторождения с золото-сульфидной минерализацией развиты в северной его части (Бакырчикское рудное поле), жильное золото-кварцевое оруденение приурочено к центральной части (Сенташский рудный узел), а жильное золото-кварц-сульфидное (Кулуджунский и Джумбинский рудные узлы) - к юго-восточной. В Боко-Васильевском рудном поле выделяются месторождения с золото-сульфидной минерализацией, совмещенные в пространстве с кварцево-жильными. Кварцево-жильное оруденение характеризуется высокими содержаниями металла при незначительном площадном развитии рудных тел, а сульфидно-вкрапленное - относительно низкими содержаниями, но большим развитием по площади и на глубину.

Размещение продуктивных на золотое оруденение углеродистых толщ в Казахстане подчиняется ряду четко выраженных закономерностей с небольшими отклонениями для отдельных регионов и мало зависит от геологического возраста. В региональном плане все продуктивные на золото участки, развитые в углеродистых толщах, приурочены к зонам глубинных долгоживущих разломов или к сериям протяженных кулисообразных трещин, фиксирующих эти разломы в верхних структурных этажах. Протяженность их равна сотням километров, ширина 1-5 км. Это зона Западно-Калбинского, Жананского и Чинрауского разломов в Восточном Казахстане. Тектонические нарушения преимущественно сбросово-надвигового типа выражаются мощными зонами рассланцевания, смятия и брекчирования пород, проявлением сульфидной и кварцевой минерализации, нарушением сплошности пластов и смещением разорванных частей относительно друг друга.

Характерной чертой участков развития золоторудного оруденения в углеродистых толщах является сложнблоковое строение, обусловленное широким развитием тектонических нарушений самого различного направления. Причем структурный контроль оруденения и непосредственно самих рудных тел обусловлен более молодыми разломами, чем разломы,

определяющие структуру рудного поля в целом. (Боко-Васильевское рудное поле)

Для Западно-Калбинского золоторудного района характерна приуроченность участков с максимальным развитием углеродистого вещества и рудной минерализацией к местам наиболее резко усложненной складчатости, этот же признак характерен и для других районов Казахстана.

Мощность минерализованных зон и интенсивность гидротермальных изменений определяется тектонической активностью вдоль вмещающего нарушения. Секущие по отношению складчатости (сдвигово-надвиговые) нарушения, сопровождающиеся более мощными зонами дробления, рассланцевания, милонитизации и будинирования вмещающих пород, имеют более высокие содержания металла, чем согласные.

В структурном отношении рудные поля в углеродистых толщах приурочиваются к участкам развития пересекающейся складчатости (Бакырчик), приконтактным частям наложенных мульд (участок Байконур), крыльям синклинорных и грабен-синклинальных структур (Боко-Васильевское, Жанан).

Особенности взаимосвязи вулканизма, криптовулканизма, интрузивной деятельности на гипабиссальном уровне и постмагматической минерализации, а также специфику формирования пород, обогащенных углеродистым веществом, можно проследить на примере рудного района Восточного Казахстана. В Западной Калбе рудные поля находятся в сложной линейно-вытянутой на многие километры зоне глубинных разломов. Рудовмещающая толща выполняет приразломные грабены орогенной стадии развития региона. Особенностью рудовмещающего "черносланцевого" разреза карбонового возраста является наличие своеобразных вулканосубвулканических пачек порода и взрывных брекчий, содержащих до 30-50% твердого углеродистого вещества. С этими пачками в основном совмещены зоны минерализации золота. Они отнесены к гибридным лавовым и взрывным брекчиям, отличаются глубиной формирования и включают месторождения с различным уровнем формирования рудных тел. Малоглубинные субвулканические месторождения отмечаются на юго-западе района (Боко-Васильевское рудное поле), глубинно-вулканические - на севере (Бакырчикское рудное поле).

Золоторудные взрывные брекчии обычно приурочены к малоглубинным дифференцированным интрузиям или к субвулканическим телам трещинного типа. Развиваются эти брекчии из средней и кислой магмы в пределах областей автономной активизации. К характерным и обычным компонентам взрывных брекчий относят углеродистое вещество, представленное твердыми битумами: керит-антраксолитом или асфальтитами, мальтой и нефтью. Большая часть углеродистого вещества является продуктом термокаталитического преобразования углерода. Формирование взрывных брекчий обусловлено образованием газовой взвеси, обладающей абрадирующей и инъекционной способностью.

Рудоносные лавовые и взрывные брекчии Западной Калбы тесно связаны с магматическими фациями. Гибридные лавовые брекчии подстилаются лавобрекчиями и туфолавами андезито-базальтового состава даубайской свиты и включают субвулканические тела диоритового и диабазового состава, подверженные минерализации. На Бoko-Васильевском рудном поле субвулканические тела в виде даек и силлов встречаются среди вулканитов даубайской свиты и в пространстве тесно связаны с малыми интрузиями диорит-гранодиоритового кунушского комплекса. Взрывные брекчии не имеют видимых переходов в магматические фации и представлены в основном слепыми телами. Редко отмечается их переход по простиранию в небольшие тела лавобрекчий андезито-базальтового состава. Брекчии сопровождаются субширотными габбро-диабазовыми телами, дайками альбитизированных диоритовых и диабазовых порфиритов.

Для пачки углеродистых гибридных брекчий в целом характерно линейное ориентированное сложение с элементами переслаивания, чередования пород с флюидално-обломочной, пузыристой и линзовидной текстурами. Вторичные процессы (пропилитизация, лиственитизация, окварцевание) и интенсивное тектоническое смятие вместе с изменением первичного состава углеродистых лавовых брекчий определили появление пятнистой, плейчатой, линзовидно-полосчатой и сланцеватой текстур. Текстура обломков - пузыристая, миндалекаменная, структура - порфировая, афировая с гиалопилитовой, пилотакситовой, микролитовой и витрофировой основной массой, часто замещенной метасоматическими минералами (альбит, карбонат, серицит, кварц, хлорит). Состав обломков андезито-базальтовый, аналогичный составу подстилающих лавобрекчий и туфолав даубайской свиты. К низам пачки тяготеют светло-серые флюидалные лавобрекчии с редкими волокнистыми жилочками углеродистого вещества мощностью от долей миллиметра до 10 мм. Обломки имеют вид маломощных слойков, шнуров, в различной степени пропилитизированных. Выше по разрезу лавобрекчии сменяются черными углеродистыми флюидално-обломочными лавами с элементами флюидално-линзовидно-полосчатой и пятнистой текстур. Крупные обломки - линзовидные, шнуровидные, псевдослоистые, полосовидные - ориентированы согласно с общим направлением флюидалности обломочных лав. Мелкие обломки сильно сплюснены, редко имеют изометричную форму.

В углеродистой гибридной пачке по вертикали наблюдается смена лавовых брекчий, слабо обогащенных углеродистым веществом, аргиллитоподобными черными углеродистыми и силицитоуглеродистыми породами с подчиненным количеством обломков лав и карбонатов. Эта пачка является верхней для лавокластов даубайской свиты. Она возникла в результате взаимодействия трещинных подводных излияний с нелифитизированным донным осадком. Для взрывных брекчий характерны линейно-линзовидные и изометрические тела. Они встречаются на участках Бакырчикского рудного поля.

Углеродистое вещество обособляется в цементе в виде гнезд, скоплений, линз, конкреций (от 3 до 50 см) вместе с кварцем и карбонатом. Конкреции имеет состав шунгитовый, антраконит-шунгитовый и шунгит-сидеритовый и встречаются чаще всего в туффзитовых микробрекчиях.

Морфология брекчиевых эксплозий усложняется дополнительным брекчированием, рассланцовкой и смятием, синхронных с гидротермальной проработкой, что обусловило образование брекчий углеродисто-карбонат-кварцевого состава, содержащих реликты первичных брекчий.

В пределах Западно-Калбинской золоторудной зоны интрузии концентрируются в первую очередь на участках наибольшей проницаемости пород: в местах S и V-образных перегибов структур, местах пересечения разнонаправленных разломов, мощных зонах рассланцевания и дробления пород. В пределах золоторудных полей и месторождений максимальное количество магматических образований приурочено к мелким флексурным перегибам, зонам рассланцевания и тонкой трещиноватости, замковым частям килевидных сдавленных складок. Положение даек в плане месторождений согласное, в основном подчиняется направлению локальных складчатых структур, реже секущее. В пределах Калбы развито два дайковых пояса, первый из которых включает месторождения Джерек, Эспе, Бакырчик, Сенташ и целый ряд мелких объектов, второй - Жанан, Акжал, Боко, Васильевское, Ашалы, Даубай и другие.

Простираение поясов северо-западное, с небольшими отклонениями. По глубине формирования выделяются три группы интрузивных тел: малые интрузии, субинтрузивные и субвулканические.

### 3 ТИПИЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ЧЕРНОСЛАНЦЕВОЙ ТОЛЩЕЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Общие особенности золоторудных месторождений в углеродистых терригенных и терригенно-карбонатных комплексах:

1) приуроченность к зонам интенсивного рассланцевания пород черносланцевых формаций (углеродистые сланцы, алевролиты, песчаники, кремнистые и карбонатные породы);

2) отсутствие в рудных полях крупных интрузивных массивов, чаще магматизм представлен зонами даек;

3) промышленные золоторудные месторождения локализованы чаще всего в черносланцевых толщах, испытавших метаморфизм зеленосланцевой фации;

4) оруденение представлено зонами вкрапленной и прожилково-вкрапленной золото-сульфидной и кварцево-сульфидной минерализации, зонами сблизженных кварцевых жил, наиболее крупные рудные тела образуют штокверки и минерализованные зоны;

5) руды имеют простой минеральный состав и относятся к пирит-арсенопиритовому минеральному типу малосульфидной золото-кварцевой фации;

6) золото преимущественно мелкое и весьма мелкое, его содержания в рудах низкие;

7) в генетическом отношении месторождения сложные, полигенные; они образуют генетический ряд от осадочных и гидротермально-осадочных до метаморфогенных, метаморфогенно-гидротермальных при различной роли наложенных плутоногенных процессов.

Большинством исследователей признается, что черные сланцы и углисто-глинисто-карбонатные породы представляют собой осадочные горные породы, обогащенные сингенетическим органическим веществом. Оно имеет сапропелевую природу с подчиненным количеством гумусового материала. Распространенной считается также сорбированная форма органического вещества. Черные сланцы, формировавшиеся в обстановках синхронного вулканизма, обогащались кремнеземом и тяжелыми металлами.

#### Месторождение Бакырчик

Открыто в 1953 году. Суперкрупное. Приурочено к Кызыловской субширотной зоне дислокаций. Рудовмещающие породы представлены углеродсодержащими алевролитами, аргиллитами, сланцами и песчаниками буконьской (бакырчикской) свиты среднего карбона. Содержание углеродистого вещества до 10% (среднее - 2%). По морфологии относится к зонам сульфидной минерализации. Золото субмикроскопическое, связано с сульфидами - арсенопиритом и пиритом. Мощность рудных тел до 20 м, протяженность по простиранию до 500 м, по падению до 1200 м. Руды полосчатые и массивновкрапленные. Состав руд: арсенопирит, пирит, золото,

антимонит, марказит, халькопирит, пирротин, блеклые руды (теннантит и тетраэдрит), галенит, сфалерит, киноварь, самородное серебро, кварц, карбонаты. Сульфидов до 10%. Золотоносны игольчатый арсенопирит (золота 100-150 г/т) и пирит пентагон-додекаэдрического габитуса (золота до 60 г/т). Рудообразование 3-х стадийное: ранняя стадия - золотоносная арсенопирит-пиритовая, средняя полиметаллическая (слабо золотоносная), поздняя - кварц-карбонат-антимонитовая. Химический состав руд: золото, серебро, свинец, цинк, медь, кобальт, никель, молибден, мышьяк, фосфор, бор, стронций. Содержание мышьяка в рудах до 1,5%. Руды упорные, требующие специальных экологически чистых технологий извлечения золота. Традиционными методами анализов платиноиды в руде не фиксируются.

По данным детальных исследований (В.И.Зенкова, Л.Г.Марченко и другие, 1980), углеродистое вещество (УВ) представлено группой керит-антраксолит-шунгит, количество которого растет пропорционально степени гидротермальной проработки пород. Кроме УВ метасоматиты рудных и надрудных зон насыщены битумоидами. В рудных телах преобладает спиртобензольный битумоид (С), в около и надрудных зонах - хлороформенный (А). Рудогенные элементы положительно коррелируются с битумоидом С. Эпибитумоиды представляют собой многокомпонентную смесь масел, спиртобензольных смол и асфальтенов, жирных кислот и твердых парафиновых углеводородов. Степень метаморфизованности эпибитумоидов растет от рудных зон к надрудным. Устанавливается совместная миграция золота и его элементов-спутников с битумоидами.

Важное значение имеет твердое углеродистое вещество (УВ). Количество миграционного УВ, увеличивается в рудных телах. УВ относится к группе нафтоидов, классу керит-антраксолит-шунгитов. Отсутствие гуминовых кислот, преобладание нейтрального битумоида (А) над кислым (С) свидетельствует о высокой степени карбонизации УВ. Большое распространение на месторождении имеет шунгит (высший антраксолит), особенно в надрудных частях зон. Ассоциирует с антраксолитом, нерудными (кварц, антраконит, сидерит, серицит) и рудными (пирит, арсенопирит).

Форма и степень связи золота с УВ может быть металлоорганической (химическая), сорбционно-эпигенетической и самородной. В связи с отсутствием гуминовых кислот металлоорганическая форма связи не проявлена. Отсутствует парная корреляция битумоидов, УВ и золота. Золото всегда коррелируется с мышьяком, висмутом и сурьмой, содержащимся в УВ. Следовательно, золото сорбируется УВ. Форма связи, по-видимому, сорбционно-эпигенетическая, поскольку повышенное его содержание тяготеет к зонам смятия.

Таким образом, УВ принимает активное участие в оруденении, выполняя роль восстановителя, осадителя, неоднократно мигрирует, меняя формы связи с золотом от сорбционно-сингенетической до сорбционно-эпигенетической.

На генезис оруденения имеется ряд точек зрения, из которых наибольшего интереса заслуживают две: гидротермальная эпигенетическая и осадочно-вулканогенно-метаморфогенная (полигенная) сингенетично-эпигенетическая.

Первая предложена в атласе "Многофакторные поисковые модели золоторудных месторождений" (ЦНИГРИ, Москва, 1989 г). Построена модель Бакырчикского рудного поля (рисунок), представляющего собой однокорневой симметричный рудный пучок, каждая ветвь которого фигурирует в ранние месторождения (Глубокий Лог, Промежуточное, Бакырчик, Сарбас, Шалобай, Большевик). Их корневые части смыкаются на глубине 3-4 км в единый ствол корень, уходящий в апикальную часть слепого гранитоидного массива. Предполагаемая глубина "ветвей" пучка 3 км, прослеженной части - 1-1,5 км. Приведена вертикальная геохимическая и минералогическая зональность рудного поля.

В полигенной модели (В.А.Нарсеев и другие, 1997), Бакырчикский грабен-прогиб в процессе осадконакопления испытывал многократные тектонические деформации и подвижки. Осадкообразование сопровождалось проявлением скрытого подводного вулканизма с поступлением гидротермальных растворов и накоплением в застойных водах донных иловых осадков (микститов) с сингенетической золото-сульфидной минерализацией вулканогенно-гидротермальной природы. Огромные массы микститов оказались насыщенными растворами, содержащими Au, As, Co, Ni; фосфор и другие элементы (не исключая и платиноиды). Последующие диагенез, динамотермальный метаморфизм способствовали процессам перераспределения, миграции и формирования золотой минерализации в линзовидных телах, сочетающихся с ловушками антиклинального типа и телами тектонитов высоких (VII-IX) тектонофаций (по Е.И.Паталахе, 1986).

Для неизменных микститов характерны содержания золота 2-4 классов (средние содержания 0,3-0,67-1,1 г/т). Начиная с 5-го класса (2 г/т) начинают существенно влиять отмеченные структурно-тектонические деформации. Содержания 7-го и последующего классов (6,1-10,4 -16,3 г/т) связаны с зонами тектонитов VII-IX тектонофаций. Прослежена стабильность уровней концентрации низких и средних классов по простиранию на 12 км и по падению 1 км.

Авторами утверждается многоэтажность минералообразования, многоуровневость рудных тел до больших глубин (на основе анализа всех типов вертикальной зональности).

В пределах Бакырчикского (Кызыловского) рудного поля суммарная мощность рудной пачки составляет 450-500 м, протяженность по простиранию 12 км, по падению до 5-6 км. При этом, собственнорудносная пачка имеет мощность 150 м. Внутри рудоносной пачки установлено три уровня микститов, отвечающих рудным телам. Средняя мощность пластов микститов 30-40 м. Большая их часть на глубоких горизонтах и в лежащем боку осталась неразведанной. Предполагается глубина распространения рудоносных микститов до 3 км (по падению до 5 км), по простиранию до 12

км, что позволяет, как минимум, утроить прогнозные ресурсы золота рудного поля по сравнению с ранее принятыми (1988). Бакырчикское рудное поле оценивается как второе или третье по ресурсам золота среди объектов СНГ при суперкрупном собственно Бакырчикском месторождении. В этом аспекте заслуживают доразведки Боко-Васильевское и Ашалы-Даубайское рудные поля.

### Месторождение Васильевское

Отрабатывается с 1946 года. Находится в шовной зоне Боконского глубинного разлома, разделяющего эффузивы даубайской свиты висячего бока и углеродистые сланцы буконьской свиты лежащего бока. Рудные тела приурочены к углистым алевролитам. В подстилающей песчаниковой толще и налегающих эффузивах устанавливаются лишь разрозненные маломощные кварцевые жилы с низким содержанием золота. Морфология золотоносных зон сложная. Стержневое положение занимают жилы и зоны прожилкования. Количество кварца в рудных телах колеблется от 1-20 до 70-80%, сульфидов от 2-3 до 10-15%. Рудные тела характеризуются значительной протяженностью по падению (до 700 м). Состав руд: пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит, блеклая руда, золото, кварц, карбонаты, графитоид. Золото локализуется в основном в пирите и арсенопирите, частично в кварце. Оруденение формировалось в две продуктивные стадии: раннюю кварц-арсенопирит-пиритовую и позднюю кварц-пирит-арсенопирит-полиметаллическую. В ранней стадии золото концентрируется в пирите и арсенопирите, в поздней - кварце и в сростках с сульфидами полиметаллов.

Месторождение по запасам среднее. Фланги и глубокие горизонты недоразведаны.

Л.Г.Марченко (1980) выделяет в верхах буконьской свиты своеобразную пачку вулкано-субвулканических пород с эксплозивными флюидальными брекчиями, несущими повышенное количество сульфидов, золота, углистого вещества и карбонатно-кремнистых продуктов (аналоги микститов). Для вулканогенных эксплозивно-брекчиевых руд характерны перераспределение и метаморфизм УВ ряда керит-антраксолит-шунгит до графитоидов, тесный парагенезис с дочерними сульфидами, надрудные и околорудные чехлы керогенов. Гибридные лавовые и эксплозивные брекчии и туффизиты андезит-базальтового состава тесно связаны с вулканитами даубайской свиты и субвулканическими дайками аргимбайского комплекса (С<sub>2-3</sub>).

Между осадконакоплением углеродсодержащих отложений бакырчикской и буконьской свит и магматизмом устанавливаются следующие корреляционные связи (таблица).

Как следует из таблицы, в пределах Бакырчикского рудного поля синхронно формировались бакырчикская рудоносная свита и габбро-норит-диоритовый бижанский комплекс (С<sub>2-3</sub>).

Диорит-дацитовые вулканиты (калгутинская свита, С<sub>3</sub>) проявились во вторую стадию молассонакопления бакырчикской свиты, плутонизм (кунушский комплекс, С<sub>3</sub>) - после ее формирования.

Для первично-сингенетического рудообразования возможны две модели (металлогенические комплексы): плутоногенно-осадочная (в связи с бижанским комплексом) и вулканогенно-осадочная (в связи с риолито-дацитовой калгутинской свитой), для эпигенетической-гидротермальной - с кунушским плагиигранит-гранодиоритовым комплексом (С<sub>3</sub>). Для золотого оруденения васильевского типа устанавливается корреляционная связь молассонакопления буконьской свиты (С<sub>2</sub>) с венчающим базальт-андезитовым вулканизмом даубайской свиты (С<sub>2-3</sub>) с одной стороны и комагматичным габбро-норит-диабазовым аргимбайским комплексом (С<sub>2-3</sub>) - с другой. Платиноидное оруденение, возможно, более позднее, в виду его присутствия, по А.Ф.Коробейникову, в кварцево-жильных месторождениях Акжал, Балажал, Жумба, связанных с салдырминским и кунушским комплексами (С<sub>3</sub>). Золото-платиноидное оруденение формировалось в зонах коллизий позднего палеозоя.

#### Суздальское месторождение

Суздальское месторождение располагается в северо-западном ограничении золотоносного Западно-Калбинского пояса на площади развития каменноугольных углеродисто-терригеннокарбонатных пород, вмещающих десятки месторождений и сотни рудопроявлений золота различных формационных типов [1]. Оно приурочено к зоне сочленения Чарско-Горностаевского глубинного разлома северо-западного простирания и Суздальского разлома северо-восточного простирания. Рудовмещающий разрез представлен снизу вверх: а) чередованием известковистых и углистых алевролитов и мергелей с линзами известняков и горизонтами кремнистых пелитолитов, полимиктовых гравелитов, песчаников, туфопесчаников, туффитов и лав среднего состава в основании (160–180 м); б) известняками рифогенными (3–100 м); известковоуглистыми алевролитами с линзами известняков (80 – 100 м). Рудная минерализация приурочена к тектонической зоне северо-восточного простирания, имеет протяженность около 4 км и вмещает 4 кулисообразные рудные зоны с углами падения на юговосток от 40 до 90°. Рудные тела мощностью 1–40 м прослеживаются по простиранию на 200–800 м и на глубину до 500 м. Руды относятся к золото-сульфидному (Au-As) типу с содержанием сульфидов от 0.5 до 10–15 %. Они представлены вкрапленными, гнездово-прожилковыми и стратифицированными разновидностями. Рудные тела 1–3 рудных зон расположены в фациях

рифогенных известняков и биокластитов. Рудная зона 4 тяготеет к флишоидным углеродистым песчанисто-алевропелитовым породам.

На месторождении выделяются три текстурных типа золотосодержащих руд. Здесь же проявлена более поздняя сурьмяная кварц-карбонатная минерализация с антимонитом, бертьеритом, самородной сурьмой и аурустибнитом. Первый тип оруденелых пород представлен известняковыми и полимиктовыми брекчиями седиментационного, тектонического и меланжевого происхождения. Они были встречены в верхних частях рудной зоны 1 на западе месторождения. Ко второму типу относятся интенсивно прокварцованные брекчии различного генезиса. Обычно в них сохраняются только фрагменты обломков. Они встречаются на более глубоких горизонтах месторождения. Оба этих типа руд несут вкрапленную золото-сульфидную минерализацию с пиритом, марказитом, пирротинном, реже – сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, рутилом, виллиамитом, никелином, ульманнитом. Золото в них на 98 % находится в свободной форме и характеризуется кристаллическим и чешуйчато-пластинчатым строением. Оно имеет высокую пробность (930–950 ‰). В рудах встречается также более позднее коралловидное чистое золото, нарастающее на кристаллическое золото. Третий тип руд представлен углеродистыми известковистыми биокластитами, известковисто-кремнистыми или углеродистыми песчаниками и алевропелитами флишоидно-турбидитового строения. Оруденение в них представлено тонкодисперсными сульфидами с невидимым золотом. Подобные руды были вскрыты карьером в 4 рудной зоне на востоке месторождения. Внешне это интенсивно кливажированные трещиноватые породы без видимых признаков гидротермальных изменений, со штокверковой сетью безрудных кварц-карбонатных прожилков. Промышленная рудоносность их выявляется только по данным опробования. Вмещающие породы имеют ритмично-слоистое строение и сохраняют многие признаки прибрежно-морского отложения. В них проявлены текстуры взмучивания, косослоистого строения, градационной сортировки и размыва, а также признаки диагенетически-эпигенетических преобразований. По минеральному составу это, преимущественно, олигомиктовые кварц-полевошпатовые песчаники и алевропелиты, частично серицитизированные и хлоритизированные. В полированных образцах в них отчетливо проявляется послойное распределение тонкодисперсных пирита и арсенопирита. В восточной части месторождения распространены более грубообломочные известковистые биокластиты и известковистокремнистые породы также с послойной сульфидной минерализацией. Все эти породы представляют золотосодержащую руду. Содержание золота в отдельных штуфах варьирует от сотен мг/т до 40 г/т и более.

Для месторождения характерны следующие особенности:

- нахождение в зонах дислоцированных и брекчированных углеродисто-терригенных пород, залегающих в разновозрастных рифтогенных зонах окраин платформ;
- неопределенные пространственные и временные взаимоотношения с магматизмом;
- структурно-тектонический контроль оруденения;
- значительная протяженность минерализации на глубину, установленная на некоторых месторождениях (Майское, Бакырчик) и по простиранию;
- тонкодисперсный характер выделений золотосодержащих пирита и арсенопирита;
- отсутствие явных признаков гидротермальных изменений;
- присутствие золота в сульфидах в невидимой форме;
- локальная стратификация оруденения и избирательное отложение сульфидов в терригенных породах разного гранулометрического состава;
- наличие безрудной прожилковой кварц-карбонатной минерализации.

## Сухой Лог

Месторождение расположено в пределах сжатой опрокинутой асимметричной Сухоложской антиклинали субширотного ( $275\text{--}295^\circ$ ) простирания с пологим падением осевой плоскости антиклинали на северо-северо-восток под углами  $25\text{--}35^\circ$  и пологим погружением оси складки на запад под углами  $2\text{--}9^\circ$ . Ядро складки сложено верхнепротерозойской хомолхинской свитой, представленной ритмичнослоистой толщей филлитовидных и алевритистых углеродистых сланцев с прослоями алевролитов и песчаников. По количественному соотношению слагающих пород свита расчленена на три подсвиты — нижнюю (180 м), среднюю (около 450 м), верхнюю (160–330 м). Последняя, в свою очередь, разделена на пять пачек (горизонтов) мощностью от 15–20 до 70–100 м в разных частях разреза. Границы между подсвитами и пачками постепенные и условные. В стратиграфическом разрезе породы хомолхинской свиты согласно перекрыты алевритистыми и слюдястыми известковистыми сланцами, песчаниками и известняками имняхской свиты, расчлененной на нижнюю подсвиту (до 520–540 м) преимущественно песчано-сланцевого состава и верхнюю (до 540 м), сложенную в основном известняками.

Положение и формы золотого оруденения на месторождении подчинены структурному и литологическому контролю, связаны с составом и интенсивностью проявления окolorудных метасоматических изменений,

представленных карбонатизацией и серицитизацией вмещающих пород, предшествующих рудоотложению, и кварц-сульфидной минерализацией, сопровождающей и генетически связанной с рудным процессом. Наиболее контрастно в локализации золотого оруденения проявлен структурный контроль. Продуктивная наложенная кварц-карбонат-сульфидная минерализация (прожилковая, линзовидно-гнездово-прожилковая) развита в центральной части зоны смятия. На ее периферии (к лежащему и висячему бокам) она сменяется прожилково-вкрапленной. Вкрапленная слабозолотоносная рассеянная минерализация повсеместно наблюдается за пределами зоны смятия в крыльях антиклинали (рис. 2). Это определяет центростремительный характер распределения золотого оруденения в объеме антиклинали относительно осевой плоскости. Золоторудная минерализация в зоне смятия занимает секущее положение к напластованию, развита в породах верхней и частично средней подсвит хомолхинской свиты; на рудном поле занимает северный и восточный фланги. За пределами современных границ месторождения распространяется также в отложениях нижней подсвиты.

Основные особенности строения рудных зон на месторождении Сухой Лог:

- высокая выдержанность рудных тел по простиранию и падению;
- значительные размеры рудных тел;
- прерывистый характер распределения золоторудной минерализации в направлении мощности рудного тела, что выражается в чередовании кондиционных (рудных) и некондиционных интервалов;
- зональное распределение содержания золота относительно осевой плоскости антиклинали, к которой приурочена зона смятия.

#### 4 ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ НА ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

В метаморфических толщах и метасоматитах присутствует наложенное (переотложенное) углеродистое вещество (УВ) в виде тонкораспыленной вкрапленности, гнезд, линз, мелких прожилков и жилков размером от первых миллиметров до первых метров. Гидротермальный метасоматоз и рудоотложение сопровождалось привнесением углеродистого вещества в зоны локализации руд. Битуминологический, рентгеноструктурный и термографический анализы позволили отнести УВ к классу нафтоидовкерит-антраксолитового ряда с примесью графита. Наложённое УВ ассоциирует с золотом. Оно присутствует в рудных телах и околорудных метасоматитах, содержит золотоносные пирит и арсенопирит, включения собственных минералов золота и металлов платиновой группы. Золотоносные пирит и арсенопирит, в свою очередь, несут включения УВ, к которым тяготеют микровключения золота.

Золоторудные месторождения черносланцевого типа представляют сложное по составу и строению минеральное сырьё. Их особенности определяют сложность их анализа и определение в них содержания золота, платиноидов и рения.

Для руд большинства месторождений черносланцевого типа характерно исключительно тонкозернистое строение и большое разнообразие форм золота. Для примера, в рудах Бакырчика (Восточный Казахстан) минералогию и формы нахождения золота изучали высококлассные специалисты различного профиля: А.М.Каймирасова (1975), В.Н.Матвиенко, В.Л.Левин (1988), М.М.Старова, М.С.Рафаилович и др. (1982), В.А.Нарсеев и др. (2001), Б.А. Дьячков, З.И.Черненко (2014) и многие другие. В целом ими установлены следующие формы золота:

1 - самородное макро- и микроскопическое золото в виде вкраплений и тонких прожилков в силикатных и карбонатных минералах;

2 - самородное "невидимое" золото в породах размером от 2 мм до нескольких микрон; оно настолько плотно "упаковано" углеродистоглинистым веществом, что не вскрывается при дроблении породы;

3 - коллоидное самородное золото в породах;

4 - микроразмерное самородное золото в сульфидах (пирите и арсенопирите), локализованное в дислокациях зерен минералов;

5 - ионное золото, сорбированное частицами глинистого и углеродистого материала;

6 - самородное золото и его другие минеральные соединения в твердом углеродистом материале в виде микро- и наноразмерных включений;

7 - металлоорганические соединения золота в жидких углеводородах и битумах.

По данным В.В.Масленникова (1998) свободное самородное золото в рудах составляет 20-40%, остальная его часть (60-80%) сосредоточено в пирите, арсенопирите и углеродистом веществе. М.М.Старова и др. (1982)

показали, что количество золота в углеродистом веществе в 5-10 раз больше, чем в сульфидах.

Эти данные свидетельствуют о преимущественном накоплении золота в углеродистых породах в крайне мелкодисперсном состоянии (нанозолото). Далеко не все методы позволяют правильно оценить его содержание в руде. Пробирный метод сопровождается значительными потерями золота в связи с летучестью его наноразмерных частиц при повышенной температуре. Соответственно, предложен ряд альтернативных методов, учитывающих эти факторы.

Предложенный В.Н.Матвиенко (1987) пирощелочной метод анализа позволил извлекать из проб золото с сохранением его природных форм. В результате удалось количественно определить самородную, коллоидную (кластерную) и ионную (сорбированную углистыми и глинистыми частичками руды) формы золота. Как видно из таблицы 2, на месторождении Бакырчик в отдельных штуфных пробах содержание тонкодисперсного самородного золота находится в пределах 2-12 г/т (в двух пробах 65 и 130 г/т); в целом на его долю приходится менее 20% золота от его общего содержания в руде. Максимальное количество самородного золота зафиксировано в пирит-арсенопиритовых рудах. Преобладают же в рудах Бакырчика коллоидное (кластерное золото нанометровой размерности) - 1-49 г/т, (максимально 166 г/т) и ионное - 2-4 г/т (максимально 10-13 г/т) золото.

Дисперсному золоту в последние годы уделяется большое внимание, и тем не менее четкого представления о нем пока нет. Как отмечает Л.В.Шумилова (2009), большинство отечественных и зарубежных геологов под "дисперсным золотом" понимают его рассеянную в кристаллических минералах или в углистом (органическом) веществе форму обособления, не обнаруживаемую современными электронно-микроскопическими методами. Это понятие может быть определено как обособления золота в относительно широком диапазоне дискретности: от отдельных атомов до моноэлементных кластеров. Особое место уделяется кластерам как нанообъектам, содержащим до сотен тысяч атомов. Кластеры металлов занимают промежуточное положение между атомами и массивным металлом и представляют его особое состояние с измененными физико-химическими параметрами.

Большинство исследователей рассматривают кластеры как группы атомов золота, объединенные общей электронной оболочкой. Это особое состояние металла, занимающее промежуточное положение между атомами и массивным кристаллическим металлом. Структуры золотых кластеров весьма разнообразны и изучаются с помощью рентгенофазного анализа. Кластеры золота в рудах Бакырчика В.А.Матвиенко и др. (2004) наблюдались при исследовании под электронным микроскопом. Достоверно были установлены кластеры палладия, платины и родия в рудах Бакырчика и Жаркулака, палладия и родия в рудах Архарлы, платины в рудах Энбекши.

Полученные данные показали, что наиболее значимым концентратором Au, как во вмещающих породах, так и в рудах различных типов, является

пирит. Из несурьфидных носителей в породе следует отметить кварц и черную гидрослюда, с ними связано около 25% золота.

Руды часто повторяют линзовидную и изометрическую формы брекчий. Золотоносная пирит-арсенопиритовая минерализация отмечается во всех разновидностях макро- и микробрекчий, но преобладает в макробрекчиях и особенно в псефито-псаммитовых разностях. Характерны повышенные содержания золота в глыбовых обломках витрокластитов. Менее минерализованы мономинеральные скопления углеродистого вещества. Обычно золотоносность эксплозивных и гибридных брекчий повышается в зонах интенсивного окварцевания. При этом морфология таких брекчий усложняется дополнительным брекчированием и рассланцовкой (смятием), синхронными с гидротермальной проработкой, что приводило к образованию кварц-карбонат-углеродистых брекчий и сланцевидных разностей с линзовидно-полосчатой текстурой и реликтами обломков первичных брекчий. Это свидетельствует о совпадении в пространстве криптовулканизма с гидротермальной деятельностью и соответственно двух морфологических типа руд и, с другой стороны, о пульсационном и длительном характере постмагматических процессов, определивших оруденение, начиная с пропицитизации, серицитизации, лиственитизации и кончая карбонат-кварцевым метасоматозом.

Характерным признаком для всех магматических образований Западной Калбы является повышенное содержание золота, КК которого колеблется от 2 в слабо измененных разностях до 706 в оруденелых магматитах. Такая же закономерность наблюдается и в отношении мышьяка. Субвулканические образования среднего и основного состава характеризуются повышенными КК сурьмы и молибдена и полным отсутствием вольфрама. Для всех магматитов месторождений Западной Калбы характерно увеличение КК молибдена с увеличением содержания золота. Сурьмяная специализация наиболее типична для магматитов месторождения Жанан, где интенсивно проявлены процессы поздней золото-кварц-антимонитовой стадии минерализации.

Наиболее широкими вариациями содержания элементов-примесей характеризуются дайковые образования, для которых характерен повышенный КК молибдена независимо от их основности.

По результатам ранговой корреляции наблюдается тесная (до 0,75) и очень тесная (более 0,75) связь золота с мышьяком для всех рудных интрузивных, дайковых и субвулканических образований, а для пострудных магматитов она отсутствует.

Очень характерна связь золота с сурьмой. При развитии антимонитовой минерализации в зонах дробления и окварцевания внутри обогащенных сульфидами магматических тел отмечаются повышенные КК сурьмы (до 20-40 в неизмененных породах и до 200 в зонах окварцевания и дробления). Связи сурьмы с золотом очень тесные положительные. В случае нахождения минералов сурьмы с кварцевых жилах, несущих золоторудное оруденение и залегающих в дайках без сульфидной минерализации, связи золота с сурьмой

резко ослабевают или вообще отсутствуют, т.е. значительную роль на заключительных стадиях рудного процесса играют первичные сульфиды. Не исключена возможность извлечения из них тонкодисперсного золота и переотложение его на золото-кварц-антимонитовой стадии минерализации.

Таким образом, по данным ранговой корреляций наиболее закономерными и тесными являются связи золота с мышьяком, реже с сурьмой. Остальные связи являются неупорядоченными и во многом обуславливаются спецификой гидротермальных растворов независимо от основности пород.

Наиболее четкое повышение концентраций элементов группы железа и полиметаллов отмечается в лежащем боку тела субвулканических диабазовых порфиритов месторождения Бакырчик, такое же распределение характерно для золота и пирит-арсенопиритовой минерализации. Повышенные концентрации золота, цинка, молибдена и кобальта приурочены к лежащему боку даек кислого состава в пределах зоны смятия.

Оруденение в Западной Калбе многостадийно и связано с проявлением различных типов магматизма и постмагматической деятельности.

Глубина формирования месторождений этого района, определяемая глубиной локализации минерализованных магматических образований, определила выделение двух групп месторождений:

1) субвулканические месторождения:

а) связанные с подводными излияниями гибридных лавовых брекчий (Васильевское);

б) тесно связанные с лиственитизированными телами (Боко, Мариновское);

2) глубинно-вулканические (гипабиссально-интрузивные), связанные с эксплозивными брекчиями и близповерхностными интрузиями (Бакырчикское рудное поле, Жанан и др.).

К общим типоморфным особенностям описанных месторождений относятся следующие:

1) совмещение зон минерализации с пачками вулканитов и криптовулканическими брекчиями, обогащенными твердым углеродистым веществом; большая роль интрузий сложного фазо-фациального строения диорит-гранодиоритового состава;

2) частое совмещение в рудных зонах двух морфологических типов - сульфидновкрапленного и кварцевожильного при субсогласном или согласном развитии кварцевых тел;

3) в локализации руд большую роль играют разрывные нарушения, приводящие к образованию мощных зон расланцевания и брекчирования, и флексуорообразные изгибы антиклинальных и синклинальных складчатых структур высокого порядка;

4) золото-пирит-арсенопирит-углеродистая рудная минерализация, слагающая преимущественно прожилково-вкрапленные руды;

5) сравнительно простые линзовидная и пластообразная формы рудных тел;

- 6) низкая пробность золота (550-720) в сульфидах;
- 7) тонкодисперсное золото в мышьяковистых сульфидах и более крупные включения золота в антимоните, кварце;
- 8) малосульфидность руд;
- 9) присутствие колломорфного пирита в ранней генерации и антимонита в поздней.

В качестве геохимических критериев можно выделить то, что для углеродистых или углеродсодержащих золотоносных пород Западной Калбы характерны повышенные содержания мышьяка и золота, КК которых достигает для мышьяка 7-1500 и для золота 37-2750. Между этими элементами отмечается очень тесная положительная корреляционная связь. Другой характерной особенностью является присутствие вольфрама в углеродистых взрывчатых породах средне-основного состава и туффизитах.

Сурьма в значительных количествах отмечается в углеродистых породах практически на всех месторождениях. Отмечается слабая связь золота со свинцом. Никель, ванадий, кобальт присутствуют в концентрациях, близких к кларковым.

Постоянным элементом-спутником всех углеродсодержащих пород рудного поля является серебро, КК которого колеблется от 2 до 280, с наибольшим содержанием в рудных интервалах. В неизменных углеродсодержащих породах серебро всегда преобладает над золотом, никель над кобальтом, за исключением гибридных андезитов-базальтовых лав месторождения Васильевское.

Для продуктивных на золотое оруденение углеродистых толщ Западной Калбы характерна мышьяк-вольфрам-серебряная специализация, реже сурьмяно-молибденовая. Для бакырчикской рудоносной пачки пород очень характерно повышенное содержание бора и фосфора.

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

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.

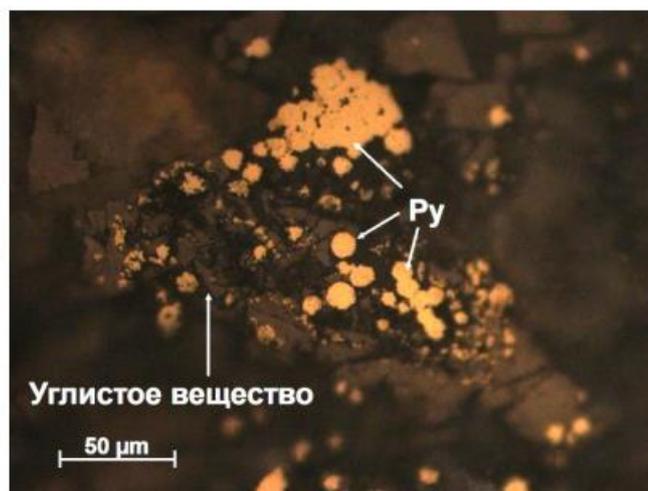


Рисунок 1, 2. Глобулярный пирит (Py) в сростании с углистым веществом. Бакырчик.

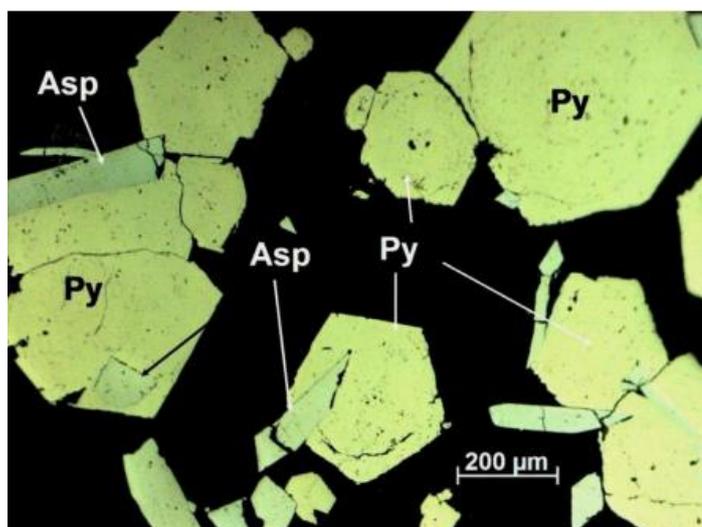


Рисунок 3. Пентагондодекаэдрический пирит (Py) в сростании с арсенопиритом (Asp). Бакырчик.

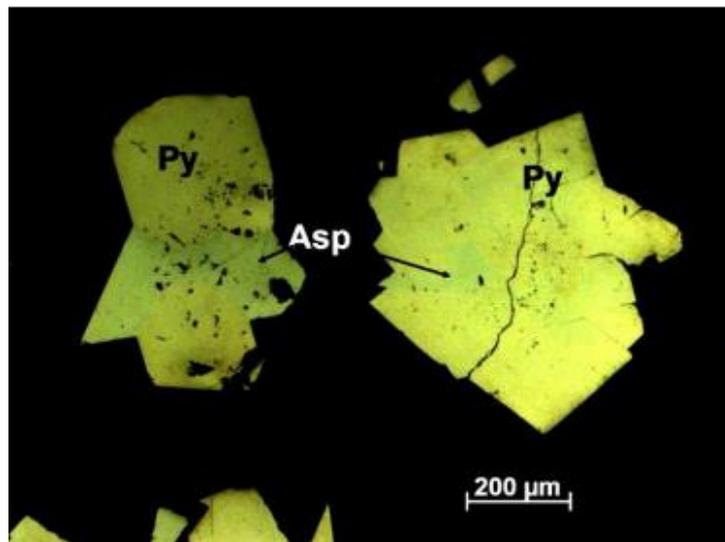
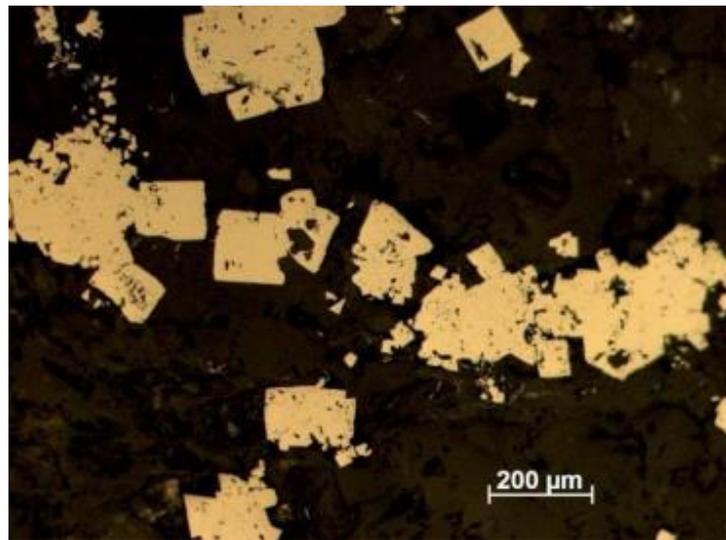


Рисунок 4, 5. Золотоносные ранние сульфиды. Пирит I (Py) и арсенопирит I (Asp). Бакырчик.

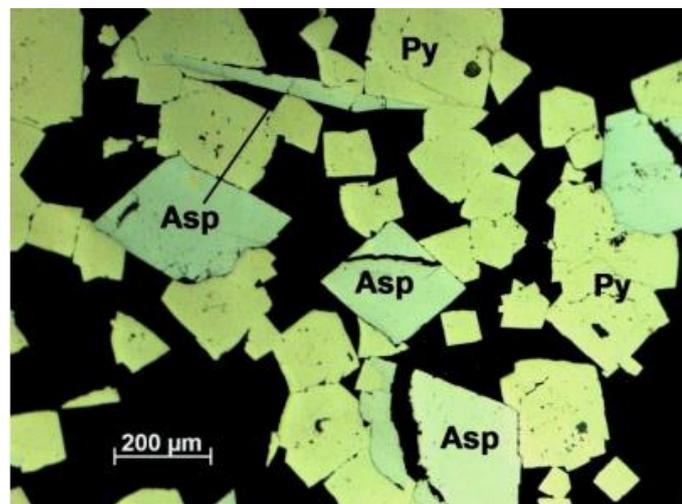


Рисунок 6. Кубический пирит (Py) сечется игольчатым арсенопиритом (Asp). Бакырчик.

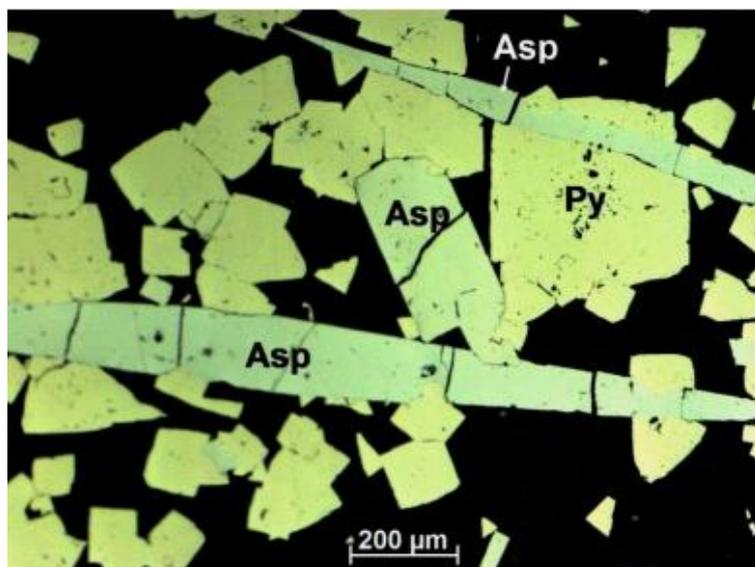


Рисунок 7. Кубический пирит (Py) в сростании с призматическим арсенопиритом (Asp). Бакырчик.

Приведенные данные авторов показывают, что для углеродистых сланцев платиновые металлы являются характерной примесью.[4] Содержания их меняются от сотых и десятых долей г/т до целых граммов на тонну с возникновением ураганных величин в десятки г/т. Концентраторами их являются не только самородные минералы золота и серебра, но и сульфиды, арсениды и теллуриды, а также многие акцессорные минералы, возникшие в период рудообразования. Значительный экономический интерес представляют вторичные антраксолиты и графиты, содержания платиноидов в которых часто такого же порядка, как и в рудных минералах, иногда достигая десятков граммов на тонну.

По результатам исследований (методами гравитационного и флотационного обогащения, растровой электронной микроскопии с рентгеновским микроанализом) выделено три типа минерализации.

Первый представлен самородными формами золота и платины с содержаниями в первых г/т. Самородная минерализация может быть обнаружена, оценена и введена в эксплуатацию с помощью традиционных методов химического анализа и обогащения, что и делается на известных месторождениях в черных сланцах.

Второй тип минерализации представлен металлоорганическими микровключениями размером 1-20 мкм. В углеродистых сланцах развиты платина, иридий и осмий. Потенциал этой минерализации для элементов платиновой группы может достигать первых г/т. Минерализация этого типа обнаруживается с помощью электронной микроскопии и рентгеновского микроанализа.

Третий тип минерализации предполагается на основании возможности присутствия значительного количества благородных металлов (особенно платины) в составе графита и других форм углерода на атомарном или

молекулярном уровне. Отдельные данные анализов неразрушающими методами, а также результаты плазменной плавки позволили утверждать авторам о том, что рудный потенциал минерализации этого типа может достигать десятков г/т платины.

Н.К.Бельский, Л.А.Небольсина и др. (1997) отмечают, что трудность анализа углеродистых пород связана со своеобразием форм существования в них платиновых металлов. Кроме металлоорганических соединений, в графитизированных образованиях они могут быть связаны непосредственно с несколькими атомами углерода. Они могут находиться и в минеральной части руд в виде наноразмерных соединений с S и As.

По последним данным Ю.С.Ананьева и А.Ф.Коробейникова (2009) для Бакырчика установлены следующие содержания платины (г/т): в рудах - 0,200-0,800, в гравитационных концентратах - 0,500-0,900, во флотационных концентратах - 0,430-0,750. Как видно, полученные из руды концентраты практически не обогащены МПГ. Это подтверждает то положение, что МПГ в рудах связаны со всеми классами углеродистого вещества, образуют различного рода собственные и металлоорганические соединения, присутствуют в сорбированном и распыленном состоянии в углеродистом материале.

Для Западно-Калбинского (Бакырчик-Васильевского) золоторудного района характерна приуроченность к зонам глубинных разломов и развитие на глубине горизонтов офиолитовых комплексов, что подчеркивает глубинность происхождения рудоносного флюида.

Гипербазиты Чарского комплекса, развитые в Чарско-Западно-Калбинской сутуровой зоне, относятся к докембрийскому циклу и специализированы на золото, кобальт, никель и платину. То есть, источник платины, палладия как и золота связан не только с углеродистым флюидом, но и с офиолитовой формацией.

Как уже было сказано до этого, месторождения благородных металлов в черносланцевых формациях имеют пространственно-генетическую связь с гипербазитами, либо с базит-гипербазитами, либо с офиолитами. Часто эта связь скрыта и определяется только по геолого-геофизическим данным, но она характерна для большинства крупнейших месторождений мира. По мнению Марченко, именно это является причиной совместного нахождения в этих месторождениях, кроме золота, платиноидов платино-палладиевого или осмиридиевого ряда. При условии отсутствия видимой связи оруденелых углеродистых сланцев с глубинным магматизмом по составу парагенетической ассоциации платиноидов можно скорректировать эти связи с глубинными магматитами базитового, гипербазитового или офиолитового состава.

Иногда в этом плане помогают развиты в большом количестве дайки лампрофирового и базитового состава. Для золоторудных полей Западной Калбы характерны повышенные содержания осмия, ирридия и палладия в Боко-Васильевском районе, с максимумами в листовенитах, что определено непосредственной близостью офиолитов Чарского пояса. Платина и

палладий развиты в рудных блоках, удаленных от осевой линии офиолитового пояса, что характерно для Бакырчикского рудного поля.

Общей чертой рассматриваемых месторождений является тонкодисперсный характер руд, что определяется не только воздействием специфичного, обогащенного углеводородами флюида, но и процессами интенсивного дробления пород в зонах глубинных разломов, надвигов, взрывных процессов. Это приводит к продолжительному и масштабному развитию механического и механо-химического диспергирования пород с образованием наночастиц с меняющимися свойствами. В образовании наноструктурных минералов не исключена роль микровзрывных явлений кавитации в потоке вскипающих растворов. Этим процессом обосновывается образование многих минералов, в том числе рудных, и углеродистого вещества в виде микросферул.

## 5 СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЗОЛОТА И ПЛАТИНОИДОВ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩАХ

Определение благородных металлов, особенно МПГ, в углеродистых рудах, представляет значительную трудность. Предложено десятки аналитических методов и их сочетаний, которые рассмотрены в нескольких монографиях, сотнях статей и патентов. Однако нет ни одной работы, которая бы критически рассматривала все разнообразие предложенных методов. Достоверность получаемых этими методами результатов в большинстве случаев низкая, чаще сомнительная.

Месторождение Сухой Лог - крупнейшее золоторудное месторождение в Сибири, относится к черносланцевому типу. Рудная залежь представляет собой карбонатизированные и хлоритизированные кварц-углеродисто-серицитовые породы позднего протерозоя, несущие золоторудную кварц-пиритовую и кварц-карбонатно-пиритовую минерализацию. Толщи обогащены органическим веществом - от 2-3 до 5-7%. Оруденение характеризуется относительно низким, но устойчивым средним содержанием золота - 2.5-3.5 г/т.

В месторождении детально изучалось платинометалльное оруденение в нескольких геологических институтах и производственных организациях России. В число аналитических методов входили химическое и пробирное вскрытие образцов, концентрирование МПГ на сорбентах и последующее определение концентраций МПГ методами масспектрологии с индукционно-связанной плазмой, оптической спектроскопии, спектрофотометрии, нейтронной активации, каталитическими реакциями, методом вольт-амперометрического анализа и др.

В 2006-2007 гг. в ЦНИГРИ была проведена переоценка запасов месторождения - Сухой Лог стал крупнейшим в Азиатско-Тихоокеанском регионе золоторудным объектом. Минералогическими, аналитическими и технологическими исследованиями было доказано отсутствие в рудах месторождения металлов платиновой группы в содержаниях выше 0.03 г/т. (И.Ф.Мигачев и др., 2014). Результаты этих исследований подтвердили зарубежные компании. Был проведен всесторонний анализ методик аналитических исследований, которыми были выявлены высокие концентрации (до десятков г/т) платиновых металлов и выявлены методические ошибки, обусловившие получение таких данных. К сожалению, эти материалы в печати найти не удалось. Исследователи, выполнявшие работы по платиноидам Сухого Лога, на эту критику никак не прореагировали. Так что на месторождении Сухой Лог пока будут добывать только золото и серебро.

В крупной монографической работе по платиновым месторождениям России Д.А.Додин, Н.М.Чернышев и Б.А.Яцкевич (2000) рассмотрели методы анализа МПГ. В нем авторы пришли к весьма неутешительному

выводу: "В ближайшее время при оценке проявлений МПГ в углеродсодержащих комплексах мы не сможем полностью доверять ни одному из существующих методов анализа". Приведенные выше примеры показывают, что за последние 20 лет ситуация существенно не изменилась.

Аналитике благородных металлов уделяется большое внимание во всем мире. В последние годы при их определении предпочтение отдается физическим и физико-химическим (инструментальным) методам. Принцип этих методов один и тот же: состав вещества определяется по его свойствам. Это экспрессные методы, обладают высокой чувствительностью и точностью. Физико-химические методы предусматривают химическую подготовку проб и получение концентрата благородных металлов небольшого объема, который анализируется инструментальными методами.

### Ядерно-физические методы анализа

Среди методов, дающих информацию о вещественном составе исследуемых объектов, особое место занимают ядерно-физические. Эти методы обладают, в большинстве случаев, высокой чувствительностью, точностью и экспрессностью проведения количественных определений. Ядерно-физические методы анализа весьма разнообразны как по типу первичного излучения, воздействующего на образец, так и по способу регистрации возникающего вследствие облучения эффекта. Кратко рассмотрим только те методы, которые использовались при определении БМ в геологических материалах.

*Нейтронно-активационный анализ* относится к основным ядерно-физическим методам обнаружения и определения содержания элементов в различных природных и техногенных материалах. Примерно с середины прошлого века он стал одним из ведущих аналитических методов при анализе геохимических проб. Широкое распространение он получил благодаря таким преимуществам перед другими методами, как низкие пределы обнаружения элементов ( $10^{-12}$  -  $10^{-13}$ ), экспрессность и воспроизводимость, возможность неразрушающего одновременного определения в пробе 20 и более элементов. Относительная погрешность определения содержаний элементов в пробах нейтронно-активационным методом не выходит за пределы 10%, а воспроизводимость составляет 5-15%. В настоящее время имеется несколько разновидностей активационного анализа. Однако общим для всех этих методов является активация вещества нейтронами, гамма-квантами или заряженными частицами и последующая регистрация спектрального состава излучения возбужденных ядер или образовавшихся радиоактивных изотопов.

Для осуществления активационного анализа исследуемый образец (проба) подвергается облучению потоком бомбардирующих частиц, например, нейтронов в ядерном реакторе. При этом образуются как стабильные, так и радиоактивные нуклиды (радионуклиды), характеризующиеся различными временами жизни и энергиями распада.

Радиоактивность облученного образца прямо пропорциональна количеству образовавшихся радионуклидов.

Облучение приводит к образованию смеси радионуклидов различных химических элементов, входящих в исследуемую пробу. Идентификацию отдельных радионуклидов осуществляют либо по их ядерно-физическим свойствам (энергия и вид испускаемых частиц, период полураспада), применяя для этих целей счетчики гамма-квантов,  $\beta$  - частиц, гамма-спектрометры, либо измеряя активность радионуклида в течение какого-то времени для установления его периода полураспада. Исследование без разрушения образцов называют инструментальным нейтронно-активационным анализом. Если же при облучении пробы получается сложная смесь радионуклидов и ее невозможно расшифровать из-за наложения близких по энергии гамма-квантов, то облученную пробу растворяют, проводят выделение отдельных элементов или групп элементов и затем по измеренной активности радионуклидов рассчитывают содержание элементов. Такой вариант называется нейтронно-активационным анализом с радиохимическим разделением. Существуют также методы, в которых сочетаются техника активационного анализа и метод изотопного разбавления.

По сравнению с другими аналитическими методами в нейтронно-активационном анализе намного меньшее влияние так называемого "матричного эффекта" (вещественного состава исходной пробы). На определение примесных элементов практически не оказывают влияние элементы, составляющие основу вещества. Иными словами, нейтронно-активационному методу доступно измерение содержания микроэлементов в самых разнообразных геологических образцах. В качестве источника нейтронов используются: ядерные реакторы, радиоизотопные (ампульные) источники и нейтронные генераторы.

Использование *исследовательских ядерных реакторов* обеспечивает при нейтронно-активационном анализе (НАА) высокую чувствительность, оперативность, качество анализов при относительно низкой стоимости. Исследовательские реакторы являются ценными инструментами для решения различных проблем науки и техники. Они представляют собой крупные стационарные сооружения (рисунок 109). Однако по габаритам и мощности эти аппараты несоизмеримо меньше энергетических реакторов. В геологическом плане с помощью исследовательских реакторов определяют содержания элементов в горных породах и рудах, "просвечивают" образцы с целью получения информации об их внутренней структуре, определяют возраст горных пород и минералов, решают многие вопросы, связанные с технологической переработкой руд. При исследовательских реакторах существуют лаборатории нейтронно-активационного анализа (рисунок 110). Подробное описание нейтронно-активационного анализа геологических проб приведено во многих руководствах [Е.И.Зайцев, 1978; М.Е.Силаев, 1997]

М.Е.Силаев (2006) проанализировал возможности исследовательских реакторов с точки зрения их пригодности для выполнения нейтронно-

активационного анализа на благородные металлы. Среди исследовательских реакторов наиболее распространены импульсные реакторы самогасящегося действия (ИРСД). Они работают в импульсном режиме. В отличие от стационарного ядерного реактора, уровень мощности которого постоянен во времени, в импульсном реакторе генерируются кратковременные импульсы мощности и, соответственно, потока нейтронов. Импульсный реактор позволяет получить большую мощность и интенсивный поток нейтронов в короткие интервалы времени. Возникновение импульса мощности происходит в результате быстрого введения избыточного количества ядерного топлива или удаления поглотителя нейтронов.

НАА выполняется в условиях облучения проб импульсными потоками нейтронов с плотностью до  $10^{18}$  нейтрон/(см<sup>2</sup>\*с). Для определения характеристик нейтронного поля в импульсных реакторах использовался метод активационных детекторов.

М.Е.Силаев (2006) разработал необходимые условия проведения анализа. При больших неоднородностях состава и неравномерном распределении в них БМ для анализа используются геологические пробы массой 50-100 г; для гомогенных проб - достаточно нескольких грамм и даже миллиграмм. Облучение проб большого размера проводят в специальных контейнерах диаметром 40-90 мм. Последующее время выдержки проб после облучения ("охлаждение") составляет 5-7 дней. Расстояние между облученными пробами и детектором при выполнении гамма-спектрометрических измерений составляет 400-600 мм. Производительность НАА при использовании импульсных самогасящихся реакторов составляла до 100 проб массой 100 г в сутки; для проб в несколько грамм - до нескольких тысяч в сутки.

При определении благородных металлов использовался сравнительный метод эталонов и сочетание метода эталонов и мониторов, обеспечивающих наиболее высокое качество и производительность исследований. Образцы сравнения, содержащие заданный набор определяемых элементов, облучаются совместно с пробой в одно время и в одном месте. Определение активности компонента пробы проводится в ходе двух измерений: первое - измерение пробы, второе - измерение пробы совместно с образцом сравнения. Определения благородных металлов в пробах выполнялись с помощью гамма-спектрометрических измерений продуктов активации.

Большинство благородных металлов неблагоприятны для НАА (за исключением золота и ирридия). Другой важной особенностью является то, что НАА благородных металлов, за исключением родия, удобно проводить по сравнительно долгоживущим изотопам (с периодом полураспада от 2,7 до 74,4 суток).

Реакторы со стационарным уровнем мощности имеют большую чувствительность по сравнению с импульсным реактором самогасящегося действия. В целом можно отметить, что прямой нейтронно-активационный анализ геологических проб на ядерных реакторах наиболее эффективен для

Au, Ir и Os. Для определения других металлов необходимо выполнять их предварительное концентрирование.

Опубликовано несколько прекрасно отработанных методик нейтронно-активационного определения платиновых металлов, золота и серебра с использованием предварительного концентрированием пробирным и микропробирным методами в различных геологических образованиях (О.И.Артемьев, В.М.Степанов, 1982, 1985; Г.М.Колесов, Д.Ю.Сапожников, 1996). В качестве коллекторов применяли свинец, олово и сульфид никеля. Методы, разработанные О.И.Артемьевым и В.М.Степановым, наряду с благородными металлами позволяли определять большую группу редких и рассеянных элементов (до 30 и более). Они не имели "фоновых" загрязнений, обладали чувствительностью на уровне  $n \cdot (10^{-6} - 10^{-8})\%$ , и высокой воспроизводимостью. Методы нашли широкое использование при различных геологических работах в ПГО "Южказгеология".

Инструментальный нейтронно-активационный анализ угольных проб получил широкое распространение. При этом используются недеструктурированные пробы значительной массы, без предварительной физической и химической обработки. Анализ высокочувствительный и многоэлементный (из одной пробы). Имеется возможность экспрессного облучения многих образцов с последующим детектированием и обработкой результатов в режиме полной автоматизации по заранее заданной программе. Высокая точность (ошибка 5% и менее) и чувствительность, простота анализа позволяют считать инструментальный нейтронно-активационный анализ наиболее универсальным для определения следовых количеств элементарных веществ в угле. Предел обнаружения благородных металлов в пробе угля массой 1 г составляет (мкг): Ag - 0,0001; Au - 0,0002; Pt - 0,004; Pd - 0,0002; Ir - 0,00002; Rh - 0,00002; Ir - 0,00002; Ru - 0,002; Os - 0,004; Re - 0,00004.

*Гамма-активационный анализ (ГАА)* основан на ядерных реакциях, при которых жесткие фотоны возбуждают реакции с выходом нейтронов и протонов. Среди большого числа методов элементного анализа этот метод выделяется большой селективностью и чувствительностью. Фотоядерные реакции позволяют активировать практически все элементы периодической системы с пределом обнаружения до  $10^{-7}\%$ . Для гамма-активационного анализа используется тормозное излучение высокой интенсивности, которое получают на электронных ускорителях. Важной характеристикой источника фотонов, определяющей эффективность гамма-активационного анализа, является спектральная яркость излучения. Преимуществом гамма-активационного анализа перед нейтронно-активационным анализом является также то, что гамма-кванты могут глубже проникать в образец, следовательно, анализу могут подвергаться образцы больших размеров. Основные породообразующие элементы, имеющие меньший атомный номер, не активируются. Это позволяет выявлять с высокой селективностью в рудах и продуктах их переработки такие элементы, как Ge, Se, Sr, Ag, Cd, Zn, Er, Lu, Hf, Ir, Au и др. Для определения золота создан специальный комплекс с

линейным ускорителем, позволяющий обнаруживать золото в представительных пробах при минимальном содержании 0,1 г/т.

Комплекс состоит из источника излучения (линейный ускоритель электронов типа ЛУЭ-8) с необходимым для его работы оборудованием; механической транспортной системы для автоматизированного перемещения контейнеров с анализируемым веществом; гамма-спектрометров, регистрирующих гамма-излучениями активированных ядер, и системы управления работой комплекса.

Основные достоинства гамма-активационного анализа следующие (В.А.Мошков, Н.Э.Тямисов, 2017):

- высокая проникающая способность гамма-излучения позволяет проводить анализ проб массой около 500 г, при этом исключается необходимость тонкого измельчения материала;

- из-за небольшого периода полураспада возбужденных ядер золота (7 секунд), длительность анализа одной пробы не превышает 2-3 сек.;

- метод обеспечивает чувствительность и точность, достаточную при геолого-разведочных работах и золотодобыче;

- результаты анализа практически не зависят от химического состава образца;

- метод является экологически безопасным - уровень наведенной активности образца снижается до фонового значения через несколько минут после окончания анализа;

- метод позволяет проводить многоэлементный анализ в течение одного цикла облучения и измерения;

- метод обеспечивает возможность 100% автоматизации;

- материал проб остается неизменным после завершения анализа, измерения могут повторяться многократно, или проба может быть направлена для контроля на другие виды анализа;

- метод является хорошей основой для создания системы контроля качества при добыче и переработке золотосодержащих руд, а также извлечения попутных элементов, что обеспечивает высокую представительность опробования.

Достоинства метода ГАА, приведенные выше, были реализованы в трех промышленных лабораториях гамма-активационного анализа, введенных в строй на руднике Мурунтау (Узбекистан) в 1977 г., в Магадане (Россия) в 1979 г и в Батагае (Россия) в 1986г. В настоящее время работает только на руднике Мурунтау.

Е.А.Кахичко и др. (2007) провели изучение возможности гамма-активационного метода анализа для определения платиноидов в образцах горных пород. Проведено изучение оливина и хромита при оптимальном режиме анализа. Нижние пределы обнаружения платиноидов по сравнению с золотом оказались довольно высокими (г/т): Au - 0,06; Pt - 2,0; Pd - 25; Rh - 3,0. Присутствие в пробах меди и никеля ухудшает пределы обнаружения на два порядка.

Гамма-активационный анализ благодаря высокой проникающей способности активирующего излучения может быть использован не только для изучения аналитических проб, но и проб большой массы, в частности в схемах в автоматическом контроле технологических процессов.

### Методы анализа оптической спектроскопии

Эмиссионный и абсорбционный спектральные анализы являются классическими методами инструментального определения состава неорганических материалов, самыми распространенными методами анализа в геологии. По высказыванию В.И.Вернадского "Спектральный анализ впервые доказал единство состава Вселенной". Применение этого метода в геологии и геохимии позволяет исследовать материал, отличающийся большим разнообразием. Развитие прикладной геохимии неразрывно связано с применением атомно-эмиссионного спектрального анализа при определении элементного состава твердых природных образцов горных пород, руд, рыхлых отложений, осадков, почв, отдельных минералов. На современном этапе развития аналитического приборостроения исследователи получили в свое распоряжение последнее поколение усовершенствованных приборов для определения ультрамалых концентраций практически любого элемента.

По применению методов оптической спектроскопии в геологии имеется большое количество различного рода монографий и методических пособий. Основоположниками оптической спектроскопии являются два немецких ученых Вильгельм Бунзен и Густав Кирхгоф, которые в 1860 году опубликовали работу "Химический анализ с помощью наблюдения спектра". Однако первый коммерчески доступный пламенный эмиссионный спектрометр был выпущен только в середине 30-х годов двадцатого века.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ основан на использовании спектров электромагнитного излучения или поглощения атомов, находящихся в газообразном состоянии в видимой области спектра -  $\lambda = 400-750$  нм. Спектры в указанном диапазоне длин волн называются оптическими, соответственно, методы анализа основанные на их использовании - оптическими методами. Спектр называют непрерывным, если в нем есть длины волн видимого диапазона, начиная от фиолетовой ( $\lambda = 400$  нм) и заканчивая красной ( $\lambda = 700$  нм). Непрерывный спектр представляет из себя разноцветную сплошную полосу - например, спектр солнца (рисунок 123, а). Непрерывный спектр существует не только в солнечном излучении, но и в свете электрической лампы, а также в любом твердом и жидком теле (и даже в плотном газе) нагретом до высокой температуры.

Ситуация меняется при наблюдения свечения разреженных газов. Спектр перестает быть непрерывным, в нем возникают разрывы, которые увеличиваются по мере разрежения газа. Газ может состоять из атомов какого-то химического элемента, нагретого выше температуры его испарения. При этом пары атомов настолько разрежены, что они не

взаимодействуют друг с другом. Чрезмерно разреженный атомарный газ испускает свет, спектр которого имеет линейчатый характер, состоящий из отдельных довольно тонких изолированных цветных линий (рисунок 123, в, д). Этот спектр получил название спектра испускания. Каждый химический элемент в состоянии разреженного атомарного газа характеризуется дискретным, строго определенным набором длин волн испускаемого света. Набор и интенсивности этих линий позволяют определять наличие тех или иных элементов и их количества в изучаемой пробе. Этот принцип положен в основу атомно-эмиссионного спектрального анализа.

Атомарный газ любого химического элемента не только испускает свет, но и при относительно невысокой температуре и поглощает (абсорбирует) его. Если сквозь "холодный газ" проходит свет с непрерывным спектром, то на фоне непрерывного спектра возникают темные линии, образующие так называемый спектр поглощения. Под воздействием ниспадающего света атомы газа химического элемента преобразуются в возбужденное состояние и из непрерывного спектра поглощают те же длины волн, которые излучает сам элемент. Темные линии в спектре поглощения газа точно соответствуют ярким линиям его спектра излучения. На этой основе работает атомно-абсорбционная спектроскопия.

По положению характерных линий в спектре можно определить элементный состав образца (качественный анализ), а по относительным величинам интенсивностей линий в спектрах испускания или величинам оптической плотности линий в спектрах поглощения - концентрации элементов в анализируемом образце (количественный анализ).

Для реализации методов оптической атомной спектроскопии необходимы следующие условия:

1) проба должна быть атомизирована, в атомно-эмиссионном методе образующиеся свободные атомы должны быть возбуждены;

2) испускаемые или поглощаемые характеристические линии определяемого элемента должны быть спектрально разделены (по длинам волн) с помощью соответствующей диспергирующей и детектирующей аппаратуры;

3) интенсивность линии (испускания или поглощения) определяемого элемента в спектре анализируемого образца должны быть сопоставлена с интенсивностями соответствующей линии в спектрах образцов сравнения.

Атомно-эмиссионный спектральный анализ включает испарение (атомизацию) образца и перевод атомов в возбужденное состояние, разложение излучения атомизированного вещества в спектр, регистрация спектра, проведение идентификации спектральных линий для качественного определения элементов, определение интенсивности спектрального сигнала для количественного анализа. Принципиальная схема оптического эмиссионного спектрометра включает атомизатор, входящую щель, дифракционную решетку, регистрирующее устройство.

Возбуждение атомов изучаемых образцов производится в атомизаторе. Разработано большое разнообразие источников возбуждения спектров. При

анализе геологических проб преобладающее распространение получили дуговые ( $T = 3000-7000$  градусов) атомизаторы и комбинированные источники возбуждения с тлеющим разрядом; менее распространены искровые ( $T = 10000 - 12000$  градусов и более), лазерные или лазерно-искровые источники возбуждения. С использованием этих методов описана методика спектрального определения золота в корольках пробирной плавки. Впрочем, описаны и методы дугового возбуждения спектра металлов золотого королька. Эти методики в равной мере можно привлекать к определению в корольках платины, палладия, родия и с меньшей чувствительностью иридия.

Имеется несколько разнообразных устройств атомизаторов с дуговыми методами возбуждения спектров. Наиболее распространено устройство из вертикально расположенного графитового электрода (в виде стержня круглого сечения диаметром 6 мм), в торце которого сделан кратер цилиндрической формы, и второго конического графитового противоиэлектрода. Анализируемый материал помещается в кратер нижнего электрода, между электродами возбуждается дугой электрического разряда (плазменный факел). Изучение исследуемого материала фокусируются линзой на входную щель и попадает на спектральный прибор. На качество анализов влияет нестабильность плазменного факела, валовый состав пробы. Анализ имеет относительно низкую чувствительность. В другом способе исследуемый порошковый материал помещается в тонкостенную трубку, которая равномерно подается в плазму между двумя графитовыми электродами. Таким способом достигается увеличение чувствительности на один-два порядка в зависимости от типа исследуемого материала.

Принципиально другое устройство имеет атомизатор, в котором порошок анализируемого материала вводится воздушной струей в дуговой разряд между электродами. При этом разряд может образовывать до шести электродов одновременно. Этим достигается увеличение времени пребывания частиц в зоне разряда, более полное их испарение и, как следствие, повышение чувствительности. Все дуговые источники света характеризуются нестабильностью плазмы, самопроизвольными перемещениями столба дуги в поперечном направлении, влиянием валового состава исследуемых материалов на характеристики спектра.

Устройство комбинированного тлеющего разряда для атомизации и возбуждения исследуемого вещества состоит из вакуумированной разрядной трубки с полыми электродами, между которыми возбуждается тлеющий разряд. Устройство работает следующим образом. Через трубку прокачивается плазмообразующий газ (воздух, инертные газы и т.д.). В столб тлеющего разряда вводится цилиндрический штапик с осевым отверстием малого диаметра (капилляр). Штапик изготовлен путем прессования порошка анализируемого материала. Высокотемпературная зона создается внутри капилляра за счет существенного повышения плотности тока, интенсивно испаряет стенки капилляра и возбуждает атомы исследуемого вещества. Плазма комбинированного разряда, заполняющая капилляр, потоком газа

выносятся в область 5 тлеющего разряда, где ее излучение из этой области выводится в спектральный прибор. Снижение пределов обнаружения при спектральном анализе с использованием комбинированного тлеющего разряда достигается за счет значительного уменьшения интенсивности рекомбинационного излучения и уширения линий (В.А.Лобаченко и др., 1998). Применение в качестве источника возбуждения спектра комбинированного тлеющего разряда (тлеющего и капиллярного) и описанного выше способа введения исследуемого материала в разряд позволяет снизить пределы обнаружения и улучшить метрологические характеристики спектрального анализа.

Излучение возбужденного света от атомизатора проходит через фокусирующую линзу и входящую щель. Щель пропускает и визуализирует излучения, поступающие в анализатор. От входной щели зависит оптическое разрешение, пропускная способность и угол расходимости света. Ширины щели находится в диапазоне 5-800 мкм. Ее высота в стандартном исполнении равна 1 мм.

Круг Роуланда представляет собой полихроматор с вогнутой дифракционной решеткой, которая осуществляет пространственное разложение излучения в спектр по длинам волн. С использованием этого устройства оптическая схема прибора отличается простотой, и не нуждается в использовании фокусирующих оптических линз. Отражательная дифракционная решетка представляет собой металлическую зеркальную пластину, на которую через одинаковые интервалы нанесены штрихи, число которых доходит до нескольких тысяч на 1 мм. Как результат на выходе из решетки создается множество когерентных (монокроматических) источников излучения. Эти источники и являются причиной дифракции. Дисперсия (линейная или угловая) определяет линейное или угловое расстояние между двумя линиями с разной длиной волны. Вогнутая дифракционная решетка отличается от плоской тем, что она обладает фокусирующим действием. Кривизна круга Роуланда подбирается таким образом, чтобы фокусирование спектра происходило на его окружность, где размещены выходные щели.

Основным способом регистрации спектров в атомно-эмиссионном анализе долгое время оставался фотографический - съемка спектров на фотопластинки. В последние годы в качестве приемника излучаемого света в спектрометрах используются различные электрические устройства. Наиболее распространены фотодетекторы - устройства, которые превращают световую энергию в электрическую. Действие фотоэлементов базируется на явлении фотоэффекта. Они обладают высокой чувствительностью, широким спектральным интервалом, простотой конструкции. К их недостаткам относятся нелинейность световой характеристики, инерционность и температурная зависимость фототока. Фотодиодная матрица представляет линейный массив фотодиодов, управляющих и усиливающих транзисторов. Матрица накапливает оптический сигнал и преобразует его в электрический, который пропорционален величине светового потока. Кремниевый светодиодный детектор имеет в своем составе МОП-конденсатор, заряд

которого генерируется фотонами. Его величина пропорциональна интенсивности светового потока и времени его воздействия. Фотоэлектронный умножитель основан на усилении вторичной эмиссией потока электронов, которые излучает фотокад при воздействии фототока. В современных приборах для регистрации спектра используется также электронное устройство, которое работает совместно с ЭВМ. На экране компьютера шкала разбита по длинам волн, которые подсвечены разными цветами, соответствующими определенному диапазону длины волны. Для выполнения экспрессного качественного и полуколичественного анализа на черные и цветные металлы, к точности которого не предъявляется высоких требований, иногда применяют визуальные методы (стилоскопы "СЛ-1", "Спектр").

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью были выполнены следующие задачи:

- 1) собран, обобщен и проанализирован материал по геологии и минералогии на современном этапе изученности;
- 2) изучены особенности литологического состава, а также регионального метаморфизма и метасоматизма рудовмещающих черносланцевых толщ, их фоновой золотоносности;
- 3) выявлены минералогические особенности месторождения;
- 4) определена перспективность месторождения на золото и платиноиды.

Приобретенные сведения дали возможность более точно определить уже имеющиеся прогнозно-поисковые критерии и признаки на различное золоторудное оруденение в углеродистых толщах Западно-Калбинского рудного пояса.

Золото-платиноидное оруденение является парагенетически связанным с габбро-плаггиогранитной формацией, чей возраст определен как каменноугольный (Сз).

Золото в рудах чаще всего встречается в тонкодисперсном виде (0,1-29 мкм) и свободной форме (0,05-2 мм). Скопления тонкодисперсного золота распределяются по всей массе сульфидов или же приурочены к краям кристаллов пирита II и III и арсенопирита. Арсенопирит чаще в 3-5 раз наиболее обогащен количеством золотом, если сравнивать его с тем же пиритом.

В исследованном рудном поле были определены более высокие в сравнении концентрации платиновых металлов в большинстве своем в сульфидоносных и в особенности прожилково-вкрапленных золото-сульфидных рудах. В различных метасоматитовых породах и рудах поля наибольшее распространение получили такие элементы, как осмий, иридий и палладий. Из всех перечисленных элементов иридий больше всего развит в рудно-метасоматических апогипербазит-габброидных, в то время как осмий получил распространение во вкрапленных золото-сульфидных рудах, которые залегают в черносланцевых толщах в верхней части офиолитового разреза. Палладий в повышенных количествах определен в листовенизированных терригенных толщах самого дальнего от офиолитового пояса структурного блока.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

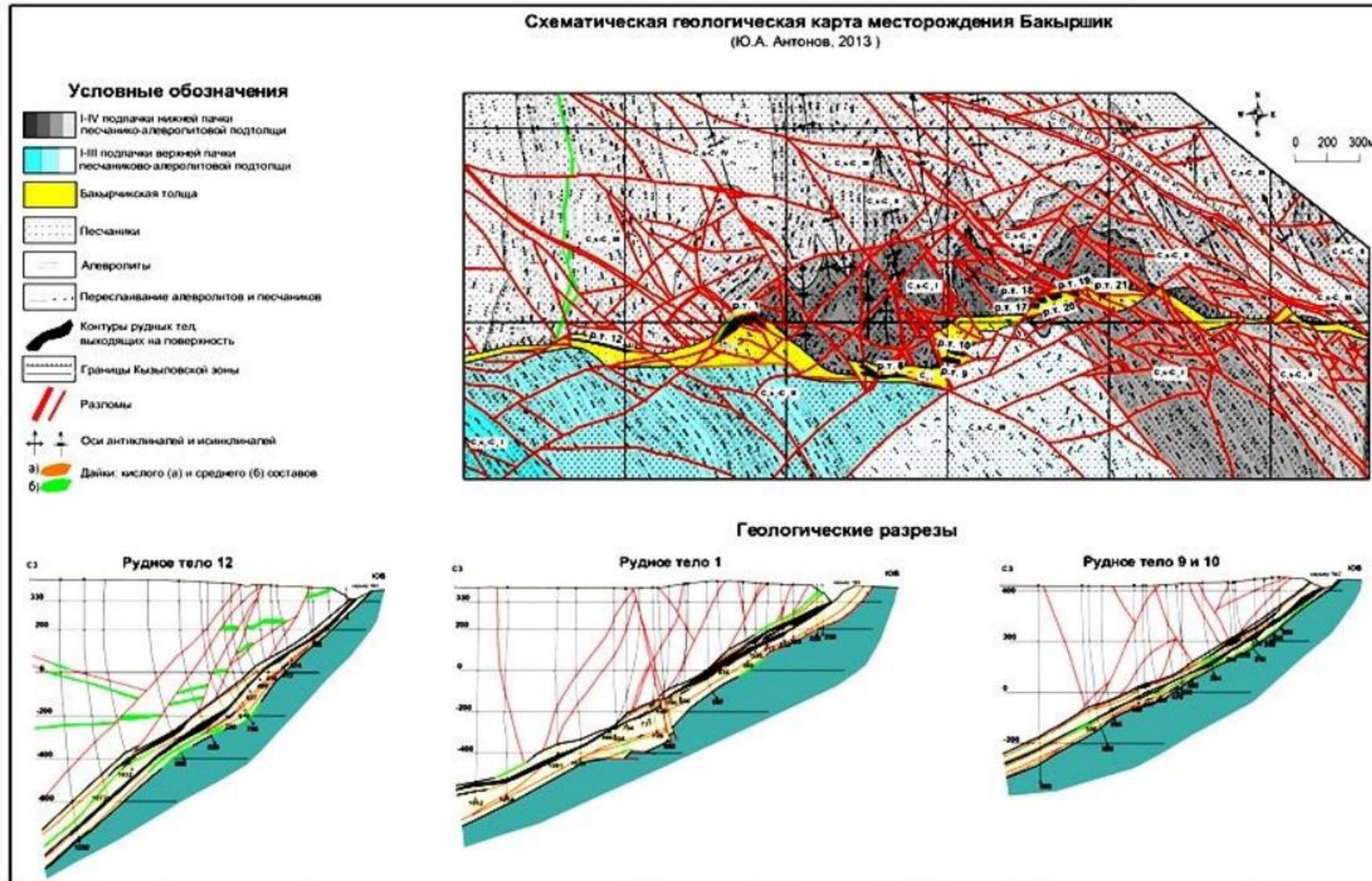
- 1 Марченко Л.Г. Рудоносные углеродистые формации. Сборник. Условия формирования и закономерности размещения месторождений золота Казахстана. КазИМС, Алма-Ата, 1980
- 2 Гецева Р.В., Дерягин А.А., Созинов Н.А., Сидоренко С.А. Геологические особенности формаций черных сланцев. НАН РК, 1981
- 3 Силаев В.И., Ананьев Ю.С., Сухарев А.Е. Западная Калба: горные породы, руды и углеродистое вещество. ПГНИУ, Пермь, 2019
- 4 Парилов Ю.С., Мукаева А.Е., Гребенников С.И., Силачев И.Ю. Прогноз платинометалльного оруденения в месторождениях черных сланцев восточной части Казахстана. ИГН им. К.И.Сатпаева, Алматы, 2019
- 5 Парилов Ю.С. Аналитическая геохимия благородных металлов в рудах черносланцевого типа. ИГН им. К.И.Сатпаева, Алматы, 2021
- 6 Марченко Л.Г. Литологический состав золотоносных углеродистых формаций. КазИМС, Алма-Ата, 1980
- 7 Антонов Ю.А. Некоторые особенности локализации богатых руд месторождения Бакырчик (Восточный Казахстан). ТОО "АрклендМинералз", 2017
- 8 Канаева З.К., Канаев А.Т., Семенченко Г.В. Геологическое строение золото-мышьяковистого месторождения Бакырчик Восточного Казахстана. КНТУ им. К.И.Сатпаева, Алматы, 2014
- 9 Жаутиков Т.М. Закономерности размещения и принципы прогнозирования золотого оруденения Казахстана. Алма-Ата, 1987
- 10 Беспаяев Х.А., Пучков Е.В. Платиноносность рудных формаций Казахстана. Геология Казахстана, 1995
- 11 Антонов Ю.А. О некоторых структурно-литологических факторах контроля золотого оруденения месторождения Бакырчик в Восточном Казахстане. Геология и охрана недр, 2010
- 12 Нарсеев В.А., Гостев Ю.В. Бакырчик (геология, геохимия, оруденение). Москва, 2001
- 13 Шибко В.С. Роль литолого-стратиграфических и структурных факторов в локализации золотого оруденения бакырчикского типа. Геология и геохимия месторождений благородных металлов Казахстана. Алма-Ата, 1969
- 14 Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Чиненов В.А. и др. Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев. Геохимия, №4, 1995
- 15 Калинин Ю.А., Ковалев К.Р., Наумов Е.А., Кириллов М.В. Золото коры выветривания Суздальского месторождения (Казахстан). Геология и геофизика. Т. 50, 2009
- 16 Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. Стандарт

- организации. Система менеджмента качества. Работы учебные. СТ  
КазННТУ им. К.И. Сатпаева. Алматы, 2017
- 17 Методические указания по выполнению магистерской диссертации для магистрантов спец. 6М0706 - «Геология и разведка месторождений полез. ископаемых» / А.А. Жунусов; КазННТУ им. К.И. Сатпаева, Геол.-разв.ин-т, кафедра ГСПиРМПИ. - Алматы: КазННТУ, 2010
  - 18 Байбатша А.Б. Модели месторождений цветных металлов. – Алматы: Асыл кітап, 2012. – 448 с.
  - 19 Байбатша А.Б. Модели месторождений благородных металлов. Алматы: Асыл кітап, 2014. - 452 с.
  - 20 Байбатша А.Б. Общая геология: учебное пособие. Алматы: КазННТУ, 2015. – 483 с.
  - 21 Байбатша А.Б. Основы геологии (геологические дисциплины). Учебник. ISBN 978-601-228-918-3. Алматы: ҚазҰТЗУ, 2016. – 744 с.
  - 22 Байбатша А.Б. Минералогия хвостов Жезказганской обогатительной фабрики. Алматы: Асыл кітап, 2018. – 160 с.
  - 23 Байбатша А.Б. Инновационные технологии прогноза полезных ископаемых. Алматы: Асыл кітап, 2018. – 524 с.
  - 24 Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых. Учебник. Алматы: КазННТУ, 2019. – 432 с.

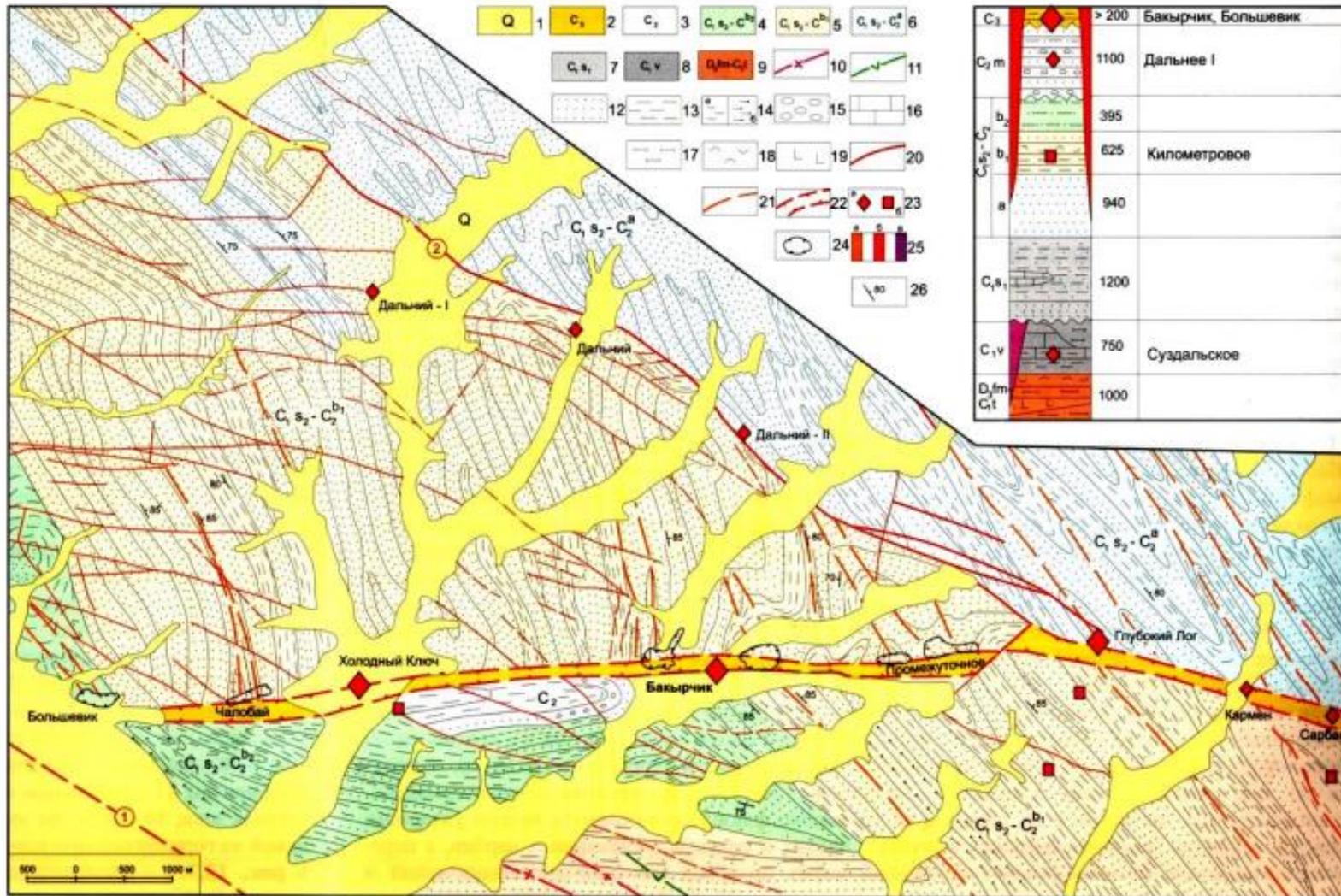
## Приложение А



## Приложение Б



## Приложение В



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Отарбай Самал

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их перспективы на золото и платиноиды

**Научный руководитель:** Акылбек Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 9

**Коэффициент Подобия 2:** 3.3

**Микропробелы:** 22

**Знаки из других алфавитов:** 0

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование: Диссертация выполнена самостоятельно, обосновываясь на собственных исследованиях, заимствования и ссылки добросовестные.

10.06.2022

Дата



Жунусов А.А.

Научный руководитель

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Отарбай Самал

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Магистерская диссертация

**Название работы:** Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их перспективы на золото и платиноиды

**Научный руководитель:** Акылбек Жунусов

**Коэффициент Подобия 1:** 9

**Коэффициент Подобия 2:** 3.3

**Микропробелы:** 22

**Знаки из других алфавитов:** 0

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата 18.06.2022

 Заведующий кафедрой  
Бекботаева А.А.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на магистерскую диссертацию  
Отарбай Самал Отарбайқызы

7M07206 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых  
На тему: «Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их  
перспективы на золото и платиноиды»

В диссертационной работе Отарбай С.О. рассмотрены геологические особенности месторождений в черносланцевых толщах Восточного Казахстана. В ней проделана работа по изучению минерального состава руд и перспективности месторождений на золото и платиноиды.

В основу диссертации положен фактический материал по месторождению Бакырчик, самому известному представителю месторождений в углеродистых толщах Восточного Казахстана. Кроме того, автором были широко использованы фондовые и опубликованные работы по месторождениям Восточного Казахстана. Работа состоит из пяти глав, наглядно оформлена и включает список использованной литературы.

Тема диссертации актуальна. В ней описана перспективность месторождений черносланцевой толщи Восточного Казахстана на золото и платиноиды и впервые представлены современные способы анализа золота и платиноидов в черносланцевых толщах.

По результатам представленной диссертации, а также по итогам обучения в магистратуре можно сделать вывод о достаточном уровне подготовленности магистранта к самостоятельной исследовательской и аналитической работе.

Уровень научной разработки соответствует требованиям к магистерским диссертациям. Отарбай С.О. заслуживает присвоения степени магистра.

**Научный руководитель**

кандидат геолого-минералогических наук,  
ассоциированный профессор кафедры  
ГСПиРМПИ



А.А. Жунусов

«10» июня 2022 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

**РЕЦЕНЗИЯ**

на магистерскую диссертацию

**Отарбай Самал Отарбайқызы**

**Специальность 7М07206** - «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

**Магистерская диссертация** состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, включающих 24 наименований на 58 страницах, имеет в своем составе 10 рисунков и 3 приложений.

**Тема магистерской диссертации:** Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их перспективы на золото и платиноиды.

**ЗАМЕЧАНИЯ ПО МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

В диссертационной работе на тему «Углеродистые толщи Восточного Казахстана и их перспективы на золото и платиноиды» подробно описано геологическое строение и особенности вещественного состава руд месторождений Восточного Казахстана. Были определены особенности геологии района и особенности оруденения на данной территории.

В целом тема довольно актуальная.

Есть ряд замечаний:

- 1) Можно было привести примеры не только месторождения Сухой Лог, но и другие месторождения в черносланцевых толщах, такие как Кумтор (Киргизия), Мурунтау (Узбекистан) и др.;
- 2) В главе перспективы было бы хорошо указать, где в Казахстане известны проявления золота в черносланцевых толщах и на основе этого дать общие перспективы на территорию всего Казахстана;
- 3) По 3 главе были даны устные замечания.

**ОЦЕНКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

В целом даю положительную оценку данной диссертации, так как магистрант Отарбай С.О. непосредственно работала под началом своего научного руководителя по данным месторождениям и подошла к написанию данной работы со всей ответственностью и самостоятельностью.

Магистрантом проделана хорошая работа по сбору и анализу фактического материала.

Ф КазНУТУ 706-17. Рецензия

По итогам просмотра представленной диссертации, делаю вывод о подготовленности магистранта к самостоятельной исследовательской и аналитической работе с дальнейшим совершенствованием знаний и навыков. Выполненная работа характеризует магистранта Отарбай С.О. как сложившегося специалиста, владеющего широким набором компетенций. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а Отарбай С.О. заслуживает присвоения степени магистра.

## Рецензент

Заведующий лабораторией редких и редкоземельных металлов,  
Института геологических наук им. К.И. Сатпаева,  
PhD

  
Тогизов Куаныш Серикханович  
«16» июня 2022 г.

## СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

### Отарбай Самал Отарбайкызы

Магистранта, обучающегося по образовательной программе «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»  
кафедры «Геологическая съемка, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых»  
Института «Геологии и нефтегазового дела имени К.И. Турысова»  
Казахского Национального Исследовательского Технического Университета имени К.И. Сатпаева

№ по п/п	Наименование	Форма работы	Выходные данные	Объем	Соавторы
1	2	3	4	5	6
<b>Публикации в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки</b>					
1	Формирование эндогенных месторождений в черносланцевых толщах	Статья	Сатпаевские чтения - 2021.- Алматы: Satbayev University.	4 страницы	Научный руководитель - кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор А.А. Жунусов
2	История изучения черносланцевых толщ	Статья	"Международная научно-практическая конференция, посвященная 55-летию и памяти ученого, горного инженер-геолога, академика МАИ РК, кандидата геолого-минералогических наук, профессора РАЕ Темирхан Ниязовичу Жаркинбекову" - Алматы, 2022 г.	5 страниц	Научный руководитель - кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор А.А. Жунусов

«17» июня 2022 года

Автор



Отарбай С.О.

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ



Бекботаева А.А.