

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ФИЛИЗЧАЙСКОГО КОЛЧЕДАННО-
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Специальность: 2503.01 - Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых

Отрасль науки: Науки о Земле

Соискатель: **Саггар-заде Нигяр Айдын гызы**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание
ученой степени доктора философии

БАКУ – 2024

Работа выполнена на кафедре Полезных ископаемых Бакинского Государственного Университета Министерства науки и образования Азербайджанской Республики

Научные руководители:

Доктор геолого-минералогических наук, проф. **Новруз Ахмед оглу Новрузов**,
Доктор геолого-минералогических наук, проф. **Назим Аждар оглу Имамвердиев**

Официальные оппоненты:



Доктор геолого-минералогических наук, профессор, Заслуженный деятель науки **Адилъ Абас Али оглу Алиев**

Доктор наук о Земле, доцент **Зарифа Джахангир гызы Эфендиева**

Доктор философии по наукам о Земле **Анар Алескер оглу Велиев**

VED 2.21 Разовый диссертационный совет Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий при Бакинском Государственном Университете

Председатель

Диссертационного Совета: Доктор геолого-минералогических наук, профессор

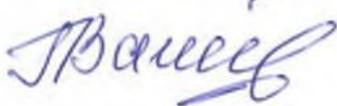
Багадыр Гасан оглу Каландаров

Ученый секретарь

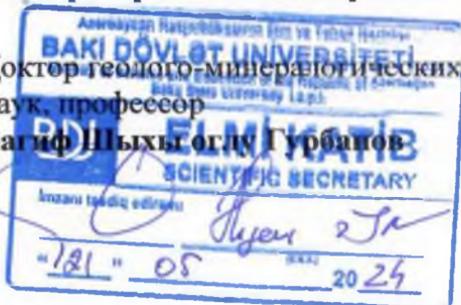
Диссертационного Совета: Доктор философии по наукам о Земле, доцент

Улькер Ибрагим гызы Керимли

Председатель Научного Семинара 2503.01:



Доктор геолого-минералогических наук, профессор
Вагиф Шыхы оглу Гурбанов



ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Практически все промышленные месторождения и большинство рудопроявлений колчеданно-полиметаллических руд Сарыбашской структурно-формационной зоны сосредоточены в ее центральной части, соответствующей Кацдаг-Филизчайскому рудному узлу южного склона Большого Кавказа. Он размещается, главным образом, в разрезе черносланцевых толщ верхнего плинсбаха и тоара ранней и аалена средней юры. Эти образования вмещают две генетически родственные рудные формации: колчеданно-полиметаллическую и медно-пирротиновую. Объектами эксплуатации являются месторождения обеих формаций, при этом наибольшее практическое значение имеет колчеданно-полиметаллическое оруденение.

Состояние изученности большинства рудных объектов района не позволяет однозначно оценить их практическую значимость. Поэтому построение минералого-геохимической модели Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения является первостепенной задачей. Решение этого вопроса позволит более целенаправленно и эффективно проводить геолого-разведочные работы, что будет способствовать успешному выполнению поставленной задачи.

Исходя из вышеизложенного, разработка и построение геолого-генетических 3D моделей рудообразующих систем на базе геохимических данных буровых скважин является новым этапом в изучении колчеданных месторождений. На основе детальных минералого-геохимических данных выделение этапов рудообразования, отнесение месторождений к какому-либо типу колчеданных объектов (*VMS или же SEDEX*) и выяснение источников рудного вещества является весьма актуальным направлением в современной геологии.

Цель работы - построение минералого-геохимической модели Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения;

- построение 3D моделей для отдельных рудообразующих элементов на основе детальных комплексных минералого-геохимических данных;

- выявление геохимических аномалий и геохимической зональности на основе соотношений концентраций элементов;

- выяснение механизма формирования залежи Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения.

Задачи исследований:

1. Изучение геологического строения, минералого-геохимических и текстурно-структурных особенностей Филизчайского месторождения, выявление его структурной позиции и пространственно-временных соотношений с магматическими формациями.

2. Изучение распределения рудообразующих и сопутствующих элементов в рудах месторождения для выявления геохимической зональности по восстанию рудной залежи и геохимических аномалий.

3. Построение с помощью программы «Leapfrog Geo» геохимических 3D моделей для отдельных рудообразующих элементов (Zn, Pb, Ag).

4. На основе комплексных минералого-геохимических данных выяснение генезиса месторождения.

Фактический материал и методика исследований. В основу диссертационной работы положен фактический материал, полученный автором как на стадии поисков, так и на всем этапе предварительной разведки, а также в процессе тематических работ в 2014–2024 гг. Методика работ заключалась в проведении геологического картирования месторождения, составлении стратиграфической колонки рудовмещающих отложений района месторождения, геолого-структурные наблюдения в поверхностных и подземных горных выработках с применением петрографических, минералогических и геохимических методов исследований. Изучено более 250 шлифов и 100 аншлифов, многочисленные штучные образцы. Охарактеризованы структурно-

текстурные особенности руд. С помощью рентгеновского флюоресцентного микроспектрометра определены содержания главных рудообразующих элементов месторождения и некоторых элементов-примесей его основных сульфидов. Были исследованы и проанализированы результаты более 8000 спектральных, 850 химических анализов руд, отобранных из kernового материала разведочных скважин и на основе программы «Leapfrog Geo» построены геохимические 3D модели для отдельных элементов. Для выяснения генезиса месторождения использованы данные изотопного состава серы пирита, сфалерита, галенита и пирротина. Параллельно проводился анализ материалов геологосъемочных, поисковых, разведочных, геофизических и тематических работ, выполняющихся в районе коллективами геологов Главнокавказской экспедиции Национальной Геологической Службы Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики. Для выявления корреляционных связей между различными химическими элементами построены гистограммы в распределении этих элементов, использованы компьютерные программы. По величине коэффициентов корреляции с помощью кластер-анализа в рудах месторождения выявлены две ассоциации химических элементов: 1) Cu-Bi-Sb-Co-Se и 2) Zn-S-Au-Pb-As-Ag-Cd. Аналитические работы проводились в лабораториях Геологической службы Министерства Экологии и Природных Ресурсов Азербайджана, Кавказского Института Минерального Сырья (г.Тбилиси) и Государственной службы контроля по драгоценным металлам и камням Министерства финансов республики в лаборатории рентгено-флюоресцентного микроспектрометрического анализа.

Научная новизна работы:

1. Впервые для района установлено, что количество сульфидных вкраплений, конкреций и стяжений (преимущественно пиритового состава) в геологическом разрезе юрских отложений закономерно нарастает сверху вниз от тоара к плинсбаху, достигая максимума в третьей пачке глинистых сланцев плинсбаха

(филизчайская серия), вмещающей стратиформную колчеданную залежь Филизчайского месторождения.

2. Выявлено, что максимумы концентраций цинка и свинца занимают почти всю западную часть залежи, а меди – локальные участки на ее восточном фланге и в центральной части залежи. Характер распределения серебра весьма близок с таковым свинца, а золота – в общих чертах сходен с размещением медной минерализации. В целом с западного фланга рудной залежи на восточный наблюдается уменьшение концентраций цинка и свинца, увеличение содержания меди.

3. Филизчайское месторождение, залежь которого представлена тонкослоистыми массивными сульфидами с прослоями глинистых сланцев, алевролитов или песчаников («рудный флиш»), является комбинированным по способу формирования и относится к типу *SEDEX*, руды которого относятся к важнейшим источникам свинца, цинка и серебра.

Основные защищаемые положения:

1. Обоснование минералого-геохимической зональности оруденения на Филизчайском колчеданно-полиметаллическом месторождении.

2. Геохимическая модель месторождения.

3. Осадочно-эксталяционный генезис месторождения (типа *SEDEX*), затем подвергавшееся гидротермально-метасоматическому и метаморфогенному процессу.

Практическая значимость определяется направленностью исследований на решение прикладных задач по построению минерального-геохимической модели Филизчайского месторождения. Главными рудообразующими металлами месторождения являются Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, с целым рядом попутных компонентов (Cd, In, Bi, Sb, Se и др.). Предлагаемый комплекс исследования рудных минералов с помощью современных методов, позволят более целенаправленно решить формы нахождения редких элементов в них и ускорить оценку перспектив района на колчеданно-полиметаллическое оруденение, которые могут быть ис-

пользованы для разработки схем извлечения их из руд. Построенная геохимическая 3D модель для отдельных рудных элементов месторождения может быть использована при подсчете запасов руды и металлов, проектирования предстоящих разведочных подземных горных выработок, а также при решении теоретических задач для выяснения условий формирования колчеданно-полиметаллической залежи.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на республиканских (Баку – 2015, 2016, 2018, 2019, 2022, 2023 гг.) и международных (Баку - 2014, Алматы – 2015, 2019 гг.) конференциях и опубликованы в 20 печатных работах (*в том числе, 3 статьи на базе Emerging Sources Citation Index, Web of Science Core Collection (Украина), 1 статья на базе RSCI на платформе Web of Science и 2 статьи в журнале «Рекомендуемое периодическое научное издание по наукам о Земле для присуждения ученых степеней и ученых званий в России»*), в которых отражены основные защищаемые положения.

Диссертация выполнена под руководством докторов геолого-минералогических наук, профессоров Н.А. Новрузова и Н.А. Имамвердиева. В процессе исследований различные положения диссертации обсуждались академиком В.М.Баба-заде, профессорами Б.Г.Каландаровым, В.Ш.Гурбановым, Ш.Ф.Абдуллаевой, доцентами М.И.Мансуровым, С.Ф.Вели-заде, Г.Д.Бабаевой, М.Я.Гасангулиевой, к.г.-м.н. Ф.Дж.Гусейновым, д.ф.наук о Земле А.А.Велиевым, С.С.Мурсаловым, Р.Г.Аскеровым, ведущим геологом и инженером по базе данных С.М.Мамедовым. Всем названным товарищам автор приносит искреннюю благодарность, оказавших большую помощь в обработке материалов и оформлении работы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и практических рекомендаций общим объемом 189 стр. компьютерного текста (221330 знаков), 17 таблиц, 43 рисунка. Список литературы включает 158 наименова-

ний. Количество знаков: Введение – 8018, I глава – 25369, II глава – 43153, III глава – 45462, IV глава – 41077, V глава – 52564. Выводы и практические рекомендации – 5687 знаков.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

I ГЛАВА. ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ БОЛЬШОГО КAVKAZA

1.1. Зоны горно-складчатой системы Большого Кавказа

Альпийское горно-складчатое сооружение Большого Кавказа занимает северную часть Кавказского перешейка и простирается от Таманского до Абшеронского полуострова на расстояние 1300 км при максимальной ширине 150 км (Геология Азербайджана, 2005¹, Кенгерли, 2009²). В современной структуре Большой Кавказ представляется в виде сложного складчато-покровного сооружения, образованного в результате позднеальпийских тектонических движений из трех основных мезозойских структур – Северо-Кавказской и Южно-Кавказской (Закавказской) континентальных микроплит и разделяющего их обширно-го окраинно-морского бассейна Тетис.

Все колчеданно-полиметаллические и медно-пирротиновые месторождения и рудопроявления южного склона Большого Кавказа сосредоточены в нижне-среднеюрских терригенных толщах двух продольных подзон – Тфанской и Сарыбашской, геологическое строение которых отличается рядом специфических особенностей.

1.2. Геологическое строение и литолого-фациальная характеристика рудовмещающих отложений

Все известные месторождения и рудопроявления колчеданосной провинции Восточного сегмента Большого Кавказа на

¹ Геология Азербайджана: [в 10 томах]. / Под ред. академика А.А.Ализаде. – Баку: Нафта-Пресс, – т.4, Тектоника – 2005. – 505 с.

² Кенгерли, Т.Н. Тектоническая расслоенность альпийского чехла Большого Кавказа в пределах Азербайджана: / автореферат дисс. докт. геол.-мин. наук / – Баку, 2009. – 61 с.

южном склоне и в приводораздельной его части на территории Азербайджана и смежной с ней территории Дагестана сосредоточены в отложениях нижней и средней юры, подробно охарактеризованными в защищаемой диссертации.

Рассматриваемая область характеризуется относительно небольшим распространением изверженных пород, развитых в пределах Тфанского и Вандамского антиклинориев, разделенных Закатала-Говдагским (Промежуточным) синклинорием и отсутствующие в Сарыбашской зоне³. В Тфанской зоне магматизм проявлен в виде вулканических ассоциаций, внедрением малых силловых интрузий и дайковыми образованиями. Последние являются восточным продолжением южного (Кахетинского) диабазового пояса Большого Кавказа. Незначительное развитие имеют также вулканические образования в водораздельной, смежной с Дагестаном, частью хребта. Эти магматические тела секут песчано-сланцевую толщу ниже- и верхнетюрского, местами и нижеааленского подъярусов, но нигде среди отложений байоса и выше не наблюдаются. Таким образом, возраст этих магматических образований является добайосским и связаны с предбайосскими складчатыми движениями. Выходы магматических образований контролируются разломами.

Магматические образования представлены двумя крайними членами - основными и кислыми породами. Первые – габбро-диабазы, диабазы и диабазовые порфириты «диабазовой» формации пользуются исключительно широким развитием и по составу магмы относятся к толеитовой серии. Кислые и средние породы представлены преимущественно дацитами, андезитами и диоритовыми порфиритами^{4,5,6}. Мощность даек и силлов варьи-

³ Абдуллаев, Р.Н., Курбанов, Н.К., Алиев, Г.И. Магматизм и колчеданное оруденение Джихих-Чугакской зоны Балакенского рудного района (Большой Кавказ) // – М.: Известия АН СССР, сер. геологическая, – 1975. №4, – с. 70-89.

⁴ Геология Азербайджана: [в 10 томах]. / Под ред. академика А.А.Ализаде. – Баку: Нафта-Пресс, – т. 3, Магматизм – 2001. – 434 с.

рует от 1 до 20 м, протяженность даек изменяется от нескольких десятков до 150 м и более. Малые интрузии оказывают контактовое воздействие на вмещающие песчано-глинистые отложения тоара и отчасти аалена и сопровождаются эндоконтактовым ореолом ороговикованных пород мощностью 1-2м.

В северной части Тфанской зоны, ограниченной с севера Главнокавказским надвигом, а с юга Кехнамаданским взбросо-надвигом, сосредоточены месторождения медно-пирротиновой формации, а руды колчеданно-полиметаллического состава встречаются в отдельных изолированных блоках, будучи почти полностью замещенными халькопирит-пирротиновой ассоциацией (месторождения Джихих, Чугак, Кацдаг, Кацмала, Сомалит, Гудурдаг, Кизил-Дере и др.).

Непосредственно к югу от зоны концентрации медно-пирротиновых руд Тфанского блока прослеживается Сарыбашская структурно-формационная зона, характеризующаяся преимущественным развитием руд колчеданно-полиметаллической формации. Главными рудоконтролирующими элементами зоны является Кехнамаданский глубинный разлом на севере и Сарыбашский – на юге. В пределах зоны сосредоточены залежи Филзчайского месторождения, где объем руд медно-пирротинового состава не превышает 1-1,5%. Наиболее перспективными месторождениями Сарыбашской зоны являются Катехское, Сарыбашское, Гюмбулчайское и др. В пределах зоны отчетливо выражены интенсивные гидротермально-метасоматическое изменения, которые развиты преимущественно в пределах подрудной толщи, где они по масштабу совпадают с ореолом развития прожилковых руд.

⁵ Керимов, Г.И., Ширалиев А.Б. Магматические формации Южного склона Большого Кавказа и их рудоносность // – Баку: Известия АН Азерб. ССР. Сер. наук о Земле, – 1984. – с. 17-23.

⁶ Керимов, Р.Б. Петрология и рудоносность магматических комплексов Балакяно-Закатальского рудного района (Южный склон Б.Кавказа): / автореферат дис. канд. геол.-мин. наук / – Баку, 1991. – 20 с.

II ГЛАВА. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ КАЦДАГ-ФИЛИЗЧАЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА

2.1. Геологическая характеристика Филизчайского рудного поля

Особенности геологического строения, магматизма и рудных месторождений южного склона Большого Кавказа, в частности Кацдаг-Филизчайского рудного узла, куда входит Филизчайское месторождение, одновременно изучалось Р.Н.Абдуллаевым, С.А.Агаевым, В.Б.Агаевым, А.А.Алиевым, Г.И.Алиевым, Р.М.Алиевым, Д.М.Ахмедовым, Р.А.Ахундовым, В.М.Бабазаде, С.Ф.Бабаевым, А.М.Бабаевым, А.А.Байрамовым, Э.Т.Байрамалибейли, М.Б.Бородаевской, С.Ф.Велизаде, Г.А.Велиевым, А.С.Гейдаровым, Л.Н.Гриненко, Т.Г.Гаджиевым, Э.М.Джафаровым, М.Г.Добровольской, Н.М.Заири, А.Г.Злотник-Хоткевич, Б.И.Исаевым, С.Б.Зульфугаровым, М.-А.Кашкаем, Г.И.Керимовым, Н.К.Курбановым, Р.Б.Керимовым, Н.М.Ильясовым, Н.А.Исмаиловой, Т.М.Мамедовым, Д.Д.Мазановым, А.И.Махмудовым, К.И.Мусеибовым, Б.В.Мустафазаде, Г.В.Мустафаевым, В.Н.Нагиевым, Н.А.Новрузовым, В.И.Смирновым, Н.Ш.Юсифовым, Г.А.Твалчрелидзе, А.Г.Твалчрелидзе, Г.А.Чалабиевым, Ч.М.Халифазаде, А.Б.Ширалиевым, Э.Ш.Шихалибейли и др.

Рудный узел охватывает западный фланг Балакян-Загатальского рудного района и приурочен к области сочленения Тфанской и Сарыбашской структурно-формационных зон вдоль Кехнамеданской системы взбросо-надвиговых нарушений. В Тфанской зоне обнажаются терригенные отложения верхнего плинсбаха (филизчайская серия), нижнего (моуровдагская серия) и верхнего (джихихская серия) тоара, которые образуют Кацдагскую линейную антиклиналь первого порядка, вмещающие одноименное месторождение, а за пределами республики, в Дагестане, месторождение Кизил-Дере и многочисленные рудопроявления медно-пирротиновых руд. В более южной Сарыбашской зоне выступают отложения нижнего (балакянская серия) и верх-

него (филизчайская серия) плинсбах и тоара (губахская серия), смятые в Карабчайскую коробчатую антиклиналь, которая вмещает рудные залежи Филизчайского, Катехского и других месторождений, а также многочисленные рудопроявления колчеданно-полиметаллического состава.

Таким образом, отчетливо устанавливается горизонтальная зональность и металлогеническая специализация упомянутых структурно-формационных зон.

Колчеданно-полиметаллическая формация образовалась в два этапа – ранний, гидротермально-осадочный (существенно пиритовый) и поздний – гидротемально-метасоматический (продуктивный полиметаллический). Формирование медно-пирротиновой формации связано с более поздним гидротермально-метаморфогенным преобразованием стратиформных колчеданных руд, сопровождающимся привносом меди и выносом полиметаллов.

2.1.1. Геологическое строение Филизчайского месторождения

В геологическом строении месторождения принимают участие терригенные отложения верхнего плинсбах (филизчайская серия (J_{1p2})) и тоара (губахская (J_{1t1+2}) и моуровдагская (J_{1t1} серии) нижней юры.

В диссертации подробно рассматривается литолого-стратиграфическая характеристика терригенных отложений и петрографические особенности основных разновидностей пород, которые привели к следующему:

а) все выделенные толщи отличаются устойчивостью фаций и в меньшей степени – мощностей;

б) ритмичность строения разрезов носит ярко выраженный флишоидный характер, наиболее полно представленный во флишоидных пакетах филизчайской серии верхнего плинсбах и наименее ярко – в моуровдагской серии нижнего тоара;

в) количество сульфидных вкраплений, конкреций и стяжений (преимущественно пиритового состава) закономерно нарастает сверху вниз – от тоара к плинсбаху, достигая максимума в

третьей пачке глинистых сланцев плинсбаха (филизчайская серия), вмещающей стратиформную колчеданную залежь месторождения;

г) метаморфизм, напротив нарастает в обратном направлении – от плинсбаха к тоару, что объясняется охватом терригенных толщ тоара Кехнамеданской зоной смятия.

2.2. Структура месторождения

Филизчайское месторождение – это единственное крупное колчеданно-полиметаллическое месторождение не только в пределах Балакян-Загатальского рудного района, но и в металлогенической провинции Большого Кавказа. Структурная позиция месторождения определяется его приуроченностью к участку сочленения северного крыла Карабчайской сундучной антиклинали субширотного простирания с Кехнамеданским взбросо-надвигом, осложненным Балакянчайским локальным поперечным поднятием. Главными элементами структуры месторождения являются: ядро Карабчайской антиклинали, ее северное крыло и часть Кехнамеданской зоны смятия, охваченные указанным поперечным поднятием. Особенности этих главных элементов структуры и определяют основные черты строения Филизчайского месторождения.

В строении месторождения продольные разрывные структуры играют не меньшую роль, чем пликативные. При этом господствующими являются взбросо-надвиговые нарушения, ориентированные по простиранию субпараллельно продольными складчатостями структурами. К главным продольным разрывным структурам месторождения относятся Кехнамеданский взбросо-надвиг и Филизчайский надвиг.

2.2.1. Морфология и внутреннее строение рудной залежи

Основной особенностью морфологии колчеданно-полиметаллической залежи Филизчайского месторождения является то, что это относительно простое единое пластообразное тело с резкими, почти субпараллельными контактами. Сложено оно преимущественно (на 90-95%) агрегатами сульфидных руд, основу

которых составляет пирит и значительно меньшей степени сфалерит, галенит и халькопирит, а также пирротин. Подчиненную роль в составе залежи играют карбонаты и еще меньше – кварц, серицит, хлорит (Баба-заде, 2005)⁷.

Рудную залежь условно можно разделить на две части: верхнюю, на всем своем протяжении более устойчивую, крутопадающую, имеющую ступенчатое строение, как по падению, так и по простираанию, и нижнюю (основную по площади) относительно пологопадающую. Всюду кровля залежи осложнена Физизчайским рудовмещающим надвигом, причем кровля залежи в пространстве повторяет морфологию надвига, что особенно четко наблюдается в верхней, крутой части, залежи. Подошва пластобразной залежи характеризуется более сложным строением при сохранении резких контактов с вмещающими породами.

Рудное тело залегает среди монотонных глинистых сланцев верхней – третьей пачки физизчайской серии (J_1P_2). Здесь залежь приурочена к мощному рудоносному горизонту, ограниченного по латерали границами Балакянчайского поперечного поднятия, где рудоносные глинистые сланцы фациально замещаются песчаным флишоидом.

Рудную залежь месторождения слагают следующие текстурные типы, которые пространственно четко обособляются и характеризуются своими морфологическими особенностями: слоисто-полосчатые, массивные и пятнисто-вкрапленные руды. Первые два природных типа, по мнению работающих здесь геологов, являются балансовыми рудами, а пятнисто-вкрапленные, постепенно переходящие к прожилково-вкрапленным рудам или вмещающим породам, существенно осложняющие морфологию рудной залежи, забалансовыми^{8,9,10}. Интересно, что переход от

⁷ Свинец и цинк. Металлогеническая провинция Большого Кавказа. / В.М. Баба-заде, С.А.Агаев, Г.А.Челаби [и др.] // Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана, – Баку: Озан, – 2005. – с. 294-340.

⁸ Акберов, М.А. Об особенностях морфологии и природных типах руд Физизчайского месторождения / М.А. Акберов, А.М. Самедов, Г.Ш. Мамедов, [и др.] // Труды ЦНИГРИ, – М.: – 1982. вып. 168, – с. 44-49.

слоисто-полосчатых к массивным колчеданно-полиметаллическим и серноколчеданным рудам происходит через руды неясно полосчатой и смешанной текстуры.

На Филизчайском месторождении выделены два промышленно-технологических типа руд: окисленный и колчеданно-полиметаллический. Последний разделяется на два сорта: смешанные и первичные руды. Все эти разновидности руд различаются по содержанию окисленных форм свинца. К окисленным отнесены руды с содержанием окисленных форм нахождения свинца более 60%, смешанным – от 60% до 20% и первичным – менее 20%.

III ГЛАВА. МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД

3.1. Минеральный состав руд

В рудах месторождения по данным Н.А.Новрузова, С.Ф.Вели-заде, С.А.Агаева, А.Г.Злотник-Хоткевич и др. установлено около 100 минералов. Доминирующим является пирит, слагающий от 60 до 95% объема руд. К главным минералам также относятся сфалерит (6-8%), галенит (до 3-5%) и халькопирит (до 2-4%), составляющих основную промышленную ценность руд. Обычны присутствие пирротина, арсенопирита, кобальтина, магнетита. Редко встречаются сульфосоли висмута, серебра, мышьяка, сурьмы, теллуриды золота, серебра, висмута и свинца. Среди нерудных установлены кварц и кальцит, а также сидерит, хлорит и серицит. В рудах из примесных элементов выявлены кадмий, индий, селен, теллур, висмут, серебро, золото, кобальт и др., которые могут быть извлечены попутно. В зависимости от

⁹ Баба-заде, В.М., Агаев, С.А. Особенности структурных условий локализации и морфологии рудной залежи Филизчайского месторождения // – Баку: Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук, – 1999. №1, – с. 91-108.

¹⁰ Новрузов, Н.А., Саттар-заде, Н.А. Характеристика минералогическо-геохимических особенностей стратиформного колчеданного месторождения Филизчай (Большой Кавказ, Азербайджан) // – Владикавказ: Вестник Владикавказского научного центра РАН, – 2022. 31 (4) – с. 69-79.

того какой минерал составляет основу руд выделяются колчеданно-полиметаллические, пирит-пирротиновые и медно-пирротиновые (не более 2-5% общего объема руд) руды.

Преобладающими на месторождении являются пиритовые и колчеданно-полиметаллические руды. Значительно меньше развиты медно-пирротиновые руды с преобладающим пирротинном (таблица 1).

Таблица 1

**Минеральный состав руд Фелизчайского месторождения
(по А.Г.Злотник-Хоткевичу)¹¹**

Типы руд	Минералы		
	главные	Второстепенные	редкие
Пиритовые и колчеданно-полиметаллические	пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, карбонаты	блеклые руды, пирротин, арсенопирит, бурнонит, хлориты, кварц, серицит	джемсонит, буланжерит, гудмундит, вольфсбергит, менегинит, эмплектит, беегерит, семсеит, козалиит, фаматинит, дискразит, геокронит, теллуrowисмутит, гессит, петцит, алтаит, нагиагит, самородные золото и серебро

¹¹ Злотник-Хоткевич, А.Г. Вещественный состав и генезис Фелизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения на Южном склоне Большого Кавказа: / автореферат дисс. канд. геол.-мин. наук / – Москва, 1970. – 24 с.

Медно-пирротиновые	пирротин, пирит	магнетит, мушкетовит, сфалерит, галенит, сидерит, биотит, актинолит	гематит, арсенопирит, кобальтин, ильменит
--------------------	-----------------	---	---

Пиритовые и колчеданно-полиметаллические руды характеризуются полосчатыми, массивными, пятнисто-вкрапленными и прожилковыми текстурами. Для медно-пирротиновых руд характерными являются брекчиевые, брекчиевидные, порфирировидные и прожилковые текстуры.

Ниже приводится краткая характеристика главных рудосоставляющих минералов Филизчайской залежи.

Пирит. Среди разновидностей дисульфида железа преобладает ранняя генерация, которая слагает массивные серноколчеданные и слоисто-полосчатые колчеданно-полиметаллические руды. *Пирит I* представлен в виде тонко- и мелкозернистых агрегатов с реликтами метаколлоидного строения. Размеры зерен от мелких включений до крупных (0,3-1,0 см).

Пирит II резко отличается от пирита I по типоморфным особенностям, а также содержит реликтовые зерна последнего, на основании чего выделяется во вторую генерацию. Представлен хорошо ограненными пентагон-додекаэдрами и кубами. Ассоциирует с ранними генерациями сульфидов (сфалерит, галенит и халькопирит), участвуют в строении слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических руд.

Пирит III содержит реликтовые зерна пирита I и образует тесные близкоодновременные сростания с халькопиритом, галенитом и арсенопиритом, образуя равномерную вкрапленность на фоне галенит-халькопиритового агрегата.

Пирит IV корродирует выделения пирита всех трех генераций. Встречается во всех типах существенно пиритовых руд в различных количествах. Особенно характерен для пиритовых

руд массивного сложения. Общей особенностью пирита IV является метаколлоидное сложение и слабая степень раскристаллизации. Наиболее часто встречающиеся формы пирита IV концентрически зональные агрегаты сферической и более сложных форм размером до 2-3 мм, радиально-лучистые, ажурные каркасные, фрамбоиды, струйчатые скопления, корки, тонкополосчатые агрегаты.

Сфалерит. Отмечается несколько генераций этого минерала. *Сфалерит I (марматит)* образует устойчивую ассоциацию с галенитом и пиритом III. В слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах сфалерит I составляет основную массу полиметаллических полос в виде неправильных, иногда несколько удлиненных аллотриоморфнозернистых агрегатов.

Сфалерит II (вюрцит) встречается в незначительном количестве в слоисто-полосчатых рудах с пиритом IV, образуя центральные части или периферические зоны в этих агрегатах. В прожилково-вкрапленных рудах сфалерит II, образуя единичные выделения, отличается от сфалерита I более светлой окраской.

Сфалерит III наблюдается в небольших количествах в ассоциации с кварцем, халькопиритом, пирротинном, галенитом, блеклой рудой и другими минералами группы сульфосолей. Для него характерны неправильной формы относительно крупные (до 1-3 мм) агрегаты аллотриоморфных зерен.

Галенит является постоянным спутником сфалерита во всех его генерациях. Поэтому все генерации сфалерита сопровождаются соответствующими генерациями галенита.

Галенит I отмечается в постоянной ассоциации со сфалеритом I и пиритом III. Представлен мелкими ксеноморфными выделениями неправильной формы, занимающие межзерновые пространства в сфалеритовых агрегатах.

Галенит II встречается изредка в виде ритмичных сростаний с пиритом IV и карбонатом. Характерной особенностью галенита II является распределение в них тонких и каплевидных включе-

ний сфалерита, по-видимому, образовавшихся в результате переотложения ранней генерации сульфида цинка.

Галенит III постоянно ассоциирует со сфалеритом III, кварцем, халькопиритом, блеклой рудой, бурнонитом, джемсонитом, буланжеритом и другими минералами.

Халькопирит постоянно ассоциирует с блеклой рудой, пирротинном, сфалеритом III, галенитом III. Кристаллизуется после блеклой руды и сфалерита.

Пирротин в небольших количествах постоянно присутствует в ассоциации с халькопиритом, блеклой рудой, сфалеритом III, галенитом III и др. По отношению к указанным минералам является замещающим, так как пересекает границы их сростаний, часто располагается на контактах сфалерита с халькопиритом или блеклой рудой.

В диссертации приводится также краткая характеристика некоторых второстепенных рудных и нерудных минералов Филлиппинской залежи.

3.2. Парагенетические ассоциации минералов и последовательность выделения

Процесс формирования рудной залежи произошел в два этапа. Первый этап начинается с отложения пиритовых масс из растворов с последующим наложением сульфидов свинца, цинка, меди и завершается образованием пирит-полиметаллических руд. Второму этапу соответствует образование медно-пирротинных руд. В целом, рудоотложение второго этапа происходило при высоких температурах, о чем свидетельствует ассоциация с пирротинном и халькопиритом с такими высокотемпературными минералами как биотит, актинолит и магнетит.

Детальное минералогическое картирование отдельных типов руд и изучение под микроскопом слагающих их минералов, по-

казало, что формирование рудной залежи происходило в нескольких пульсационных стадиях минералообразования.

В первую стадию образовалась основная пиритовая масса залежи с нерудными минералами, представленными кварцем, карбонатом и в подчиненном количестве – хлоритом и серицитом.

Вторая стадия, более продуктивная, характеризуется отложением вначале сульфидов Cu, Pb, Zn, а позже уменьшением концентрации указанных металлов и увеличением содержания As, Sb и Bi. После раскristализации и перекристализации пиритовых гелей и незначительного дробления преобразованных агрегатов происходила циркуляция растворов, обогащенных свинцом и цинком, что сопровождается частичным растворением и переотложением пирита с образованием характерных скелетных метакристаллов.

Третья стадия минералообразования характеризуется проявлением редкометалльных рудных образований жильного типа, образованию которых предшествовало раздробление ранее сформированных рудных масс.

К четвертой, конечной стадии можно отнести образование комплекса минералов медно-пирротиновых руд, являющихся секущими по отношению к пиритовым рудам.

Парагенетические ассоциации минералов колчеданно-полиметаллических руд Филизчайского месторождения обнаруживают значительное сходство с минеральными парагенезисами классических колчеданных месторождений, формировавшихся в осадочных бассейнах. Различия заключаются лишь в том, что в пиритах ранней генерации Филизчая отсутствует высокотемпературный халькопирит и имеется в наличии комплекс сложных сульфосолей, выделяющихся в самостоятельную парагенетическую минеральную ассоциацию.

Анализ структурных и пространственных соотношений минералов позволили А.Г.Злотник-Хоткевичу (1970)¹¹ выделить в колчеданно-полиметаллических рудах месторождения семь по-

следовательно образованных парагенетических минеральных ассоциаций (ранней пиритовой; пирит-арсенопиритовой; сфалерит-галенитовой; поздней пиритовой; халькопирит-тетраэдритовой; сульфоантимонидной; ассоциации теллуридов), а в медно-пирротиновых рудах – трех минеральных ассоциаций (магнетит-сидеритовой; халькопирит-пирротиновой и пирит-хлоритовой).

3.3. Текстурно-структурные особенности руд

Как было отмечено, основной объем Филизчайской залежи занимают колчеданно-полиметаллические руды, главными текстурными типами которых являются слоисто-полосчатые, массивные и пятнисто-вкрапленные, которые прослеживаются со стороны лежащего бока рудной залежи и сопровождаются ореолом прожилково-вкрапленных руд. Каждый из перечисленных основных типов руд расчленяется на ряд разновидностей.

Медно-пирротиновые руды, приуроченные к лежащему боку стратиформной залежи в восточной части месторождения, характеризуются массивной, брекчиевидной, брекчиевой, порфиroidной и прожилково-вкрапленной текстурами.

Выявленные на месторождении структуры руд объединены в три группы: 1) отложения из растворов; 2) замещения; 3) метаморфические (перекристаллизация, катаклаз, переотложение и др.).

IV ГЛАВА. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ

4.1. Основные черты распределения редких и рассеянных элементов в рудах

Руды Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения характеризуются широким спектром химических элементов. Важнейшими промышленно ценными компонентами руд являются *цинк, свинец, медь и серебро* (таблица 2). К при-

месным компонентам, заслуживающим попутного извлечения, относятся золото, кадмий, индий, селен, теллур, висмут, кобальт и др.

Таблица 2

Пределы и средневзвешенные содержания промышленно-ценных компонентов в рудах Филизчайского месторождения

Типы руд Компо- ненты, %	Балансовые руды			Забалансовые руды
	Первичные	Смешанные	Окисленные	
Медь	$\frac{0.01 - 8.90}{0.58}$	$\frac{0.05 - 11.0}{1.56}$	$\frac{< 0.01 - 0.27}{0.12}$	$\frac{0.04-2.17}{0.50}$
Цинк	$\frac{0.10 - 14.70}{3.66}$	$\frac{0.10 - 15.80}{4.26}$	$\frac{< 0.01 - 0.45}{0.19}$	$\frac{0.01-9.50}{1.10}$
Свинец	$\frac{0.01 - 7.50}{1.41}$	$\frac{0.03 - 11.90}{2.32}$	$\frac{< 0.01 - 55.5}{3.45}$	$\frac{н/о-5.90}{0.15}$
Серебро, г/т	$\frac{н/о-280.0}{44.08}$	$\frac{н/о-240.0}{67.95}$	$\frac{5.5-772.9}{160.1}$	$\frac{н/о-83.0}{13.98}$

Примечание: в числителе – пределы содержаний, в знаменателе – средние содержания.

Цинк является наиболее распространенным основным ценным компонентом руд месторождения. Слоисто-полосчатая разновидность колчеданно-полиметаллических руд характеризуется наибольшим средним содержанием этого элемента. В колчеданно-полиметаллических рудах полосчатой и массивной текстур среднее содержание цинка в три раза больше, чем в пятнисто-вкрапленных и прожилковых рудах. Наименьшая концентрация элемента приурочена к окисленным рудам, что связано с тем, что сфалерит, окисляясь до легкорастворимого сульфата цинка, выносится из зоны окисления. В результате в окисленных рудах Филизчайского месторождения цинк обнаруживается в пределах

0,01 – 0,45%, в среднем – 0,19%. Пределы содержаний цинка в первичных и смешанных рудах сходные: 0,10 – 14,70% и 0,10 – 15,82%, соответственно. Однако по значению средних содержаний цинка эти руды различаются: 3,66% в первичных рудах и 4,26% в смешанных рудах. Кларки концентраций цинка с запада на восток уменьшается (КК = 673; 583; 422). Среди природных типов балансовых руд средневзвешенное содержание цинка выражается следующими значениями: полосчатые колчеданно-полиметаллические руды – 4,99%, массивные колчеданно-полиметаллические руды – 3,31%, массивные серно-колчеданные руды – 0,85%. Интервалы колебания содержаний цинка в забалансовых рудах довольно большие – от 0,01 до 9,50%, в среднем – 1,10%. При этом пробы с содержанием цинка более 6% встречаются спорадически.

По уровню концентраций средневзвешенных содержаний **свинца** в промышленно-технологических типах руд Фелизчайского месторождения отмечается такой возрастающий ряд: первичные – смешанные – окисленные руды. Последние характеризуются довольно широкими пределами концентраций элемента. Аналогичный ряд установлен также для серебра. Среди различных текстурно-минералогических типов руд наибольшее содержание свинца, а также серебра выявляется в слоисто-полосчатых колчеданно-полиметаллических, а наименьшее – в пятнисто-вкрапленных и прожилковых рудах.

Характер распределения свинца в рудах Фелизчайского месторождения во многом аналогичен распределению цинка. Среднее содержание свинца в окисленных рудах составляет 3,45%, что больше, чем в первичных и смешанных рудах. В смешанных рудах концентрация свинца варьирует от 0,03 до 11,90%, а в первичных от 0,01 до 7,49%, при средних содержаниях – 2,32 и 1,41% соответственно. Кларки концентрации свинца значительно высокое (КК=1575; 1206; 819). В природных типах балансовых руд средневзвешенные содержания свинца в полосчатых и

массивных колчеданно-полиметаллических и массивных серно-колчеданных рудах соответственно составляют: 2,03; 1,48 и 0,31%. В забалансовых рудах концентрация свинца резко падает и в среднем составляет 0,15%. Пробы с содержанием свинца более 1,5% встречаются спорадически.

Концентрация **меди** в рудах месторождения варьирует в широком интервале: от 0,01 до 11,0%. В отдельных технологических типах и сортах балансовых руд в распределении среднего содержания меди устанавливается следующий убывающий ряд: смешанные (1,56%) - первичные (0,58%) - окисленные (0,12%). Такая закономерность вполне отражает действительную картину строения рудной залежи и геохимические особенности распределения меди. Кларки концентрации (КК) меди с запада на восток увеличивается 121; 123; 130. Смешанные руды представлены слоисто-полосчатыми массивными колчеданно-полиметаллическими рудами, которые частично подвергались окислению. Площадь распространения этих руд охватывает зону вторичного сульфидного обогащения. Именно в этой зоне получили развитие гипергенные минералы меди: халькозин, ковеллин, борнит. Этим объясняется увеличение концентраций меди в смешанных рудах почти в три раза по сравнению с первичными. В последних содержание меди колеблется от 0,01 до 8,90%, а средневзвешенное содержание этого элемента в первичных рудах составляет 0,58%. Средневзвешенные содержания меди в отдельных природных типах балансовых руд сходны и составляют: в полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах – 0,70%, в массивных колчеданно-полиметаллических рудах – 0,81%, в массивных серно-колчеданных рудах – 0,71%. Следует отметить, что, несмотря на довольно широкие пределы содержания меди в балансовых рудах, 80% проб, участвующих в подсчете запасов, содержат этот элемент в количестве 0,3-1,0%.

Среди технологических типов и сортов Филизчая по уровню концентрации **серебра** резко отличаются окисленные руды, при

среднем содержании его 160,1 г/т. В первичных и смешанных рудах пределы содержания серебра сходные. По уровню средних содержаний первичные руды (44,08 г/т) уступают смешанным (67,95 г/т). В природных типах руд среднее содержание серебра убывает, аналогично свинцу, в следующем порядке: в полосчатых колчеданно-полиметаллических рудах – 60,15 г/т, в массивных колчеданно-полиметаллических рудах – 43,46 г/т, в массивных серно-колчеданных рудах – 19,11 г/т. В забалансовых рудах содержится, в среднем – 13,98 г/т серебра. При этом подавляющее большинство проб охватывает интервалы до 30 г/т. Максимумы изоконцентраций этого элемента приурочены к верхним горизонтам северо-западной половины месторождения, где среднее содержание составляет 75,6 г/т. В центральной и восточной частях среднее содержание серебра – 55,2 и 43,3 г/т соответственно. В этом же ряду уменьшается КК = 1080; 788; 618.

На тесную геохимическую связь между серебром и свинцом указывает высокий коэффициент корреляции между этими элементами ($r=+0,628$) в колчеданно-полиметаллических рудах, что является значимым. В рассматриваемых рудах значимая корреляционная связь устанавливается также между серебром и цинком: $r=+0,568$ ¹². Уравнение связи между этими элементами выражается в следующем: $Ag=16,7097+8,2638 Zn$. Между серебром и медью, золотом и медью корреляционная связь отсутствует.

В диссертации подробно охарактеризованы также особенности распределения сопутствующих элементов в рудах и во вмещающих породах. Приводятся гистограммы частот распределения содержаний этих элементов и оценены коэффициенты корреляции между их содержаниями¹³.

¹² Новрузов, Н.А., Сәттар-заде, Н.А. Особенности химизма колчеданных руд Филізчайского месторождения // – Баку: Вестник Бакинского Университета, Серия естественных наук, – 2015. № 1, – с. 121-127.

¹³ Səttar-zadə, N.A. Filizçay yatağının filiz komponentlərinin geokimyəvi xüsusiyyətləri // – Bakı: Bakı Universitetinin xəbərləri, təbiət elmləri seriyası, –

4.2. Особенности минералого-геохимической зональности рудной залежи Филизчайского месторождения

Для выявления закономерностей распределения химических элементов были обработаны результаты многочисленных аналитических данных и построены 3D модели для рудообразующих элементов. Установлено, что в главной залежи исследуемого месторождения с западного фланга на восточный наблюдается уменьшение содержания цинка, свинца (рис.1), кадмия, индия, таллия, серебра, золота, висмута, сурьмы, мышьяка и увеличение концентраций меди, кобальта, ртути, никеля и селена. По падению рудной залежи геохимическая зональность выражается в уменьшении концентраций цинка, свинца, кадмия, индия, висмута, сурьмы, мышьяка и увеличении содержания меди, кобальта, никеля и марганца¹⁴.

Составленный на основе данных буровых скважин блок-модель показывает, что медью и серебром обогащены верхняя 200 м часть и восточный фланг месторождения.

Благодаря компьютерному 3D-моделированию внутри рудного тела четко наблюдается зональность оруденения, что дает дополнительные возможности для будущего планирования добычи металлов и оценки месторождения.

V ГЛАВА. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛИЗЧАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ГЕНЕЗИС РУД

5.1. Общие понятия о программе «Leapfrog Geo» и способы построения геохимической модели

С помощью 3D-модели и структур, воплощенных в интегрированный пакет программы «Leapfrog Geo», создана минералого-геохимическая модель не только рудной залежи, но и всех элементов месторождения.

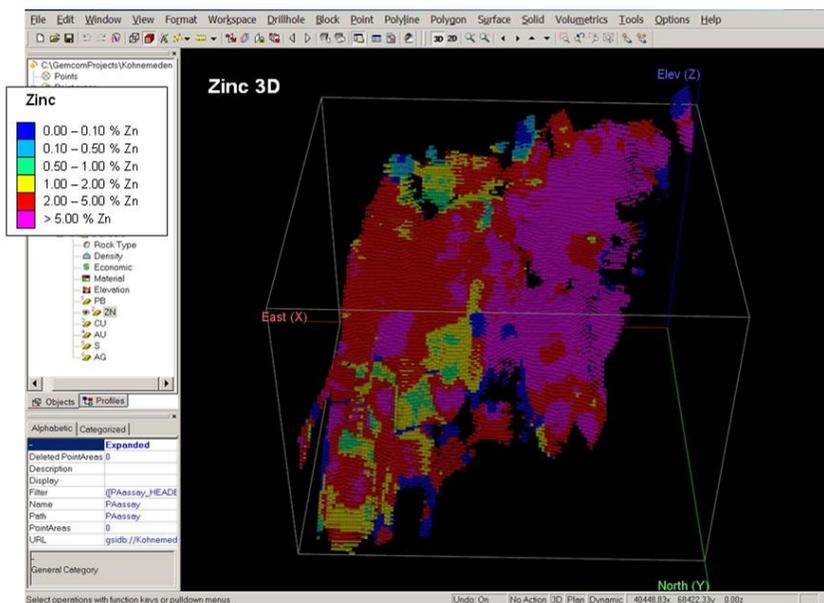
2019. №2, – с. 59-65.

¹⁴ Новрузов, Н.А., Саттар-заде, Н.А. Основные черты минералого-геохимических особенностей руд месторождения Филизчай (Азербайджан) // – Москва: Отечественная геология, – 2019. №2, – с. 50-54.

5.2. Геохимическая модель Фелизчайской залежи

На основе программы «Leapfrog Geo» построено пространственное распределение ценных (Cu, Zn, Pb) компонентов, их сумма, а также распределение S, Ag, имеющих высокое содержание для залежи Фелизчайского месторождения.

Сравнение моделей свинца и цинка показывает, что большинство локальных максимумов и минимумов у них совпадает (рис. 2). Здесь сравнение модели свинца и цинка с моделью меди показывает, что далеко не всегда максимумы и минимумы содержаний свинца и цинка совпадают с участками повышенных и пониженных содержаний меди. Картина пространственного распределения серебра аналогично распределению свинца и цинка.



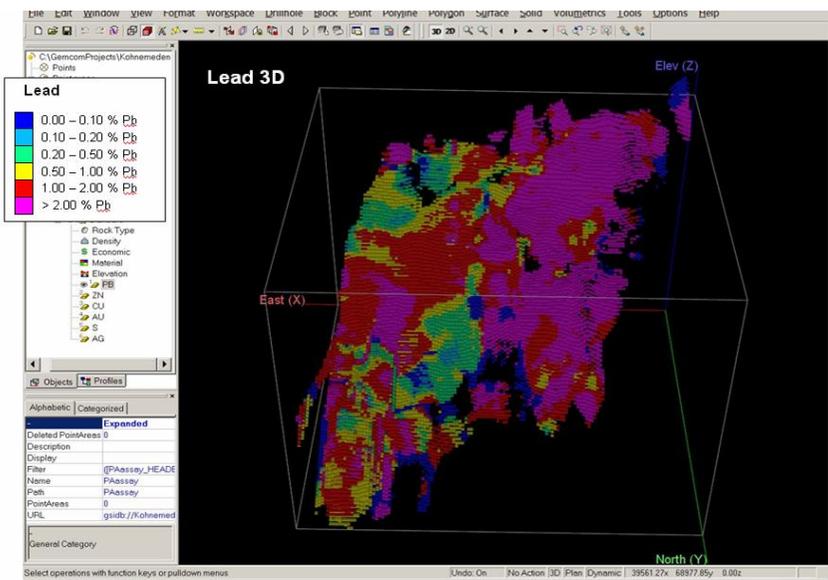
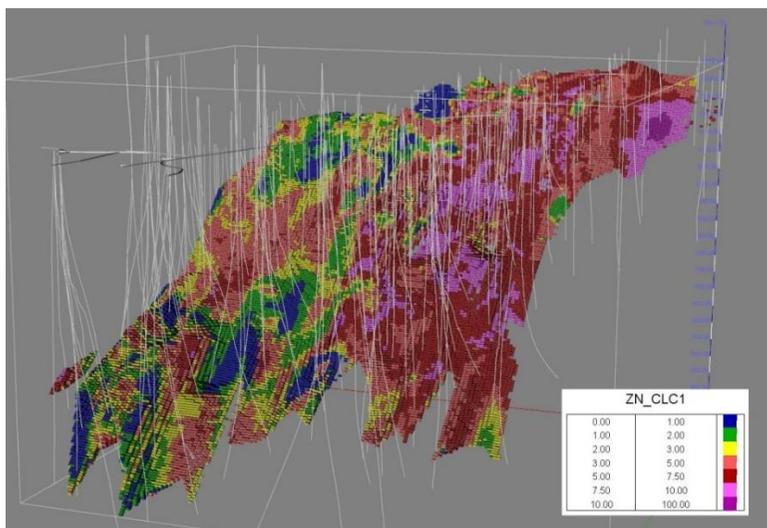
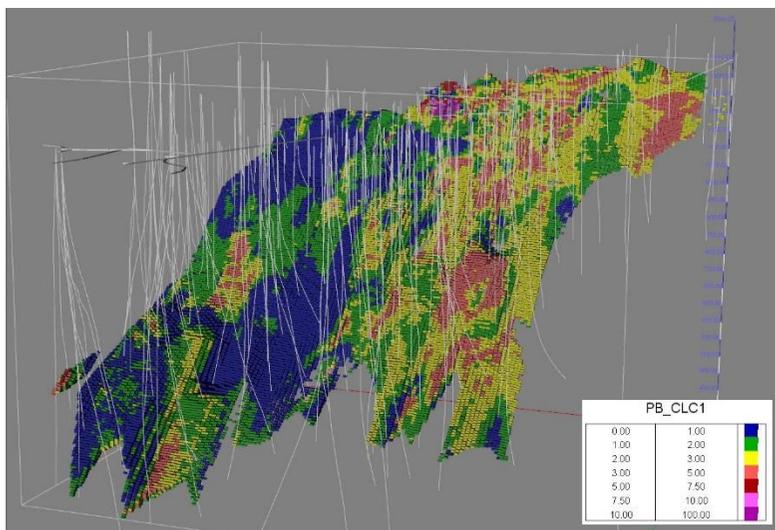


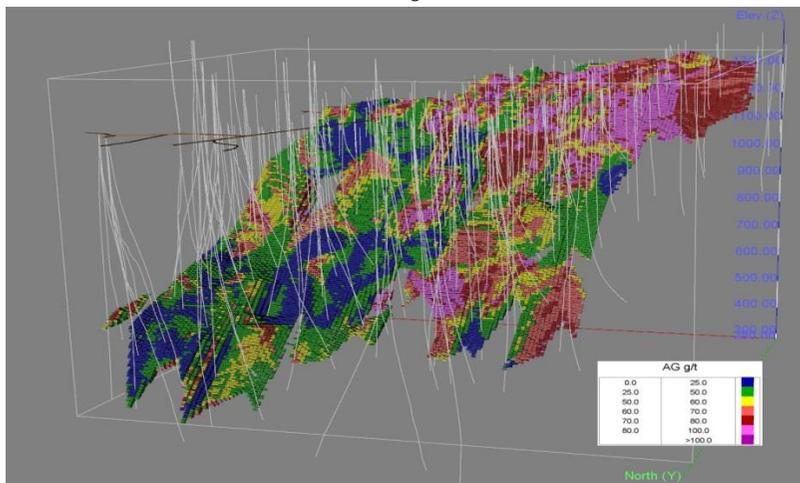
Рисунок 1. Зональное распределение цинка и свинца вдоль западной части Филизчайского месторождения (3D модель)



a



б



в

Рисунок 2. Пространственное распределение цинка (а), свинца (б) и серебра (в) на Фелизчайском месторождении

С целью характеристики пространственной изменчивости оруденения был проведен анализ содержания полезных компо-

нентов по латерали, нормали и падению залежи. Для этого на проекции рудной залежи на горизонтальную плоскость были построены изолинии истинных мощностей и содержаний цинка, свинца, меди, серебра и золота. Анализ карты изомощностей отчетливо показывает, что наибольшей мощностью характеризуется восточный фланг более глубокой полого залегающей части залежи, где ее мощность превышает практически повсеместно среднюю по месторождению величину этого параметра.

На картах изоконцентраций *цинка и свинца* хорошо видно, что распределения этих элементов практически повторяют друг друга (рис.1, 2). Западная половина тела резко отличается от восточного устойчивыми повышенными (более средней величины) содержаниями этих элементов. В пределах восточной половины, которая характеризуется в целом содержаниями ниже среднего, располагается преобладающее большинство минимумов концентраций цинка и почти все минимумы концентраций свинца. Итак, по степени интенсивности проявления цинкового, свинцового и серебряного оруденения в залежи можно различить две части: западную – более богатую, где сосредоточены почти все максимумы, и восточную – более бедную, на которую приходится большинство минимумов¹⁵. Распределение основных рудообразующих компонентов (цинка, свинца и меди) в горизонтальном сечении иллюстрируется на планах трех горизонтов, представляющих верхнюю, среднюю и глубокую части месторождения.

5.3. Вопросы генезиса месторождения

В диссертации по особенностям состава руд, геологическим условиям залегания и связи с изверженными горными породами подробно анализируется семейство колчеданных месторождений (VMS, SEDEX, MVT), в том числе их классические типы (куроко, алтайский, кипрский, бесси и уральский), отличительные и

¹⁵Саттар-заде, Н.А., Имамвердиев, Н.А. Геохимические особенности и зональность залежи Фелизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный склон Большого Кавказа) // Северо-Кавказский регион: Известия высших учебных заведений, – 2022. № 4-2, – с. 60-76.

сходные особенности. Отмечено, что колчеданные месторождения Рудного Алтая, южного Урала и Малого Кавказа в подвижных зонах герцинского и альпийского возраста имеют много общих черт. Руды формировались в условиях активного вулканического процесса, производными которого явились рудовмещающие вулканогенные образования, колчеданные руды, эксплозивные брекчии и послерудные дайки.

Филизчайское месторождение сильно отличается от колчеданных месторождений вышеуказанных типов. На этом месторождении не наблюдается прямая связь с вулканизмом. В отличие от них здесь вмещающими породами являются тонкоритмичные флишоиды с пачками песчаников, глинистых сланцев и алевро-глинистых сланцев. Судя по геологическому строению, запасам ценных компонентов (Zn+Pb+Ag) Филизчайское месторождение можно отнести к месторождениям типа SEDEX¹⁶.

Для подтверждения такой концепции в диссертации подробно рассматриваются вопросы происхождения колчеданных объектов Большого Кавказа, в том числе Филизчайского месторождения.

Обобщая взгляды на происхождение колчеданно-полиметаллических месторождений южного склона Большого Кавказа, отметим, что большинство исследователей поддерживает эксгалационно-осадочный генезис их, подвергавшихся затем гидротермально-метасоматическому и метаморфогенному процессу.

Такая обстановка характерна для месторождений типа SEDEX. К сожалению, в имеющейся литературе, посвященной генезису Филизчайского месторождения, этот тип не упоминаются. Но, в последних публикациях западных исследователей Филизчайское месторождение относится именно к этому типу^{17, 18}.

¹⁶ Imamverdiyev, N.A., Sattar-zade, N.A. Filizchay pyrite-polymetallic deposit (the southern slope of the Greater Caucasus) - as a typical representative of the SEDEX type pyrite deposits // – Dnipro, Ukraine: Journal of Geology, Geography and Geocology, – 2022, v. 31, No. 4, – p. 643-652.

¹⁷ Emsbo, Poul, Seal, R.R., Sedimentary exhalative (Sedex) zinc-lead-silver deposit

5.4. Механизм формирования рудной залежи

По данным Н.М.Заири¹⁹ сингенетические пириты из вмещающих пород характеризуются широкой дисперсией изотопного состава δS^{34} - 60% серы, что свидетельствует о биогенной природе.

Во всех текстурных разновидностях руд δS^{34} варьирует в узком интервале (от +1,0‰ до 6,0‰), которые относятся к изотопно-нормальным, однородным, высокотемпературными, связаны они с глубинным гидротермальным источником.

Таким образом, изотопный состав серы главных минералов (пирита, галенита, сфалерита, пирротина, халькопирита) отобранных из различных типов руд Филизчайского месторождения позволил Н.М.Заири^{20,21} прийти к выводу о формировании залежи из нескольких порций поступивших гидротермальных растворов, с чем можно согласиться. Причем, каждая из порций растворов была отлична по изотопному составу серы, с общей тенденцией повышения содержания изотопа S^{34} от наиболее ранней колчеданной стадии ($\delta S^{34} = +3‰$) к завершающей процесса рудогенеза халькопиритовой ($\delta S^{34} = +6‰$).

Таким образом, Филизчайское месторождение, является комбинированным по способу формирования и образовано за счет компонентов, вынесенных гидротермальными потоками, связанными с подводным изменением базальтов (палагонитизацией).

model / R.R. Emsbo Poul Seal, G.N. Breit, S.F.Diehl, [and &] // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, – 2010. № 5070, – 57 p.

¹⁸ Goodfellow, W.D., Lydon, J.W. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In: Goodfellow, W.D. (Ed.) Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods // – Ottawa: Geological Association of Canada Special Publication 5, – 2007. – p. 163–183.

¹⁹ Заири, Н.М. Закономерности вариаций изотопного состава серы сульфидов и некоторые вопросы формирования колчеданных залежей Балакяно-Закатальского рудного района (Южный склон Большого Кавказа): / автореф. дисс. на соискание геол.-минер. наук / – Москва, 1972. – 23 с.

²⁰ Заири, Н.М. Изотопно-геохимические модели формирования месторождений золото-углеродистой формации: / автореф. дисс. докт. геол.-минер. наук / – М., 1992. – 46 с.

Температуры образования первичных колчеданно-полиметаллических руд относительно низки. Они определены по удивительно постоянной разнице δS^{34} между сосуществующими в одном образце пиритом и сфалеритом. Колебания этой разницы в 1,0-3,0%, в среднем 2,0%^{21,22}. Такое постоянство указывает, с одной стороны на образование сфалерита и пирита из единого раствора, с другой – на относительно низкую температуру их образования (от 200° до 100°С) по разным измерениям^{23, 24, 25}.

В иных условиях сформированы медно-пирротиновые руды. Близкий изотопный состав серы их сульфидов, тот же спектр и количество примесей, что и в сульфидах колчеданно-полиметаллических руд, а также многочисленные остатки ранних пиритов вкрапленных руд, указывают на то, что вещество медно-пирротиновых руд не является привнесенным извне, а возникает в процессе преобразования более ранних вкрапленных руд. Присутствие в них магнетита, биотита и актинолита свидетельствует о высокой температуре их образования. По содержанию Fe в пирротинах (большой частью 47,2 реже 47,0 %) температура его образования составляет 350-400°С^{21, 26}.

Таким образом, рассматривая механизм формирования Филлизчайского месторождения можно отметить следующее:

²¹ Гриненко, В.А. Изотопы серы / В.А.Гриненко, Л.Н. Гриненко - Москва: Наука, – 1974. – 275 с.

²² Гриненко, В.А., Заири, Н.М., Шадлун, Т.Н. Полигенная природа сульфидов в стратиформных месторождениях // – М.: Геология рудных месторождений, –1974. №1, – с. 66-75.

²³ Труфанов, В.Н. Термобарогеохимические условия формирования рудных месторождений Большого Кавказа: / автореферат дисс. докт. геол.-мин. наук / Смирнов, С.С. – Тбилиси, 1983. - 48 с.

²⁴ Ohmoto, H., Rye, R. Isotopes of sulfur and carbon // *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, – 1979. v.2, – p.509-567.

²⁵ Vikentyev, I.V. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals / I.V. Vikentyev, E.V. Belogub, K.A. Novoselov [et al.] // *Ore Geology Reviews*, – 2017. v. 85, – p. 30-63.

²⁶ Ингерсон, Е. Методы и проблемы геологической термометрии. Проблемы рудных месторождений / Е. Ингерсон. – М.: ИЛ, –1958. – с. 309-374.

Соотношение природных типов руд, сложенных различными минеральными ассоциациями, с этапами складчатых и разрывных дислокаций, позволяет разделить процесс формирования залежи на следующие три этапа рудообразования: 1. отложения массивных гидротермально-осадочных существенно пиритовых руд; 2. формирование гидротермально-метасоматических руд пирит-медно-полиметаллического состава; 3. отложение гидротермально-метаморфогенных руд медно-пирротинового состава. Имеющиеся данные свидетельствуют о благоприятной обстановке образования осадочных пиритовых руд при существенной роли $S_{орг.}$ и сульфатредуцирующих бактерий. Вместе с тем, главную роль в накоплении основного объема сульфидных масс играли гидротермально-осадочные процессы. В пользу существенной роли гидротермально-осадочного процесса свидетельствуют также данные изотопии серы пиритов^{21, 22}. Доказательством гидротермально-осадочного рудоотложения является также то, что к периоду накопления осадков рудовмещающего горизонта в соседнем северном блоке (в узкой трогообразной впадине) происходило излияние спилитов и базальтов. С поствулканическими эксгаляциями их (как первичных источников) можно связать привнос сульфидов железа в более южную котловину с застойными водами. О наличии этих процессов свидетельствует широкое развитие в подстилающих рудную залежь глинистых сланцев и пачках терригенного флиша рудных ритмов («рудного флиша»), а также прожилковых руд существенно пиритового состава, подвергшихся интенсивному динамометаморфизму в связи с развитием трещин кливажа течения. Повидимому, колчеданные руды конседиментационных впадин накапливались в глинистых осадках, отлагавшихся в обстановке застойного режима.

Содержание органического углерода в них достигало 5-6%, при фоне – 0,1-0,2%. В центральных частях, вблизи рудоподводящих каналов, формировались массивные руды (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит); далее – чередование сульфидных и глинистых прослоев ("рудный флиш"), а еще ближе к периферии

впадин – пирит- сидеритовые и сидеритовые конкреции. Позднее на месте впадин сформировались инверсионные поднятия. Затем образуются рои, секущие слоистость подрудной толщи и вверх по восстанию смыкаются со стороны лежачего бока с массивными слоистыми рудами Филизчайской залежи. Появления этих роев в глубоких горизонтах по падению рудной залежи, т.е. по мере приближения к Кехнамеданскому разлому, позволяет предположить наличие питающего очага и в пределах глубоководного трога, ограничивающего с севера подводную котловину. В пользу существенной роли гидротермально-осадочного процесса свидетельствуют также вышеуказанные данные по изотопии серы пиритов.

Указанное обстоятельство предопределило, по нашему мнению, полигенный генезис руд Филизчайского месторождения²⁷.

ВЫВОДЫ

1. Количество сульфидных вкраплений, конкреций и стяжений (преимущественно пиритового состава) закономерно нарастает сверху вниз от тоара к плинсбаху, достигая максимума в третьей пачке глинистых сланцев плинсбаха (Филизчайская серия), вмещающей стратиформную колчеданную залежь месторождения. Напротив, метаморфизм нарастает в обратном направлении от плинсбаха к тоару, что объясняется охватом терригенных толщ тоара Кехнамеданской зоной смятия.

2. Начало формирования современных структур Кацдаг-Филизчайского рудного узла связано с ростом в течение нижней юры Кацдагского и Карабчайского продольных конседиментационных поднятий, разделенных узким некомпенсированным прогибом, где происходили излияния инициальных базальтов и рудные эксгаляции, создавшие стратиформные рудные тела этих месторождений, соответствующие по времени плинсбахскому и тоарскому векам;

²⁷ Sattar-zade, N.A., Imamverdiyev, N.A. Origin of the Filizchay ore field (the southern slope of the Greater Caucasus) // – Dnipro, Ukraine: Journal of Geology, Geography and Geo-ecology, – 2023. 32(4), – p. 839-848.

3. Установлено, что в главной залежи исследуемого месторождения с западного фланга на восточный наблюдается уменьшение содержаний цинка, свинца, кадмия, индия, таллия, серебра, золота, висмута, сурьмы, мышьяка и увеличение концентраций меди, кобальта, ртути, никеля и селена. По падению рудной залежи геохимическая зональность выражается уменьшением концентраций цинка, свинца, кадмия, индия, висмута, сурьмы, мышьяка и увеличением содержаний меди, кобальта, никеля и марганца.

4. В распределении основных рудосоставляющих компонентов, а также элементов-примесей по мощности, восстанию и простиранию в рудной залежи, установлена отчетливо выраженная зональность.

5. Предрудные гидротермальные изменения, представленные хлоритизацией и карбонатизацией, интенсивно проявлены в лежащем боку залежи и развиваются одновременно. Серицитизированные породы располагаются зонально вдоль рудоповодящих каналов. Карбонатизация накладывается на дробленые хлоритизированные породы в зонах этих каналов и распространяются выше, занимая зону Кехнамеданского взбросо-надвига. Оруденение тесно связано с карбонатизированными породами. В значительно более слабой степени эти преобразования проявлены в висячем боку рудной залежи, где широко проявлены процессы переотложения конкреций диагенетического пирита в предрудный период с образованием скоплений кубических кристаллов и фрамбоидальных сфер, наложенных на регионально развитую приразломную сланцеватость.

6. Судя по геологическому строению, запасам ценных компонентов $Zn+Pb+Ag$ Филизчайское месторождение можно отнести к месторождениям типа SEDEX, для которых основными промышленно ценными минералами являются сфалерит и галенит, а пирит, всегда присутствуя в рудах, может иметь второстепенное значение или играет доминирующую, роль как это имеет место в массивных сульфидных телах.

7. Установлено, что месторождение развивалось длительно, начиная с периода осадконакопления и вплоть до становления руд медно-пирротинового этапа. После завершения формирования колчеданного оруденения, прошедшего фазу регрессивного метаморфизма, образуются медно-пирротиновые руды, отложению которых предшествует брекчирование колчеданно-полиметаллических руд и происходит их прогрессивный метаморфизм.

Как видно, образование колчеданно-полиметаллических и медно-пирротиновых руд происходит в различных физико-химических условиях. Образование колчеданно-полиметаллических руд происходит в условиях умеренных и низких температур (240-100°C) при регрессивном температурном режиме. В то же время медно-пирротиновые руды характеризуются высокими температурами образования (350-400°C). Нижний возрастной предел колчеданного оруденения определяется наличием гидротермально-осадочных руд верхнего плинсбаха. Верхний возрастной предел устанавливается благодаря наличию галек гидротермально измененных пород и сульфидных руд в конгломератах, подстилающих отложения низов верхней юры.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. По степени интенсивности проявления проявления цинкового, свинцового и серебряного оруденения, в рудной залежи можно различить два фланга: западный – более богатый, где сосредоточены почти все максимумы, и восточный – бедный, на который приходится большинство минимумов. Исходя из этого, следует рекомендовать доразведку восточного фланга залежи, где можно ожидать продолжение рудного тела под дневной поверхностью, судя по интенсивной прожилковой минерализации, прослеженной на 1 км к востоку от горных выработок, и склонению рудного тела в том же направлении.

2. К настоящему времени разведанная длина рудного тела по простиранию составляет 1200 м. Немногочисленные скважины,

заданные на восточном и западных флангах месторождения, либо не подсекают руды, либо дают непромышленные мощности или оруденение прожилкового типа. Тем не менее, перспективы обоих флангов месторождения остаются еще не выясненными. Наиболее перспективным является западный фланг месторождения, несмотря на то, что пройденные здесь скважины вскрыло только прожилковое оруденение, а рудовмещающий взбросо-надвиг, прослеживающийся в обнаженном левом борту р.Карабчай, совершенно не содержит оруденение. Эти результаты могут свидетельствовать о неполном затухании оруденения в восточном направлении, а о временном его перерыве в связи с развитием на этом участке ряда поперечных флексурных изгибов в рудовмещающей толще. Вышеизложенные представления определяют первостепенное значение структурных факторов локализации оруденения при его поисках. По-видимому, поисковые работы следует направить в области проявления интенсивной изоклинальной складчатости, где можно ожидать разрывные структуры надвигового типа, благоприятные для оруденения. Проявления хлоритизации и карбонатизации могут служить непосредственными поисковыми признаками.

3. Геологические и минералогические данные свидетельствуют о постепенном выклинивании оруденения на западном фланге месторождения. Тем не менее не исключена возможность его появления к западу от прослеживающихся поперечных структур, где наблюдается продолжение рудовмещающего надвига. Поэтому рекомендуется дальнейшее проведение детальных геологоразведочных работ (бурение скважин глубиной 400-500 м).

4. Весьма важную задачу представляет оценка глубоких горизонтов уже известной залежи, по которой в настоящее время подсчитаны запасы. По данным пробуренных скважин, рудное тело прослежено по падению на длину около 900-950 м. Для дальнейшей разведки глубоких горизонтов необходимо пройти около 15-20 скважин глубиной от 800 до 1500 м по сети, обеспечивающей прирост запасов по категории C_1 .

Список основных публикаций по теме диссертации

Научные статьи:

1. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** Особенности химизма колчеданных руд Филизчайского месторождения // – Баку: Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук, – 2015. № 1, – с. 121-127.

2. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** К распределению элементов-примесей в продуктах обогащения руд Филизчайского месторождения // – Баку: Вестник Бакинского Университета, серия естественных наук, – 2018. № 3, – с. 73-76.

3. **Səttar-zadə, N.A.** Filizçay yatağının filiz komponentlərinin geokimyəvi xüsusiyyətləri // – Bakı: Bakı Universitetinin xəbərləri, təbiət elmləri seriyası, – 2019. №2, – s. 59-65.

4. **Саттар-заде, Н.А.** Геохимическая модель компонентов руд в рудной залежи Филизчайского месторождения // – Баку: “Gənc Tədqiqatçı”, – 2019. № 2, – s. 121-126.

5. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** Основные черты минералого-геохимических особенностей руд месторождения Филизчай (Азербайджан) // – Москва: Отечественная геология, – 2019. №2, – с. 50-54. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10025

6. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** Характеристика минералого-геохимических особенностей стратиформного колчеданного месторождения Филизчай (Большой Кавказ, Азербайджан) // – Владикавказ: Вестник Владикавказского научного центра РАН, – 2022. 31 (4) – с. 69-79. DOI: 10.46698/VNC.2022.99.83.001

7. **Саттар-заде, Н.А.** Имамвердиев, Н.А. Геохимические особенности и зональность залежи Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный склон Большого Кавказа) // Северо-Кавказский регион: Известия высших учебных заведений, – 2022. №4-2, – с. 60-76. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-4-2-60-76.

8. Imamverdiyev, N.A., **Sattar-zade, N.A.** Filizchay pyrite-polymetallic deposit (the southern slope of the Greater Caucasus) - as a typical representative of the SEDEX type pyrite deposits // –

Dnipro, Ukraine: Journal of Geology, Geography and Geoecology, – 2022. v. 31, No. 4, – p. 643-652. DOI: 10.15421/1122560.

9. Имамвердиев Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** Геохимические особенности сопутствующих элементов Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный склон Большого Кавказа) // – Baku: Scientific Petroleum, – 2023. №1, – с. 12-19.

10. **Sattar-zade, N.A.**, Imamverdiyev, N.A. The peculiarities of the main ore-forming components distribution in the Filizchay field of the southern slope of the Greater Caucasus // – Kyiv: Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology, – 2023. 2 (101), – p. 43-50. DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.10106>

11. **Sattar-zade, N.A.**, Imamverdiyev, N.A. Origin of the Filizchay ore field (the southern slope of the Greater Caucasus) // – Dnipro, Ukraine: Journal of Geology, Geography and Geoecology, – 2023. 32(4), – p. 839-848. DOI:10.15421/112374

Материалы конференции:

12. Новрузов, Н.А., Мурадханова, Г.А., **Саттар-заде, Н.А.** О типоморфном значении примесей редких и благородных металлов в колчеданных месторождениях Восточного Кавказа // В сб.: «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов республики Казахстан», Институт Геологических наук им. К.И. Сатпаева, – Алматы: – 26-27 ноября, – 2015, – с. 327-331.

13. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** Особенности распределения основных компонентов руд в трехмерном пространстве Филизчайского месторождения (Большой Кавказ) // В сб.: «Проблемы геологии и расширение минерально-сырьевой базы стран Евразии». Институт Геологических наук им. К.И Сатпаева, – Алматы: – 28-29 ноября, – 2019, – с. 195-200.

Тезисы:

14. **Саттар-заде, Н.А.** О корреляционных взаимосвязях золота и серебра в колчеданно-полиметаллических рудах месторождения Филизчай // 1st International Scientific Conference

of young scientists and specialists «The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences (earth, technical and chemical) », – Baku: – October 15-16, – 2014, – p. 56-57.

15. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.** О составе рудообразующих минералов Филизчайского месторождения // Материалы Республиканской научной конференции, посвященной 80-летнему юбилею института катализа и неорганической химии имени М.Нагиева, – Баку: – 15-16 ноября, – 2016, – с. 72-73.

16. **Саттар-заде, Н.А.** Текстурно-структурные особенности Филизчайского месторождения // Azərbaycanın ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-ci ildönümünə həsr olunmuş «Geologiyanın aktual problemləri» mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 17-18 may, – 2018, – s. 42-44.

17. Новрузов, Н.А., **Саттар-заде, Н.А.**, Набиев, Ф.Н. О геохимическом спектре колчеданных месторождений Южного склона Большого Кавказа // Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-ci ildönümünə həsr olunmuş «Geologiyanın aktual problemləri» mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 15-16 may, – 2019, – s. 16-17.

18. **Саттар-заде, Н.А.** Особенности минералогеохимической зональности рудной залежи Филизчайского месторождения // Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cü ildönümünə həsr olunmuş «Geologiyanın aktual problemləri» mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 05-06 may, – 2022, – s. 66-69.

19. **Саттар-заде, Н.А.** Основные черты распределения главных рудообразующих элементов в рудах Филизчайского месторождения // Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş “Yer təkinin öyrənilməsi və mineral xammal ehtiyatlarının proqnozlaşdırılması” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 1-2 may – 2023, – s. 29-31.

20. **Səttar-zadə, N.A.** Filizçay yatağının başlıca filizəmələgətirən elementlərin geokimyəvi modeli // Akademik Vasif Babazadənin 85

illik yubileyinə həsr olunmuş “Geologiya: nəzəriyyə və praktikanın vəhdəti” mövzusunda Respublika Elmi Konfransının materialları, – Bakı: – 19-20 dekabr, – 2023, s. 41-42.

Защита диссертации состоится "25" июня 2024 года в "12⁰⁰" часов на заседании Разового диссертационного совета ВЕД 2.21 при Бакинском Государственном Университете

Адрес: Az 1148, город Баку, улица Захид Халилова 33, БГУ, геологический факультет.

Тел: (012) 539 09 81

Е-мейл: geologiya@bsu.edu.az

Диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бакинского Государственного Университета.

Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте Бакинского Государственного Университете.

Автореферат разослан "22" мая 2024 года по необходимым адресам.

Подписана к печати: 15.05.2024

Формат бумаги: 60×84^{1/16}

Объем: 48412

Тираж: 70 экз.