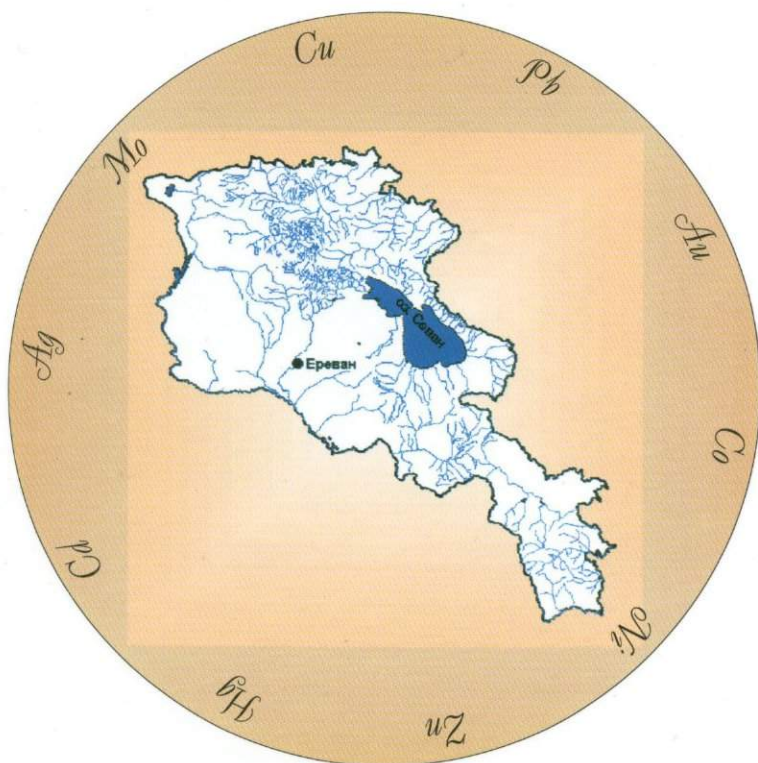


Сагателян А.К.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ



Ереван  
2004



ՀՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
ԷԿՈԼՈԳԱՆՈՍՖԵՐԱՅԻՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԵՆՏՐՈՆ

**Ա. Կ. Սաղաթեյան**

**ԾԱՆՐ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՐԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ  
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔՈՒՄ**

Երևան 2004

---

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF RA  
CENTER FOR ECOLOGICAL-NOOSPHERE STUDIES

**A. K. Saghatelyan**

**THE PECULIARITIES OF HEAVY METALS  
DISTRIBUTION ON ARMENIA'S TERRITORY**

Yerevan 2004

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РА  
ЦЕНТР ЭКОЛОГО-НООСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А. К. Сагателян

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

Ереван 2004



3613

УДК 550.84 (479.25)

ББК 26.301 (2Ар)

С 138

*Печатается по решению Ученого Совета  
Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА*

**Сагателян А.К.**

**С 138 Особенности распределения тяжелых металлов на территории  
Армении. Монография. - Ер.: Изд-во Центра эколого-ноосферных  
исследований НАН РА, 2004. - 157 с.**

В монографии обобщены результаты исследований закономерностей пространственного распределения концентраций тяжелых металлов на территории республики. Показана многоуровневая зональность распределения тяжелых металлов, проявленная в иерархической соподчиненности единообразных рядов зональности структурно-металлогенических зон, глубинных разломов, рудных районов, месторождений, рудных тел, состава минералов и первичных геохимических ореолов.

Рассмотрена трансформация первичного распределения концентраций этих элементов в ходе процессов гипергенеза и техногенеза, определяющая эколого-геохимический облик ландшафтов.

Результаты исследований являются основой для прогнозирования оруденения и эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды.

**Рецензенты:**

*Заслуженный геолог Армении, профессор **С.А. Сулейманян**;  
доктор географических наук **Р.Г. Ревазян***

ББК 26.301 (2Ар)

ISBN 99941-907-2-5

© Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, 2004  
© А. К. Сагателян, 2004

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая монография является первым в Армении обобщением данных по разнотипным геохимическим аномалиям рудогенных элементов, присущих ее территории. Исследование является частью проблемы комплексного изучения окружающей среды, которая под руководством автора выполняется в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА.

Ограниченность территории республики (около 30 тыс. км<sup>2</sup>); сложность геологического строения, разнообразие ландшафтов и формационных типов рудных месторождений; в недалеком прошлом интенсивное развитие производства со всеми факторами влияния на окружающую среду - позволяют рассматривать ее как модель целостной экосистемы с нарушенным естественным балансом содержания химических элементов в окружающей среде.

В этом аспекте изучение особенностей первичного распределения рудогенных элементов, представленных тяжелыми металлами и их дальнейшая трансформация при процессах гипергенеза и техногенеза приобретают особую актуальность.

Проведенные исследования являются основой как для локальных прогнозов оруденения, так и для эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды. В первом случае они способствовали и способствуют расширению минерально-сырьевой базы республики по драгоценным и цветным металлам, что сегодня приобретает особую важность, исходя из курса правительства на активизацию горно-рудной промышленности как одного из путей выхода Армении из тяжелого экономического кризиса. Во втором - они используются как база для экологической экспертизы территории и широкого спектра проэкологических исследований.

Фактическую основу работы составляют материалы более чем 25-летних исследований, проведенных как самим автором, так и под его непосредственным руководством. В частности, задокументировано более 8 км подземных горных выработок, 40 км керн буровых скважин, сотни километров поисковых маршрутов. Отобрано около 38 тыс. литохимических проб из коренных пород, рыхлых образований, керн и подземных горных выработок. В работе также интерпретированы результаты анализов на широкий круг элементов около 350000 различных проб, отобранных при проведении геологопоисковых и разведочных работ подразделениями ПО "Армгеология".

В ходе проведенных работ использован весь комплекс современных методических разработок в области прикладной геохимии, начиная с изучения морфологии и структуры геохимических ореолов в разрезе и на плане, кончая сравнительным анализом состава и зональности геохимических ореолов рудных тел и рудослагающих минералов. Сформированы компьютерные базы данных как геохимической, так и ассоциирующей с ней экологически значимой информации, обработанные в соответствии с разработанными программами.

Геохимия окружающей среды урбанизированных территорий исследовалась методами эколого-геохимического картирования природных депонирующих сред, позволяющими выявить пространственную структуру распределения очагов загрязнения, установить размеры зон их влияния на население, проследить динамику загрязнения окружающей среды и т.д.

С позиций синергетики материал, изложенный в работе, позволяет однозначно определить полярную векторность эволюции вещества в Земной коре, характеризующуюся перманентным процессом многоуровневой самоорганизации или интеграции вещества в ходе эндогенных процессов; его дезинтеграции и новой самоорганизации в ходе экзогенных и техногенных процессов, определяющих в целом эколого-геохимический облик ландшафта на территории Армении.

Проведенными исследованиями конкретизированы направления дальнейших геологоразведочных и поисковых работ. Составлены прогнозные геохимические карты ряда рудных полей и месторождений. Выделены представляющие практический интерес аномалии, благодаря чему расширены перспективы месторождений Меградзор, Арманис, Тух-Манук, Анкадзор, Газма. По ряду наших рекомендаций имеются внедрения в геологоразведочное производство.

Результаты эколого-геохимических исследований г.Еревана и других урбанизированных территорий использованы в составленных при участии автора "Территориальной комплексной схеме охраны природы Армении" и "Технико-экономическом обосновании генплана г.Еревана".

Материал, изложенный в работе, основан на принципах системного анализа и представлен в иерархической соподчиненности начиная с зональности структурно-металлогенических зон, зон разломов, рудных районов, месторождений, рудных тел, с сопутствующими им первичными геохимическими ореолами, кончая трансформацией рудогенных элементов в ходе процессов гипергенеза и техногенеза.

Неоценимую помощь в организации исследований и становлении в Армении данного направления оказали президент НАН РА академик Ф.Т. Саркисян и вице-президент академик Э.С. Габриелян, которым автор выражает свою искреннюю признательность.

Автор благодарит академика НАН РА С.В. Григоряна, как организатора первых в Армении геохимических исследований, за ценные советы и консультации в процессе обработки и интерпретации материалов. Особой благодарности автора за помощь в сборе и обработке материалов заслуживают многолетние коллеги С.А. Аракелян, Г.У. Овсепян, С.Г. Аревшатыан.

Автор считает своим долгом почтить светлую память д. г.-м. н. А.А. Гармаша и д. г.-м. н. Ю.Е. Саета, идеи и подходы которых помогли в написании данной работы.

## КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫХ ЗОН АРМЕНИИ

Армения представляет собой типичную вулканогенную область, составляющую небольшую часть Средиземноморской металлогенической зоны альпийского возраста, которая протягивается через Малый Кавказ к юго-востоку в Иран и к северо-западу во внутреннюю Анатолию и Балканы.

Широкое развитие в ее пределах осадочных, вулканогенно-осадочных, магматических и метаморфических образований с сопутствующим им комплексом рудных месторождений, сформированных на разных этапах тектонического развития Армянской складчатой зоны, выдвигают территорию Армении в ряды наиболее интересных и оригинальных геосинклинальных областей, издавна привлекавших внимание исследователей.

По особенностям глубинного строения территория Армении выявляет много общего со строением островных дуг и относится к трехслойному континентальному типу. Средняя мощность земной коры здесь, по данным Н.К. Карапетян, составляет 52 км. Гравитационное поле характеризуется в целом отрицательными аномалиями силы тяжести (в редукции Бугэ) до 170 миллиграмм, что указывает на прогибание земной коры в области Малого Кавказа. При этом наибольшее прогибание приходится на зону Ахалцих-Арагац-Гегамское нагорье - Джермук-Лачин-Горис, к которой приурочены проявления молодого вулканизма. По данным магнитотеллурического зондирования, выполненного геофизиками [1], в нижней части земной коры по линии Армаш-Ахалцих установлено наличие высокопроводимого слоя - 5 Ом/м.

Согласно геофизическим исследованиям (В.К. Балавадзе, К.Г. Твалтвадзе, 1966 г.) глубина волноводного слоя Гутенберга, в котором предположительно залегают первичные очаги вулканов, составляет 80-100 км, а глубина подошвы верхней мантии земли - 600-650 км.

Благодаря наличию многочисленных разломов и флексур глубокого заложения земная кора на территории Армении характеризуется зонально-блоковым строением.

В тектоническом аспекте, согласно современным представлениям [2-4] в ее строении принимают участие: 1) южная часть Закавказской микроплиты, зажатой между Скифской и Иранской плитами, активизированная в киммерийскую эпоху; 2) северная периферия Иранской плиты, подразделяющаяся на относительно устойчивую и переработанную части, активизированная в палеогене-неогене; 3) Севано-Амассийский "офиолитовый пояс" трассирующий стык Закавказской и Иранской плит, который рядом исследователей рассматривается в качестве зоны Беньофа с субдукцией южной океанической плиты. Здесь активный вулканизм проявился в киммерийскую и альпийскую эпохи.

В соответствии с особенностями тектонического строения на территории

Армении выделяются ряд структурно-формационных зон северо-западного простираения (рис. 1.1).

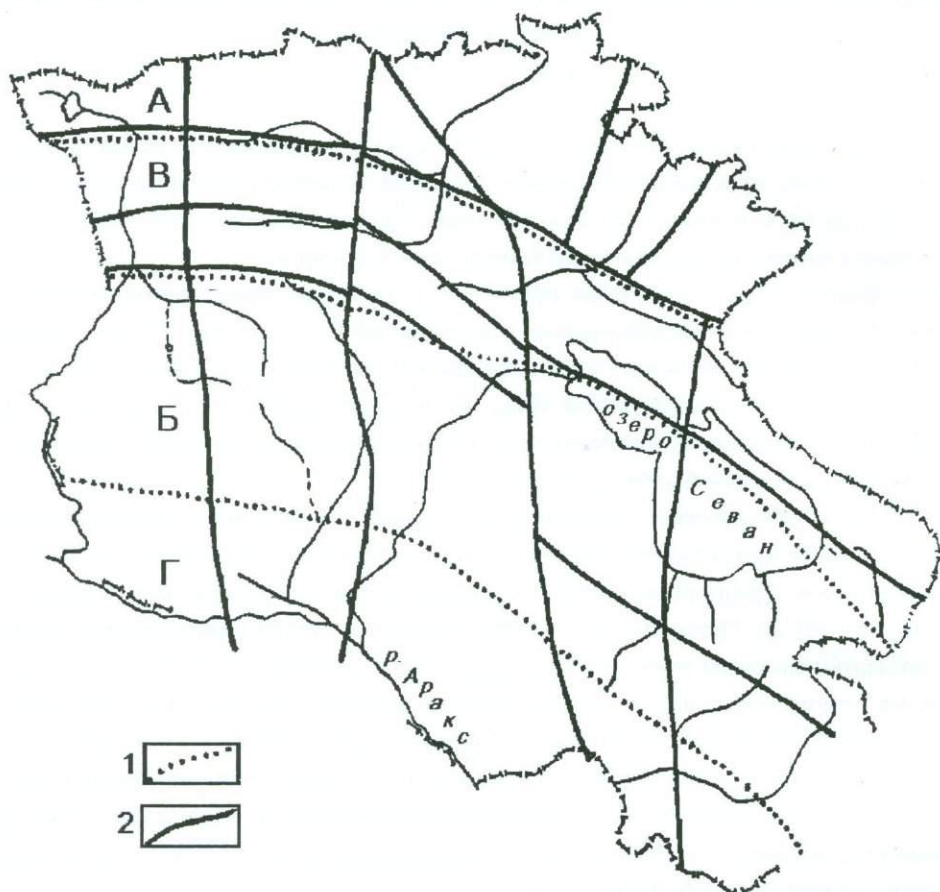


Рис. 1.1. Схема блокового строения территории Армении.

Условные обозначения:

1. Границы структурно-формационных зон: А - Сомхето-Карабахско-Кафанская, Б - Мисхано-Зангезурская, В - Севано-Амасийская, Г - Еревано-Ордубадская.
2. Глубинные разломы по геофизическим данным.

Последние характеризуются разновременным заложением и развитием на консолидированном фундаменте предположительно докембрийского возраста. В их пределах преимущественным развитием пользуются месторождения, сформированные в киммерийскую и альпийскую металлогенические эпохи. Весьма слабо проявлено оруденение байкальской эпохи, представленное титановой минерализацией в рутилоносных сланцах.

Закономерности размещения месторождений полезных ископаемых освещены в исследованиях И.Г. Магакяна [5], давшего первую схему металлогенической зональности в распределении рудных формаций на территории республики, и Э.А. Сагателян [6]. Региональные исследования по геологии Армении, обоб-

щены в работах К.Н. Паффенгольца [7], А.Т. Асланяна [8], А.А. Габриеляна [9]. Исследования по геологии, магматизму и металлогении различных районов проведены С.С. Мкртчяном [10], Б.С. Вардапетяном [11] и др.

Одними из последних работ, в которых подробно рассмотрены особенности металлогении структурно-формационных зон Малого Кавказа, являются работы Г.А. Твалчрелидзе, посвященные металлогеническим особенностям главных типов вулканических поясов [12].

Ниже с севера на юг приводится краткое описание структурно-формационных, металлогенических зон Армении. В отличие от общепринятой схемы [5, 6, 12] рассмотрение металлогенических особенностей отдельных зон дано на основе блоковой тектоники, что позволяет индивидуализировать направление поисковых и геологоразведочных работ в пределах отдельных блоков. При этом важно отметить, что как показали результаты исследований первичных геохимических ореолов, в пределах отдельных блоков устанавливается автономность формирования отдельных месторождений, рудных участков и рудных тел.

Подобная иерархическая соподчиненность позволяет говорить о самоорганизации рудного вещества на различных структурных уровнях и о решающей роли разломов, предопределяющих как формирование разномасштабных блоков, так и гетерогенность металлогенического облика структурно-формационных зон в зависимости от глубины залегания фундамента и особенностей эволюции магматогенных рудных систем.

При изложении материала, исходя из принципов металлогенического анализа складчатых областей (В.И. Смирнов [13], Г.А. Твалчрелидзе [14]) металлогенические термины использованы в соответствии с геотектонической терминологией.

**Сомхето-Карабахско-Кафанская структурно-формационная, металлогеническая зона** обладает протяженностью около 400 км и является одной из наиболее крупных тектонических единиц Малого Кавказа. По особенностям формирования она представляет собой типичную область киммерийской складчатости. Характерной особенностью магматизма является преобладающий четко-выраженный существенно натриевый петрохимический тип, определяющий специфику ее металлогении - широкое развитие руд колчеданной формации спорного генезиса.

По структурно-фациальным особенностям в пределах Сомхето-Карабахского блока на территории Армении выделяются два рудных района, характеризующихся развитием мезозойского магматизма: Алавердский рудный район, где широко развита юра-неокомская вулканоплутоническая ассоциация, характеризующаяся длительностью становления и многофазностью магматизма и Шамшадинский рудный район, где преимущественным развитием пользуется юрская вулканоплутоническая формация, типичная для ранней стадии развития зоны. Для Алавердского рудного района характерен медно-колчеданный тип с подчиненной ролью полиметаллического и молибденового оруденения, а для Шамша-

динского рудного района - небольшие по масштабам проявления полиметаллических руд при подчиненном значении медных и серно-колчеданных.

К наиболее крупным промышленным месторождениям Алавердского района относятся Шамлуг, Алаверди, Ахтала, Техут. Определенный интерес представляют месторождения Карнут, Алвард (Палантекян), Агви.

В структурном отношении колчеданная минерализация приурочена либо к сводовым частям брахиантиклинальных складок (Шамлуг), либо к зонам тектонических нарушений (Алаверди). Для большинства месторождений характерно блоковое строение, обусловленное интенсивным развитием дизъюнктивных дислокаций. Оруденение в пределах месторождений контролируется трещинной тектоникой и дайковым комплексом субвулканической и интрузивной фаций.

Наряду с колчеданной минерализацией в пространственной и генетической связи с мезозойским Шнох-Кохбским интрузивом проявляются Техутское медно-порфиоровое месторождение с залежами бирюзы, скарновые месторождения магнетит-гематитовых руд (Кохбское, Мисханское и др.), а также контактово-метасоматические месторождения вторичных кварцитов, нередко сопровождающихся значительными скоплениями андалузита (Кондохское).

В периферических частях Сомхето-Карабахской зоны появляются вулканогенно-осадочные комплексы лагунной флишевой формации; в тесной пространственной связи с известковистыми образованиями здесь проявляется уже иная - низкотемпературная свинцово-цинковая минерализация спорного генезиса (Мосес).

С верхнемеловым вулканизмом, широко проявленным в пределах Иджеванского рудного района, ассоциирует небольшая по масштабам марганцевая минерализация эксгальционно-осадочного и гидротермального генезиса - Севкарское, Саригюхское месторождения. С последними пространственно и генетически связаны промышленные одноименные месторождения бентонитовых глин и агата.

Кафанский сегмент Сомхето-Карабахской структурно формационной зоны расположен на крайнем юго-востоке территории Армении и представляет собой брахиантиклинорий юго-восточного простираня.

Как по особенностям тектонического развития, так и геологического строения он является аналогом Алавердского рудного района. Отличается от него более широким развитием верхнеюрских вулканогенно-осадочных образований и наличием неокомских карбонатных отложений.

Здесь интенсивным развитием пользуется мезозойский магматизм, представленный натриевым щелочно-земельным эффузивно-интрузивным комплексом. По данным К-Аг метода возраст пород Цавской интрузии колеблется в пределах 118-125 млн. лет, что соответствует раннему мелу. В парагенетической связи с указанным комплексом проявляется промышленное медно-колчеданное оруденение Кафанского месторождения, а также медно-молибденовые (Цав, Дзорастан и др.), медные (Кармир ванк, Арцваник и др.) и полиметаллические рудопроявления.

По А.Г. Твалчрелидзе [12] с эоценовым раннеорогенным, наложенным магматизмом в пределах Кафанского рудного поля, формируется Шаумянское месторождение полиметаллических золото-содержащих руд.

Рудоконтролирующими структурами в пределах Кафанского рудного поля являются крупные сколовые трещины северо-западного простирания, из которых основным рудоподводящим каналом является Мецмагаринский разлом. К последнему приурочено подавляющее большинство рудных участков. Из прочих сколовых нарушений интерес представляет Кавартсуйский у рудника Барабатум, Западно- и Восточно-Саятдашский и ряд других.

Рудолокализирующими структурами являются разрывные трещины широтного простирания. Морфологически оруденение представлено жилами и зонами прожилково-вкрапленного сложения.

Из вышеизложенного следует, что основное промышленное значение для Сомхето-Карабахской зоны имеют колчеданная формация, месторождения которой проявляются в тесной связи с мезозойским магматизмом (Шамлуг, Алаверди, Кафан); золото-, серебро-полиметаллическая (Ахтала, Шаумян); медно-молибденовая (Техут) при подчиненной роли месторождений иных формационных типов. Ведущими промышленными металлами для данной зоны являются медь, молибден, золото, в меньшей степени - серебро, свинец, цинк. Из редких элементов интерес представляют селен, теллур, висмут, мышьяк и т.д.

**Севано-Амасийская структурно-формационная металлогеническая зона** является одним из основных структурных элементов как территории Армении, так и всего Тавро-Кавказского региона.

Указанная зона рассматривается как типичная "шовная зона" глубинных разломов с отчетливо проявленным в ее пределах офиолитовым магматизмом. Она разделяет Закавказскую и Иранскую плиты, после их вероятной коллизии в меловое время. По возрасту складчатости, набору вулканогенных, вулканогенно-осадочных и интрузивных пород, участвующих в ее строении, Севано-Амасийская зона относится к типичным областям Альпийской складчатости.

Характерной особенностью Севано-Амасийской структурно-формационной зоны является ее приуроченность к стыку двух крупных структур Малого Кавказа: Сомхето-Карабахской и Складчатой зоны Армении. По данным Ю.И. Никольского, Г.А. Милай, Л.З. Коган [15] в фундаменте Севано-Амасийской зоны отчетливо устанавливается ряд узких блоков, находящихся на разных гипсометрических уровнях.

В результате геолого-геофизических исследований в пределах Севано-Амасийской зоны выделяются три структурных блока: Гогаранский, Базумский и Присеванский. Указанные блоки четко разграничены глубинными разломами северо-западного, субширотного (общекавказского) направления, пересекающимися Транскавказским и Дилижанским разломами субмеридионального простирания. Центральный из блоков - Базумский, опущен по отношению к двум соседним - Гогаранскому и Присеванскому, характеризуется наибольшей глубиной погруже-

ния фундамента - 1,5-2 км и значительной мощностью вулканогенно-осадочных отложений палеогена. В Гогаранском блоке глубина залегания фундамента не превышает 1 км, в отдельных местах установлены выходы метаморфического фундамента и офиолитов на поверхность. В Присеванском блоке офиолиты повсеместно обнажаются на поверхности.

Различная структурная позиция блоков в пределах Севано-Амасийской структурно-формационной зоны, предопределяет и ряд специфических особенностей их магматизма и рудоносности, отдельные вопросы которых рассматривались рядом исследователей: С.А. Мовсисяном, Б.М. Меликсетяном, Б.К. Архиповым, Г.П. Капраловым и др.

В пределах Присеванского блока значительным развитием пользуется раннегеосинклинальная вулканогенная спилит-диабазовая формация позднемелового (верхний турон-коньяк) возраста, сложенная андезитом-базальтами, андезитами, спилитами, диабазами и собственно интрузивной или плутонической формацией гипербазитов и габбро. Последние в тектоническом отношении приурочены к глубинному разлому, разделяющему Сомхето-Карабахскую структурно-формационную зону от Севано-Амасийской и в возрастном отношении датируются как позднемеловые образования (с протрузиями эоценового возраста), формирование которых имело место при заложении Севано-Амасийской зоны. В тесной пространственной и генетической связи с формацией гипербазитов и габбро в Присеванском блоке находятся проявления хромита, платины (Шоржское, Джильское), никеля (Тигранабердское, Чибухлинское), месторождения амфибол-асбеста (Даринское, Джанахмедское, Памбакское), серпентинитов, серпентинизированных и магнезитированных дунитов (Шоржское, Джильское, Бабаджанское, Кясаманское). Таким образом, ранняя стадия развития Севано-Амасийской зоны характеризуется в пределах Присеванского блока формированием полосы хромитового оруденения с сопутствующим ему комплексом огнеупорного магнезиального сырья.

В Гогаранском тектоническом блоке, характеризующимся по сравнению с Присеванским блоком, относительно более глубоким, в отдельных частях, погружением фундамента - порядка 1 км, офиолиты пользуются меньшим развитием и хромитовая минерализация столь типичная для Присеванского блока здесь известна лишь в виде единичных мелких выходов. В Базумском блоке, характеризующемся наибольшей глубиной залегания фундамента, ни офиолиты, ни хромитовое оруденение не выявлены.

Отличие в металлогеническом отношении указанных блоков наиболее отчетливо проявляется в связи с активизацией магматических процессов в палеогене, достаточно подробно изученных Р.Т. Джрбашяном [16] и Р.Г. Геворкяном [17]. Сопоставление особенностей развития палеогенового магматизма в пределах отдельных блоков показывает следующее. В Присеванском блоке эоценовый магматизм пользуется весьма ограниченным развитием. Эоценовые образования представлены здесь, в основном, известняками и известково-песчанистыми отложениями мощностью около 750 м и вулканогенно-осадочными породами мощ-

ностью до 500 м, установленными лишь на западном фланге Зодского месторождения. Интрузии эоценового возраста встречаются редко и представлены мелкими штокообразными телами гранодиоритов, плагиогранитов, диорит-порфири-тов. Наибольшее количество выходов плагиогранитов установлено севернее селения Кясаман. Рудных месторождений эоценового возраста в Присеванском блоке не выявлено. В Гогаранском блоке эоценовые, в частности, позднегеосин-клинальные - среднеэоценовые эффузивные породы пользуются широким рас-пространением и характеризуются мощностью 1000-1200 м. Гранитоидные интру-зии и выходы субвулканических тел кварцевых порфиров среднеэоценового воз-раста известны в долинах рек Желтая и Черная. В пространственной и генетичес-кой связи с ними проявляются месторождения медноколчеданных (р. Желтая) и серноколчеданных руд (р. Черная). Верхнеэоценовый раннеорогенный магма-тизм в пределах блока не установлен.

Наиболее интенсивно позднегеосинклинальный и раннеорогенный па-леогеновый магматизм проявляется в пределах центрального - Базумского блока. По данным Р.Г. Геворкяна он представлен среднеэоценовым, существенно нат-риевым щелочноземельным формационным рядом и верхнеэоценовым щелоч-ным калий-натриевым петрохимическим рядом. Среднеэоценовый позднегеосин-клинальный щелочно-земельный магматизм характеризуется наличием комагма-тического формационного ряда пород, варьирующих от андезитовых порфиров и субвулканических тел кварцевых порфиров до интрузивных образований габбро-диоритов, диоритов, гранодиоритов. В пределах Базумского блока сред-неэоценовый интрузивный комплекс представлен Сисиберд-Геджалинским, Лер-монтовским и другими интрузивами, радиометрический возраст которых состав-ляет 42,5 и 41-43 млн. лет соответственно.

В тесной пространственной и генетической связи с субвулканическими телами кварцевых порфиров находятся среднеколчеданные месторождения Тандзут и Чибухли. В пространственной и генетической связи со среднеэоцено-выми гранитоидными интрузивами находятся скарновые месторождения железа - Базумское, Сисимаданское, ряд гидротермальных месторождений меди, поли-металлов, и вновь выявленное автором медно-молибденовое оруденение Анка-дзорского рудного поля [18].

В составе верхнеэоценового раннеорогенного магматического комплекса Р.Г. Геворкяном выделены две субсерии: ненасыщенная кремнеземом субсерия щелочных пород - от щелочных до нефелиновых сиенитов, представленная Теж-сарским щелочным массивом (возраст по калий-аргоновому методу 37-41 млн. лет) и насыщенная кремнеземом субсерия щелочных пород от щелочных сиени-тов до порфиroidных гранитов. Породы первой серии являются сырьем для получения алюминия и характеризуются наличием редкометального оруденения. В ассоциации с интрузивами второй субсерии проявляются различные месторож-дения полиметаллической, а также впервые установленной нами [19] касситерит-силикатной формации Марцигет-Привольненского рудного района. Несколько выходит за пределы зоны приуроченная к порфиroidным гранитам золоторуд-

ная минерализация (Гамзачиман, Фиолетово).

Олигоценый и верхне-миоценовый магматизм в Севано-Амасийской зоне проявлен в Базумском блоке и более широко в Присеванском, представлен он в основном в вулканогенной фации. По мнению И.Г. Магакяна с позднеорогенными субвулканическими телами верхнемиоцен-плиоценового возраста, в пределах Присеванского блока парагенетически связано золотое оруденение Зодского месторождения, а также реальгар-аурипигментовая (Амасия) и ртутная (Хосров, Кясаман) минерализация.

Анализ особенностей развития магматизма и размещения оруденения в пределах отдельных блоков позволяет сделать следующие основные выводы по Севано-Амасийской структурно-формационной зоне, рассматриваемой предыдущими исследователями в качестве единой металлогенической зоны.

1. Севано-Амасийская структурно-формационная зона в металлогеническом отношении характеризуется гетерогенностью, обусловленной ее блоковым строением.

2. Особенностью развития геосинклинального и орогенного магматизма и сопутствующего ему оруденения в Севано-Амасийской зоне является автономность их проявления в пределах отдельных блоков, что наиболее отчетливо выражено на примере Присеванского и Базумского блоков. В силу этого Севано-Амасийская зона не может быть рассмотрена как единая тектоно-магматическая зона с общим металлогеническим обликом.

3. Автономность развития магматизма и оруденения в пределах отдельных блоков Севано-Амасийской структурно-формационной зоны требуют дифференцированного подхода при постановке поисковых работ в границах блоков, с учетом конкретных особенностей развития каждого из них.

В целом для Севано-Амасийской металлогенической зоны характерен широкий спектр месторождений и проявлений как элементов группы железа - хром, никель, железо, так и меди, молибдена, свинца, сурьмы, мышьяка, золота.

**Мисхано-Зангезурская структурно-формационная металлогеническая зона** расположена южнее офиолитового пояса на активизированной периферии Иранской плиты, с севера отделяется от Севано-Амасийской структурно-металлогенической зоны Ширакско-Зангезурским глубинным разломом. С юга эту зону ограничивает Еревано-Ордубадская миогеосинклиналь.

В строении зоны принимают участие комплекс докембрийских метаморфических сланцев и порфиристов мощностью более 3000 м, вулканогенно-осадочные отложения девона и пермо-карбона мощностью до 3000 м, вулканогенные отложения юры мощностью до 400 м, туфоосадочные отложения турона-коньяка мощностью до 2500 м, вулканогенно-осадочные отложения среднего эоцена, плиоцена (понт) суммарной мощностью свыше 2000 м. На крыльях антиклинория наблюдается развитие лав и озерных отложений неогена (верхний плиоцен).

К указанной зоне приурочены выходы наиболее древних интрузивных пород Армении - небольших штоков огнейсованных гранитов и гипербазитов ранне-

палеозойского возраста и позднепалеозойских гранитоидов Малевского массива.

Особенностью Мисхано-Зангезурской зоны в целом является широкое развитие в ее пределах промышленной медно-молибденовой минерализации, слагающей медно-молибденовый рудный пояс, отчетливо приуроченный к многофазному Мегринскому плутону и контролируемый крупными разломами и разрывными нарушениями северо-западного простирания. Подчиненное значение в пределах зоны имеет полиметаллическая минерализация, обособляющаяся в самостоятельную рудную полосу в пределах Вайоцдзорского рудного района и достаточно четко выраженная в периферических частях медно-молибденового пояса. Другой не менее характерной особенностью металлогении зоны является также отчетливо фиксирующаяся горизонтальная зональность в распределении рудной минерализации и широкое развитие рудных формаций переходного ряда. В частности, для медно-молибденового пояса (Анкаванский, Зангезурский рудные районы) этот ряд сложен медно-молибденовыми, медными (с подчиненной ролью молибдена), полиметаллическими, медно-мышьяковыми рудами, в то время как в Айоцдзорском рудном районе этот ряд представлен медными, серебро-золото-полиметаллическими, сульфоантимонитовыми рудами свинца и антимонитовыми рудами.

**Еревано-Ордубадская зона** расположена к юго-западу от вышеописанной и в тектоническом отношении представляет собой миогеосинклиналь, ограниченную с северо-востока Ани-Ордубадским, а с юго-востока и юго-запада - Ереванским глубинным разломами. В строении зоны принимают участие осадочные отложения верхнего девона, нижнего карбона, перми, верхнего мела, эоцена и олигоцена, а также покровные вулканические отложения миоплиоцена и четвертичные образования. Особенностью зоны является широкое развитие нормально-осадочных отложений, с которыми связано формирование месторождений диатомитов, травертинов, мраморов, фосфоритов, доломитов, каменной соли.

Благоприятные структурные условия (наличие седиментационных прогибов и синклиналиев), а также наличие благоприятных в литологическом отношении осадочных толщ верхнемелового, эоценового и миоцен-палеогенового возрастов, позволяют, как это следует из результатов поисково-разведочных и геофизических работ, рассматривать Приереванский и Октемберянский районы данной зоны, как перспективные на нефтегазоносность.

Магматические образования в пределах зоны развиты слабо. Магматизм раннегеосинклинальной стадии представлен выходами небольших интрузивов габбро-перидотитовой формации в турон-коньякской вулканогенной толще, позднегеосинклинальной стадии - небольшими выходами гранитоидных интрузий в эоценовых отложениях, а позднеорогенная стадия - характеризуется относительно интенсивным развитием субвулканических липарито-дацитов и трахилипаритов мио-плиоценового возраста. В генетической связи с последними проявляется железорудная минерализация Абовянского месторождения.

В связи с проявлением молодого вулканизма в пределах зоны широко распространены промышленные месторождения туфов, вулканических пемз, перлитов, обсидианов, а также мощные базальтовые покровы.

Как следует из вышеизложенного материала рудные месторождения Армении, приуроченные в основном к ее эвгеосинклинальной области характеризуются широким развитием месторождений переходного ряда от собственно-молибденовых к медным и золото-полиметаллическим (Зангезурский рудный район), от серебро-полиметаллических к свинцово-сурьмяным, сурьмяным (Вайоцзорский рудный район) от медных к золото-полиметаллическим (Кафанский рудный район) и т.д.

Результаты исследований последних лет позволяют рассматривать регион, как представляющий промышленный интерес не только на медное и медно-молибденовое, но и золото-серебряное оруденение.

## ГЛАВА 2

# ТИПЫ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

Вопросы минералого-геохимической зональности оруденения к настоящему времени получили качественно новое освещение с позиций направленной дифференциации элементов в процессе гидротермального рудообразования [20-23], что имеет место в иерархической соподчиненности как на уровне металлогенических зон, рудных районов, месторождений, рудных тел, первичных геохимических ореолов, так и на уровне основных рудослагающих минералов и их примесей. Глобализация выявленных закономерностей, рассматриваемых как частные случаи парадигмы необратимой геохимической эволюции Земли [24], выявляет четкие закономерности, общие для любой гидротермальной системы, рассмотрение которых без учета конкретной геологической ситуации по-существу принижает их значимость, единую в общих чертах и специфичную для конкретных регионов.

Ниже на примере территории Армении в иерархической соподчиненности рассмотрены минералого-геохимические типы зональности.

### 2.1. Геохимические аномалии как индикатор металлогенической зональности.

57615

Как следует из материала, изложенного в первой главе, закономерности пространственного размещения аномальных геохимических полей, в силу мозаично-блокового строения фундамента, в пределах отдельных блоков характеризуются своей спецификой формирования автономных магматогенно-рудных систем. В геохимическом плане независимо от типоморфизма оруденения, предопределяющего формационный облик структурно-металлогенических зон, они характеризуются общим рядом рудогенных элементов, которые в значительной степени демонстрируют достаточно четкую проявляемость. Это установлено как на уровне парагенетических систем элементов и минералов, так и на примере эволюционных рядов рудогенных элементов, характеризующих направленность процессов рудообразования в пределах конкретной структурно-металлогенической зоны. Примером однотипных многокомпонентных физико-химических систем парагенезиса минералов могут служить парагенетические ассоциации минералов колчеданного оруденения мезозойского возраста Кафанского блока Сомхето-Карабахской структурно-металлогенической зоны и медно-порфирирового оруденения палеогенового возраста Каджаранского блока Мисхано-Зангезурской структурно-металлогенической зоны, подробно рассмотренные Р.Н. Зарьяном [25] (табл. 2.1).

Анализ эволюционных рядов элементов структурно-металлогенических зон Армении (табл. 2.2) показывает, что независимо от полихронности и полиформационности оруденения все металлогенические зоны характеризуются доста-

Таблица 2.1.

Парагенетические ассоциации минералов многокомпонентных физико-химических систем гидротермальных месторождений Кафано-Зангезурской области (по Р.Н. Зарьяну)

Главные компоненты парагенетических ассоциаций	Парагенезис минералов	Стадии минерализации	Месторождения
Fe-S-O	Магнетит, гематит, пирит, марказит, пирротин.	Кварц-магнетитовая и кварц-пиритовая	Каджаран, Агарак, Дастакерт, Кафан и др.
Mo-S-O	Молибденит, кварц	Кварц-молибденитовая, кварц-халькопиритовая.	Каджаран, Агарак, Дастакерт и др.
Cu-Fe-S	Халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, пирит, пирротин.	Кварц-молибденит-халькопиритовая, кварц-халькопиритовая, пирит-халькопиритовая, кварц-пиритовая, халькозин-борнитовая.	Каджаран, Агарак, Дастакерт, Айгедзор, Джиндара, Кафан и др.
Cu-As(Sb)-S	Теннантит (тетраэдрит), энаргит (фамагинит), люционит.	Кварц-халькопиритовая, пирит-халькопиритовая, теннантит-энаргитовая, галенит-сфалеритовая.	Каджаран, Дастакерт, Кафан, Шаумян, Личквз-Тей и др.
Cu-Bi-Te-S	Висмутин, эмплектит, виттиденит, теллуrowисмутит, тетрадимит, сам. висмут	Кварц-халькопиритовая, пирит-халькопиритовая.	Каджаран, Агарак, Дастакерт, Кафан и др.
Zn-Pb-S	Галенит, сфалерит	Галенит-сфалеритовая	Шаумян, Личквз-Тей, Аткиз, Пхрут и др.
Ag-Au-Te	Гессит, петцит, кренерит, калаверит, сильванит, сам. золото, серебро и теллур.	Галенит-сфалеритовая	Каджаран, Агарак, Кафан, Шаумян, Личквз-Тей, Аткиз и др.
Fe-As-S	Арсенопирит, реальгар, аурипигмент, пирит, пирротин.	Кварц-арсенопиритовая, реальгараурипигментовая.	Личквз-Тей, Аравус, Сальварт и др.

точно четким единым эволюционным рядом элементов, характеризующихся к концу эволюционного ряда нарастанием роли золота и таких амфотерных элементов как мышьяк и сурьма, образующих в ранних парагенезисах сульфосоли, а в поздних - сульфиды. Однотипность элементов полихронных магматогенно-

рудных систем позволяет рассматривать их как производные близких по составу рудо-генерирующих источников сидеро-халькофильного типа. Закономерности пространственного размещения оруденения в пределах структурно-металлогенических зон позволяют рассматривать структурный контроль как основной геологический фактор пространственной фиксации различных уровней концентрации элементов. В этом отношении особая роль принадлежит зонам глубинных разломов, которая на конкретном примере рассмотрена ниже.

Таблица 2.2.

Эволюционные ряды элементов структурно-металлогенических зон Армении (данные А.И. Карапетяна, Р.Н. Зарьяна, А.К. Сагателяна)

Название зоны	Эволюционный ряд элементов
Сомхето-Карабахская	$Fe \pm Mn \rightarrow Mo \pm Cu \pm As, Sb, Bi \rightarrow Pb + Zn + Ag, Au \rightarrow Au + Te$
Севано-Амасийская	$Fe \pm Mn \rightarrow Mo \pm Cu \pm As, Sb, Bi \rightarrow Pb + Zn + Ag, Au \rightarrow Au + W \rightarrow Au + Te \rightarrow Hg \pm Sb, (As) \rightarrow \text{редкометальное}$
Мисхано-Зангезурская	$Fe \pm Mn \rightarrow Mo \pm Cu \pm As, Sb, Bi \rightarrow Pb + Zn + Ag, Au \rightarrow Au + Te \rightarrow Pb + Sb + Au, Ag \rightarrow Sb, (As) \rightarrow \text{редкометальное}$

## 2.2. Геохимические аномалии как индикатор металлогенической зональности разломов.

До настоящего времени геохимические аномалии исследовались в основном в целях локального прогноза. Ниже на основе обобщения полученных данных нами сделана попытка расширить рамки практического применения геохимических методов и оценить возможности последних при оценке роли глубинных разломов в процессе рудогенеза месторождений. Ведущая роль глубинных разломов в процессе рудогенеза в настоящее время признается всеми. По М.А.Фаворской и др. [26] системы сквозных секущих разломов являются основными рудоконцентрирующими структурами земной коры и контролируют размещение практически всех крупных и уникальных месторождений.

Системами сквозных долгоживущих разломов контролируется геометрическая правильность в размещении месторождений, проявляющейся в наличии характерных постоянных интервалов в их пространственной локализации [27]. Контроль сквозными разломами пространственного размещения оруденения установлен во многих регионах страны, к примеру, распределение колчеданных и других месторождений Урала характеризуется устойчивыми интервалами трех порядков: 90-100, 45 и 25 км.

Выявление "шага" периодичности в размещении месторождений имеет важное значение при оценке перспектив металлогенических зон и конкретизации площадей под поисковые работы. Особый интерес здесь представляет наличие пространственной соподчиненности различных интервалов в размещении месторождений, что позволяет предполагать существование определенных закономер-

ностей в локализации оруденения и на более высоких уровнях, чем установленных при региональном анализе размещения рудных узлов и месторождений, контролируемых разломами.

Необходимо отметить, что, несмотря на установленную закономерность в пространственном размещении оруденения, закономерности его зонального расположения по вещественному составу, в виде обобщенного ряда зональности Эммонса, к настоящему времени не выявлено или наблюдаются его отдельные неполные фрагменты. На наш взгляд, данное обстоятельство объясняется тем, что объектами анализа служили концентрации элементов на уровне месторождений и рудопроявлений и, по существу, вне поля зрения оставались точки минерализации и первичные геохимические ореолы, также представляющие собой формы концентрации рудных элементов, хотя в данный момент и не представляющие практического интереса.

Между тем, совокупное рассмотрение закономерностей пространственного размещения различных уровней концентрации рудных элементов, позволяет с принципиально новых позиций подойти к проблеме зональности с вытекающими отсюда выводами практического значения [28].

Именно с данных позиций ниже рассмотрена рудоконтролирующая роль Анкаван-Зангезурского глубинного разлома, являющегося основной структурной единицей Памбак-Зангезурской структурно-металлогенической зоны Малого Кавказа. Зона разлома шириной 15-20 км прослеживается по всей территории Армении. К этому долгоживущему нарушению приурочены разновозрастные интрузивы, центры вулканических извержений, источники минеральных вод, рудные месторождения. Слагающие зону разлома тектонические швы характеризуются, в большинстве, крутыми углами падения; смещения по ним представлены сбросами с суммарной амплитудой 2-3 км. К наиболее крупным относятся два шва разломов глубинного заложения: Анкаванский и Мармарикский (рис. 2.1).

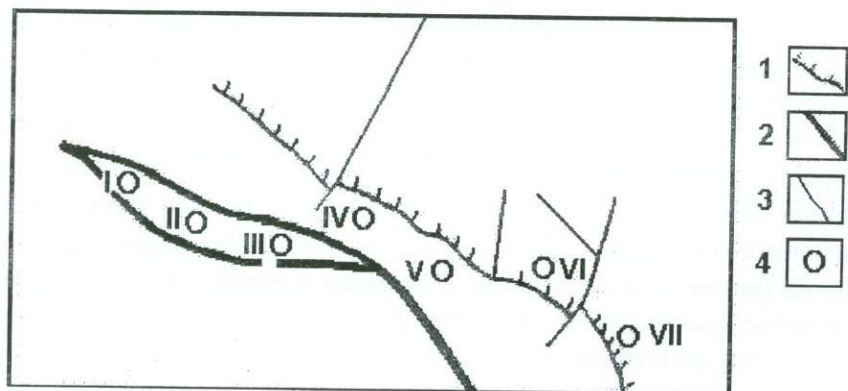


Рис. 2.1. Схема расположения аномальных участков в системе Анкаванского и Мармарикского разломов.

**Условные обозначения**

1. Мармарикский разлом.
2. Анкаванский разлом.
3. Тектонические нарушения.
4. Аномальные участки.

Анкаванский разлом представлен серией субпараллельных разрывных нарушений, сопровождающихся зоной гидротермально измененных брекчированных пород. Разлом характеризуется падением в северо-восточные румбы под углами 50-70° и трассируется внедренными вдоль него мелкими телами плагиигранитов.

Мармарикский разлом является одним из наиболее рано заложенных швов Анкаван-Зангезурского глубинного разлома. Он представляет собой полосу интенсивно раздробленных, смятых пород с многочисленными бороздами и плоскостями скольжения и контролирует наиболее поздние в зоне магматические образования сиенит-монцонитового состава.

Разрывы более высоких порядков, опережающие описанные разломы характеризуются близширотным простиранием, изменяющимся при удалении от основных разломов на северо-западное с образованием системы расходящихся трещин.

К разломам пространственно приурочены гидротермальные месторождения медно-молибденовых (Анкаванское) и золото-сульфидно-теллурических (Меградзорское) руд. Оруденение парагенетически связано с поздними фазами крупных интрузивных массивов, малыми интрузиями гранит-порфири, гранодиорит-порфири и экструзиями андезитов-дацитов олигоцен-миоценового возраста.

В комплексе с проводившимися на флангах месторождений геолого-поисковыми работами проведены литогеохимические поиски, в результате которых геохимической съемкой масштаба 1:10000 покрыта по простиранию разломов широкая полоса, охватывающая как сами месторождения и их фланги, так и практически всю площадь между ними.

В результате обработки массивов геохимической информации выявлены геохимические аномалии, приуроченные не только к известным месторождениям и рудопроявлениям, но и накладывающиеся на участки сильно трещиноватых, гидротермально измененных пород без видимой минерализации. Выявленные аномалии пространственно обособлены друг от друга участками пород, характеризующимися фоновым распределением химических элементов-индикаторов. Все выявленные аномалии комплексные, с наиболее контрастными моноэлементными ореолами шести-семи элементов. Отличительной особенностью пространственного распределения выявленных аномальных участков (рис. 2.1) является их равномерная удаленность друг от друга на расстояние 3,5-4 км. Качественная характеристика установленных аномалий определялась по общепринятой методике путем составления ранжированных рядов элементов-индикаторов (табл. 2.3).

Известно, что в начале ранжированного ряда (ряды поперечной зональности) располагаются элементы, отличающиеся в аномалии наибольшей концентрацией и в значительной степени определяющие ее качественный состав, в частности, для промышленно значимых аномалий ряд возглавляют основные рудные компоненты. В приведенных рядах, в случаях известных месторождений так оно и есть: для аномалии II - молибден (Анкаванское месторождение), аномалии III - висмут (Сарнахпюрское проявление висмутовых руд), аномалии VI - зо-

Ранжированные ряды элементов-индикаторов геохимических аномалий зоны Анкаван-Зангезурского разлома.

№ аномалии	Ранжированный ряд элементов-индикаторов
I	кобальт-медь-цинк-серебро-свинец-молибден-висмут
II	молибден-медь-серебро-кобальт-цинк-свинец-висмут
III	висмут-серебро-медь-молибден-кобальт-цинк-свинец
IV	медь-серебро-свинец-молибден-цинк-кобальт-висмут
V	свинец,цинк-серебро-медь-молибден-ванадий-висмут-кобальт
VI	золото-цинк-свинец-молибден-медь-ванадий-кобальт
VII	серебро-цинк-свинец-молибден-медь-ванадий-кобальт

лото (Меградзорское месторождение). Остальные аномалии приурочены к пунктам минерализации и участкам гидротермально измененных пород и, в большинстве, практического интереса с промышленной точки зрения не представляют, но они несут очень важную информацию о закономерном изменении в пространстве качественного состава аномалий. Если каждую аномалию охарактеризовать доминирующим в ней элементом и выписать эти элементы в последовательности пространственного расположения аномалий по простиранию разломов, то получим следующий ряд: кобальт-молибден-висмут-медь-свинец, цинк-золото-серебро. Нетрудно заметить, что направленность и местоположение большинства элементов приведенного ряда совпадают с единым рядом зональности химических элементов, выявленным С.В. Григоряном и Л.Н. Овчинниковым [20] для сульфидных месторождений.

Приведенные данные позволяют говорить о том, что единый ряд зональности представляет собой, по-сути, закон пространственной локализации любых концентраций химических элементов, обусловленный их дифференциальной подвижностью в ходе гидротермального рудообразования и структурированностью на различных уровнях: от рудных полей и месторождений - до первичных геохимических ореолов.

Важно отметить, что качественное изменение состава аномалий соответствует выдержанному шагу 3,5-4 км. Наличие такого градиента позволяет на основе ряда зональности прогнозировать отдельные отрезки зон разломов к обнаружению концентраций конкретных элементов, задача выявления промышленных скоплений которых будет сводиться к установлению на данном интервале благоприятных структурно-литологических условий локализации оруденения.

### 2.3. Минералого-геохимическая зональность Вайоцзорского рудного района.

Характерной особенностью Вайоцзорского рудного района является широкое развитие в пределах последнего полиметаллических, сурьмяно-свинцовых и сурьмяных руд с наложенной на них убогой кварц-золоторудной минерализацией. Рудовмещающей является среднеэоценовая вулканогенно-осадочная толща, прорванная выходами малых интрузий пестрого состава верхний эоцен-олигоценного возраста.

Месторождения рудного района исследовались Э.А. Сагателян [29], Г.О. Григорьяном [30], Г.О. Пиджяном, А.И. Карапетяном [31] и другими.

Первичные геохимические ореолы Азатекского месторождения исследовались Б.Г. Безиргановым [32], Газминского - автором.

Характерной особенностью Вайоцзорского рудного района является отчетливо выраженная региональная минералого-геохимическая зональность в размещении серебро-полиметаллического и золото-сурьмяно-свинцового оруденения, находящаяся в тесной зависимости от структурного фактора. В региональном плане зональность контролируется разрывным нарушением северо-западного простирания, представляющим собой длительно развивающийся разлом глубинного заложения, к которому приурочены как гранитоидные интрузивы, так и конусы четвертичных вулканов. При этом в непосредственной близости к приразломной части приурочены медно-молибденовое и полиметаллическое оруденения, характеризующиеся преимущественным развитием в северо-западной (Газминское рудное поле) и юго-восточной частях разлома (Гюмушханское рудное поле). А на значительном удалении от зоны глубинного разлома расположено Азатекское рудное поле, характеризующееся интенсивным развитием сульфантимонитового и сурьмяного оруденения с подчиненной ролью медно-молибденового и полиметаллического (рис. 2.2).

Первичная минералого-геохимическая зональность несколько осложнена в результате наложения на нее убого-сульфидной кварц-золоторудной минерализации, контролируемой меридиональным разломом, параллельным Зод-Ордубадскому.

На фоне регионально выраженной зональности, вектор которой направлен к юго-западу от зоны разлома, проявлена автономная зональность рудных полей, обусловленная как магматическим, так и структурным фактором. Наиболее отчетливо подобная зональность выражена на Газминском рудном поле, где с востока на запад наблюдается уменьшение интенсивности полиметаллического оруденения и смена его медно-молибденовой минерализацией. При этом в пространственном отношении устанавливается приуроченность медно-молибденового оруденения к порфирировидным гранитам и граносиенитам, а полиметаллического к гранодиоритам и рудовмещающим вулканитам. Примечателен тот факт, что указанная зональность отчетливо выражена сменой полиметаллического оруденения, развитого в породах кровли, медно-молибденовым оруденением, приуроченным к гипсометрически более низким отметкам, что особенно отчетливо проявлено на Прошибердском месторождении и участке Матур [33].

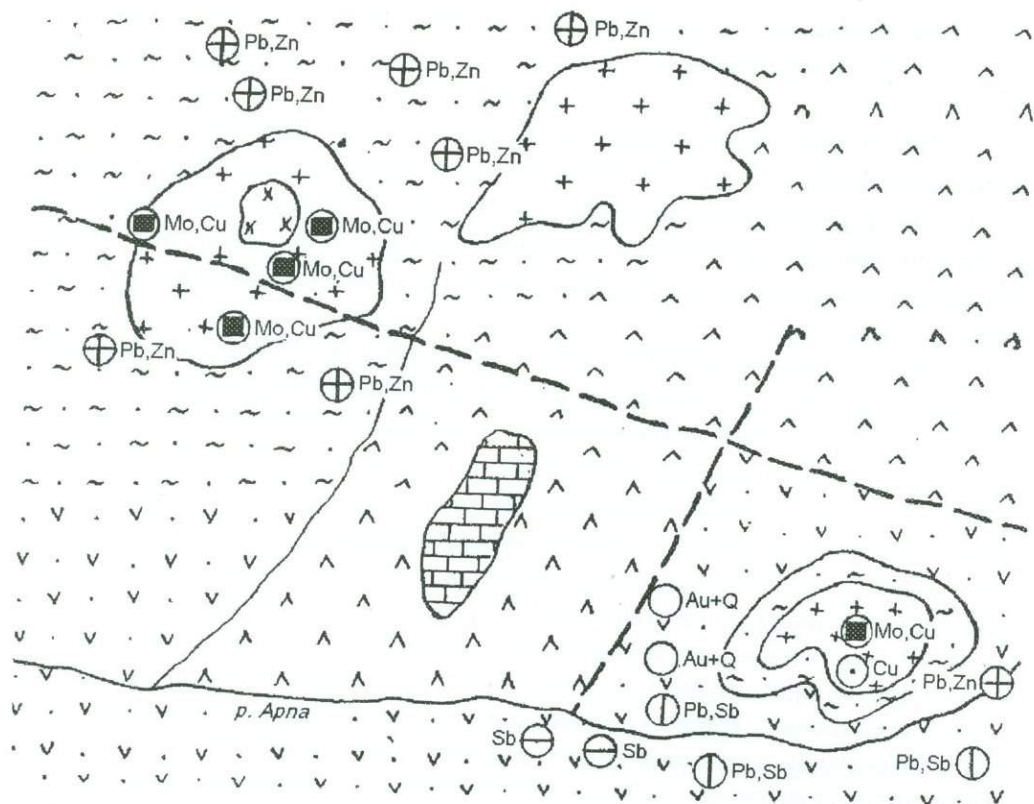















Рис. 2.2. Схема пространственного расположения минеральных парагенезисов в западной части Вайоцзорского рудного района.

Условные обозначения

	Среднеэоценовая вулканогенно-осадочная толща		Py+Cpy
	Верхнеэоценовые гранитоидные интрузии		Cpy +Mbt
	Порфировидные граниты		fl+gal
	Верхнеэоценовые известняки		ant+Q
	Измененные породы		npbs.m.Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>
	Четвертичные лавы		Au+Q
	Разломы		

Рудовмещающими структурами являются разрывы северо-западного близмеридионального простирания.

Эволюция рудных минеральных ассоциаций в пределах Газминского рудного поля представляется в следующем виде:  $FeS_2 \rightarrow CuFeS_2 + MoS_2 \rightarrow ZnS + PbS \pm CuFeS_2 \rightarrow PbS + Cu_{12}Sb_4S_{13} \pm ZnS$  + минералы Ag(Au).

Как следует из приведенного ряда, эволюция рудообразующего раствора протекает в последовательном нарастании к концу процесса минерализации концентраций сурьмы, серебра и золота при примерно равном соотношении в рудах свинца и цинка и ограниченном содержании меди. Отношение  $Pb:Zn:Cu = 1,18:1,1:0,13$ .

В пределах Гюмушханского месторождения преимущественным развитием пользуются полиметаллическая и свинцово-серебряная минерализация. При этом отчетливо выражена зависимость размещения вышеуказанных типов от структурного фактора. Так, если рудные тела, сложенные полиметаллическими рудами, приурочены к разрывным нарушениям северо-западного простирания с крутыми углами падения и залегают преимущественно в интрузивных породах, то свинцово-серебряное оруденение приурочено к пологопадающим разрывам близмеридионального простирания и залегает в вулканитах среднего эоцена. В пределах рудного поля отчетливо проявлена вертикальная зональность в размещении промышленных минеральных ассоциаций, выражающаяся в смене с глубиной полиметаллических руд свинцово-серебряными.

Эволюция рудных минеральных парагенезисов в основных чертах представляется в следующем виде:  $FeS_2 \rightarrow CuFeS_2 + ZnS + PbS \rightarrow PbS +$  сульфосоли висмута, меди + минералы  $Ag + Au$ .

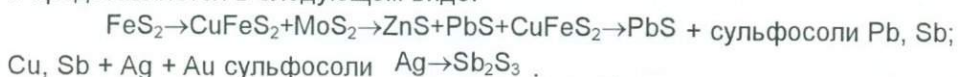
Общий ряд эволюции в гидротермальной системе представляется в следующем виде:  $Fe \rightarrow Zn + Pb + Cu \rightarrow Pb(Sb + Bi + Ag) + Ag(Au)$ .

Характерной особенностью эволюционного ряда является нарастание содержания серебра от ранних ассоциаций к поздним, параллельно с которым происходит нарастание сурьмы и висмута. По данным Г.О. Пиджяна, А.И. Карапетяна и др. [31], если в пирите из кварц-пиритовой стадии содержание сурьмы составляет 0,013%, то в позднем галените оно колеблется от 0,32 до 0,36%. Соответственно содержание висмута изменяется от 0,001 до 0,03-0,1%, что позволяет говорить о повышении относительной концентрации этих элементов к концу рудного процесса примерно в 30 раз. Наиболее отчетливо эволюция рудообразующих растворов проявлена в пределах Азатекского рудного поля. В отличие от Газминского и Гюмушханского рудного полей, в пределах Азатекского рудного поля преобладающим развитием пользуются свинцово-сурьмяные и сурьмяные минеральные ассоциации при относительно ограниченном развитии ассоциации собственно полиметаллических и медно-молибденовых руд.

Общая тенденция, устанавливаемая в пределах Азатекского рудного поля, выражается в смене медно-молибденовой и полиметаллической минерализации, автономно развитой на Каялинском участке правобережья, сульфоантимонитовыми и антимонитовыми рудами, развитыми в левобережье Азатекского рудного поля. При этом, если первые два типа приурочены к интрузивным породам Каялинского массива, то преобладающее большинство сульфоантимонитовых и собственно сурьмяных жил залегают в среднеэоценовых вулканитах. Первичная латеральная зональность в пределах рудного поля несколько затушевана наложением на ранние минеральные ассоциации более поздней.

Как и на остальных рудных полях, в пределах Азатекского рудного поля также отчетливо проявлена зависимость в размещении минеральных ассоциаций от структурного фактора. Так, если для медно-молибденовой и собственно полиметаллической минерализации характерна приуроченность к разрывным нарушениям северо-восточного простирания, то большинство промышленных рудных тел с преобладающим развитием сальфидов, ассоциирующихся с галенитом и сфалеритом, также, как и сложенных антимонитом, приурочены к трещинам близширотного простирания, в то время как убого-сульфидная кварц-золоторудная минерализация приурочена к трещинам близмеридионального простирания.

Последовательность формирования минеральных парагенезисов в пределах Азатекского рудного поля представляет собой наиболее полный ряд минеральных ассоциаций, наблюдаемых в пределах Вайоцзорского рудного района, и представляется в следующем виде:



Эволюция рудообразующего раствора представляется в следующем виде:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Cu, Mo} \rightarrow \text{Pb, Zn Sb Ag, Au} \rightarrow \text{Sb}$ .

Как следует из анализа закономерностей размещения минеральных парагенезисов в пределах отдельных рудных полей, для всех них характерен общий ряд направленной эволюции гидротермальных растворов, характеризующихся максимумами концентраций свинцово-цинковой, свинцово-серебряной, свинцово-сурьмяно-серебряной и золото-серебряной ассоциаций, определяющих промышленную ценность руд. Характерной особенностью распределения ассоциаций является их закономерное размещение не только в региональном плане и в пределах отдельных рудных полей, но и в пределах отдельных рудных тел. В отличие от зональности рудных полей, первичная зональность рудных тел представляет собой зональность отложения, отражающую по существу общую тенденцию эволюции гидротермальных растворов.

Характерным примером может служить строение жилы №5 Газминского месторождения, где от зальбандов рудного тела к его центральной части наблюдается последовательная смена пиритовой, галенит-сфалеритовой ассоциации, галенит-теннантит-тетраэдритовой ассоциацией, слагающей центральную часть жилы. Достаточно четко зональность в размещении минеральных ассоциаций проявлена в кварц-антимонитовых жилах левобережного участка Азатекского месторождения. При этом, как правило, зональность по мощности более отчетливо проявлена в пологопадающих рудных телах. Характерной особенностью зональности строения рудных тел является не только смена в их контурах минеральных ассоциаций, но и фаціальная изменчивость внутри отдельных рудных тел, сложенных одной минеральной ассоциацией. Так, в рудных телах Газминского и Гюмушханского месторождений с глубиной устанавливается нарастание содержания серебра. Наиболее отчетливо фаціальная зональность проявлена в рудных телах Азатекского месторождения. Так, в строении рудного тела №1, юго-

западная часть рудного тела представлена золото-серебряной минерализацией относительно равномерно распределенной, а северо-восточная часть характеризуется концентрацией медной минерализации.

Одинаковая направленность минералого-геохимической зональности, характерная как для рудного района, так и рудных полей, отдельных месторождений и рудных тел, позволяет рассматривать ее как многоуровневую зональность, представляющую собой специфическую особенность Вайоцзорского рудного района, характеризующегося широким развитием серебро-полиметаллического и свинцово-сурьмяно-золоторудного оруденения.

Особенности состава и зональности первичных геохимических ореолов отображают общую направленность эволюции рудоносных растворов.

Согласно данным Б.Г. Безирганова верхнерудный ряд элементов на Азатекском месторождении представлен Sb, Zn, Ag, Pb. По нашим исследованиям для верхнерудного уровня полиметаллических месторождений наиболее типичными элементами являются барий и серебро. Комплексные геохимические аномалии характерные для средне-верхне-рудного уровня полиметаллического оруденения сложены ореолами меди, цинка, свинца, серебра и бария. Группа подрудных элементов на Азатекском месторождении представлена Sn, Co, Mo, Cu. Наиболее типичными подрудными элементами, характерными для всех месторождений являются Co, Mo.

Анализ особенностей эволюции вещественного состава минеральных парагенезисов, характеризующихся постепенным количественным нарастанием в рудах содержания сурьмы, серебра, золота от ранних минеральных ассоциаций к поздним, позволяет рассматривать руды Вайоцзорского рудного района, как производные единой гидротермальной саморегулирующей системы, которая испытывает в зоне рудоотложения изменения во времени и в пространстве, в отношении кислотно-щелочных свойств и окислительно-восстановительного потенциала в зависимости от локальных структурно-геологических условий, характеризующих отдельные рудные поля.

#### **2.4. Минералого-геохимическая зональность оруденения Анкадзорского рудного поля.**

В отличие от вышеизложенных типов, зональность оруденения Анкадзорского рудного поля является межформационной полиасцендентной. В строении рудного поля, более детально рассмотренного в параграфе 2.6.1, принимают участие вулканогенно осадочные породы среднего эоцена и гранитоиды до верхнеэоценового возраста (Сисиберд-Генджалийская интрузия). В пределах Анкадзорского рудного поля отчетливо проявляется определенная закономерность в пространственном и временном размещении минеральных парагенезисов руд, главных рудных элементов и строении эндогенных геохимических ореолов, сопровождающих рудные тела.

Согласно И.Г. Магакяну различные типы руд в пределах Анкадзорского рудного поля сформировались в результате стадийности развития процесса рудообразования. По Б.С. Вардапетяну [11] горизонтальная зональность Анкадзорского рудного поля является результатом зональности отложения по схеме Эммонса и обусловлена падением температуры по мере эволюции гидротермального процесса. При этом основным фактором, обусловившим зональность рудного поля по Б.С. Вардапетяну, является внедрение Сисибердского интрузива, в экзоконтакте которого развивались скарновые магнетит-гематит-пирит-халькопиритовые руды, затем, в центральной части рудного поля - пирит-халькопиритовые, а в наибольшем удалении от интрузива - полиметаллические.

Проведенными нами исследованиями было установлено [18], что с медной минерализацией ассоциирует молибденит и этот тип является наложенным на все типы метасоматитов, в том числе скарны и эпигенетичен относительно интрузива. Оруденение контролируется глубинными разломами и основным фактором локализации оруденения, обуславливающим зональность рудного поля, является структурный, в то время как роль Сисибердской интрузии, в экзоконтакте которой расположено рудное поле, в данном случае ограничивается формированием вокруг нее термоградиентного поля за счет глубинного источника тепла, фактор которого в данном случае также выступает в соподчинении структурному фактору. Отсюда следует, что зональность оруденения в пределах рудного поля по существу является межформационной полиасцидентной и обусловлена пространственным размещением двух формационных типов руд: скарнового железорудного, развитого непосредственно в зоне экзоконтакта интрузии и гидротермального сульфидного оруденения, широко развитого по всему рудному полю и контролируемого трещинной тектоникой, субвулканическими телами и дайками диабазовых порфириров. Зональность оруденения проявляется в пространственном размещении по латерали следующего последовательного ряда минеральных парагенезисов: 1) магнетит + гематит ± пирит; 2) пирит ± халькопирит; 3) пирит + халькопирит ± молибденит; 4) сфалерит + галенит ± барит. Из них наибольшим площадным развитием пользуется пирит-халькопирит-молибденитовый парагенезис, ассоциирующий с филлизитами. В зоне экзоконтакта интрузии устанавливается его наложенность на скарновое железорудное оруденение. В центральной части рудного поля он характеризуется определенной пространственной обособленностью, развиваясь по пропилитам; местами он налагается на серно-, медно-колчеданные руды, и в таких случаях в рудах устанавливается наличие нескольких генераций пирита и халькопирита, отличающихся друг от друга элементами-примесями. По мере удаления от экзоконтакта интрузии, сопряженной с зоной разлома, он сменяется сфалерит-галенит-баритовым парагенезисом, развитым по периферии рудного поля (рис. 2.3) [34].

Необходимо отметить, что ряд зональности основных рудных элементов, отражая общую закономерность формирования основных минеральных парагенезисов во времени и в пространстве, в действительности имеет более сложную форму, в силу наличия в пределах отдельных рудных парагенезисов конкретных

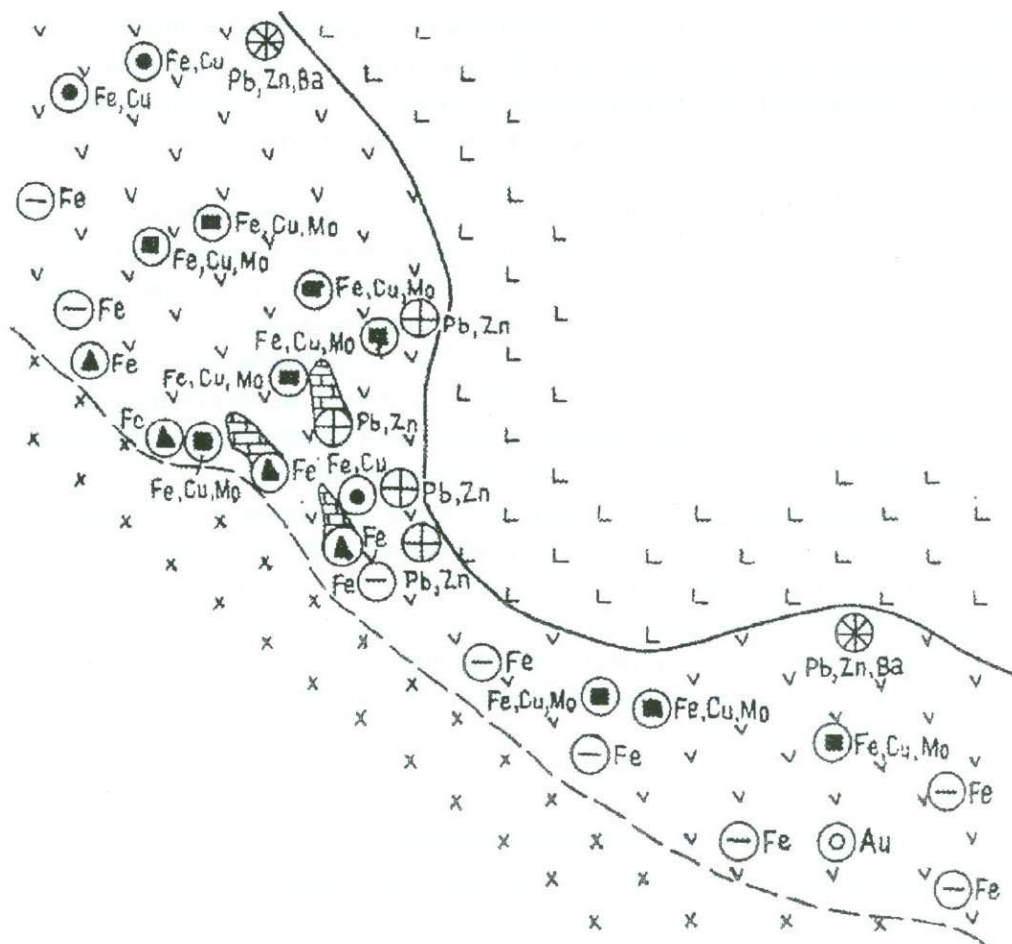














Рис. 2.3. Схема пространственного расположения минеральных парагенезисов в пределах Анкадзорского рудного поля.

Условные обозначения

- |  |  |
|--|--|
|  Mgt+gem+Py                 |  Сисимаданская толща            |
|  Py                         |  Карбонатные породы             |
|  1. Py+chPy 2. Py+chPy±Mbt  |  Шакарадзурская толща           |
|  1. Sfl+gal 2. Sfl+gal ±Brt |  Сисиберд-Геджалинская интрузия |
|  Au + SiO <sup>2</sup>      |  Анкадзорский разлом            |
|  Основные элементы руд      |  Сисибердский разлом            |

месторождений соподчиненные им второстепенные парагенезисы минеральных и элементных систем. Последнее обусловлено сонахождением в полях основных рудослагающих минералов ряда второстепенных минералов и, что самое глав-

ное, сонахождение в основных рудослагающих минералах, элементов-примесей, соподчиненных главным элементам. В силу этого общий эволюционный ряд рудных компонентов представляется в следующем виде: железо → железо + (кобальт) ± медь → медь + (кобальт + висмут) ± молибден → цинк + свинец + (серебро) ± барий.

Приведенный ряд в своей последовательности аналогичен ряду зональности первичных геохимических ореолов, развитых вокруг рудных тел: барий - серебро - свинец - цинк - медь - молибден - кобальт - висмут - вольфрам - олово.

Вышеизложенный материал позволяет сделать вывод о том, что в пределах Анкадзорского рудного поля отчетливо проявлена латеральная и вертикальная минералого-геохимическая зональность гидротермального сульфидного оруднения, выраженная в закономерном изменении в пространстве и во времени минеральных парагенезисов и рудослагающих элементов.

**Обобщенный анализ закономерностей размещения минеральных ассоциаций в зависимости от структурно-литологических факторов в зонах разломов, рудных районов и локальных структурно-магматических факторов в пределах отдельных месторождений позволяют рассматривать многоуровневую минералого-геохимическую зональность как один из важных поисково-оценочных критериев при локальном металлогеническом прогнозе на территории Армении.**

## **2.5. Первичные геохимические ореолы.**

Металлогенические особенности структурно-формационных зон на территории Армении, а также типы минералогической зональности описанные выше, являются закономерным отражением состава и структурных особенностей соподчиненных аномальных геохимических полей, соответствующих различным уровням или рангам концентрации и рассеяния рудогенных элементов - структурно-металлогеническая зона, рудный район, рудное поле, месторождение, рудное тело, первичный геохимический ореол.

При этом основной таксономической единицей, предопределяющей особенности эндогенных аномальных полей являются рудные тела с первичными геохимическими ореолами.

В ретроспективном аспекте необходимо отметить, что именно благодаря изучению первичных геохимических ореолов развитых вокруг рудных тел, слагающих месторождения различных формационных типов были разработаны геохимические методы локального прогноза, прочно вошедшие в практику геолого-разведочных и поисковых работ. Заложение и развитие этого направления тесно связано с именами Э.Н. Баранова [35], В.А. Барсукова [36], А.А. Беуса [37], Э.К. Буренкова [38], С.В. Григоряна [39], Е.М. Квятковского [40], Л.Н. Овчинникова [41], А.А. Саукова [42], Н.И. Сафронова [43], А.П. Соловова [44] и других. Результаты изучения первичных геохимических ореолов приобрели и большое теоретическое значение, в частности, при расшифровке условий рудогенеза (В.Л. Барсуков,

С.В. Григорян, Л.Н. Овчинников [45]).

Общеизвестно, что интенсивность проявления первичных геохимических ореолов зависит от петрофизических и литологических особенностей рудовмещающих пород и физико-химических параметров рудообразования.

Пользуясь во многих случаях значительно более широким пространственным развитием, чем рудные тела, сопровождающие их геохимические ореолы являются укрупненной и обобщающей моделью последних, несущей их основные морфоструктурные и генетические черты. Для месторождений характеризующихся широким развитием метасоматических процессов при формировании рудных тел (медно-порфировые, колчеданные) граница между рудным телом и его первичным геохимическим ореолом носит сугубо условный характер, обусловленный технологическим фактором. В общей сумме запасы металлов в ореолах месторождений подобного типа превышают запасы, подсчитанные в рудных телах.

В этом отношении первичные геохимические ореолы рудных месторождений Армении не являются исключением. Наиболее типичными примерами ореолов подобного типа могут служить первичные геохимические ореолы медно-порфировых месторождений - Каджаран, Агарак, Техут и Анкадзорского рудного поля, представляющего переходный тип от колчеданного к медно-порфировому.

Как известно важной особенностью первичных геохимических ореолов является их зональность. Среди разнообразных видов фациальной зональности, при оценке первичных геохимических ореолов обычно наибольшее внимание уделяется вертикальной зональности, которая наиболее контрастно проявляется в рудных телах крутого падения, залегающих в породах, легкоподвергаемых метасоматозу. Она характеризуется преимущественным накоплением одних ассоциаций элементов во фронтальных или надрудных частях ореолов, других - в тыловых или подрудных частях.

Следует отметить, что подобная закономерность, как правило, отражается не только в составе первичных ореолов, но и в строении рудных тел и элементного состава рудослагающих минералов, которые в ряде случаев в целях прогноза являются не менее информативными, чем первичные геохимические ореолы [46, 47].

Подобная иерархическая соподчиненность на территории Армении впервые была установлена нами на примере месторождений Анкадзорского рудного поля [34].

Необходимым условием обоснованного выбора элементов для расчета коэффициента зональности является расчет рядов вертикальной зональности первичных ореолов [48]. Рациональная методика расчетов рядов вертикальной зональности была разработана и применена нами на ряде месторождений в процессе опытно-методических работ.

При слабо выраженных первичных геохимических ореолах вертикальная зональность рудных тел, отраженная в вещественном составе основных рудослагающих минералов позволяет использовать последние для оценки уровня эрозийного среза оруденения [47]. По Армении это впервые было использовано авто-

ром при оценке уровней среза Меградзорского золото-редкометалльного месторождения.

Из многих аспектов современного состояния проблемы изучения первичных геохимических ореолов считаем необходимым акцентировать два, наиболее близких к проведенным нами исследованиям.

Первый - метрологический аспект современной поисковой геохимии, на что вполне справедливо указано Б.Я. Юфом [49]. В этом аспекте наряду с точностью результатов анализов, определяемых двумя видами погрешности (сходимостью и воспроизводимостью), первостепенное значение приобретает качество исходной информации и корректность ее обработки. Достаточно отметить, что в настоящее время набор химических элементов характеризующий ряды зональности колеблется в пределах 20. Использование более чувствительных методов не только позволило бы расширить спектр элементов, но и выявить новые элементы-индикаторы для месторождений определенного типа, каковым, в частности, для золото-полиметаллических месторождений Армении, исследованных нами, оказался теллур [50].

Второй аспект - сугубо геологический. До настоящего времени при рассмотрении особенностей первичных геохимических ореолов продолжает недооцениваться роль структурного фактора. Парадокс заключается в том, что неоспоримая роль структурного фактора при локализации оруденения признается всеми, когда речь идет о формировании рудных тел, месторождений, полей и т.д., однако почему-то недооценивается и часто упускается из виду при исследовании первичных геохимических ореолов. Между тем, именно роль структурного, как и литологического фактора является первостепенной при формировании и пространственном размещении первичных геохимических ореолов и окolorудных метасоматитов.

Во избежание повторения уже выполненных рядом исследователей работ (Э.А. Баранов [51], Б.Г. Безирганов [32], М.П. Асланян [52], А.З. Адамян [53] и др.) ниже рассмотрены первичные геохимические ореолы лишь некоторых рудных месторождений, по которым имеется оригинальный авторский материал. При этом, учитывая экономическую значимость для республики золоторудного оруденения, этим месторождениям в работе уделено особое внимание.

## **2.6. Геологическое строение и первичные геохимические ореолы медно-молибденового оруденения Анкадзорского рудного поля.**

### **2.6.1. Геологическое строение Анкадзорского рудного поля.**

Особенности геологического строения Анкадзорского рудного поля определяются его геотектонической позицией - приуроченностью к Базумскому блоку Севано-Амасийской структурно-формационной зоны, активизированному в палеогене.

В структурном отношении Анкадзорское рудное поле представляет собой клинообразный тектонический блок, ограниченный глубинными разломами северо-западного простирания, предопределяющими пространственное размещение оруденения.

Геологическое строение Анкадзорского рудного поля отражено на составленной автором геологической карте масштаба 1:10000 (рис. 2.4). В строении рудного поля принимают участие породы Сисиберд-Геджалинской гранитоидной интрузии до верхнеэоценового возраста (К-Аг. возраст 47 млн. лет) среднеэоценовые вулканогенные образования с ксенолитами известняков верхнего мела известные в литературе под названием "Сисимаданской рудоносной толщи" и вулканиты Шакарджурской толщи миоплиоценового возраста. Контакт между вышеуказанными толщами тектонический. В пределах рудного поля широким площадным развитием пользуются породы Сисимаданской толщи, являющиеся рудовмещающими. Гранитоидные породы Сисиберд-Геджалинского интрузива ограничивают рудное поле с юго-запада, а породы Шакарджурской толщи прослеживаются вдоль его северо-восточной границы. Вулканиты "Сисимаданской рудоносной тощи" повсеместно подвергнуты интенсивной переработке под воздействием контактово-метасоматических процессов, что делает весьма затруднительным их расчленение. Они представлены дифференцированным рядом от андезитов до дацитов. Основными рудоконтролирующими структурами в пределах Анкадзорского рудного поля являются Анкадзорский (Шагали-Элиарский) и Сисибердский (Сисиджур-Шакарджурской) разломы, ограничивающие рудное поле с северо-востока и юго-запада. Рудолокализирующими являются широко развитые в пределах рудного поля дизъюнктивные нарушения.

Позиция рудоносных участков контролируется в основном диагональными и поперечными нарушениями более высоких порядков, разделяющими рудное поле на ряд индивидуализированных мелких блоков, в пределах которых локализованы отдельные месторождения: Анкадзорское, Антониевское, Чамлугское, Южно-Шаграбанское, Элиарская группа, Назои-Юрт, рудопоявления Цакеримат, Джухтах-тала, Тлоти-Джур, Шекгел, Цахкасарское.

По данным наших исследований среднеэоценовые вулканогенные породы геохимической специализацией ни на медь, ни на какие-либо другие халькофильные элементы не обладают.

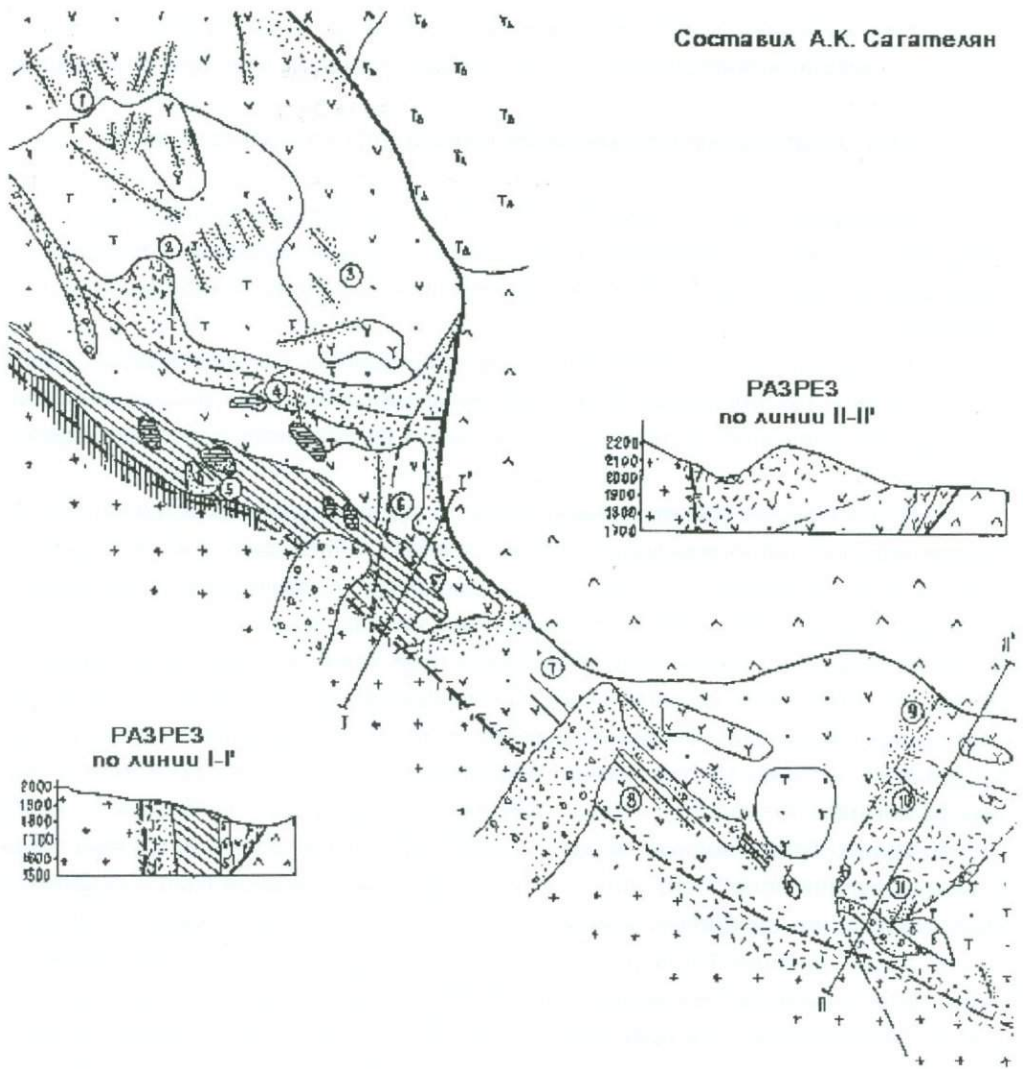


Рис. 2.4. Геологическая карта Анкадзорского рудного поля. М 1 : 10000.

Условные обозначения

Q		Аллювиальные, делювиальные отложения		
N <sub>1</sub>		Риолиты		
N <sub>2</sub>		Грубообломочные туфы, туфобрекчи андезитодацитов и липаритодацитов		
P <sub>1</sub>		Пропилитизированные андезиты, дациты, риодациты		
P <sub>2</sub>		Пропилитизированные андезитовые туфы и брекчи		
P <sub>3</sub>		Риолиты, трахириолиты, кварцевые риолиты		
K <sub>2</sub> (?)		Известняки		
P <sub>4</sub>		Гранодиориты, кварцевые диориты, кварцевые монцодиориты		
		Диабазовые порфириты		
			<i>Контактово-измененные породы</i>	
		Роговики		
		Скарны		
		Вторичные кварциты		
		Филлизиты		
		Анкадзорский разлом		
		Сисибердский разлом		
		Тектонические нарушения		
		Рудные зоны и жилы		
		Месторождения и рудопроявления		

## Условные обозначения к рис. 2.4.

### Месторождения и рудопроявления

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| ① Чамлугское месторождение    | ⑥ Рудопроявление Тлоти-джур       |
| ② Баяндурское месторождение   | ⑦ Рудопроявление Шек-гел          |
| ③ Рудопроявление Джухтак-тала | ⑧ Анкадзорское месторождение      |
| ④ Рудопроявление Цакери-мат   | ⑨ Цахкасарское рудопроявление     |
| ⑤ Антониевское месторождение  | ⑩ Назои-юртское месторождение     |
|                               | ⑪ Южно-Шаграбанское месторождение |

Согласно Р.Г. Геворкяну в интрузивных породах Сисиберд-Геджалинского комплекса отсутствует сколь-либо существенно выраженная геохимическая специализация на такие халькофильные элементы как свинец, цинк, молибден, содержания которых в отдельных разностях пород слагающих интрузив либо ниже кларкового, либо равно ему. По данным указанного исследователя, в определенной степени можно говорить о геохимической специализации пород интрузива на медь, содержание которой в среднем превышает кларковое в 2,5 раза.

Из вышеизложенного следует, что при формировании рудных тел и околорудных ореолов мобилизации рудного вещества из рудовмещающей среднезоценовой толщи практически не происходило.

### 2.6.2. Морфология рудных тел.

Превалирующей морфологической формой рудных тел Анкадзорского рудного поля является штокверковый, при подчиненной роли жильного типа оруденения. По особенностям внутреннего строения выделяются простые штокверки, сложенные одним лишь прожилково-вкрапленным типом оруденения (Анкадзорское, Антониевское месторождения, Тлоти-джурское проявление). Сложные штокверки, в строении которых принимают участие прожилково-вкрапленный и жильный типы руд (рис. 2.5, 2.6) - они развиты почти на всех участках рудного поля и штокверки, в строении которых принимают участие прожилково-вкрапленный, жильный и гнездовый тип оруденения (Антониевское и Тлотиджурское проявления).

Согласно классификации В.М. Крейтера и Н.В. Барышева [54] по вариациям содержаний меди и молибдена в штокверках, оруденение в них относится к неравномерному ( $V=40-100$ ) и весьма неравномерному ( $V= 100-150$ ) типу.

### 2.6.3. Минералого-геохимические особенности руд.

Согласно типизации руд, проведенной нами по их минеральному составу, морфологии и текстурно-структурным особенностям в пределах рудного поля выделяются

- 1) скарновый-железорудный,

- 2) серноколчеданный,
- 3) медно-молибденовый,
- 4) полиметаллический,
- 5) золоторудный.

Из них наибольшим распространением пользуется медно-молибденовый тип, слагающий штокверки и являющийся основным промышленным типом руд Анкадзорского рудного поля.

Последовательный ряд минеральных парагенезисов в пределах рудного поля представляется в следующем виде: магнетит + гематит ± пирит; пирит + халькопирит ± молибденит; пирит + халькопирит + сфалерит + галенит ± барит.

Как следует из состава парагенетических ассоциаций, характеризующих основные типы руд, в составе руд Анкадзорского рудного поля участвует довольно ограниченный комплекс минералов. Среди них наиболее распространенными являются пирит, халькопирит, гематит; в подчиненном количестве магнетит, молибденит, сфалерит, галенит, блеклые руды. И.Г. Магакяном, впервые детально изучившим Анкадзорские руды, описаны самородное золото и электрум.

В результате наших исследований в рудах установлены пирротин, аргентит, линнеит, из висмутовых минералов - виттихенит и висмутин.

Ниже вкратце рассмотрены особенности главных рудообразующих минералов - пирита, халькопирита и молибденита.

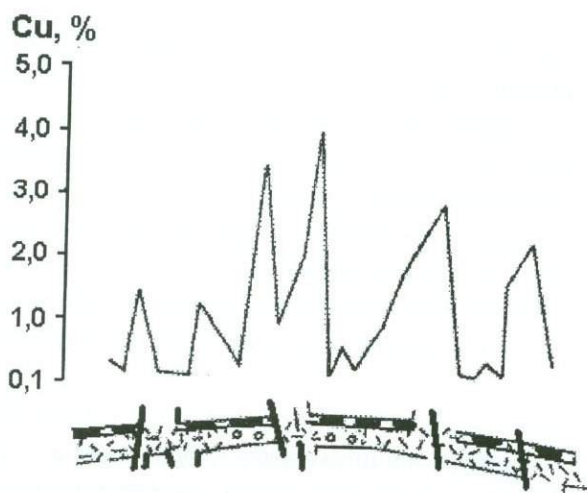
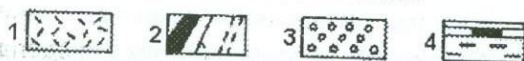


Рис. 2.5. График распределения содержания меди в сложном штокверке. Анкадзорское месторождение, шт. №6, инт. 27-64 м (по данным Анкадзорской ГРП).

Условные обозначения



- 1 - прожилково-вкрапленные руды; 2 - жильные руды, прожилки; 3 - гнездовой тип руд;
- 4 - места отбора проб.

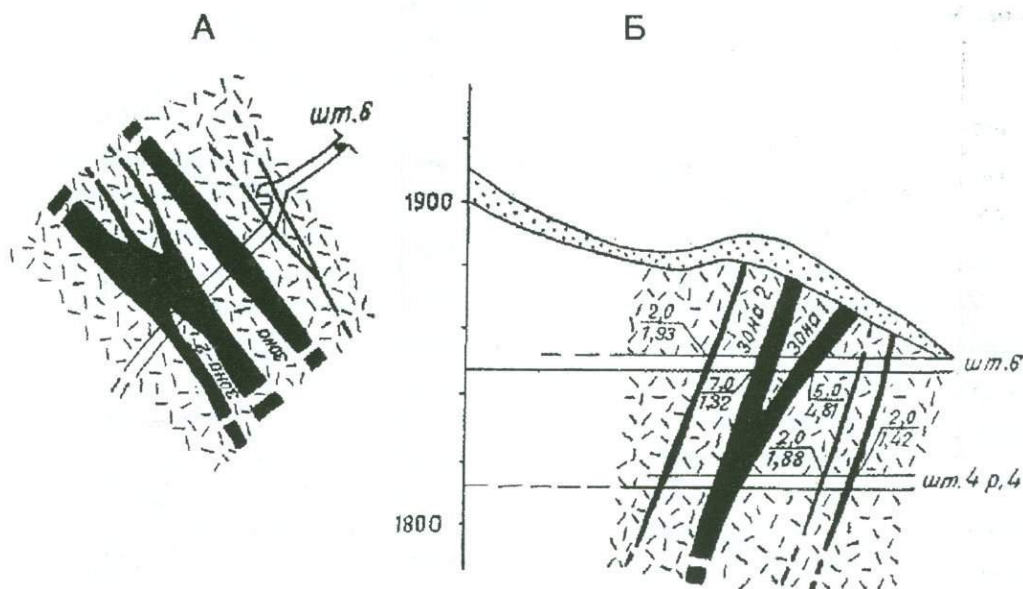
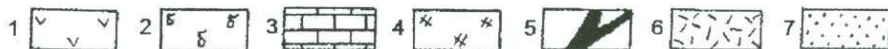


Рис. 2.6. Анкадзорское месторождение. Рудные жильные зоны в прожилково-вкрапленных рудах на плане А и в разрезе Б.

Масштаб 1:2000. По данным ГРП.

Условные обозначения



1. Андезиты.
2. Диабазовые порфиры.
3. Известняки.
4. Гидротермальное изменение.
5. Рудные жилы.
6. Прожилково-вкрапленные руды; гнездовой тип руд.
7. Рыхлые отложения.

**Пирит** является самым распространенным в рудах минералом. На месторождении выделяются ряд генераций пирита. Пирит первой генерации характерен для серноколчеданных руд, пирит второй и третьей генераций - для прожилково-вкрапленных пирит-халькопирит-молибденитовых руд. Пирит четвертой генерации развит в кварц-карбонат-сульфидных прожилках, где он ассоциирует обычно со сфалеритом, халькопиритом, блеклой рудой. Вариации содержаний в пиритах сидерофильных и халькофильных элементов отражены на диаграммах (рис. 2.7, 2.8). Как следует из диаграмм, построенных по усредненным данным количественного спектрального анализа, для пиритов поздних генераций характерна примесь бария, не установленная в пиритах первой генерации. А для пиритов третьей и четвертой генераций примесь молибдена, отсутствующего в пиритах двух первых генераций. От ранних генераций к поздним, за исключением пирита четвертой генерации, устанавливается повышение содержаний серебра. Из сидерофильных элементов во всех генерациях пиритов относительно стабильные содержания характерны для хрома и титана. Пириты всех генераций характеризуются повышенным содержанием кобальта по сравнению с никелем, примерно на один порядок.

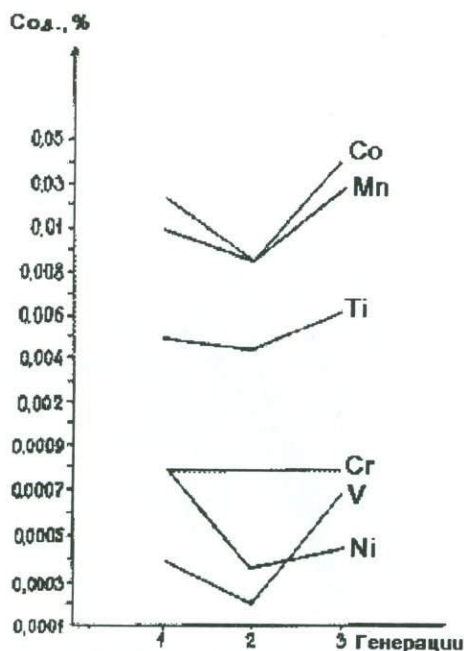


Рис. 2.7. Вариации содержаний сидерофильных элементов в пиритах разных генераций Анкадзорского рудного поля.

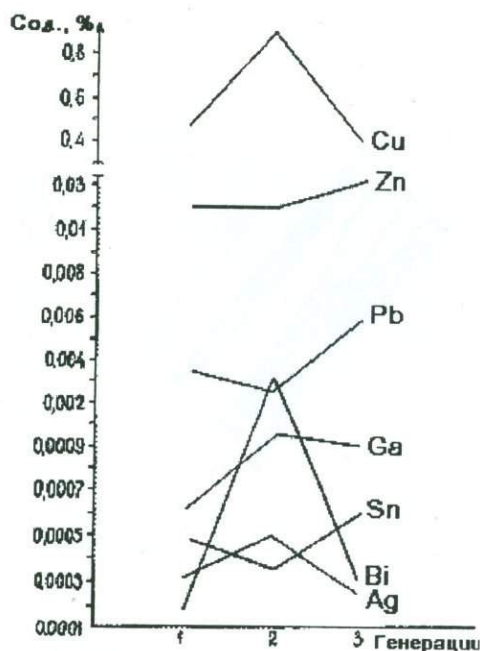


Рис. 2.8. Вариации содержаний халькофильных элементов в пиритах разных генераций Анкадзорского рудного поля.

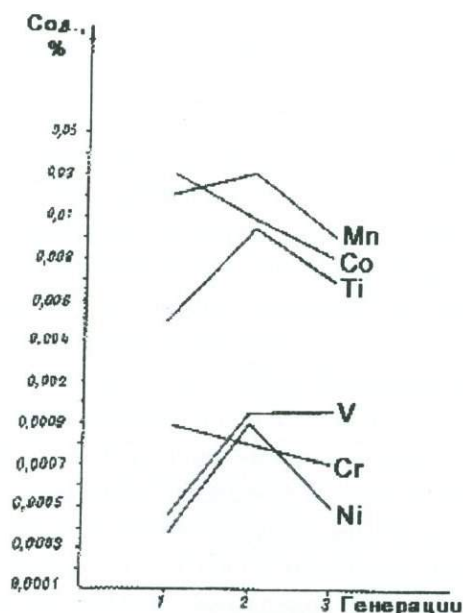


Рис. 2.9. Вариации содержаний сидерофильных элементов в халькопиритах разных генераций.

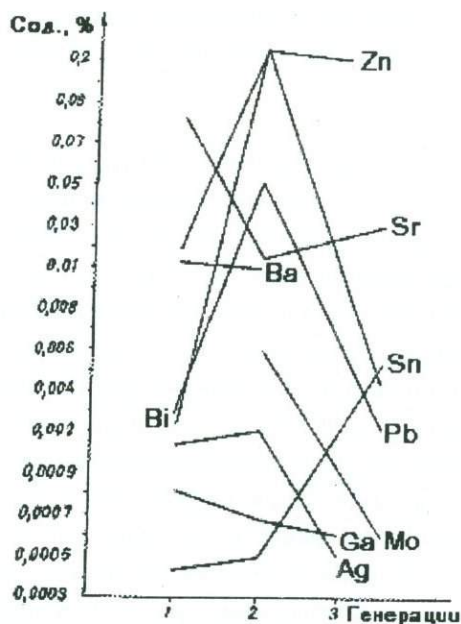


Рис. 2.10. Вариации содержаний халькофильных элементов в халькопиритах разных генераций.

**Халькопирит** является основным промышленным минералом прожилково-вкрапленных руд и наблюдается в трех генерациях. Халькопирит первой генерации слагает биминеральный парагенезис с пиритом. Халькопирит второй генерации ассоциирует с пиритом и молибденитом, и характеризуется крайне неравномерным развитием. Халькопирит третьей генерации характерен для полиметаллических руд. Вариации содержаний элементов примесей в халькопиритах разных генераций отражены на диаграммах (рис. 2.9, 2.10). Как следует из диаграмм, от ранних генераций к поздним устанавливается повышение висмута, молибдена и понижение содержаний серебра в халькопирите третьей генерации.

Что касается сидерофильных элементов, то от ранних генераций к поздним устанавливается понижение содержаний кобальта и хрома и соответственно повышение содержаний ванадия, никеля, титана, марганца. При этом максимальные содержания последних характерны для халькопиритов второй генерации.

**Молибденит** в Анкадзорском рудном поле впервые установлен в 1958г. А.Н. Авакяном в кварц-молибденитовых жилах Баяндурского месторождения. В дальнейшем молибденит был установлен автором в рудах Антониевского и Назои-Юртского месторождений, рудопроявления Джухтах-тала. Совместно с С.Г. Арутюняном, наряду с медью, был дан первый подсчет запасов молибдена. Микроскопически молибденит наблюдается в составе кварц-сульфидных прожилков, а на Баяндурском участке и жил, или же образует скопления в кварц-серицитовых метасоматитах. В штокверках молибденит характеризуется крайне неравномерным развитием; наряду с сульфидной минеральной формой, он в виде примеси установлен в халькопирите и сфалерите (рис. 2.11).

Как следует из вышеизложенного, в минералообразующем ряду элементов, по своей значимости в процессе рудообразования отчетливо выделяется комплекс главных рудообразующих элементов: железо, медь, молибден, цинк, свинец, определяющих тип руд и комплекс второстепенных минералообразующих элементов, подчиненных первому: серебро, кобальт, висмут. Комплекс второстепенных минералообразующих элементов в рудах слагает закономерные микропарагенезисы, подчиненные главному минералообразующему комплексу элементов, что устанавливается по сонахождению определенных второстепенных минералов, в полях главных рудослагающих минералов. Комплекс элементов-примесей представлен в основном элементами группы железа: титаном, марганцем, хромом, ванадием, никелем; а также стронцием, оловом, кадмием, галием, в единичных случаях - германием, вольфрамом, скандием.

#### **2.6.4. Первичные геохимические ореолы.**

Впервые геохимические исследования на Анкадзорском рудном поле были проведены нами в комплексе геологопоисковых работ масштаба 1:10000.

В результате исследований установлено, что оруденение Анкадзорского рудного поля сопровождается широким спектром ореолообразующих элементов-

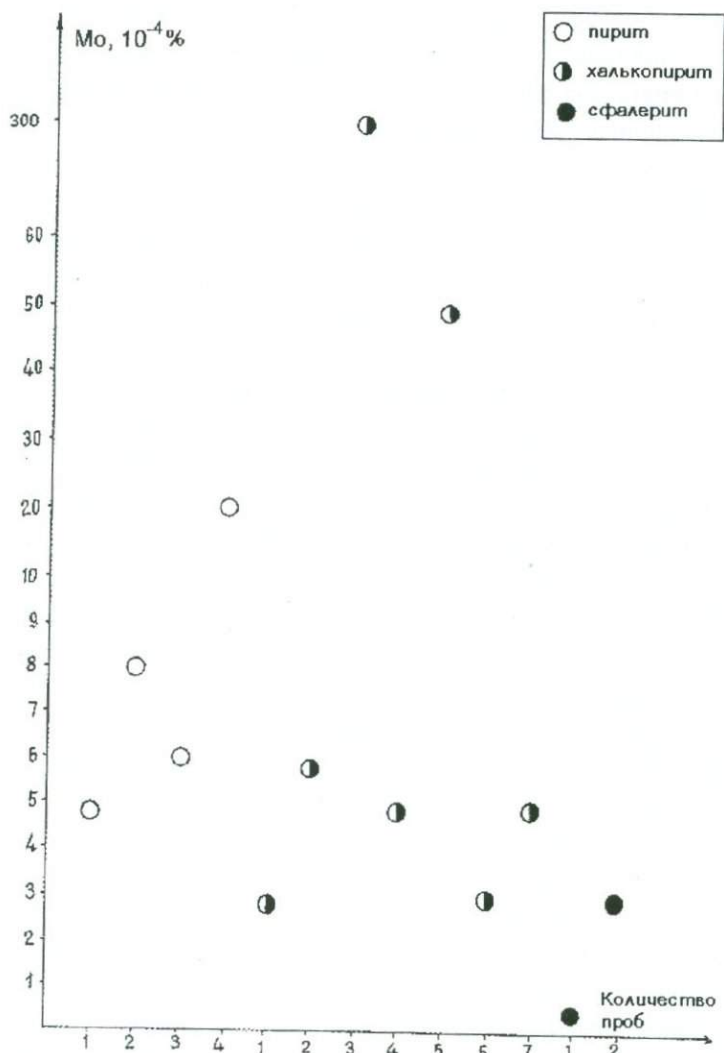


Рис. 2.11. Содержание молибдена в сульфидах Анкадзорского рудного поля.

индикаторов: меди, молибдена, кобальта, бария, серебра, висмута, свинца, цинка, вольфрама, олова, соответствующим элементному составу рудных тел. Ввиду штокверкового характера оруденения первичный ореол в значительной степени представлен рудными телами; граница между ними достаточно условна и определяется исходя из выбранных кондиций. В силу этого за рудные тела условно приняты жильные зоны, представляющие собой осевые части штокверков. Необходимо отметить, что все имеющиеся пересечения рудных зон в пределах рудного поля вскрывают средние и нижние - наиболее продуктивные части рудных тел. Поэтому, хотя общие тенденции к накоплению отдельных элементов на верхних или нижних горизонтах прослеживаются, отчетливые примеры накопления элементов в надрудных, верхнерудных или подрудных частях ореольного

пространства отсутствуют. Закономерности распределения первичных моноэлементных ореолов бария, серебра, цинка, свинца, меди, висмута, молибдена, кобальта, олова, вольфрама показали, что из первичных ореолов элементов-индикаторов только медь и частично молибден образуют достаточно интенсивные и контрастные ореолы. Ореолы остальных элементов слабоинтенсивны и неконтрастны. Однако, это обстоятельство обуславливает относительно стабильное распределение содержания элемента в ореоле, без отдельных экстремумов, что позволяет проследить наиболее общие особенности поведения элементов в вертикальном разрезе. Все отмеченные элементы характеризуются тесной пространственной сопряженностью и локальной приуроченностью максимальных или значимых содержаний к эпицентрам рудных тел - участкам развития наибольшей разуплотненности пород. Развиты первичные ореолы согласно с рудолокализирующими нарушениями, конформны с рудными телами, несмотря на слабую интенсивность, отчетливо фиксируют рудные зоны по простиранию и характеризуются вытянутой по вертикали формой. Возрастание аномальных концентраций большинства элементов-индикаторов от периферических частей ореола к центральным, пространственно сопряженным с наиболее ослабленными зонами, говорит о кинжальном характере проникновения рудоносных растворов.

Ореолы бария, цинка, свинца, серебра при относительной локальности своего развития характеризуются отчетливой тенденцией к выклиниванию в направлении нижнего из изученных горизонтов. В отличие от них, ореолы вольфрама и олова на нижнем горизонте развиты более широко, прослеживаясь к верхним горизонтам в виде узких полос, трассирующих центральные части рудных тел. Ореолы висмута и кобальта развиты относительно стабильно на всех трех горизонтах. Ореолы меди характеризуются широким развитием на всех горизонтах, однако, как показано выше, к нижнему горизонту отмечается понижение содержаний, в то время, как молибден проявляет тенденцию к увеличению продуктивности.

Качественная характеристика вертикальной зональности наиболее отчетливо проявляется в расчетном ряду вертикальной зональности первичных ореолов элементов-индикаторов, сопровождающих рудные тела. Расчет ряда проводился по сечениям опорных разрезов Анкадзорского месторождения, по общепринятой методике, путем определения величины показателя зональности. Уточнение положения отдельных элементов-индикаторов в ряду зональности проводилось по показателю изменчивости. В представленном ряду, слева направо происходит смена надрудных элементов подрудными: медь, молибден, барий, серебро, свинец, цинк, кобальт, висмут, вольфрам, олово. Обращает на себя внимание резкий сдвиг меди и молибдена в ряду, относительно эталонного ряда [20], что объясняется резким превалированием этих элементов над всеми остальными в изученных пересечениях, которые, как отмечалось выше соответствуют наиболее продуктивным уровням. Определение истинного положения указанных элементов в ряду осевой зональности возможно при изучении горизонтальной (поперечной) зональности ореолов. На рис. 2.12 в плане показаны первичные

ореолы меди, молибдена и цинка вокруг рудного тела №1. Участок развития рудного тела характеризуется сложным геологическим строением: оруденение локализуется вокруг штока диабазовых порфиритов; с юга и севера оно частично ограничено линзами известняков. Ореолы развиты согласно с локализирующими оруденение основными тектоническими нарушениями и значительно превосходят по размерам рудное тело. Интересно отметить, что хотя промышленные прожилково-вкрапленные руды ограничиваются штоком диабазовых порфиритов, ореолы меди и цинка развиваются по ним с достаточной интенсивностью и лишь ореол молибдена в центральной части штока отсутствует. Аналогичное явление наблюдается и в известняках, в которых оруденение отсутствует, однако ореолы развиты и по ним, хотя на уровне низких градаций. Таким образом, ореольное пространство охватывает всю рудовмещающую толщу.

Из пространственного размещения ореолов видно, что их экстремумы характеризуются смещением относительно друг друга по оси, ориентированной вкрест простирания. Так, медь занимает центральное положение, в то время, как цинк тяготеет к висячему боку рудного тела, а молибден - к лежащему. Сближенность и наложение ореолов, затушевывающих проявление поперечной зональности, объясняются крутым падением рудного тела. Скорректированный ряд зональности представлен в следующей последовательности: барий, серебро, свинец, цинк, медь, молибден, кобальт, висмут, вольфрам, олово. По существу он повторяет зональность рудных тел, сильно замаскированную неравномерным характером распределения оруденения в штокверковых зонах.

Из испробованных различных модификаций коэффициента зональности наиболее стабильное и контрастное изменение на различных уровнях пересечения рудных зон показало отношение медь  $\times$  серебро/вольфрам  $\times$  олово. Несмотря на то, что использование в индикаторных отношениях основных промышленных элементов является некорректным, выбор нами меди в числитель коэффициента зональности обусловлен описанной выше характеристикой ее ореола и тем, что в качестве минералообразующего элемента или элемента-примеси она участвует практически во всех минеральных парагенезисах. В табл. 2.4 и 2.5 приведены значения коэффициента зональности, полученные для различных уровней сечения рудных зон Анкадзорского месторождения по разрезам 4-4<sup>1</sup>, 5-5<sup>1</sup> и 6-6<sup>1</sup> (рис. 2.13).

Как видно из приведенных данных, величина коэффициента зональности изменяется от среднерудных пересечений к корневым на два порядка. Высокая контрастность выбранного коэффициента зональности позволяет определить уровень пересечения отдельных кулис. Так, из табл. 2.5 видно, что по пересечению (3) на разрезе 6-6<sup>1</sup> (рис. 2.13) фиксируется появление новой кулисы на горизонте штольни 53, с которой, как видно, и связан зафиксированный здесь всплеск содержания бария.

Полученные значения коэффициента зональности для различных уровней сечения рудных зон показали, что адекватные сечения характеризуются близкими значениями коэффициента зональности, который колеблется в опреде-

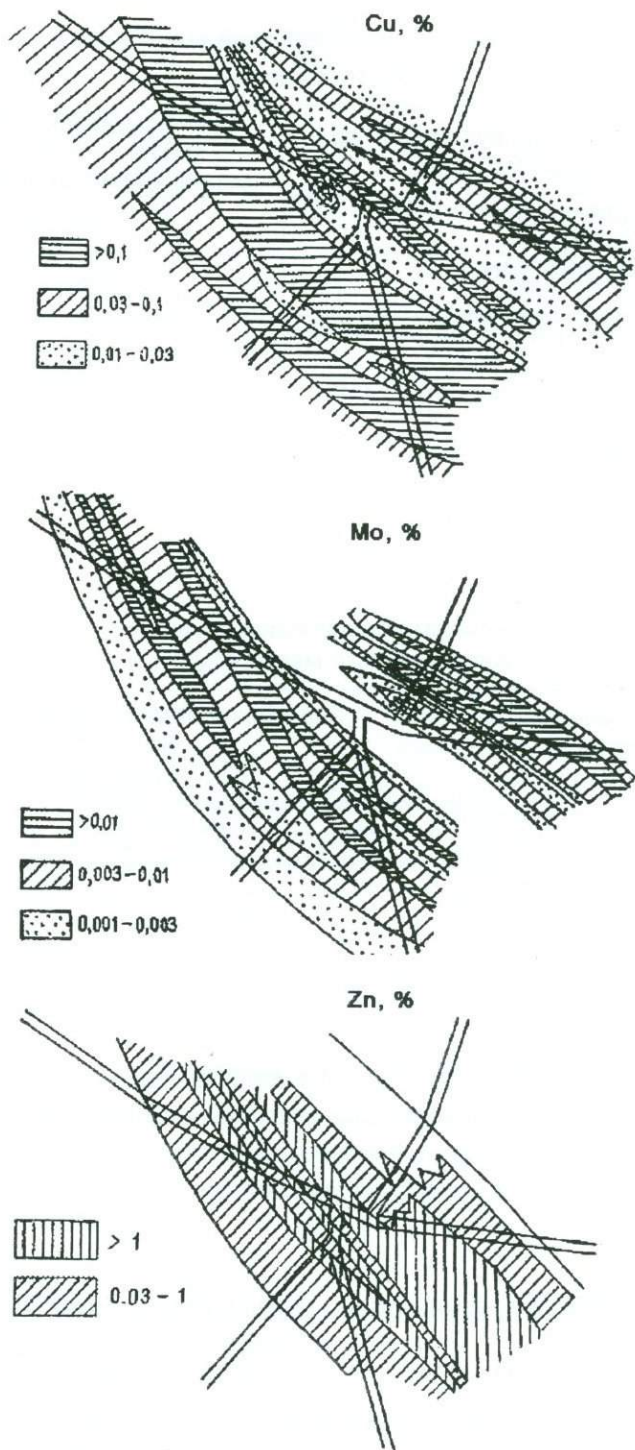


Рис. 2.12. Первичные ореолы меди, молибдена и цинка вокруг рудного тела №1 на горизонте шт. №1 Антониевского месторождения. М 1 : 2000.

Таблица 2.4.

Значения  $K_3$  для различных уровней пересечения рудных зон Анкадзорского месторождения

Уровень сечения рудных зон по разрезам 5-5 <sup>1</sup> и 4-4 <sup>1</sup>	Значение коэффициента зональности медь x серебро/вольфрам x олово
Средний уровень, разрез 5-5 <sup>1</sup> Сечение (1)	67
Нижний уровень, разрез 5-5 <sup>1</sup> Сечение (2)	4
Близкорневой уровень, разрез 5-5 <sup>1</sup> Сечение (3)	1,5
Близкорневой уровень, разрез 4-4 <sup>1</sup> Сечение (3)	2
Корневой уровень, разрез 4-4 <sup>1</sup> Сечение (4)	0,9

Таблица 2.5.

Значения  $K_3$  по отдельным пересечениям рудных зон на разрезе 6-6<sup>1</sup> Анкадзорского месторождения.

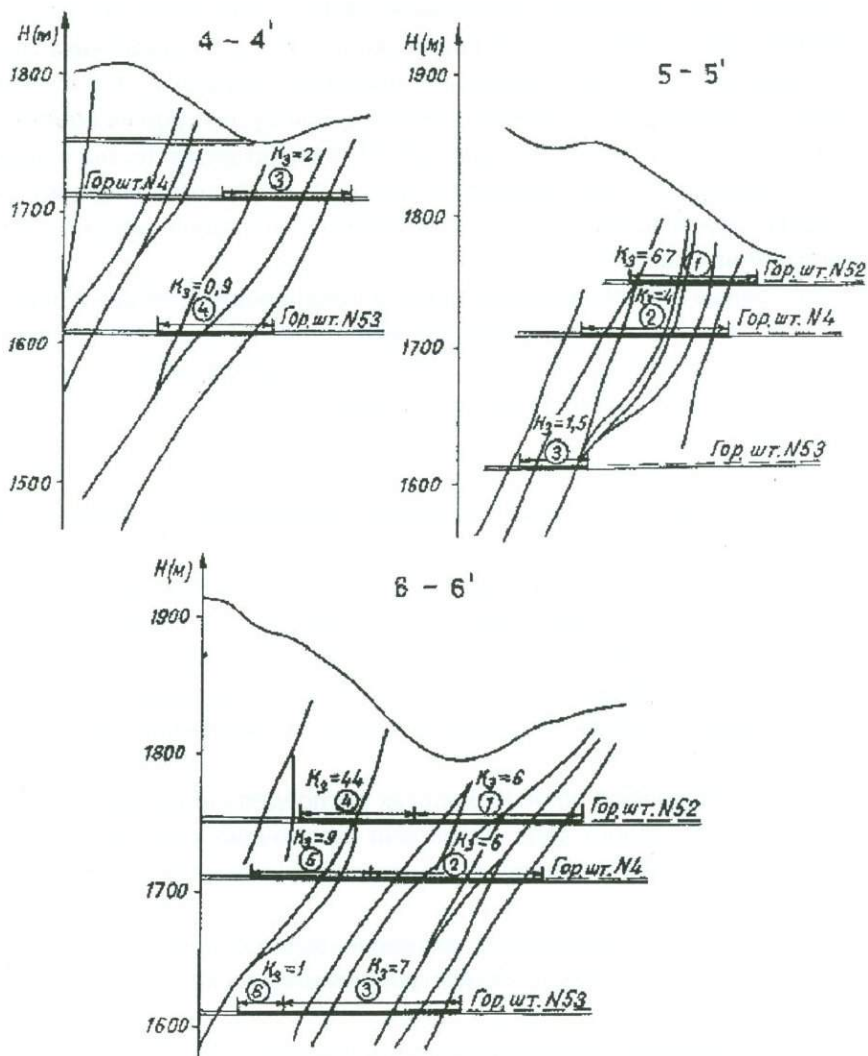
Наименование выработки и порядковый номер сечения рудных зон	Значение коэффициента зональности $K_3 = \frac{\text{медь x серебро}}{\text{вольфрам x олово}}$
Штольня 52, сечение (1)	6
Штольня 4, сечение (2)	6
Штольня 53, сечение (3)	7
Штольня 52, сечение (4)	44
Штольня 4, сечение (5)	9
Штольня 53, сечение (6)	1

ленных пределах, что позволяет в первом приближении принять следующие значения коэффициента зональности для различных уровней среза штокверковых зон (табл. 2.6).

Таблица 2.6.

Значения коэффициента зональности  $\frac{\text{медь x серебро}}{\text{вольфрам x олово}}$  для различных уровней среза штокверковых зон Анкадзорского рудного поля.

Уровень среза	Корневой	Нижнерудный	Среднерудный	Верхнерудный
Значение $K_3$	< 1	1-10	10-100	> 100



③ - Порядковые номера пересечений.

Рис. 2.13. Изменение значений  $K_z = \text{медь} \times \text{серебро/вольфрам} \times \text{олово}$  для различных уровней пересечения рудных зон на разрезах 4-4', 5-5', 6-6' Анкадзорского месторождения.

Учитывая стабильный характер изменения значений коэффициента зональности на порядок, относительно каждого предыдущего уровня среза рудных зон, рассчитаны его значения для уровней среза, отсутствующих на имеющихся разрезах: корневой: 0,1-1; подрудный <0,1; верхнерудный 100-1000; надрудный >1000. Данные значения коэффициента зональности получили подтверждение при расчетах уровня эрозионного среза отдельных рудных зон месторождений и проявлений на поверхности рудного поля, которые по совокупности геологических данных характеризовались верхнерудными уровнями эрозионного среза.

Контрастное изменение величины коэффициента зональности было использовано автором с целью определения склонения штокверков Анкадзорского месторождения. Расчеты проводились на горизонте штольни 4, по расчетам которой имеется наибольшее количество пересечений рудных зон по простиранию, отстоящих друг от друга на расстоянии около 140 м. Как видно из значений коэффициента зональности, приведенных на рис. 2.13, отмечается возрастание значений коэффициента зональности в юго-восточном направлении, что говорит о погружении зон на северо-запад.

Полученные значения коэффициента зональности для различных уровней среза рудных зон, применены для расчета относительного уровня среза геохимических аномалий, приуроченных к отдельным месторождениям и рудопроявлениям (рис. 2.14) при определении их перспектив.

### ***2.6.5. Перспективы месторождений Анкадзорского рудного поля.***

Работы на отдельных участках рудного поля, разрабатываемых на медь еще в глубокой древности неоднократно возобновлялись с целью выяснения их перспектив, как возможной сырьевой базы близлежащего Алавердского комбината и, в основном, были направлены на выявление крупных рудных тел с богатым содержанием меди, отсутствие каких-либо приводило к заключению об их бесперспективности.

Полученные данные об особенностях распределения и локализации оруденения в пределах рудного поля, позволяют сформулировать ряд отрицательных поисковых критериев к обнаружению крупных рудных тел с богатым содержанием полезных компонентов.

1. Микроблочное (мозаичное) строение рудного поля, способствующее разобщенности рудо локализирующих структур, расположенных в пределах различных микроблоков.

2. Тектоническая неподготовленность рудовмещающей толщи, сказавшаяся в широком развитии мелких разрывных нарушений при отсутствии крупных выдержанных рудо локализирующих структур.

3. Отсутствие крупных экранирующих поверхностей.



Однако, этими факторами обусловлено широкое развитие в пределах рудного поля бедных прожилково-вкрапленных, часто переходящих во вкрапленные руд, которые ввиду низких содержаний меди отбраковывались. В результате проведенных, при участии автора, на Антониевском месторождении поисково-оценочных работ, установлено, что убогие прожилково-вкрапленные медные руды при содержании сотых долей процента молибдена могут представить практический интерес.

Вышеизложенное выдвигает необходимость промышленной оценки рассеянного прожилково-вкрапленного оруденения на остальных участках рудного поля, разведанных, в основном, по отдельным рудным жилам, в связи с чем методологически важным является установление штокверкового характера оруденения на подавляющем большинстве месторождений и рудопроявлений.





Рис. 2.14. Специализированная карта геохимических аномалий (Cu x Zn x Ag) Анкадзорского рудного поля. М 1 : 10000.

Условные обозначения

-  Разрывные нарушения
-  Контур геохимических аномалий (Cu x Zn x Ag) в градации >10.

Относительный уровень эрозионного среза аномалий по  $K_3 = \frac{Cu \times Ag}{W \times Sn}$

-  Надрудный
-  Верхнерудный
-  Среднерудный
-  Нижнерудный

Степень изученности, данные о содержании в рудах молибдена, морфологии оруденения, относительном уровне эрозионного среза выявленных геохимических аномалий и сопоставление их с аномалиями наиболее детально изученных участков, позволяют наметить перспективы отдельных месторождений и рудопроявлений.

Сводный перечень перспективных геохимических аномалий Анкадзорского рудного поля приведен в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Уровень среза перспективных геохимических аномалий  
Анкадзорского рудного поля.

Название месторождения	Уровень среза	Значение коэффициента зональности
Антониевское месторождение	верхне-среднерудный	> 100; 10-100
Анкадзорское месторождение	среднерудный	10-100
Назои-юртское месторождение	верхнерудный	> 100
Тлоти-джурское проявление	верхнерудный	> 100
Джухтах-тальское проявление	среднерудный	10-100

Из них в отношении молибдена особый интерес представляют Антониевское, Анкадзорское, Назои-юртское с вертикальными размахами оруденения от 200 м до 350-400 м. В связи с установленной нами золотоносностью вторичных кварцитов, которые при удовлетворении требованиям Алавердского медеплавильного завода могут явиться весьма рентабельным флюсовым сырьем, определенный интерес представляет Южно-Шаграбанское рудопроявление.

Необходимо отметить, что кроме меди и молибдена в рудах Анкадзорской группы месторождений и рудопроявлений в ощутимых количествах присутствуют цинк, серебро, теллур, кадмий, индий, по отдельным рудным телам - золото, что значительно повышает их промышленную ценность.

Концентрация месторождений и рудопроявлений на небольшой площади (около 20 км<sup>2</sup>) позволяет рассматривать их как участки единого, обладающего четкой геологической позицией объекта с прогнозными запасами условной меди около 500 тыс. тонн, что в сопоставлении с аналогичными эксплуатируемыми месторождениями и близостью от Алавердского медеплавильного завода, восстановление которого уже начато, делает целесообразным проведение на его площади детальных ревизионных и поисковых работ.

## **2.7. Геологическое строение и первичные геохимические ореолы Арманинского золото-полиметаллического месторождения.**

### **2.7.1. Геологическое строение Арманинского месторождения.**

Геотектоническая позиция Арманинского месторождения характеризуется его приуроченностью к северо-западной части Севано-Амасийской структурно-металлогенической зоны.

В геологическом строении Арманинского рудного поля принимают участие меловые, эоценовые и плиоценовые вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные образования (рис. 2.15).

Наиболее древними являются породы нижнего мела представленные известняками, алевролитами, песчаниками, туфами, порфиритами. Эоцен характеризуется широким развитием вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований - порфириты, туфы и туфобрекчии андезитового состава, туфы и лавы дацитов, липаритов с прослоями песчаников; туфопесчаники, туфоконгломераты, песчаники, туффиты с прослоями известняков и мергелей. Контакт между меловыми и эоценовыми образованиями тектонический. Он проходит по западному флангу месторождения по крупному сбросовому нарушению северо-западного простирания (Куйбышевский разлом). К данному разлому приурочены многочисленные дайки и штокообразные тела пироксенитов, серпентинитов, габбро-пироксенитов. В пониженных местах рельефа отложения мела и эоцена перекрыты долеритовыми базальтами и андезито-базальтами плиоценового возраста.

В пределах Арманинского месторождения выделяются несколько участков, из коих наиболее изученными являются Центральный и Восточный. Рудоконтролирующей структурой Центрального участка считается вышеотмеченный Куйбышевский разлом, Восточного - Медвежий разлом.

Рудовмещающими являются вулканогенно-осадочные образования среднего эоцена. Гидротермальные изменения представлены в основном кварц-серицитовыми и кварц-серицит-каолинитовыми фациями, развитыми вдоль рудоконтролирующих структур и рудных жил. Площадным развитием пользуются пропилиты развитые по породам среднего и основного состава и представленные актинолит-эпидотовыми, хлорит-эпидотовыми, хлорит-эпидот-альбитовыми фациями.

### **2.7.2. Морфология рудных тел.**

По морфологическим особенностям в пределах рудного поля выделяются жилы, жильные зоны и зоны прожилково-вкрапленной минерализации. В зависимости от физико-механических свойств разнообразных по литологическому составу рудовмещающих пород; они характеризуются как самостоятельностью проявления, так и пространственной совмещенностью.

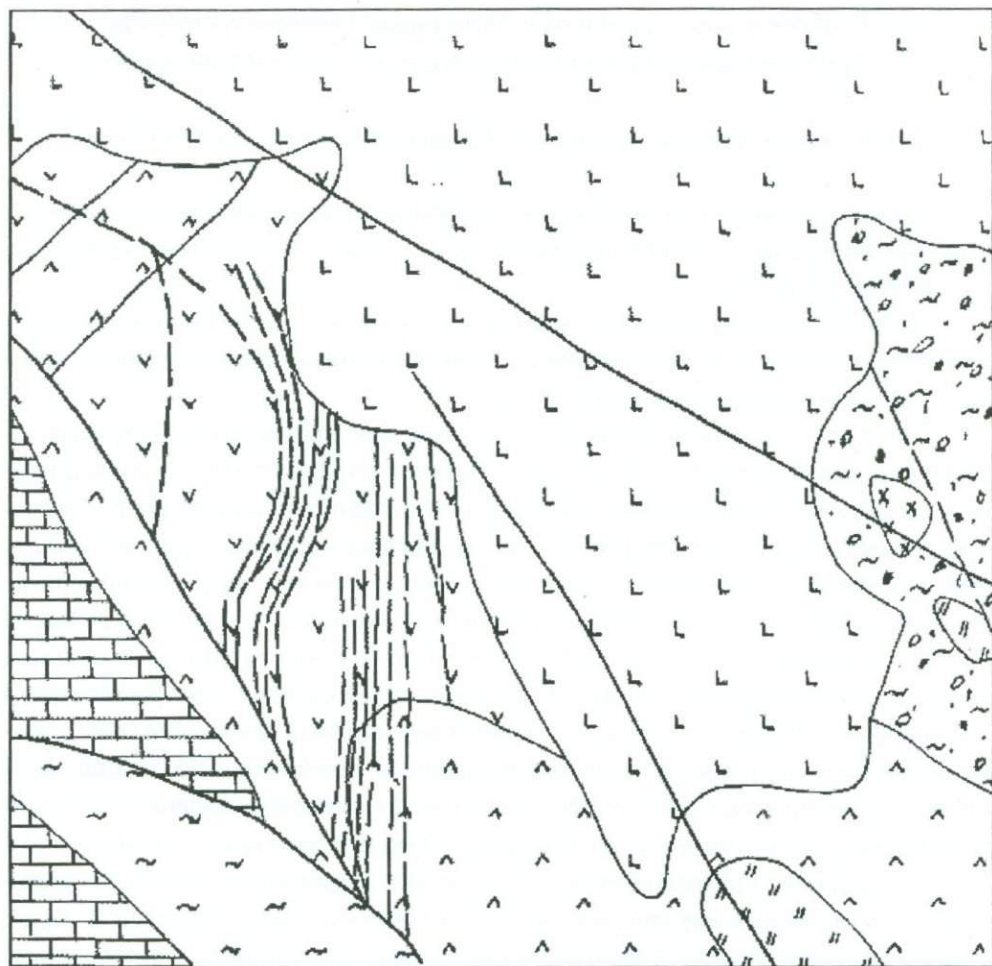
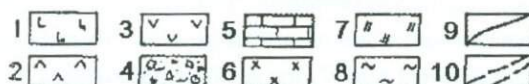


Рис. 2.15. Схематическая геологическая карта Арманисского месторождения.

Условные обозначения



1. Долеритовые базальты.
2. Андезитовые, дацитовые, липаритовые туфы, туфобрекчии, туфопесчанники.
3. Андезитовые, дацитовые порфириды.
4. Конгломераты, туфопесчанники, алевролиты андезито-дацитовые туфы.
5. Известняки.
6. Гранодиориты.
7. Кварцевые порфиры.
8. Интенсивно метаморфизированные породы.
9. Разломы.
10. Рудные жилы и зоны.

Рудные жилы приурочены к трещинам скола или отрыва с азимутом простирания  $340-350^\circ$  и углом падения от  $60-65^\circ$  и выше. Они обладают переменной мощностью от первых десятков см до 1-10 м, невыдержанностью по падению и простиранию, разветвленностью (рис. 2.16), телескопированностью разновременных минеральных ассоциаций, характерных для различных стадий минера-

лизаций и сложным строением. Преобладает полосчатое строение рудных жил, четко устанавливаемое как в текстурах руд, так и в зальбандах.

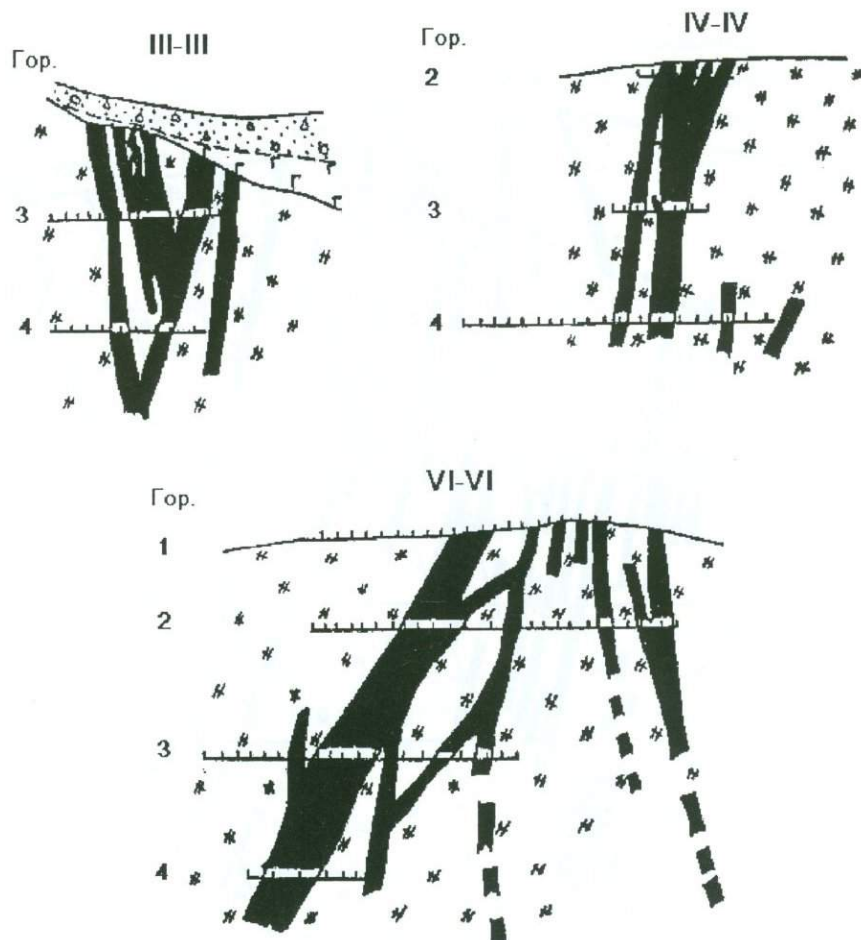


Рис. 2.16. Морфологические особенности рудных тел Арманисского месторождения по разрезам III-III, IV-IV, VI-VI Центрального участка. М 1:2000.

Условные обозначения



1. Делювиальные отложения. 2. Плиоценовые долеритовые базальты. 3. Гидротермально измененные андезитовые вулканиты. 4. Рудные тела и зоны. 5. Интервалы литохимического опробования.

Жильные зоны образуются при пространственном сближении параллельных маломощных жилок. Они характеризуются кулисообразным расположением и залегают на разных гипсометрических уровнях от поверхности земли (рис. 2.17). Породы межжильного пространства сильно раздроблены, подвергнуты интенсивному метасоматозу и содержат многочисленные тонкие прожилки и вкрапленную

минерализацию. Мощность жильных зон колеблется от нескольких до 10 и более метров, в них сконцентрирована основная масса промышленно-ценных руд.

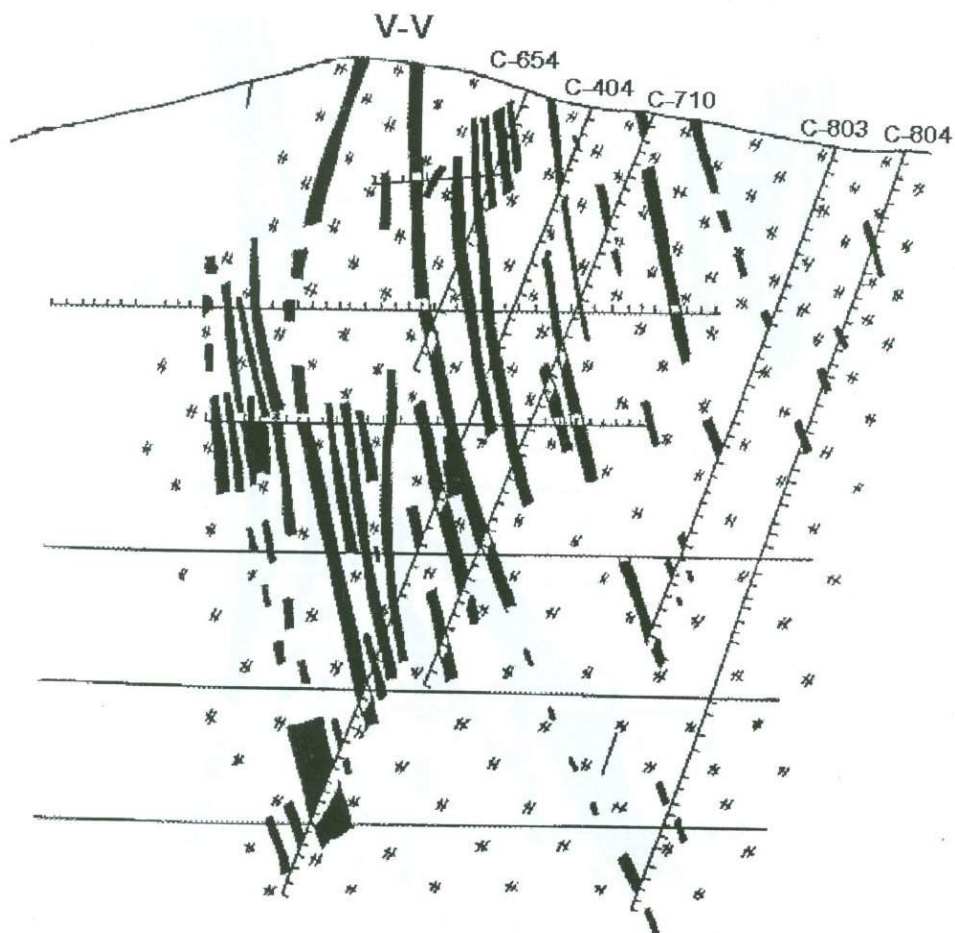


Рис. 2.17. Особенности расположения рудных тел по гипсометрическим уровням на разрезе V-V Центрального участка Арманисского месторождения. М 1:2000.

Условные обозначения



1. Гидротермально измененные вулканогенно-осадочные породы андезитового состава.
2. Интервалы литохимического опробования.
3. Рудные тела и зоны.

Зоны прожилково-вкрапленной минерализации образованы по раздробленным, брекчированным вулканитам, переработанным во вторичные кварциты с прожилками и вкрапленниками кварц-пиритового и полиметаллического состава. Обычно они сопутствуют жильному типу, характеризуясь развитием в экзокон-

тактной полосе рудных тел, однако нередки случаи их обособленного проявления.

В прожилково-вкрапленных и жильных зонах оконтуривание промышленного оруденения проводится обычно по результатам опробования.

Во всех морфологических разностях рудных тел широким развитием пользуются брекчиевые, сетчатые, полосчатые текстуры, что свидетельствует о наличии в составе руд разновременных минеральных ассоциаций, сформированных в отдельные стадии развития рудного процесса.

### **2.7.3. Минералого-геохимические особенности руд.**

Основным промышленным типом руд на месторождении считается золото-полиметаллический при подчиненной роли свинцово-цинковых и пирит халькопиритовых руд. Результаты минералого-геохимических исследований приведены по данным Ш.О. Амиряна [55] и исследованиям автора.

Согласно Ш.О. Амиряну на месторождении выделяются ряд стадий минерализации:

- Ранняя дорудная - кварцевая.
- Кварц-пирит-халькопирит-гематитовая. Представлена жилами и зонами в брекчированных и смятых породах, пронизанных прожилками, вкрапленниками и гнездами пирита, халькопирита и гематита. С ними ассоциируют сфалерит, галенит, марказит, висмутин, самородное золото, тетрадимит, алтаит, саффорит, гессит, самородное серебро.
- Карбонат-кварц-полиметаллическая. Представлена жилами, прожилками и зонами прожилково-вкрапленных руд, в составе которых установлены пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, самородное золото, кварц и кальцит. Для руд этой стадии характерны повышенные содержания свинца, цинка, золота, серебра, индия, кадмия, висмута.
- Карбонат-галенит-сфалеритовая. Представлена жилами и гнездами крупнокристаллического галенита и крупнозернистого светло-коричневого сфалерита. В резко подчиненном количестве с ними ассоциируют пирит, халькопирит, самородное золото.
- Поздняя - кварц-карбонат-гипс-цеолитовая. Имеет повсеместное развитие, как в зонах рудной минерализации, так и за ее пределами.

Ввиду крайне неравномерного характера оруденения, осложненного пространственной наложенностью нескольких стадий минерализации зональность минеральных парагенезисов практически не устанавливается.

Лишь на отдельных участках рудных тел и зон доминируют пирит-халькопиритовые или галенит-сфалеритовые руды, вплоть до мономинеральных обособлений. Однако четких закономерностей в их пространственном соотношении не выявлено.

В то же время исследователями (Ш.О. Амирян, А.И. Карапетян) акценти-

руется, что последовательность формирования минеральных парагенезисов отражает в себе металлогенические особенности рудного района, представляя собой как бы минимодель последнего. Так, каждый минеральный парагенезис, характеризующий стадию минералообразования на Арманисском месторождении, в масштабах рудного района представлен самостоятельными месторождениями. Фактически налицо иерархическая соподчиненность направленной эволюции рудного процесса в ранге - рудный район, месторождение.

В вещественном составе различных типов руд (табл. 2.8) от медных (пирит-халькопирит-гематитовых) к полиметаллическим и свинцово-цинковым наблюдается повышение примесей молибдена ( $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $23 \cdot 10^{-5}$ ), висмута ( $12 \cdot 10^{-3}$ ,  $53 \cdot 10^{-4}$ ,  $25 \cdot 10^{-3}$ ), кадмия  $51 \cdot 10^{-3}$ ,  $21 \cdot 10^{-2}$ ,  $523 \cdot 10^{-3}$ ) и понижение содержаний никеля ( $4 \cdot 10^{-4}$ ,  $16 \cdot 10^{-5}$ ,  $17 \cdot 10^{-5}$ ), кобальта ( $45 \cdot 10^{-4}$ ,  $19 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ), ртути ( $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $5 \cdot 10^{-5}$ ), теллура ( $81 \cdot 10^{-4}$ ,  $4 \cdot 10^{-4}$ ,  $13 \cdot 10^{-4}$ ).

Таблица 2.8  
Вещественный состав руд Арманисского золото-полиметаллического месторождения.

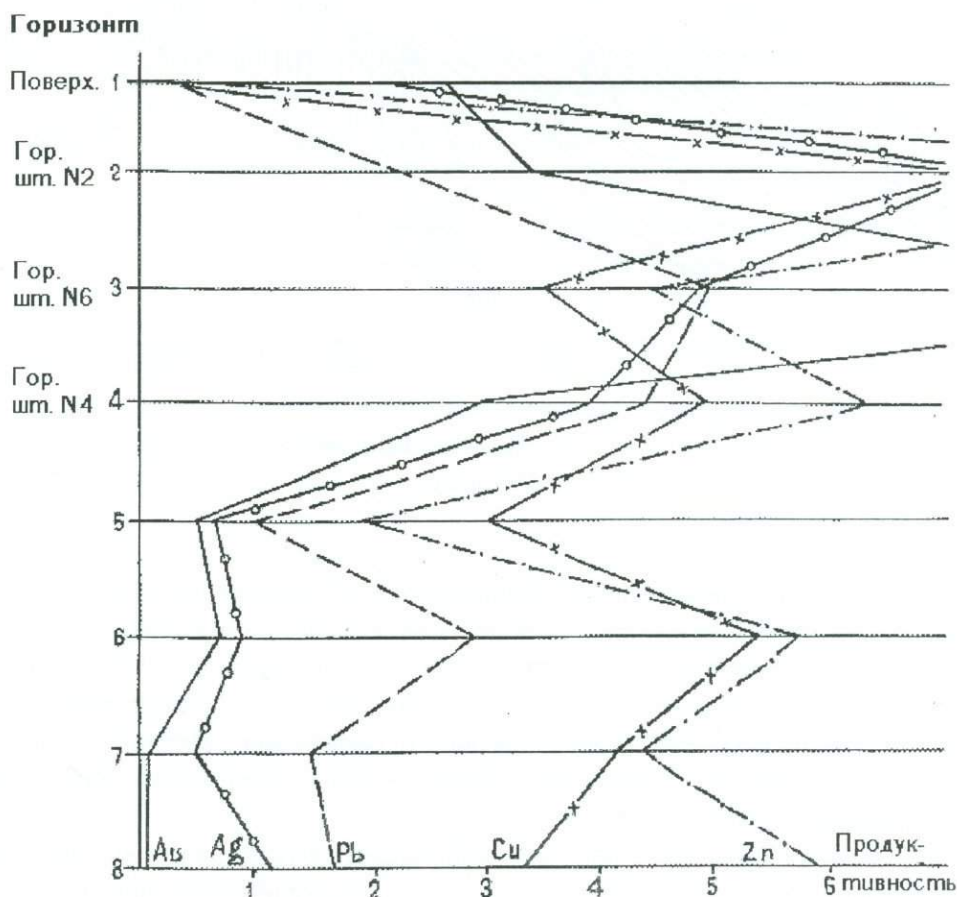
Тип руды	Элементы в %																
	Ni	Co	Mo	Cu	Pb	Sb	Bi	As	Zn	Cd	Cs	Te	Ge	Zn	Hg	Au	Ag
Минеральная ассоциация - медный: 1) пирит-халькопирит-гематит± (самородное золото)	$4 \cdot 10^{-4}$	$45 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	5	$33 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$14 \cdot 10^{-2}$	$51 \cdot 10^{-3}$	$21 \cdot 10^{-4}$	$81 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$37 \cdot 10^{-3}$
2) полиметаллический: кварц-пирит-сфалерит-халькопирит-гематит+самородное золото + карбонат	$16 \cdot 10^{-5}$	$19 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	1,2	10	$27 \cdot 10^{-4}$	$53 \cdot 10^{-4}$	$16 \cdot 10^{-3}$	10	$21 \cdot 10^{-2}$	$14 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-3}$
3) свинцово-цинковый (пирит-халькопирит)-галенит-сфалерит-самородное золото	$17 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-5}$	$33 \cdot 10^{-2}$	10	$64 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-3}$	10	$523 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$13 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$25 \cdot 10^{-3}$	

Что касается золота и серебра, то максимальные содержания золота  $4 \cdot 10^{-5}$  характерны для полиметаллического типа, а минимальные - для свинцово-цинкового. Максимальные содержания серебра  $37 \cdot 10^{-3}$  характерны для пирит-халькопиритового типа, минимальные - для полиметаллического  $8 \cdot 10^{-3}$ .

В целом промышленные руды характеризуются повышенными содержаниями меди, свинца, цинка, золота, серебра, кадмия, висмута, кобальта при относительно низких содержаниях сурьмы, мышьяка, селена, никеля, теллура, индия,

галия и сильной обедненностью молибденом, вольфрамом, германием, хромом и оловом.

При отсутствии зональности минеральных парагенезисов и крайне неравномерных параметрах распределения основных промышленных компонентов, тем не менее, по некоторым рудным телам определенные закономерности устанавливаются. В частности, анализ изменения продуктивностей основных рудных элементов по продольному вертикальному разрезу зоны №2 (рис. 2.18) позволяет судить о существенном понижении с глубиной содержания определенной группы элементов. Следует отметить, что при нестабильном поведении серебра, свинца и меди на разных горизонтах общая тенденция понижения их содержаний от верхнего горизонта к нижнему устанавливается достаточно четко.



Продуктивность свинца, меди, цинка дана в м%, золота и серебра - в условных единицах.

Рис. 2.18. Графики изменения с глубиной продуктивности основных рудных элементов на продольном вертикальном разрезе жильной зоны №2 Арманинского месторождения.

Изучение изоконцентраций, отображающих содержание золота, серебра, меди, свинца и цинка по простиранию рудной зоны №2 показало, что в ней выявляются рудные столбы, характеризующиеся погружением в северо-западном направлении, что свидетельствует о склонении рудной зоны в северо-западные румбы. Как следует из рис. 2.19, 2.20 рудные столбы золота и серебра выклиниваются с глубиной, выявляя, таким образом, зональность в вещественном составе рудной зоны: верхние горизонты характеризуются более высокими содержаниями золота, серебра и частично свинца на фоне нестабильных содержаний цинка и меди.

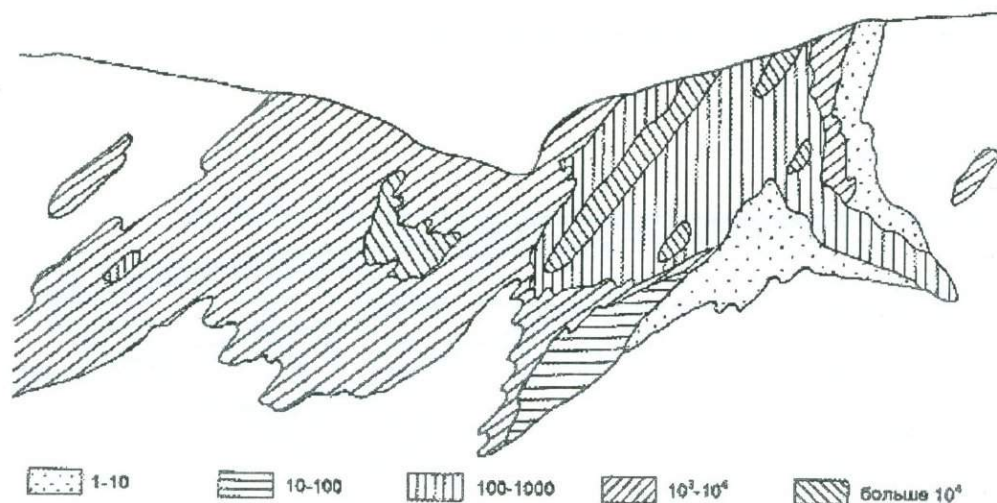


Рис. 2.19. Изоконцентрации содержаний золота в условных единицах на продольном разрезе рудной зоны №2 Арманисского месторождения (Центральный участок). М 1:2000.

Минеральный состав руд Арманисского месторождения обусловлен вышеописанными особенностями их вещественного состава и спецификой эволюции гидротермального рудообразования. В составе руд установлены пирит и халькопирит (оба в первой и второй генерациях), сфалерит, галенит, марказит, гематит, магнетит, висмутин, самородное золото, самородное серебро, сафлорит, линнеит, тетрадемит, алтаит, гессит, блеклые руды, самородная медь, кварц, кальцит, барит, гипс, цеолиты.

В количественном отношении наибольшим распространением характеризуются пирит, халькопирит, галенит, сфалерит. Подробное описание минералов изложено в работе Ш.О. Амиряна [55] и поэтому нами не приводится. Ниже акцентируются лишь особенности минеральных форм золота и серебра.

**Самородное золото** установлено в пирит-халькопиритовых и полиметаллических рудах, в виде золотинок размером 0,001-0,31 мм, изредка отмечается и в свинцово-цинковых рудах. Присутствием самородного золота на отдельных

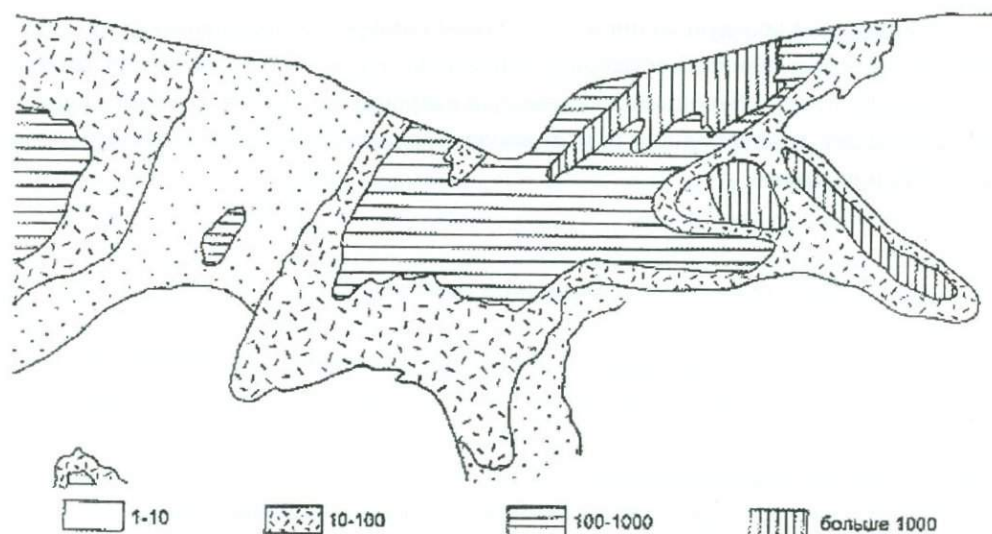


Рис. 2.20. Изоконцентрации содержаний серебра в условных единицах на продольном разрезе рудной зоны №2 Арманисского месторождения (Центральный участок). М 1:2000

участках рудных тел объясняется появление взрывных проб с содержанием 10-32 г/т, при средних содержаниях 0,9-6,3 г/т. Золото тесно ассоциирует с теллуридами и сульфовисмутитами. По времени выделения из растворов самородное золото является одним из наиболее поздних минералов и отлагается в трещинах кварца, сульфидов и сульфосолей, а также в промежутках их зерен, часто нарастая на них.

**Самородное серебро** установлено в пирит-халькопиритовых, полиметаллических и свинцово-цинковых рудах в виде зерен и агрегатов размером 0,005-0,05 мм. Оно ассоциирует с золотом, висмутином, айкинитом, теллуридами и часто приурочено к полям халькопирита, сфалерита, пирита, галенита. Самородное серебро часто образует тесные сростки с золотом.

**Сафлорит, линнеит.** Изредка устанавливается в пирит-халькопиритовых рудах, чем объясняется повышенное содержание в них кобальта на отдельных участках - до 0,3%.

**Тетрадимит** - редкий минерал пирит-халькопиритовых руд, ассоциирует с висмутином, алтаитом, золотом, гесситом, образуя по ним структуры замещения. Руды, содержащие тетрадимит, характеризуются содержаниями теллура до 100-300 г/т.

**Алтаит.** Редко встречается в ассоциации с тетрадимитом, гесситом, самородным золотом и серебром.

**Гессит** находится в ассоциации с висмутином, тетрадимитом, алтаитом, самородным золотом и серебром. Именно гессит, самородное серебро и электрум свидетельствуют о повышенных содержаниях серебра в различных типах руд и минералах. По времени образования гессит является самым поздним членом группы теллуридов.

Завершая краткую минералого-геохимическую характеристику руд Арманисского месторождения, необходимо отметить, что всеми опробованными горными выработками и буровыми скважинами вскрыты продуктивные части рудных зон. Этот факт требует учета при анализе первичных геохимических ореолов, рассмотренных ниже.

#### **2.7.4. Первичные геохимические ореолы.**

Ряд особенностей строения и пространственного распределения минеральных парагенезисов на Арманисском месторождении, к числу которых относятся

- крутое падение рудолокализирующих структур,
- телескопированность минеральных парагенезисов различных стадий,
- пространственная сопряженность кулисообразно расположенных многочисленных маломощных жил с зонами прожилково-вкрапленного оруденения,
- гипсометрически различные уровни расположения рудных тел,
- этажность оруденения

делают неприемлемым, в данном случае, стандартный подход к рассмотрению особенностей первичных геохимических ореолов.

Изучение первичных геохимических ореолов Арманисского месторождения проводилось на более разведанном Центральном участке путем литохимического опробования керна и подземных горных выработок, вскрывших на нескольких горизонтах жильную зону №2 и рудные зоны №№ 4, 6, 7, 10-12. На основании данных опробования составлен ряд опорных разрезов, наиболее характерными из которых являются разрезы № III-III, IV-IV, VI-VI (рис. 2.16, 2.17), приведенные выше.

Анализ изменения содержаний элементов и изучение первичных геохимических ореолов проводилось на семи горизонтах месторождения, которым для удобства даны порядковые номера: горизонт I - поверхность, II - горизонт шт. №2, III - горизонт шт. №6, IV - горизонт шт. №4, горизонты № V-VII - выделены условно, по интервалам пересечения рудоносных зон буровыми скважинами №404, 710, 803, 804.

Как показали результаты исследования пространственного размещения моноэлементных геохимических ореолов элементов-индикаторов, они подразделяются на следующие группы:

- Элементы привноса - основные рудослагающие компоненты: свинец, цинк, серебро, висмут.
- Элементы привноса - второстепенные, присутствующие в руде в виде примеси: мышьяк, олово, молибден, марганец, кобальт.
- Элементы выноса, содержание которых в зальбандах выше, чем в рудных телах: барий, цирконий, ниобий, ванадий, хром.
- Элементы, формирующие отрицательные аномалии, в которых вынос элемен-

тов из зон проницаемости превышает их привнос рудными растворами: никель, титан.

- Элементы с неясной позицией - вольфрам.

Обращает на себя внимание поведение кобальта и ванадия, формирующих на верхних горизонтах отрицательные аномалии, а на нижних - первый формирует ореолы привноса, фиксирующие рудные тела, а второй - ореолы выноса.

Несмотря на приведенные принципиальные отличия роли описанных элементов в формировании оруденения, большинство из них характеризуется тенденцией к повышению или понижению содержаний с глубиной. К первым относятся свинец, серебро, висмут, мышьяк, ниобий; ко вторым - олово, молибден, кобальт, марганец, никель ванадий.

На основе качественной характеристики относительного накопления отдельных элементов на различных уровнях пересечения ореола по отдельным разрезам был рассчитан ряд вертикальной зональности. Обычно при расчетах показателя зональности берется отношение нормированной линейной продуктивности данного элемента к сумме этого параметра ореолов элементов-индикаторов, участвующих в подсчете. В связи с тем, что опробованные горные выработки не вышли за пределы околорудных ореолов, вместо линейной продуктивности элементов в расчетах использованы их среднеаномальные содержания, переведенные в геофоны. По всем разрезам расчеты проведены в контурах третьей градации мультипликативного ореола - свинец x цинк x серебро (рис. 2.21, 2.22). С целью сепаратной оценки отдельных кулис, разрез V-V расчленен на две половины а и б.

Аналогичные расчеты проведены по разрезам V-V и VI-VI, на основе чего ниже приведены ряды вертикальной зональности по разрезам:

III-III - серебро-висмут-медь-олово-молибден-никель-барий-вольфрам-цинк-ниобий-ванадий-титан-марганец-свинец-кобальт-циркон-хром.

IV-IV - висмут-свинец-вольфрам-медь-ниобий-никель-марганец-барий-хром-цинк-серебро-ванадий-титан-кобальт-циркон-олово-молибден.

V-V(а) - барий-молибден-хром-висмут-свинец-кобальт-олово-титан-ниобий-цинк-ванадий-циркон-марганец-никель-вольфрам-серебро-медь.

V-V(б) - висмут-медь-молибден-свинец-серебро-цинк-циркон-титан-вольфрам-ниобий-никель-олово-марганец-хром-барий-кобальт-ванадий.

VI-VI - серебро-висмут-циркон-вольфрам-ниобий-свинец-титан-хром-медь-молибден-олово-барий-цинк-марганец-ванадий-кобальт-никель.

Из приведенных данных видно, что элементы отличаются нестабильным положением относительно друг друга в отдельных рядах и по сравнению с единым рядом зональности сульфидных месторождений.

Данное обстоятельство объясняется приведенными в начале параграфа пятью факторами, предопределяющими особенности строения и пространственного распределения минеральных и элементных парагенезисов на Арманисском месторождении.

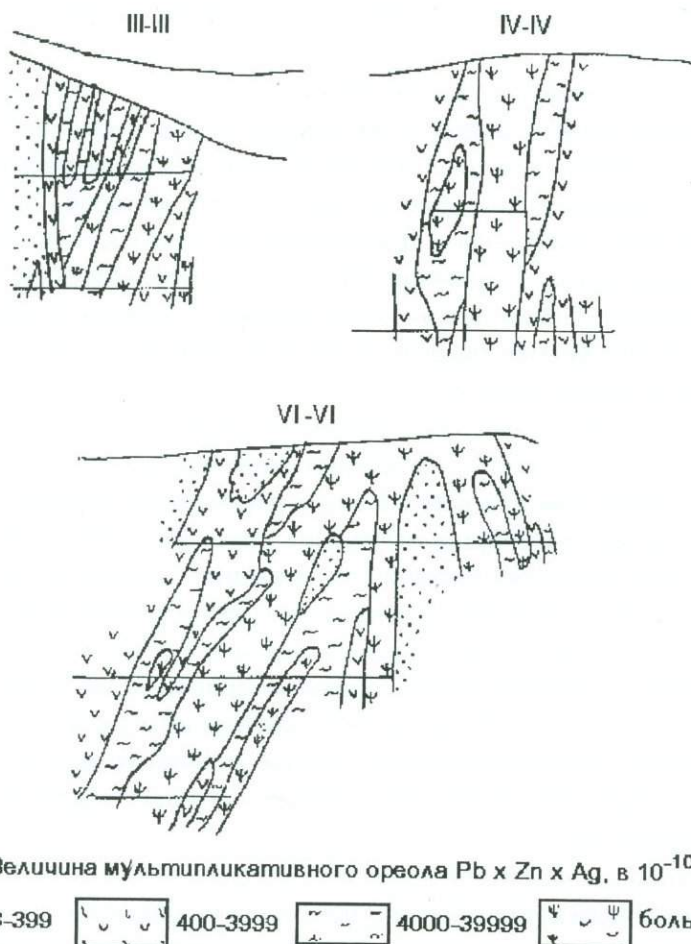


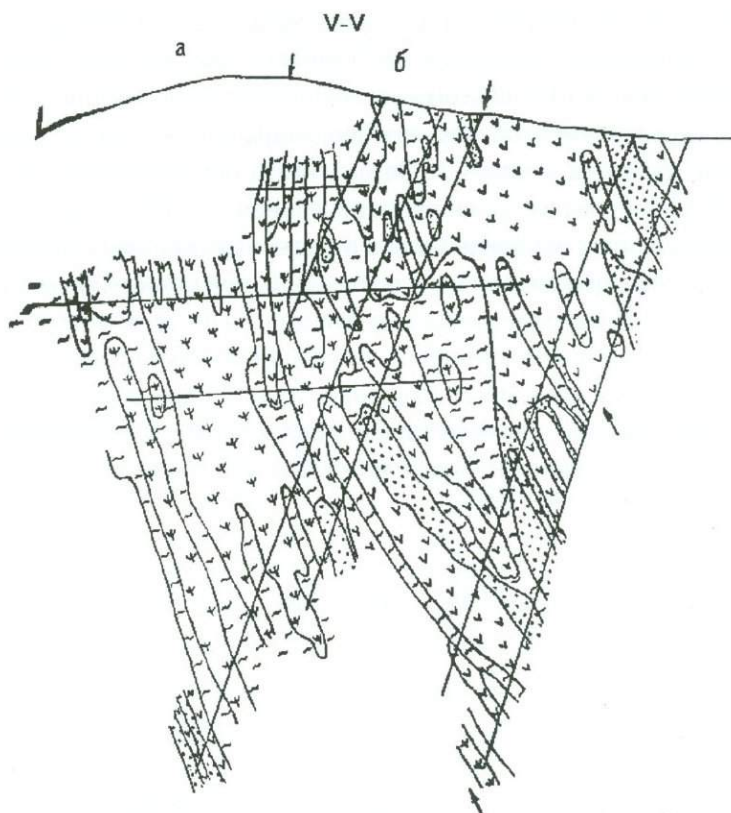
Рис. 2.21. Первичный мультипликативный ореол /свинец x цинк x серебро/ на разрезах III-III, IV-IV, VI-VI Арманисского месторождения.

Методом среднего порядкового номера, на основе приведенных рядов вертикальной зональности рассчитан обобщенный ряд вертикальной геохимической зональности Арманисского месторождения, в котором слева направо элементы расположены от над-верхнерудных к подрудным: висмут-свинец-серебро-медь-молибден-ниобий-вольфрам-барий-цинк-титан-олово-хром-цирконий-никель-марганец-ванадий-кобальт.

Уточнение качественного изменения состава ореолов с глубиной проведено на основе рассчитанных рядов поперечной зональности, по отдельным горизонтам каждого разреза.

Усредненные ряды поперечной зональности по горизонтам для всего месторождения представлены в следующем виде:

Горизонт I: серебро-свинец-висмут-медь-цинк-молибден-барий-марганец-хром-титан-кобальт-ванадий-никель.



Величина мультипликативного ореола Pb x Zn x Ag в  $10^{-10}$

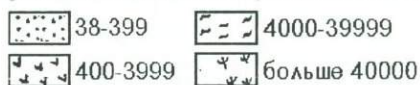


Рис. 2.22. Первичный мультипликативный ореол / свинец x цинк x серебро/ на разрезе V-V Арманисского месторождения.

Горизонт II: серебро-свинец-медь-цинк-висмут-барий-молибден-марганец-хром-кобальт-ванадий-титан-никель.

Горизонт III: серебро-свинец-цинк-медь-барий-висмут-марганец-молибден-хром-кобальт-ванадий-никель-титан.

Горизонт IV: серебро-свинец-цинк-медь-висмут-барий-марганец-молибден-кобальт-ванадий-хром-никель-титан.

Горизонт V: свинец-серебро-цинк-барий-марганец-медь-(кобальт, молибден)-висмут-ванадий-хром-(титан, никель).

Горизонт VI: свинец-серебро-цинк-барий-марганец-медь-молибден-кобальт-хром-ванадий-висмут-титан-никель.

Горизонт VII: серебро-свинец-медь-цинк-марганец-висмут-барий-хром-молибден-кобальт-никель-ванадий-титан.

Изменение качественного состава ореолов с глубиной наглядно видно на рис. 2.23, где по оси ординат отложены абсолютные отметки горизонтов пересече-

чения ореолов, а по оси абсцисс порядковый номер элемента в ряду поперечной зональности, отражающий его долю в качественном составе. Как следует из графика, от первого горизонта к шестому устанавливается понижение значений таких основных рудных элементов, как серебро, медь, висмут при повышении роли ванадия, хрома, кобальта, марганца. Важно, что с повышением роли этих элементов, характерных нижним уровням пересечения ореола, с пятого горизонта возрастает роль свинца и особенно бария. К седьмому горизонту отмечается тенденция к повышению роли серебра, висмута, меди, при понижении кобальта, хрома, ванадия. Такое переломное поведение элементов на уровне пятого горизонта свидетельствует о наличии новой волны оруденения, накладывающейся на выклинивающийся первый этаж месторождения. Судя по поведению фронтальных элементов (бария, свинца, серебра) можно предполагать концентрацию второго этажа оруденения на глубинах порядка 400-500 м и от дневной поверхности.

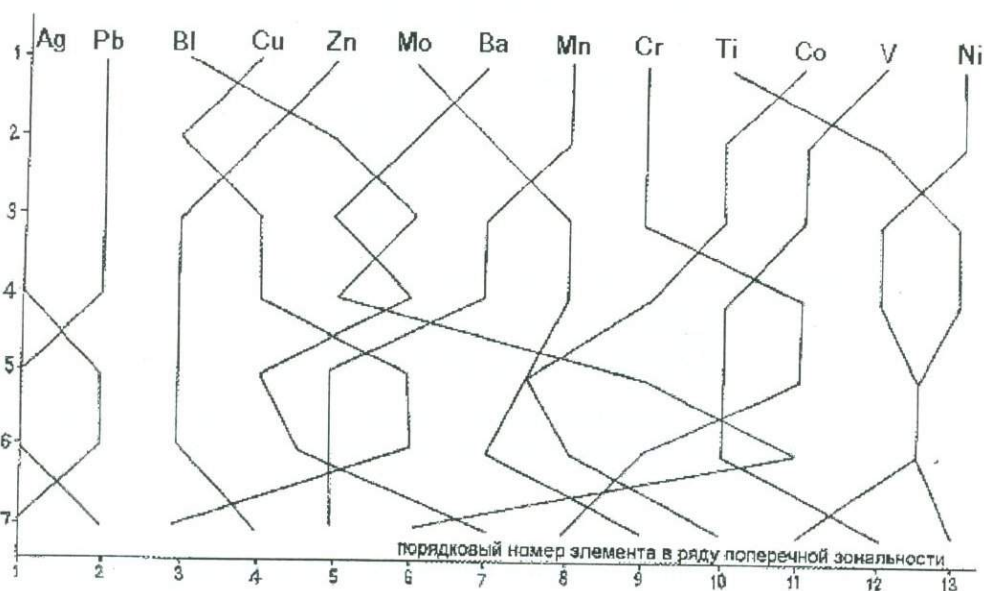


Рис. 2.23. График изменения количественного соотношения химических элементов в ореоле с глубиной.

Обобщенный ряд поперечной зональности Арманисского месторождения представлен в следующем виде: серебро-свинец-цинк-медь-барий-висмут-марганец-молибден-кобальт-хром-ванадий-никель-титан.

Известно, что поперечная зональность есть отражение вертикальной зональности. Как видно, приведенный ряд поперечной зональности более соответствует единому ряду зональности, чем полученный ранее ряд вертикальной зональности. Различное местонахождение элементов в этих рядах обусловлено отмеченными выше особенностями локализации оруденения.

В то же время необходимо отметить, что во вмещающих породах формирование ореолов происходило более плавно, сохраняя присущую оруденению закономерность пространственного расположения концентраций элементов.

Для количественной оценки уровня пересечения ореола, на основе ряда вертикальной зональности рассчитано несколько вариантов коэффициента зональности. Учитывая характер оруденения, в основу расчетов коэффициента зональности положены среднеаномальные содержания элементов по горизонтам Арманисского месторождения. Полученные значения коэффициента зональности приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Значения  $K_z$  для различных уровней пересечения ореола.

$K_z$	Горизонты							Конт-растн.
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
$\frac{\text{свинец} \times \text{медь} \times \text{серебро}}{\text{никель} \times \text{кобальт} \times \text{марганец}}$	$2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$10^3$	26	17	$9 \cdot 10^3$	$10^4$
$\frac{\text{свинец} \times \text{медь} \times \text{серебро}}{\text{никель} \times \text{кобальт} \times \text{ванадий}}$	$3 \cdot 10^5$	$10^4$	$5 \cdot 10^3$	$10^3$	17	11	$10^4$	$2 \cdot 10^4$
$\frac{\text{висмут} \times \text{медь} \times \text{серебро}}{\text{никель} \times \text{ванадий} \times \text{кобальт}}$	$4 \cdot 10^4$	$10^4$	$3 \cdot 10^2$	37	0,4	0,1	$4 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^5$
$\frac{\text{свинец} \times \text{серебро}}{\text{кобальт} \times \text{никель}}$	$2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	44	21	$10^3$	$10^3$

Как следует из таблицы выбранные  $K_z$  характеризуются достаточно высокой контрастностью, достигающей трех-пяти порядков на 220 м вертикального размаха. Так, среднерудный уровень пересечения ореола по  $K_z = \text{свинец} \times \text{медь} \times \text{серебро} / \text{никель} \times \text{кобальт} \times \text{марганец}$  характеризуется значением  $10^5$ , а нижнерудный уровень - 10, откуда контрастность составляет 4 порядка, что позволяет достаточно надежно идентифицировать, в случае необходимости, неизвестный уровень пересечения ореола. На рис. 2.24 показаны графики изменения  $K_z$  с глубиной. Как видно из графиков все они характеризуются до пятого горизонта стабильным линейным характером изменения, что позволяет определить значение  $K_z$ , соответствующее верхним и надрудным уровням порядка  $10^8$ .

На рис. 2.24 обращает на себя внимание изменение характера графиков  $K_z$  от пятого горизонта к шестому и очень резкое возрастание значений  $K_z$  к седьмому горизонту. Такое резкое возрастание  $K_z$  является свидетельством наличия на глубине еще одного этажа оруденения, влияние которого наблюдается на поведении кривых  $K_z$  уже с пятого горизонта. Таким образом, подтверждается вывод о наличии на глубинах более 300 м концентрированного оруденения, полученный в результате сравнения качественного состава ореолов на отдельных горизонтах. Пространственное перекрытие ореолами фронтальных элементов нижнего этажа оруденения ореолов тыловых элементов верхнего - говорит о

возможном наличии непрерывной рудной колонки, протяженность которой можно ожидать до глубины порядка 650-700 м от дневной поверхности.

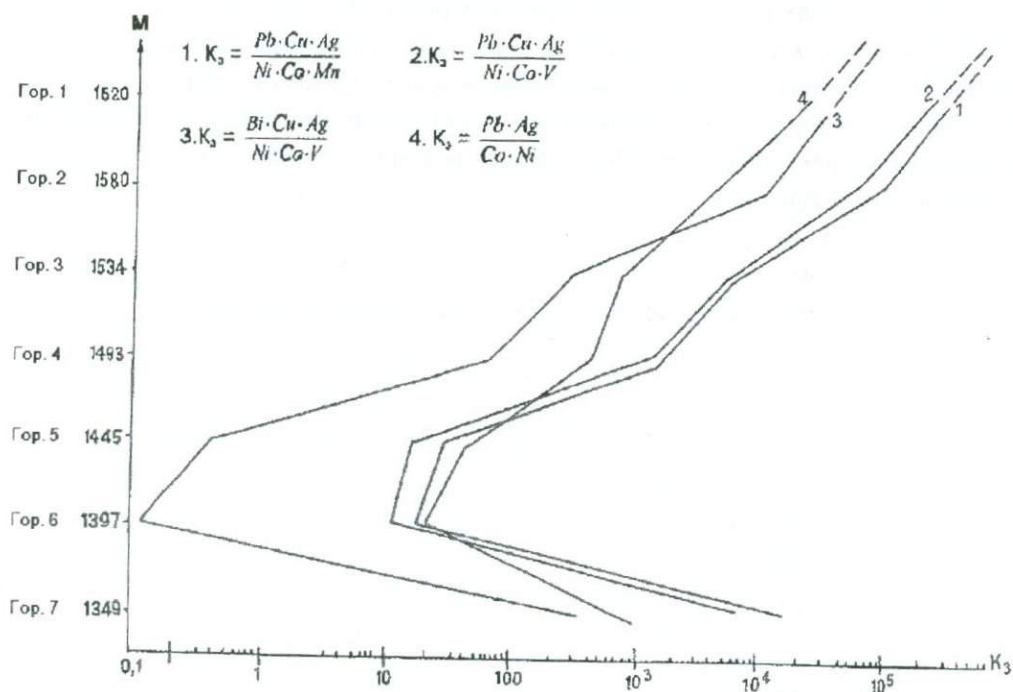


Рис. 2.24. График изменения  $K_z$  с глубиной.

Проверку наличия второго этажа оруденения было рекомендовано провести буровыми скважинами, ориентированными вкост падения рудоносных зон, с учетом склонения рудных тел под углом 50-60° на северо-запад. Результаты геологоразведочных работ подтвердили прогноз.

На практике часто возникает необходимость оценки уровня пересечения оруденения только по пробам, отобраным из рудных тел, например, при слабо развитых окolorудных ореолах, сплошном креплении горных выработок - когда пробу можно взять только из жилы, контаминации вмещающих пород, опробовании старых отвалов, наличии штучных образцов из недоступных горных выработок. Исследования, проведенные нами, показали, что использование зональности в мономинеральных фракциях позволяют в значительной степени также избежать вредного влияния флюктуации их содержаний в руде и ореольном пространстве, при одновременном повышении контрастности коэффициента зональности. Именно в этих целях данная методика была использована нами на Арманисском месторождении.

С целью получения возможно более обобщенных рядов зональности элементов-примесей в мономинеральных фракциях, и соответственно, выбора на их основе универсальных для рудного поля коэффициентов зональности, по отдель-

ным горизонтам были рассчитаны средние содержания элементов-примесей в усредненных мономинеральных фракциях, отобранных из нескольких рудных тел. Такое обобщение, сделано исходя из того, что как отмечалось выше, весь Центральный участок, по сути, представляет собой штокверк убогих прожилково-вкрапленных полиметаллических руд. Как показали расчеты, наибольшая контрастность характерна для наиболее широко распространенного элемента - сфалерита (табл. 2.10, рис. 2.25). Для последнего получены следующие ряды вертикальной зональности элементов-примесей в мономинеральных фракциях: свинец (10,7) - медь (5,5) - сурьма (4,9) - серебро (2,8) - висмут (2,5) - титан (0,2) - марганец (0) - галлий (0) - молибден (-0,1) - кадмий (-2,5) - ванадий (-2,5) - олово (-3) - кобальт (-3,3). В скобках приведены значения контрастности градиента зональности (КГ), который в случае трех горизонтов для среднерудных элементов будет колебаться в пределах 2-(-2), исходя из формулы колебания значений КГ от (n-1) до -(n-1). Исходя из полученных данных к верхнерудным элементам относятся свинец, цинк, сурьма, серебро, висмут, к нижнерудным - кадмий, ванадий, олово, кобальт.

Таблица 2.10

Значения  $K_3$  = свинец x серебро / кобальт<sup>2</sup> для сфалерита, пирита и халькопирита по горизонтам Центрального участка Арманисского месторождения.

Монофракция	Горизонты			Контрастность
	II	III	IV	
Сфалерит	8544	2211	10,9	822
Пирит	4,87	0,56	1,09	8,7
Халькопирит	-	506	51	10

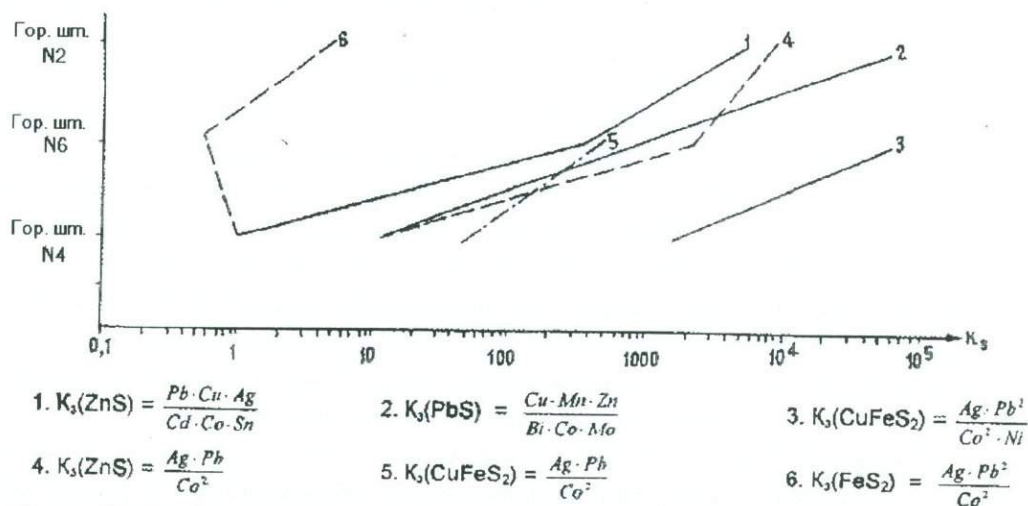


Рис. 2.25. График изменения с глубиной  $K_3$ , рассчитанный по элементам-примесям мономинеральных фракций.

Для галенита в связи с высоким содержанием в нем серебра данный коэффициент зональности не рассчитан.

Изложенный материал позволяет дифференцированно подойти к оценке уровня эрозионного среза оруденения с учетом особенностей процессов рудообразования.

### **2.7.5. Перспективы Арманинского месторождения.**

С целью расширения перспектив Арманинского золото-полиметаллического месторождения геохимической съемкой М 1:10000 был охвачен его Восточный участок, выдвинутый под детальные поисковые работы. Результаты проведенной съемки интерпретировались в совокупности с геохимическими данными по остальным участкам рудного поля, собранным при проведении работ по сбору и обобщению материалов геохимических съемок прошлых лет. Основной целью работ было:

1. Выявление и установление особенностей сопровождающих рудные тела геохимических ореолов на поверхности.
2. Выявление геохимических аномалий золото-полиметаллического оруденения на новых участках рудного поля и их оценка.

С целью изучения на поверхности геохимических ореолов, сопровождающих рудные тела, геохимической съемкой был охвачен и Центральный участок Арманинского рудного поля, где рудные тела вскрыты и установлены на поверхности.

В результате проведенных геохимических исследований на поверхности выявлены геохимические ореолы следующего элементного состава: свинец, цинк, медь, серебро, висмут, барий, мышьяк, сурьма, вольфрам, олово, молибден, кобальт, марганец, хром, циркон, никель, титан, ванадий, ниобий. Из них наиболее контрастными, хорошо фиксирующимися на поверхности являются ореолы свинца, цинка, меди, серебра, висмута и молибдена.

**Свинец** образует высокоинтенсивные, высококонтрастные ореолы, охватывающие на уровне второй градации практически всю площадь месторождения. На уровне высоких градаций ореол сильно локализуется и характеризуется ленточными, изометричными формами северо-западного простирания, четко фиксирующим центральные части рудоносных зон. Наибольшей интенсивности ореол достигает на юге Центрального участка, где сливаются рудные зоны №2, 4, 6, 7, 10-12, образуя единое изометричное рудное тело. Интенсивный ореол ленточной формы выявляется также в северо-западной части месторождения и пространственно тяготеет к полосе сильно гидротермально измененных пород.

**Цинк** образует высококонтрастные, высокоинтенсивные ореолы, охватывающие на уровне второй градации практически всю площадь месторождения. На уровне высоких градаций ореол локализуется, приобретая ленточные или вентенообразные формы северо-западного простирания, тесно накладывающие-

ся на рудоносные зоны. Наибольшей интенсивности и контрастности ореол достигает на юге Центрального участка, причем его эпицентр сдвинут относительно эпицентра ореола свинца к востоку.

**Медь** образует интенсивные высококонтрастные ореолы, охватывающие на уровне первой градации практически всю площадь месторождения. На уровне высоких градаций ореол резко локализуется и характеризуется линзообразной, изометричной формой. Разлит ореол высоких градаций, в основном, на юге Центрального участка. Эпицентр ореола приурочен к центру рудного тела, однако, в целом, ореол тяготеет к его восточной части и пространственно сдвинут в этом направлении относительно ореола цинка.

**Серебро** образует интенсивные, высококонтрастные дискретные ореолы ленточной и изометричной формы, трассирующие рудоносные зоны по простиранию. Крупная высокоинтенсивная, высококонтрастная аномалия серебра установлена в южной части Центрального участка, где она фиксирует рудное тело. Аномалия характеризуется изометричной формой северо-западной ориентировки, ее эпицентр приурочен к центру рудного тела.

На крайнем северо-западном фланге, выявляется ленточная контрастная аномалия пространственно тяготеющая к тектоническому нарушению близмеридионального простирания. Центральная часть месторождения характеризуется развитием слабоконтрастных ореолов серебра на уровне первой градации.

**Висмут** образует слабоинтенсивные высококонтрастные дискретные ореолы ленточных, линзообразных форм, широко развитые на площади и фиксирующие рудоносные зоны. Ореол высокой интенсивности выявлен в южной части Центрального участка. Он характеризуется изометричной формой северо-западной ориентировки и тесно накладывается на рудное тело, тяготея к его восточной части.

**Барий** образует слабоинтенсивные, слабоконтрастные ореолы, развитые, в основном, на уровне первой градации. Ореолы дискретны, в большинстве линзообразной или изометричной формы и, как правило, развиты в зальбандах рудоносных зон. В южной части участка рудное тело фиксируется ореолом бария на уровне первой градации, однако ореол второй градации, включающий единичные пробы с содержаниями третьей градации, резко сдвинут от рудного тела к юго-западу и локализуется практически вне его пределов.

При этом в пространственном расположении экстремумов аномалий вышеописанных элементов наблюдается отчетливое пространственное смещение относительно друг-друга по оси юго-запад - северо-восток. Так, если максимум интенсивности ореолов бария фиксируется по юго-западной периферии рудного тела Центрального участка, практически ограничиваясь Куйбышевским разломом, то ореол молибдена проявляет максимум интенсивности на северо-восточной периферии рудного тела. Исходя из пространственного расположения экстремумов отмеченных элементов, ряд продольной зональности оруденения Центрального участка представляется в следующем виде с юго-запада на север-северо-восток: барий-свинец-серебро-медь-цинк-висмут-молибден.

Таким образом, отчетливо видно, что склонение рудных тел ориентировано в северные румбы, откуда естественно и шло поступление рудных растворов. Данное обстоятельство имеет важное значение для расшифровки структурных условий формирования Арманисского месторождения. Так, считается что рудоподводящим каналом служил Куйбышевский разлом, к которому примыкает месторождение. В свете изложенных данных, последний представляется рудоконтролирующей структурой, в то время, как рудопроводящей и локализирующей является сеть более мелких нарушений близширотной ориентировки, связанная с источником оруденения, расположенным к северу от месторождения. Приведенные выше данные также подтверждаются при изучении моноэлементных ореолов на Восточном участке месторождения (рис. 2.26-2.29). Здесь, как и на Центральном участке, наблюдается смещение экстремумов аномалий элементов в следующем порядке - барий-свинец-серебро-цинк в направлении с юго-востока на северо-запад, что также свидетельствует о поступлении рудоносных растворов со стороны северных румбов.

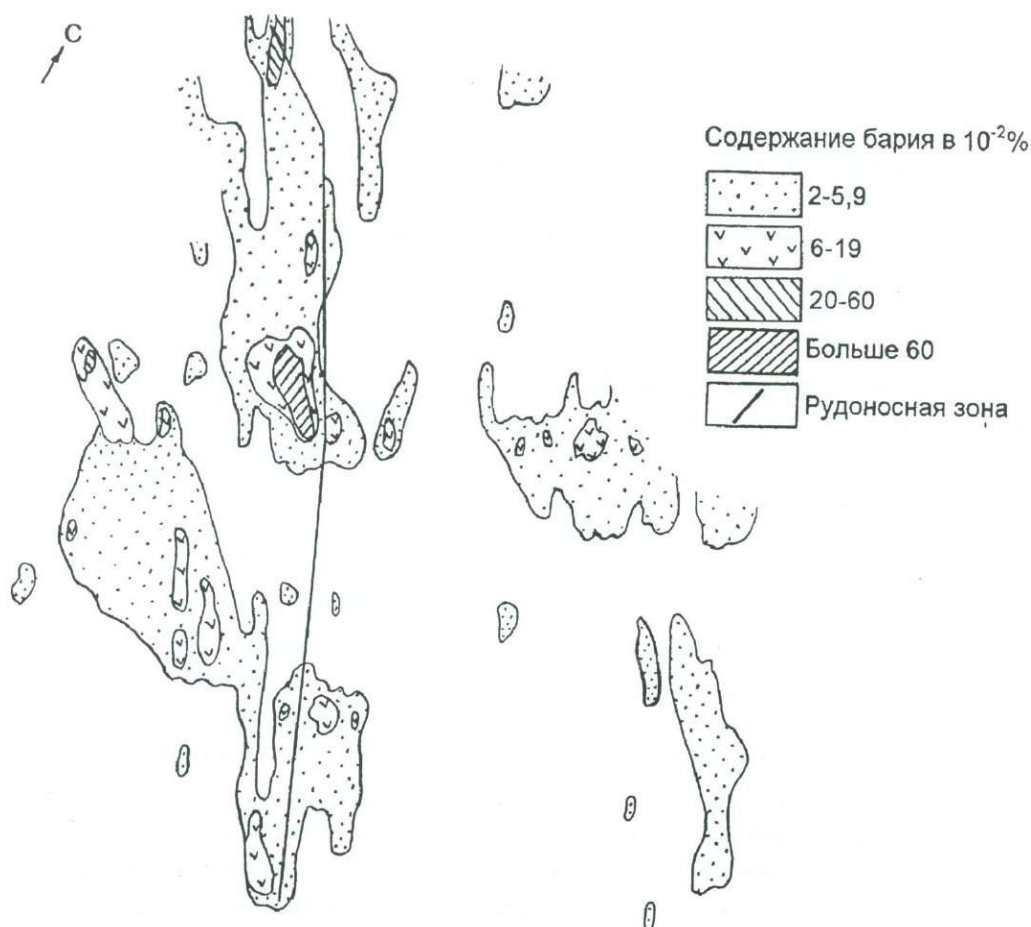


Рис. 2.26. Аномалии бария на участке "Восточный" Арманисского рудного поля.  
М: 1:10000.

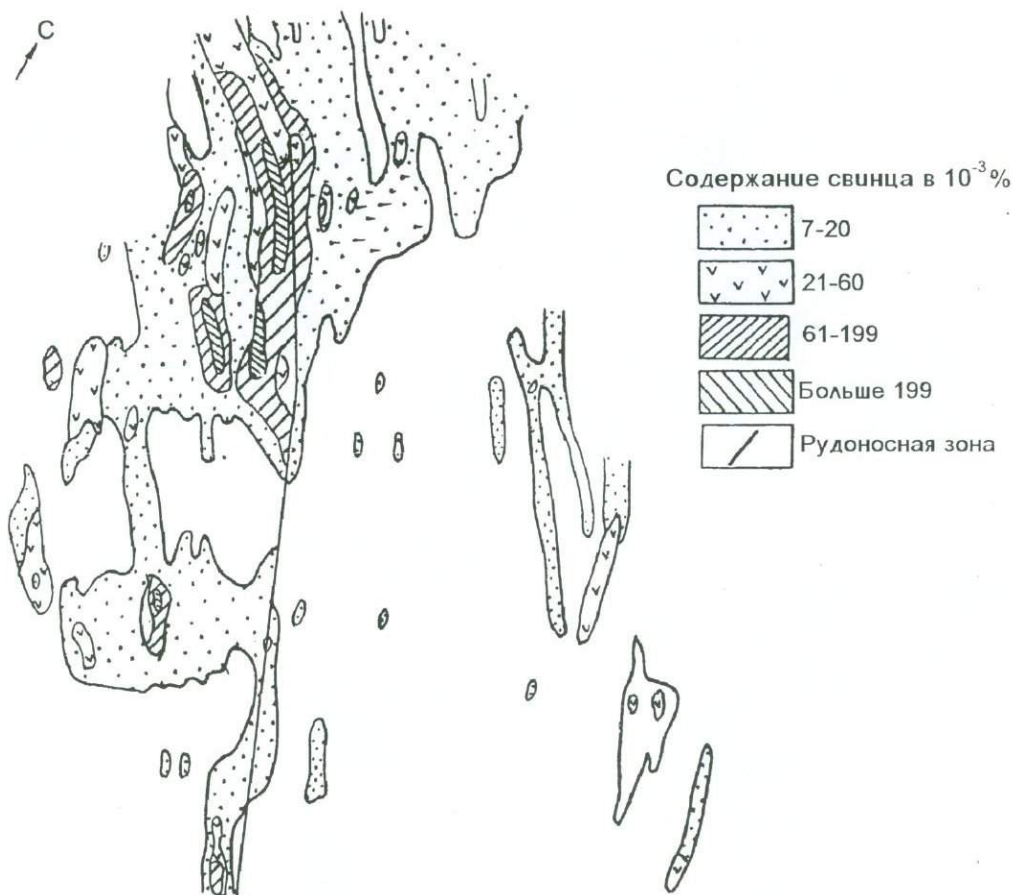


Рис. 2.27. Аномалии свинца на участке "Восточный" Арманисского рудного поля.  
М: 1:10000.

Аналогичная ориентировка склонения рудных зон Центрального и Восточного участков месторождения позволяет предполагать наличие к северу от него мощного нарушения, имеющего доступ к рудогенерирующему очагу.

Кроме элементов, образующих положительные, фиксирующие рудные тела ореолы, с поисковой точки зрения, интерес представляет ряд элементов, формирующих над рудными телами отрицательные аномалии: кобальт, никель, марганец, ванадий, меньше титан и хром. Наибольшего внимания заслуживают отрицательные аномалии кобальта, достигающие третьей градации по восстанию рудных тел.

Фиксация рудных тел отрицательными ореолами может с успехом применяться при оценке вновь выявленных аномалий, так как четко устанавливается, что контрастные отрицательные аномалии формируются только вокруг крупных, богатых рудных тел, в то время, как по минерализованным зонам формирования отрицательных ореолов не наблюдается.

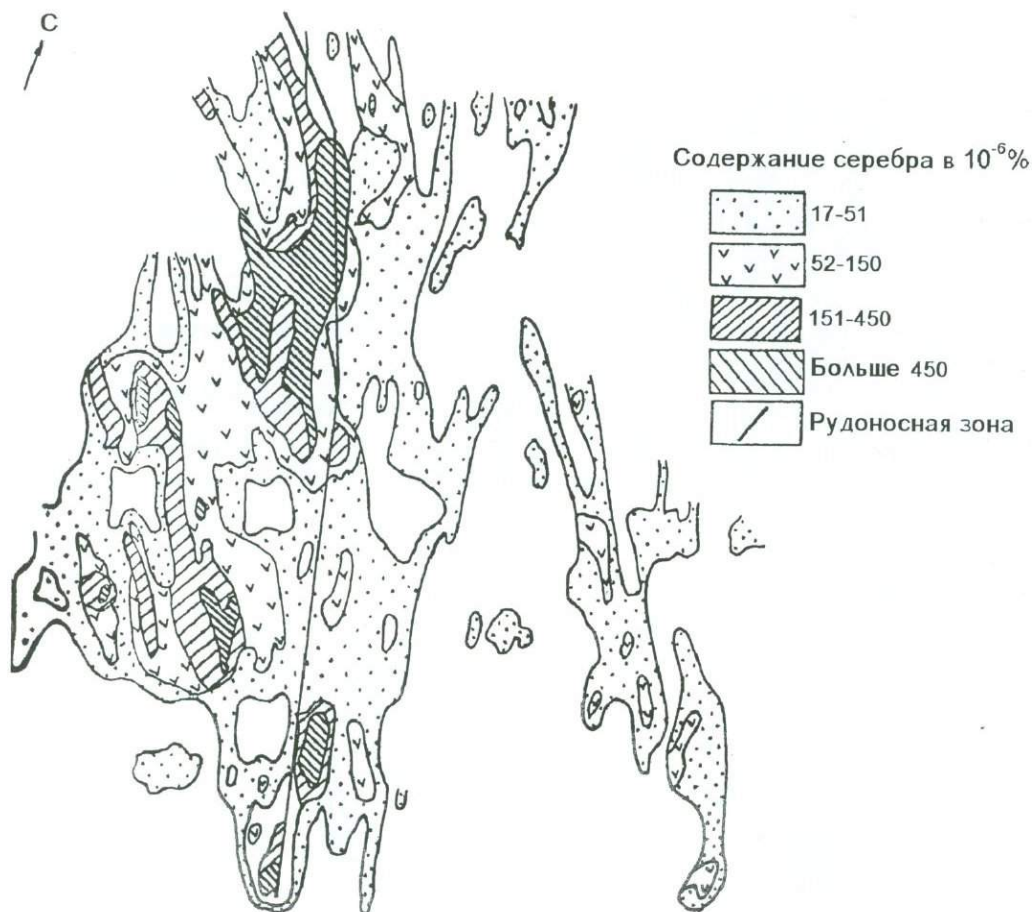


Рис. 2.28. Аномалии серебра на участке "Восточный" Арманиского рудного поля.  
М: 1:10000.

Оценка геохимических аномалий на месторождении проведена методом полей естественных геохимических ассоциаций, путем отображения их интенсивности величиной мультипликативного показателя, представляющего собой произведение свинец  $\times$  медь  $\times$  серебро. Выбранный показатель характеризуется большой контрастностью, интенсивностью и дискретностью, проявляющейся в делении ореолов высоких градаций по простиранию и в поперечном направлении на более мелкие полосы. Учитывая кулисообразный характер оруденения в зонах и частое слияние аномалий, приуроченных к близко расположенным рудным телам, для сепаратной оценки, аномалии искусственно расчленились по интервалу наименьшей величины мультипликативного показателя.

Оценка относительного уровня эрозионного среза проводилась путем подсчета в контуре комплексных аномалий свинец  $\times$  медь  $\times$  серебро, величины коэффициента зональности, равного мультипликативному отношению средне-аномальных содержаний свинец  $\times$  медь  $\times$  серебро/ никель  $\times$  кобальт  $\times$  марганец.

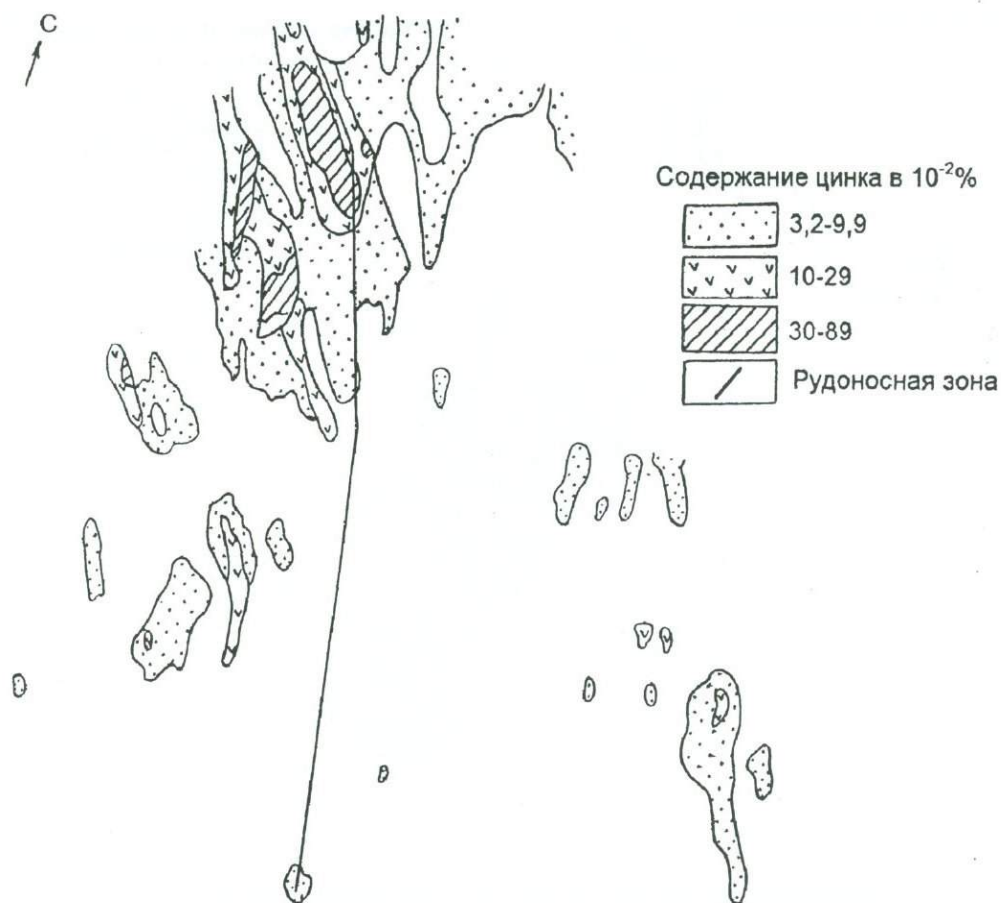


Рис. 2.29. Аномалии цинка на участке "Восточный" Арманисского рудного поля.  
М: 1:10000.

На основе проведенных на Центральном участке методических исследований для различных уровней вскрытия эндогенного ореола, в первом приближении приняты следующие значения коэффициента зональности: надрудный - больше  $10^8$ , верхнерудный -  $10^6$ - $10^8$ , среднерудный -  $10^3$ - $10^5$ , нижнерудный -  $10$ - $10^2$ , корневой - меньше  $10$ .

В результате литохимического опробования поверхности Центрального участка составлена специализированная карта геохимических аномалий мультипликативного ореола свинец  $\times$  цинк  $\times$  серебро (рис. 2.30, М 1:2000). На уровне первой и второй градаций аномальное поле мультипликативного показателя охватывает практически всю площадь участка. Однако, в пределах аномалии устанавливается дифференциация величины мультипликативного показателя и очертанные по более высоким градациям аномальные участки пространственно накладываются на рудоносные зоны. Всего в пределах участка оконтурено восемь аномалий.

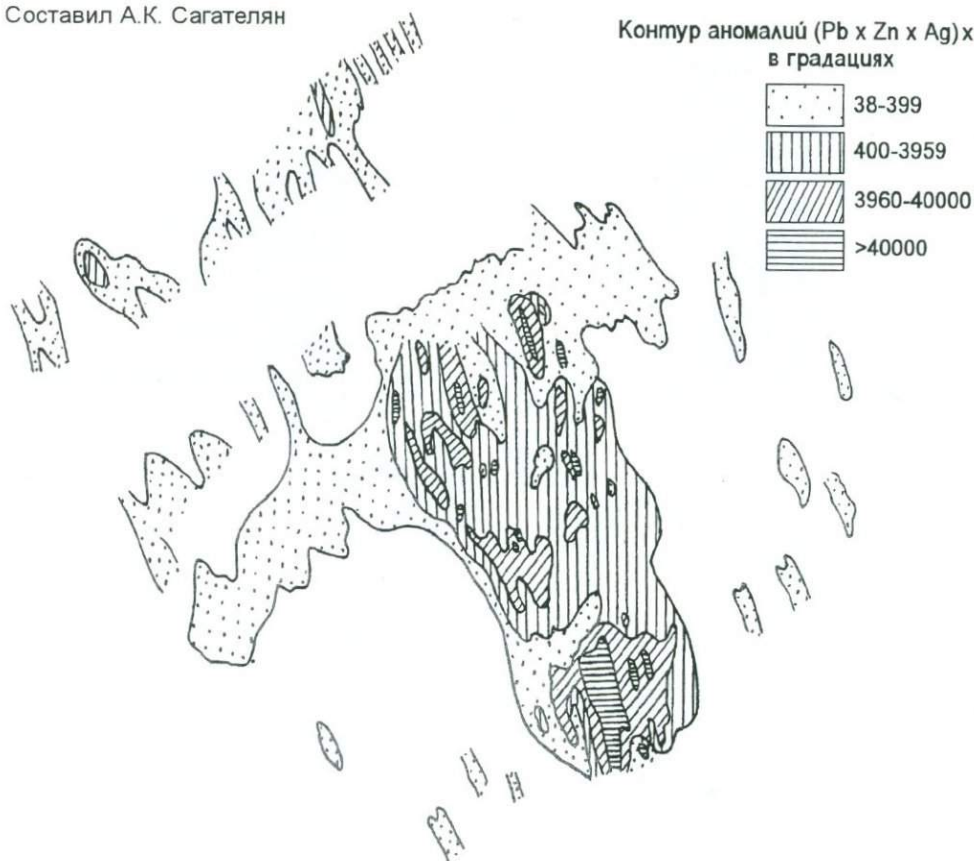
Контур аномалий  $(Pb \times Zn \times Ag) \times 10^{-10}$   
в градациях

Рис. 2.30. Геохимическая аномалия  $(Pb \times Zn \times Ag)$  Центрального участка Арманисского месторождения. М 1 : 2000.

Рудоносные зоны, к которым приурочены выявленные аномалии вскрыты горными выработками и поэтому для определения их перспектив можно ограничиться установлением относительного уровня их эрозионного среза. В табл. 2.11 приведены значения коэффициента зональности и относительный уровень эрозионного среза каждой аномалии.

Таблица 2.11

Относительный уровень эрозионного среза аномалий Центрального участка Арманисского месторождения

Порядковый номер аномалий	Значение $K_3$	Определяемый относительный уровень эрозионного среза
I	$2 \cdot 10^5$	среднерудный
II	$10^5$	среднерудный
III	$3 \cdot 10^7$	верхнерудный
IV	$9 \cdot 10^5$	среднерудный
V	$4 \cdot 10^3$	среднерудный
VI	$9 \cdot 10^5$	среднерудный
VII	$3 \cdot 10^6$	верхнерудный
VIII	$7 \cdot 10^4$	среднерудный

Кроме эталонного Центрального участка, остальная часть месторождения покрыта геохимической съемкой масштаба 1:10000. Составлена специализированная карта геохимических аномалий мультипликативного ореола свинец x цинк x серебро (рис. 2.31).

Составил А.К. Сагателян

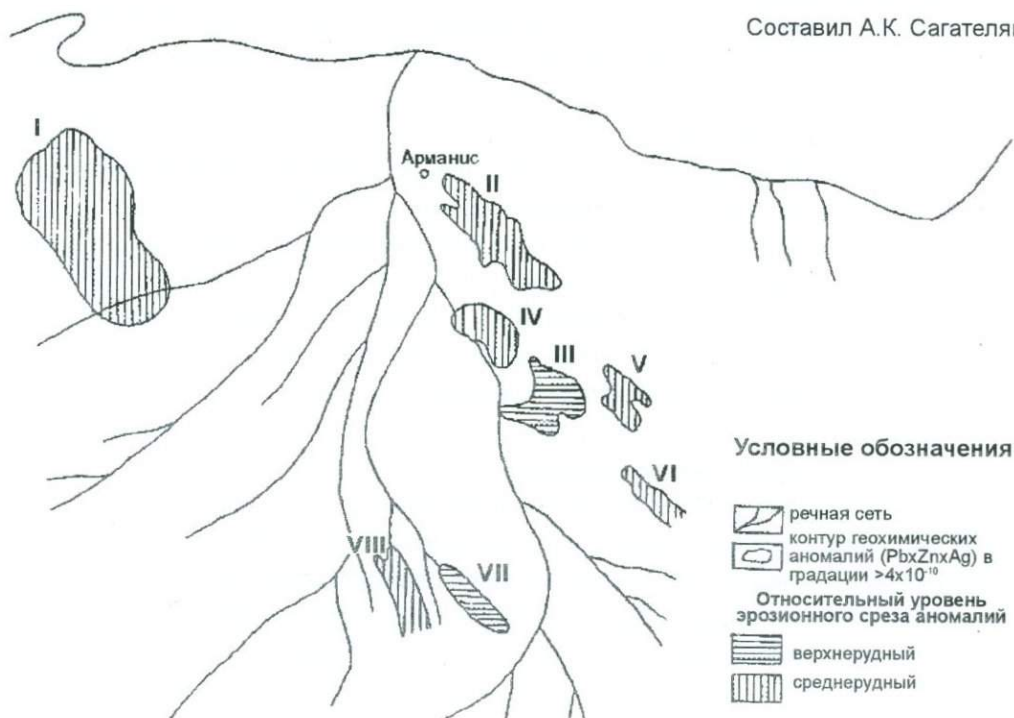


Рис. 2.31. Специализированная карта геохимических аномалий (Pb x Zn x Ag) Арманиского месторождения. М 1 : 10000.

Из выявленных аномалий наибольший интерес представляют аномалия №1 Центрального участка и аномалия №2 Восточного участка.

В ходе работ, по полученным результатам была выдана записка-рекомендация о перспективах Восточного участка, и после подтверждения прогноза буровой скважиной - оформлена карта внедрения с Памбакской экспедицией Армгеологии.

## 2.8. Геологическое строение и первичные геохимические ореолы Меградзорского золото-редкометального месторождения.

### 2.8.1. Геологическое строение Меградзорского рудного поля.

Меградзорское рудное поле расположено в пределах (Анкаванского) Памбак-Цахкуняцкого рудного района, входящего в состав Мисхано-Зангезурской структурно-металлогенической зоны. Тектоническое положение района определяется его расположением в зоне Анкаван-Зангезурского глубинного разлома северо-западного простирания.

Рудное поле приурочено к моноклинали, осложненной мелкими куполами и разрывными нарушениями, обуславливающими его блоковое строение.

Структурная позиция рудного поля определяется его пространственной приуроченностью к висячему блоку Мармарикского разлома. С севера месторождение ограничивается Северным разломом, с востока - поперечным Меградзорским нарушением, представляя собой, таким образом, четко обособленный тектонический блок клинообразной в плане формы.

Рудное поле расчленяется р.Мармарик на левобережную и правобережную части, существенно различающиеся друг от друга особенностями геологического строения (рис. 2.32). В строении левобережной части принимают участие среднеэоценовые вулканогенные образования пестрого состава, известные в литературе под названием "кировкаканской" свиты, представленные андезитами, дацитами и их пирокластами. Субвулканические комагматы представлены дайками и штоками андезитов и дацитов, зафиксированных подземными горными выработками.

Интрузивные образования, среди которых преимущественным развитием пользуются порфиоровидные монцониты, слагают Меградзорский интрузивный массив и прорваны штоками и дайкообразными телами монцонит-порфиоров, сиенит-порфиоров и минетт. Дайковый комплекс характеризуется близширотными и восток-северо-восточным простиранием с падением в северные румбы. Он широко развит в восточной части месторождения. Рудовмещающими породами являются как интрузивные, так и вулканогенные образования, подвергнутые гидротермальным изменениям различной интенсивности. Левобережная часть рудного поля объединяет ряд участков, выделение которых обусловлено лишь этапностью проведенных геолого-разведочных работ. К их числу относятся Центральный, Северный, Аджариджурский, Меградзор, Гюхи-Ерес, Лагерный.

Правобережная часть рудного поля характеризуется широким развитием пород докембрий-нижнепалеозойского метаморфического комплекса, представленного сланцами и лейкократовыми гранитами. Из более молодых интрузивных образований здесь развиты кварцевые диориты, условно относимые к дотуронскому (неокомскому) возрасту. Последние прорваны диабазитовыми дайками. Указанные образования перекрыты миоплиоценовыми и четвертичными лавами.

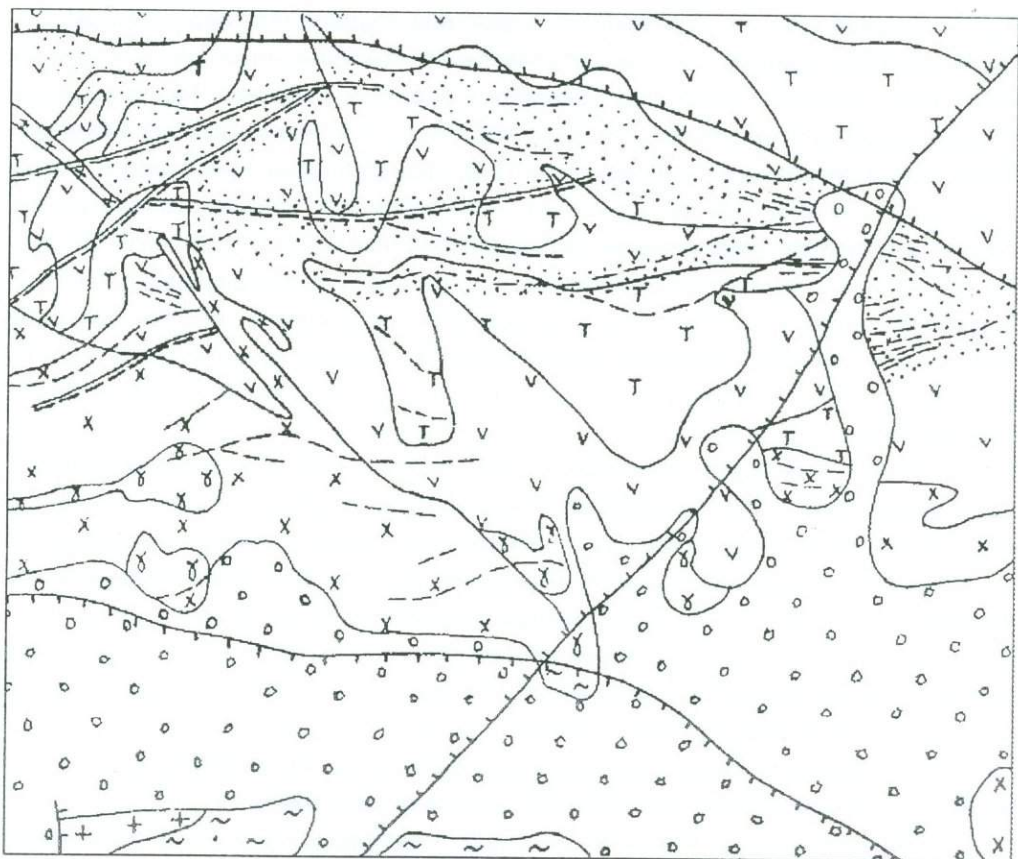
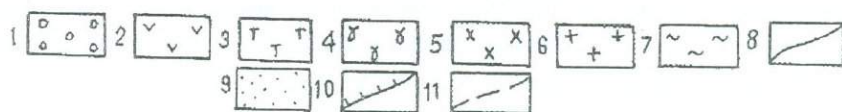


Рис. 2.32. Схематическая геологическая карта Меградзорского месторождения.

Условные обозначения



1. Аллювиально-делювиальные и пролювиальные отложения.
2. Порфириты плагиоклазовые, андезитовые дациты.
3. Туффиты, туффопесчаники, туфоалевролиты, туффобрекчи.
4. Сиениты, граносиениты.
5. Кварцевые сиениты, кварцевые монзониты, монзониты.
6. Плагиограниты, граниты.
7. Метаморфические сланцы.
8. Лампрофировые дайки.
9. Гидротермально интенсивно измененные породы.
10. Разломы.
11. Рудные жилы и зоны.

### 2.8.2. Морфология рудных тел.

Превалирующей морфологической формой рудных тел на Меградзорском месторождении является жильный, подчиненную роль играют линзообразные тела с прожилково-вкрапленным оруденением, развитые в интенсивно измененных гидротермальных породах кварц-серецит-карбонатного состава. Образование рудных тел шло как путем выполнения трещинных полостей, так и путем метасоматического замещения пород. В силу этого по морфологическим особен-

ностям рудные тела подразделяются на два типа. Рудные тела первого морфологического типа залегают главным образом в вулканогенно-осадочных породах и являются составной частью рудоносных зон сложного строения. Рудоносные зоны на Меградзорском месторождении представлены линейно вытянутыми участками гидротермально измененных, местами минерализованных пород с заключенными в них кварцево-сульфидными золоторудными жилами или же сравнительно интенсивно измененными минерализованными образованиями. По простиранию они обычно прослеживаются на сотни метров, в отдельных случаях 2-2,5 км при средней мощности 10-15 м. Контакты рудоносных зон с вмещающими породами, в основном плавные, но нередко встречаются зоны с четкими тектоническими контактами. Простирание зон, в основном, близширотное, падение крутое (55-85°).

Гидротермальное изменение в зонах представлено аргиллизацией, широко развиты также вторичные кварциты и кварц-карбонатные породы, прослеживаемые на поверхности в виде обохренных, обеленных скалистых выступов.

Пространственное положение, строение и минеральный состав рудоносных зон определяются сочетанием структурного и литологического факторов.

Основную роль среди структурных факторов играют атиклинальные поднятия, зоны глубинных разломов и сопряженные с ними более мелкие разломы, зоны дробления, межпластовые подвижки и др.

На левобережных участках рудоносные зоны приурочены преимущественно к трещинам оперения Мармарик-Сарикаинского разлома.

Литологический контроль пространственного размещения рудоносных зон проявляется в приуроченности их к определенным комплексам пород. Так, в пределах развития вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований рудоносные зоны отличаются большими размерами, выдержанной мощностью и высокой продуктивностью. Рудоносные зоны, развитые в интрузивных породах, отличаются небольшими размерами и более убогим оруденением.

Развитые в вулканогенной толще зоны характеризуются разнообразием минеральных ассоциаций, в то время, как зоны в интрузивных породах отличаются относительно простым составом и слабо развитой минерализацией. Рудные тела первого морфологического типа характеризуются сравнительно крупными размерами - длина по простиранию от 100-200 м до 1 км и более, при средней мощности 1-2 м.

По падению и простиранию рудные тела невыдержаны, характеризуются пережимами и раздувами. В раздувах их мощность достигает 6-7 м, а в пережимах - 0,2 м.

Как правило, крупные рудные тела сопровождаются дорудными дайками лампрофирового состава, на отдельных участках несущих сульфидную минерализацию и характеризующихся кондиционным содержанием полезных компонентов. Азимуты падения и простирания рудных тел совпадают с азимутами падения и простирания рудоносных зон. Большинство рудных тел характеризуются тектоническими контактами с вмещающими породами, с глиной трения и зеркалами

скольжения по зальбандам. В местах перегибов рудовмещающих структур по падению и простиранию, а также на участках сопряжения дорудных разрывных нарушений различного направления в пределах отдельных жил формируются обогащенные золотом участки - рудные столбы, разделенные интервалом руд с низким содержанием золота. Для них характерны широко развитые первичные геохимические ореолы.

Рудные тела этого типа представляют основную промышленную ценность на месторождении и представлены, главным образом, кварцевыми, кварц-сульфидными жилами, в которых преобладающие полосчатые текстуры руд чередуются с прожилково-вкрапленными и брекчиевыми. К ним относятся рудные тела №1, 2, 5 и др.

Рудные тела второго морфологического типа залегают преимущественно в интрузивных породах. Они отличаются сложным строением и сравнительно небольшими размерами (от нескольких десятков до 150-200 м по простиранию, при средней мощности от 0,2-1 м, до 6-7 м в раздувах). Рудные тела этого типа представлены кварцевыми, кварцево-сульфидными жилами и линзообразными телами с четкими тектоническими контактами. В раздувах мощность рудных тел резко увеличивается за счет сближения и слияния нескольких субпараллельных жил. Нередко встречаются рудные тела без кварца, сложенные гидротермально интенсивно измененной минерализованной породой. Большинство рудных тел второго морфологического типа характеризуются высоким содержанием золота, однако ввиду небольшой мощности часто не соответствуют кондициям по метрограмме, к ним относятся жилы №7, 18 и др. В отличие от рудных тел первого типа они характеризуются слабым развитием околорудных геохимических ореолов, "слепые" рудные тела этого типа не фиксируются на поверхности как моноэлементными ореолами элементов-индикаторов, так и мультипликативными ореолами.

### ***2.8.3. Минералого-геохимические особенности руд.***

Особенности строения рудных жил и текстур руд позволяют выделить на Меградзорском месторождении следующие стадии минерализации: кварц-пиритовая, кварц-полиметаллическая с золотом, медно-мышьяковая и золото-карбонатная, которые обычно телескопированны.

С точки зрения промышленной значимости главная роль принадлежит кварц-полиметаллической стадии, в которую и произошло формирование основного промышленного типа руд на месторождении.

Минеральный состав руд Меградзорского месторождения подробно изучен Ш.О. Амиряном [55] и дополнен нашими геохимическими исследованиями. Согласно вышесказанному автору в составе руд определено около 27 гипогенных и гипергенных минералов, среди которых наиболее распространенными являются нижеследующие минералы, приведенные в порядке последовательности их образования: пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда, галенит,

энаргит, стибиолоуценит, борнит, висмутин, виттихенит и эмплектит, теллуrowисмутит и минералы золота и серебра. Из вышеперечисленных минералов пирит, сфалерит, халькопирит встречаются в нескольких генерациях. Ниже приводится лишь краткое описание золото- и серебросодержащих минералов.

**Аргентит** установлен в ассоциации с блеклой рудой, галенитом, петцитом и золотом. В сростании с галенитом и блеклой рудой он образует микропрожилки и неправильной формы выделения размером от 0,06 до 0,1 мм. В периферических частях выделений аргентита обнаруживаются мелкие выделения (0,02 мм) золота.

**Алтаит.** Самый распространенный минерал из группы теллуридов. Обнаруживается в виде извилистых микропрожилков, мелких включений овальной или изометричной формы в галените, а также крупных выделений (до 1,5 мм) между зернами кварца. Ассоциирует с теллуrowисмутитом, петцитом, гесситом, редко в галените, блеклой руде и сфалерите проявляется в сростании с аргентитом и золотом.

**Сильванит.** Довольно распространенный в руде минерал. Встречается в следующих минеральных ассоциациях: сильванит-петцит-галенит-нагиагит; сильванит-калаверит-креннерит-гессит; сильванит-аргентит-гессит.

**Креннерит и калаверит.** Устанавливаются в рудах месторождения в ассоциации с другими теллуридами. Для креннерита характерны следующие минеральные сочетания: креннерит-петцит; креннерит-золото-петцит-гессит; креннерит-калаверит-сильванит-гессит; креннерит-калаверит. Для калаверита отмечены две ассоциации: калаверит-креннерит и калаверит-сильванит-креннерит.

В калаверите спектральным анализом установлены золото, теллур, следы серебра; в креннерите - золото, серебро, теллур.

**Петцит.** Пользуется широким распространением в рудах. Встречается в ассоциации с калаверитом, креннеритом, колорадоитом. Петцит образует в кварце выделения неправильной формы размером от первых десятых долей мм до 2-4 мм. Иногда встречается в сростках с мелкими выделениями галенита, алтаита, золота, блеклой руды, сфалерита. В виде мелких выделений, часто в сростании с колорадоитом, петцит наблюдается в калаверите, блеклой руде, прожилках галенита, секущих сфалерит. В сфалерите и блеклой руде петцит иногда встречается в виде микропрожилков в сростании с золотом. Местами в петците наблюдаются включения галенита, микропрожилки теллуридов, золота, выделения калаверита, корродирующие петцит и колорадоит. В петците почти всегда устанавливаются мелкие включения зерен золота.

**Гессит.** Довольно распространенный в рудах минерал. Проявляется в виде изометрических выделений размером от сотых долей мм до 3 мм в сфалерите, блеклой руде, галените. Характерны следующие минеральные ассоциации: 1) гессит-аргентит-сильванит; 2) гессит-креннерит-сильванит; 3) гессит-колорадоит; 4) гессит-петцит; 5) петцит-гессит-нагиагит-галенит. С гесситом почти всегда ассоциирует золото, которое образует в нем прожилки и включения в виде мелких зерен.

**Нагиагит.** Наблюдается в ассоциации с галенитом, петцитом, гесситом, каллаверитом и золотом. Образует пластинчатые выделения и зернистые агрегаты.

**Колорадоит** встречается очень редко. Устанавливается в ассоциации с петцитом, калаверитом и креннеритом. Образует микропрожилки и изометричные выделения в петците размером от сотых долей до 0,25 мм. По границам срастания колорадоита с петцитом иногда обнаруживаются волосяные жилки теллуридов золота.

**Самородное серебро** встречается редко, т.к. наличие теллура в рудоносных растворах способствовало выпадению серебра в виде теллуридов. Установлено в галените в виде мелких зерен различной формы размером 0,001-0,003 мм.

**Самородное золото** установлено во всех рудных зонах и жилках месторождения как в виде дисперсной примеси, так и видимых невооруженным глазом зерен и прожилкообразных выделений. Форма золотин самая разнообразная, обусловленная формой локализирующих микроструктур. Установлены следующие формы выделения золота:

- самородное золото в кварцевых жилах,
- свободное тонкодисперсное золото в сульфидах,
- золото в теллуристых соединениях,
- вторичное (гипергенное) золото, высвободившееся при окислении сульфидов.

Ниже описываются взаимоотношения золота с рудными минералами.

*Золото в пирите.* Присутствует в виде зерен пластинчатой, изометричной, овальной и неправильной формы размером 0,003-0,04 мм. Золото отмечается между зернами пирита или выполняет волосяные трещинки в последнем. Часто оно устанавливается в срастании с блеклой рудой, халькопиритом, галенитом. Иногда выполняет отдельные микротрещинки совместно с гесситом или присутствует в виде зерен в прожилках минералов, секущих пирит. Изредко золото в пирите встречается в срастании с мелкими (до 0,1 мм) выделениями теллурида золота и галенита или теллурида золота и халькопирита.

*Золото в сфалерите.* В виде свободных зерен отмечается редко. Часто наблюдается в срастании с мелкими выделениями гессита реже петцита и галенита. Совместно с гесситом оно выполняет отдельные трещинки. Иногда гессит в сфалерите сечется волосяными жилками золота. Жилковидные выделения гессита и галенита в сфалерите часто содержат включения мелких зерен золота размером до 0,02 мм.

*Золото в блеклой руде.* Характеризуется жилковидными формами выделения. Наблюдается в ассоциации с теннантитом и галенитом в микропрожилках, выполняющих трещинки в пирите. Очень редко золото встречается совместно с теннантитом в сфалерите.

*Золото в халькопирите.* Встречается в виде свободных зерен размером 0,006-0,015 мм. Форма золотин микропрожилковая или изометричная. Иногда золото с халькопиритом и редко теллуридами выполняет трещинки дробления в пирите.

*Золото в галените.* Встречается в виде отдельных зерен размером до 0,1 мм и волосяных прожилков. Совместно с галенитом оно выполняет трещинки в пирите, блеклой руде, сфалерите. Часто золото приурочено к включениям в галените гессита или аргентита, размещаясь по их периферии.

*Золото в петците.* Наблюдается в виде свободных зерен размером от сотых долей до 0,03 мм. Совместно с петцитом золото выполняет интерстециальные промежутки между кристаллами кварца. Иногда в петците прослеживаются тонкие прожилки карбонатов с золотом. Местами золото в петците устанавливается в сростании с креннеритом. Мелкие выделения золота в сростании с петцитом развиваются в сфалерите, блеклой руде.

*Золото в гессите.* Наблюдается в виде микропрожилков и мелких включений размером 0,06-0,08 мм. Иногда золото в виде тончайшей каймы развито вокруг выделений гессита. Золото в ассоциации с гесситом наблюдается в виде включений в пирите, сфалерите, блеклой руде, галените.

Предполагается, что по времени образования золото близко к гесситу. Оно характеризуется длительностью выделения и ассоциирует со следующими минералами: теннантитом, галенитом, халькопиритом и теллуридами. При пространственной совмещенности золотоносной минерализации с продуктами выделений ранних ассоциаций минералов, пирит последних обогащался и золотом. Вдали от участков развития золотоносной минеральной ассоциации пирит беден золотом.

*Гипергенное золото.* Устанавливается в поверхностных частях рудных тел среди вторичных минералов железа. Такое золото наблюдается вокруг первичных золотосодержащих минералов в виде точечных или веретенообразных выделений или образует рыхлый агрегат из мельчайших частиц.

*Золото в кварце.* Обнаруживается как в свободных зернах, так и в сростании с теллуридами, расположенными по линиям сростаний кварцевых зерен. Границы сростаний золота с кварцем неровные, зазубренные. Часто золото обволакивает зерна кварца и, развиваясь по его внутренним микротрещинам, образует волосяные прожилки.

Основная часть золота на месторождении заключена в сульфидах и теллуридах, меньшая - в кварце.

#### **2.8.4. Первичные геохимические ореолы.**

Изучение первичных геохимических ореолов проводилось путем литохимического опробования, вскрывших рудные тела подземных горных выработок и интерпретации собранных геохимических данных прошлых лет.

Изучение первичных геохимических ореолов выявило резко выраженную специфику их проявления в зависимости от типа рудных тел, вокруг которых они развиты.

Ореолы, развитые вокруг рудных тел первого типа характеризуются высокой интенсивностью и значительным пространственным развитием, превышая по размерам рудные тела в несколько десятков раз. Хорошей иллюстрацией ореолов этого типа являются ореолы, развитые вокруг рудного тела №1 (рис. 2.33).

Представлено рудное тело кварцево-сульфидной жилой, переходящей на отдельных участках в зону брекчированных, гидротермально интенсивно измененных, окварцованных, пиритизированных пород с четкими тектоническими контактами с вмещающими вулканогенно-осадочными породами. Мощность рудного тела крайне изменчива: в раздувах она достигает 5-7 м, в пережимах - до 0,2 м. Средняя мощность рудного тела - 1,7 м, на флангах оно разветвляется в виде конского хвоста.

Кварцево-сульфидные жилы и прожилки в рудном теле по простиранию и мощности не выдержаны, часто имеют линзовидную форму.

Рудное тело отличается высоким содержанием полезных компонентов, характеризующимся их весьма неравномерным распределением: от следов до "ураганных" значений. В сложении рудного тела участвуют пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, редко встречаются теллуристые соединения золота и серебра, редко - самородное золото. Из нерудных минералов широким развитием пользуется кварц, меньше - карбонаты.

Рудное тело сопровождается дорудной дайкой авгитовой минетты, которая проявляется в лежачем или висячем боках жилы. Дайка обычно несет убогую минерализацию, очень редко с высоким содержанием золота и серебра.

В связи с недоступностью ряда горных выработок, часть материалов по геохимическому опробованию подземных горных выработок была представлена профессором Б.Г. Безиргановым, которому автор выражает свою искреннюю благодарность.

В состав первичных геохимических ореолов, развитых вокруг первого рудного тела, входят моноэлементные ореолы бария, свинца, меди, ванадия, хрома, молибдена, олова, никеля, кобальта.

Как видно из рис. 2.33 среди последних выделяются элементы с тенденцией к накоплению в верхних частях ореольного поля рудного тела - барий, серебро, цинк, свинец, средних частях - ванадий, медь и нижних - хром, олово, молибден, кобальт, никель.

Качественная характеристика относительного накопления отдельных элементов на различных уровнях проявляется в ряду вертикальной зональности, где слева-направо происходит смена надрудных элементов подрудными: цинк-свинец-серебро-барий-ванадий-медь-олово-молибден-хром-кобальт-никель.

На основнии ряда зональности для количественной оценки уровня пересечения эндогенного ореола выбраны мультипликативные коэффициенты зональности, приведенные в табл. 2.12.

Как видно из таблицы наибольшей контрастностью характеризуется коэффициент зональности равный мультипликативному отношению - серебро x цинк x свинец / никель x кобальт x молибден, график изменения которого с глубиной показан на рис. 2.34.

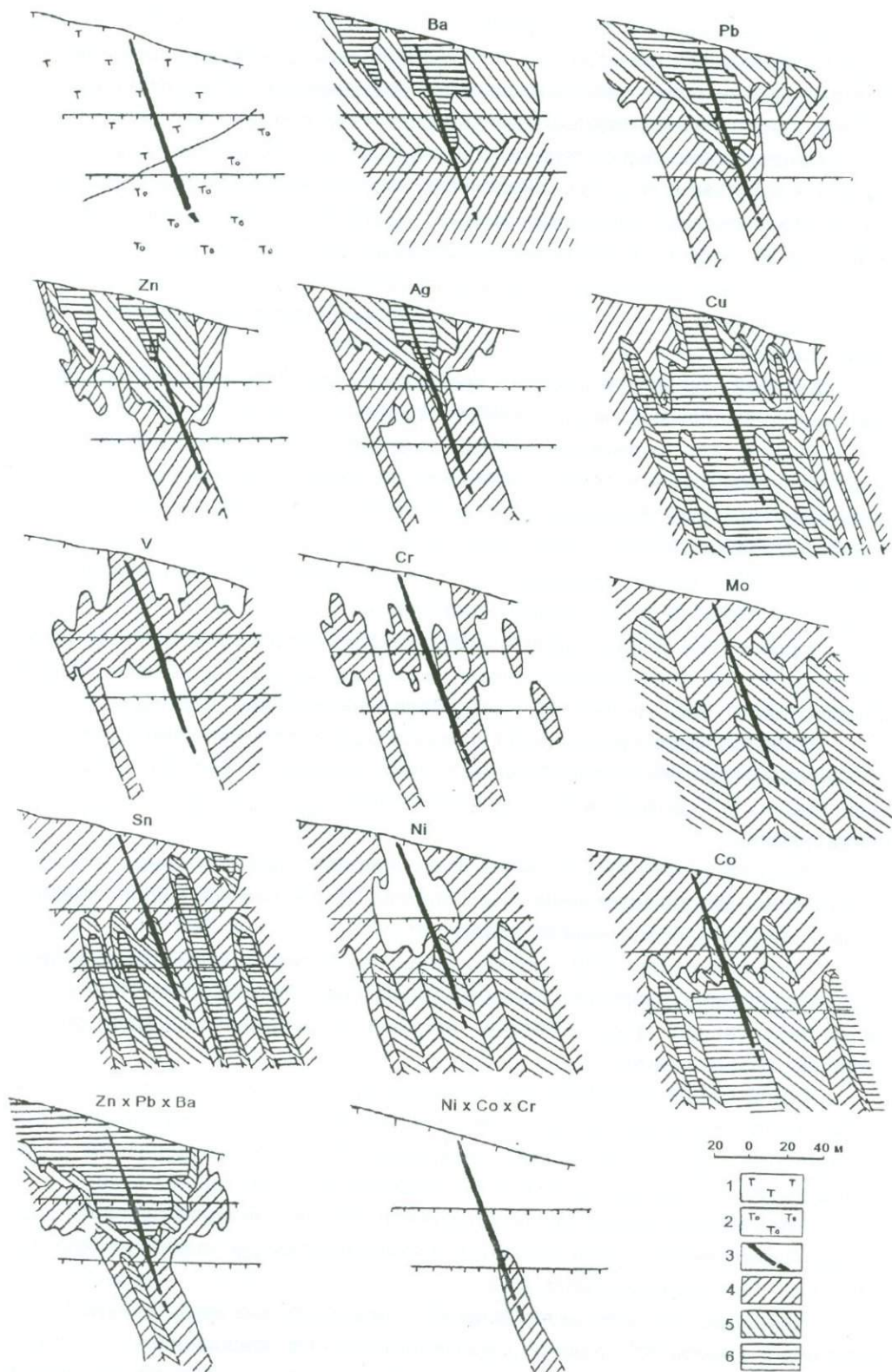


Рис. 2.33. Первичные геохимические ореолы вокруг рудного тела №1.

**Условные обозначения к рис. 2.33.**

1. Агломератовые и грубообломочные туфы андезитов, туфобрекчии; 2. Туффиты;
  3. Кварцево-сульфидная жила; 4-6. Содержания элементов (%):
- 4** - никель -  $(0,5-1,5) \times 10^{-3}$ ; свинец, медь -  $(5-15) \times 10^{-3}$ ; цинк -  $(3-10) \times 10^{-2}$ ; барий -  $(1-3) \times 10^{-2}$ ; серебро -  $(5-15) \times 10^{-5}$ ; ванадий -  $>30 \times 10^{-3} \times 10^{-3}$ ; олово -  $(3-10) \times 10^{-4}$ ; кобальт -  $(5-15) \times 10^{-4}$ ; молибден -  $(1-3) \times 10^{-4}$ ; хром -  $> 1 \times 10^{-3}$ ; цинк x свинец x барий -  $(30-90) \times 10^{-7}$ ; никель x кобальт x хром -  $> 270 \times 10^{-10}$ ; **5** - никель -  $1,5 \times 10^{-3}$ ; свинец, медь -  $(15-45) \times 10^{-3}$ ; цинк -  $(10-30) \times 10^{-2}$ ; барий -  $(3-10) \times 10^{-2}$ ; серебро -  $(15-45) \times 10^{-5}$ ; олово -  $(10-30) \times 10^{-4}$ ; кобальт -  $(15-45) \times 10^{-4}$ ; молибден  $>30 \times 10^{-4}$ ; цинк x свинец x барий -  $(90-270) \times 10^{-7}$ ; **6** - свинец, медь -  $>45 \times 10^{-3}$ ; цинк -  $>30 \times 10^{-2}$ ; барий -  $>10 \times 10^{-2}$ ; серебро -  $> 45 \times 10^{-5}$ ; олово -  $>30 \times 10^{-4}$ ; кобальт -  $>45 \times 10^{-4}$ ; цинк x свинец x барий -  $270 \times 10^{-7}$ .

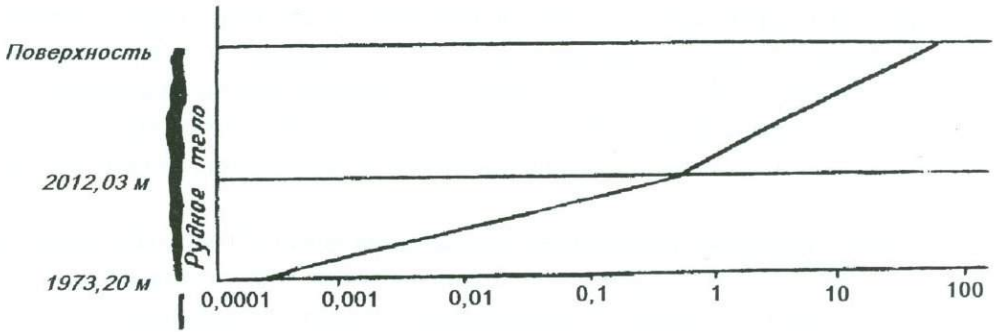


Рис. 2.34. График изменения  $K_3 = \frac{Ag \times Zn \times Pb}{Ni \times Co \times Mo}$  с глубиной.

Таблица 2.12

Значения мультипликативных коэффициентов зональности для различных уровней пересечения эндогенного ореола вокруг рудного тела №1.

K <sub>3</sub>	Значение коэффициента зональности			Контрастность
	поверхность	гор. 2012м	гор. 1973м	
$\frac{Ba \times Pb \times Zn}{Ni \times Co \times Cr}$	9,5	0,33	0,00012	79166
$\frac{Ag \times Zn \times Pb}{Ni \times Co \times Mo}$	15,4	0,085	0,00021	73333
$\frac{Ag \times Zn \times Pb}{Ni \times Co \times Mo}$	58,8	0,48	0,00019	307370

Намного сложнее обстоит дело при оценке уровня пересечения рудных тел второго типа, где вследствие слабого развития околорудных ореолов, информативными являются только пробы отобранные непосредственно из рудных тел, характеризующихся крайне неравномерным распределением содержаний химических элементов.

С целью выбора наиболее информативного рудного материала для выявления качественной зональности рудных тел нами для сопоставления обработаны результаты анализа задириковых и штуфных проб, выделенного из бороздовых проб концентрата тяжелых фракций, а также мономинеральных фракций пирита и сфалерита. Все пробы отобраны из тех же горизонтов по рудному телу №1 (рис. 2.33).

При применении геохимических методов на золоторудных объектах, где золото часто является единственно промышленно ценным компонентом, оно в качестве индикатора оруденения, как правило, не применяется вследствие дороговизны анализа, неравномерности распределения и ряда других факторов. Такой подход правомерен, если достоверно установлена тесная корреляционная связь золота с основной группой рудообразующих элементов, в противном случае, игнорирование относительного накопления золота на отдельных горизонтах приводит к доминирующей роли, при расчете ряда зональности, одного или нескольких элементов присутствующих в руде в значительных, но не представляющих практического интереса содержаниях. Ряд зональности выстраивается без установления в нем места золота, и в результате, расчеты значений  $K_z$  для различных уровней пересечения рудоносных зон могут не соответствовать тем или иным уровням золотого оруденения.

Ниже приводятся рассчитанные методом порядковой корреляции данные о связи золота с содержащимися в руде химическими элементами (табл. 2.13). Следует отметить, что пробы использованные в подсчете отобраны из рудного тела №1 в пределах промышленного блока. При этом количество задириковых проб - 14, остальных - по 10.

$[\sum (\Delta^2)] + T_{Au} + T_{эл}$  - значение суммы квадратов разностей порядковых номеров с поправкой на повторяемость содержаний.

Критическое значение вычисленных сумм при 5% уровне значимости колеблется для выборки из 10 проб в интервале 61-269, для 14 проб - 213-697. Если вычисленная сумма меньше нижнего предела приведенных значений, то связь является существенно положительной, если больше - значимо отрицательной; нахождение суммы в пределах приведенного интервала свидетельствует о несущественной корреляционной связи.

Как видно из приведенной таблицы, золото характеризуется корреляционной связью в штуфной пробе с медью, свинцом, серебром; концентрате - теллуrom; сфалерите - висмутом и ртутью; пирите - марганцем. Отрицательная корреляционная связь золота устанавливается в штуфной пробе с титаном, в концентрате - с ртутью и кадмием. В задириковой пробе корреляционной связи золота с каким-либо элементом не установлено.

Исходя из изложенного, расчет рядов вертикальной зональности приводился с учетом содержаний золота в анализируемом материале.

Изучение содержания в концентрате химических элементов на разных горизонтах (рис. 2.35) показало отчетливое понижение с глубиной содержаний ванадия, меди, серебра, теллура, повышение - висмута, кадмия, марганца, никеля, стронция, при нестабильном изменении содержаний других элементов.

Корреляционная связь золота с химическими элементами в руде, концентрате, пирите и сфалерите.

Элемент	[ $\Sigma (\Delta^2)$ ] + ТАu + Тэл				
	Задирковая проба	Штуфная проба	Концентрат	Пирит	Сфалерит
Mn	564	121	243	46	152
Ti	568	270	181	131	155
Li	-	74	195	-	-
Sr	386	11	166	-	264
Ba	279	257	182	-	-
Sn	-	-	-	-	118
Ga	410	258	77	265	135
V	501	166	106	278	176
Co	396			77	125
Ni		235	125	167	
Cu	581	43	107	85	144
Zn	407	123		206	
Pb	434	39	76	100	97
Mo	344	97		263	115
Ag	476	27	101	79	83
Sb		217	171		205
As	314	186	96	134	105
Hg		202	293		59
Te		73	61	130	116
Bi		105	139	197	53
Cd		204	299		216
La					183

На основе значений показателя зональности элементов (табл. 2.14) рассчитан ряд вертикальной зональности. При расчетах вводился поправочный коэффициент на выход в % тяжелой фракции (табл. 2.15).

Поправочный коэффициент ( $K_p$ ) рассчитывался по формуле:

$$K_p = \frac{P_i}{P_m},$$

где  $P_i$  - выход концентрата в % на данном горизонте,  $P_m$  - минимальный выход концентрата из проб отобранных со всех горизонтов.

Ряд зональности металлов по данным анализа концентрата представлен в следующем виде: теллур-золото-сурьма-медь-галлий-ванадий-свинец-серебро-цинк-литий-молибден-барий-титан-стронций-марганец-кадмий-мышьяк-висмут-ртуть-никель-бериллий.

На основе ряда зональности, для количественной оценки уровня пересечения рудного тела по концентрату рассчитаны коэффициенты зональности представляющие собой мультипликативные отношения: теллур x медь/висмут x бериллий; теллур x сурьма x медь/никель<sup>2</sup> x бериллий. В табл. 2.16 и на рис. 2.36 показаны значения  $K_z$  для различных уровней пересечения рудного тела.

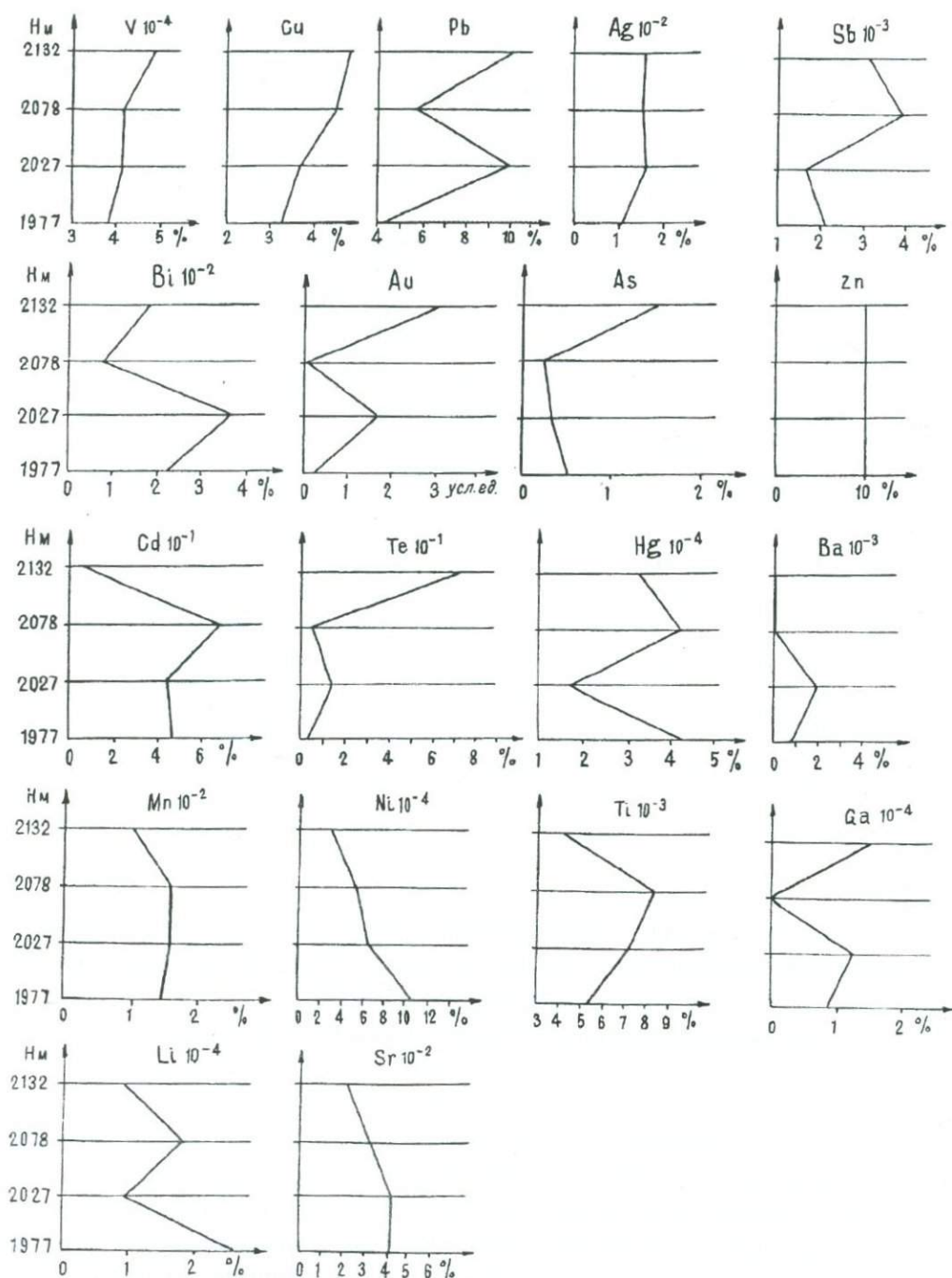


Рис. 2.35. Графики изменения содержания химических элементов в концентрате с глубиной.

В целях сопоставления контрастности зональности также были изучены элементы-примеси в выделенных из концентрата мономинеральных фракциях пирита, сфалерита и галенита. В качестве примера как наиболее информативные приводятся данные по пириту и сфалериту.

Таблица 2.14

Значения показателя зональности элементов в концентрате тяжелых фракций.

Элемент	Нормированное значение средних содержаний по горизонтам				Показатель зональности с учетом $K_p$ в п x $10^{-6}$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Mn	0,1	0,15	0,05	0,15	0,0045	0,099	0,0026	0,068
Ni	0,38	0,51	0,65	1,1	0,017	0,34	0,034	0,5
Ti	0,038	0,0086	0,014	0,0108	0,00036	0,0057	0,00074	0,0049
V	0,049	0,048	0,048	0,039	0,0022	0,018	0,0022	0,018
Mo	1,6	1,6	2,4	1,6	0,072	1,06	0,13	0,73
Cu	4900	4500	3700	3250	223	2980	195	1485
Pb	10000	5800	10000	4300	455	3841	526,3	1963
Ag	3000	3000	3200	2200	136	1987	158	1005
Sb	320	390	240	270	14,6	258	12,6	123
Bi	18000	7700	37000	23000	819	5099	1947	10502
As	15500	2500	3500	5100	706	1656	184	2329
Zn	2000	2000	2000	2000	91	1325	105	913
Cd	6500	69000	44000	47000	295	45695	2315	21461
Te	$7,5 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$0,32 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$3,3 \cdot 10^5$	$0,68 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$
Ga	0,15	0,065	0,13	0,09	0,0068	0,043	0,0068	0,041
Hg	64	84	48	86	2,92	15,6	2,53	39,3
Sr	0,42	0,64	0,84	0,84	0,02	0,42	0,044	0,38
Ba	0,032	0,032	0,058	0,042	0,0015	0,021	0,003	0,019
Li	0,026	0,036	0,026	0,040	0,0012	0,024	0,0014	0,018
Au	$3,2 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^5$	$1,76 \cdot 10^7$	$17,8 \cdot 10^5$	$14,5 \cdot 10^5$	$6,09 \cdot 10^5$	$9,96 \cdot 10^5$	$8,12 \cdot 10^5$
Be	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0045	0,066	0,0052	0,18
$\Sigma$	$39,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$19 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^6$				

Таблица 2.15

Процент выхода концентрата из пробы.

Горизонт	Выход концентрата в %
I	46
II	26
III	25
IV	26

Таблица 2.16

Значения  $K_3 = \frac{Cu \times Te}{Bi \times Be}$  и  $K_3 = \frac{Te \times Sb \times Cu}{Ni^2 \times Be}$  для различных уровней пересечения рудного тела №1.

$K_3$	Степень	Горизонт				Контрастность
		I	II	III	IV	
$\frac{Cu \times Te}{Bi \times Be}$	$10^6$	20,4	2,23	1,34	0,119	179
$\frac{Te \times Sb \times Cu}{Ni^2 \times Be}$	$10^{12}$	86,8	3,34	2,94	0,058	1506

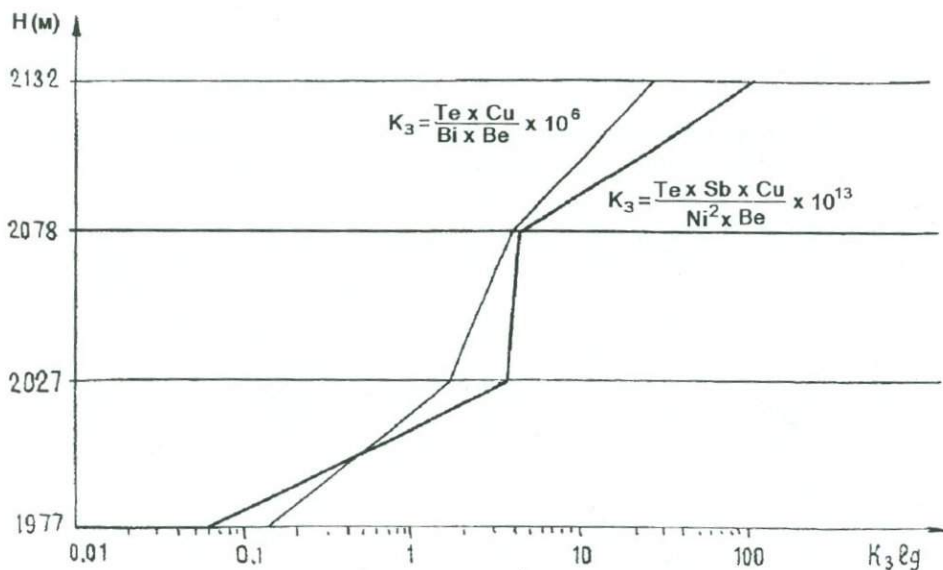


Рис. 2.36. График изменения значений  $K_3 = \frac{Cu \times Te}{Bi \times Be}$  и  $K_3 = \frac{Te \times Sb \times Cu}{Ni^2 \times Be}$  для различных уровней пересечения рудного тела №1 по анализам концентрата тяжелых фракций.

Изучение содержания элементов-примесей в пирите на различных горизонтах показало (рис. 2.37), что с глубиной закономерно понижаются содержания меди, свинца, серебра, золота, цинка, теллура, мышьяка, увеличиваются - ванадия, никеля, марганца, при нестабильном изменении содержаний остальных элементов.

Для упорядочивания местоположения элементов-примесей в ряду вертикальной зональности при расчете показателя зональности применялся поправочный коэффициент, учитывающий процентное содержание пирита в руде:

$$K_p = \frac{P_i}{P_m},$$

где  $P_i$  - проценты содержания пирита на данном горизонте,  $P_m$  - минимально процентное содержание пирита на горизонтах.

Значения  $K_p$  составили на I горизонте 1,6; II - 1; III - 1; IV - 1,1.

Сравнительное распределение элементов-примесей в пирите по горизонтам отражается следующим рядом зональности: золото-цинк-медь-молибден-мышьяк-теллур-стронций-висмут-свинец-серебро-кобальт-галлий-ванадий-титан-никель-марганец.

Выбранные на основании ряда зональности мультипликативные отношения медь  $\times$  мышьяк  $\times$  цинк/титан  $\times$  никель<sup>2</sup> и медь  $\times$  мышьяк/титан  $\times$  никель показывают стабильное, контрастное понижение значений от более высоких уровней пересечения рудного тела к более низким.

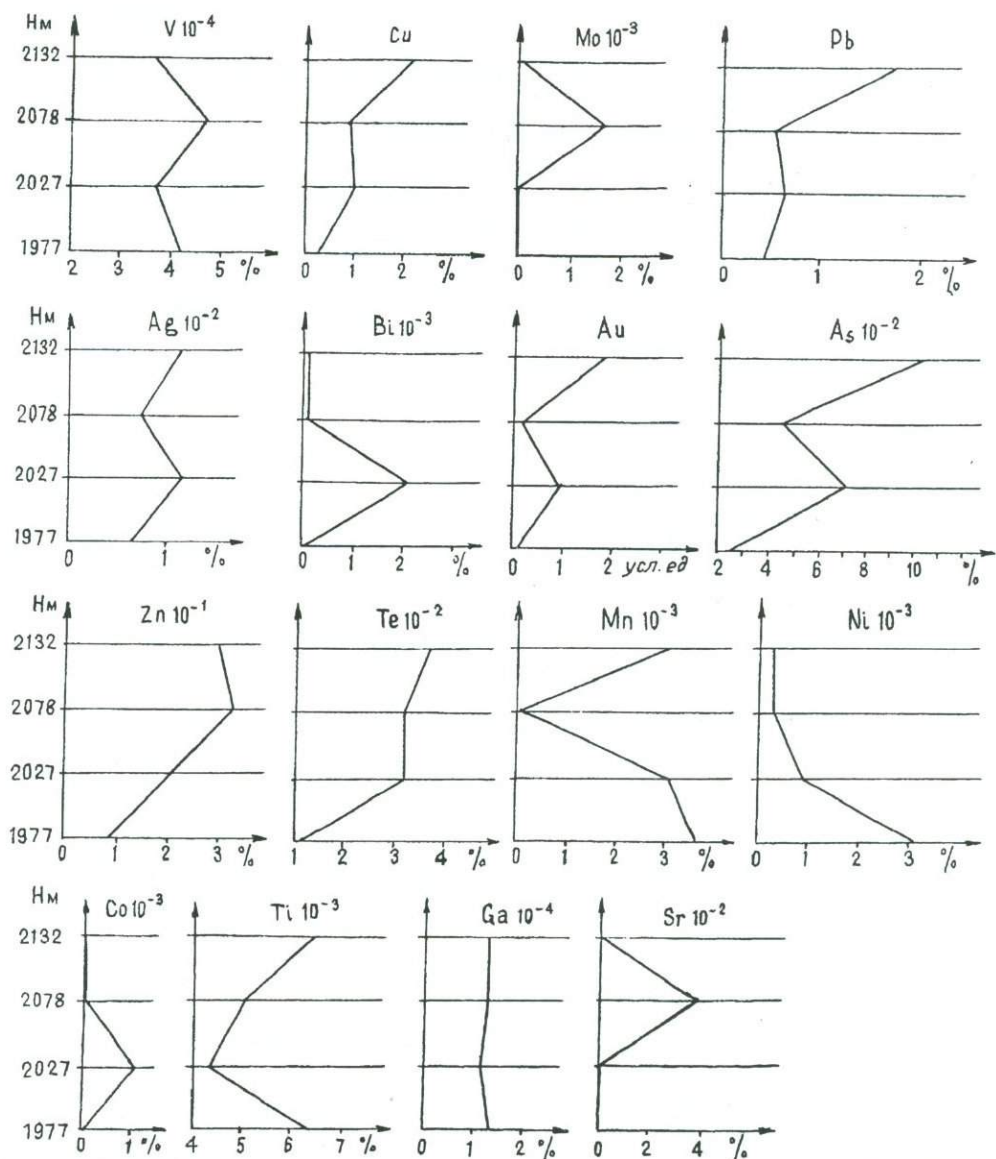


Рис. 2.37. Графики изменения содержания элементов-примесей с глубиной в пирите.

В табл. 2.17 и на рис. 2.38 показано изменение значений  $K_3$  по пириту на разных уровнях пересечения рудного тела №1.

Изучение содержаний элементов-примесей в сфалерите (рис. 2.39) показало убывание с глубиной в последнем меди, свинца, серебра, сурьмы, золота, мышьяка, теллура, возрастание лантана, кадмия, при нестабильном изменении содержаний других элементов.

В табл. 2.18 приведены значения показателя зональности с учетом поправочного коэффициента к процентному содержанию сфалерита в руде на данном горизонте. Коэффициент рассчитывался аналогично коэффициенту для пирита.

Значения  $K_3 = \frac{Cu \times As \times Zn}{Ti \times Ni^2}$  и  $K_3 = \frac{Cu \times As}{Ti \times Ni}$  для различных уровней пересечения рудного тела №1 по пириту.

$K_3$	Горизонт				Степень	Контрастность
	I	II	III	IV		
$\frac{Cu \times As \times Zn}{Ti \times Ni^2}$	12227	2145	427	1,69	$10^7$	7229
$\frac{Cu \times As}{Ti \times Ni}$	611	116	93	2,14	$10^6$	285

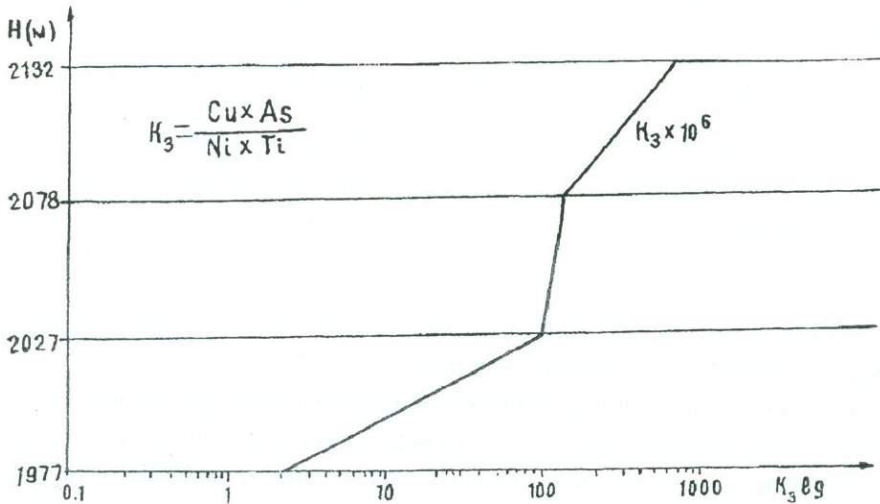
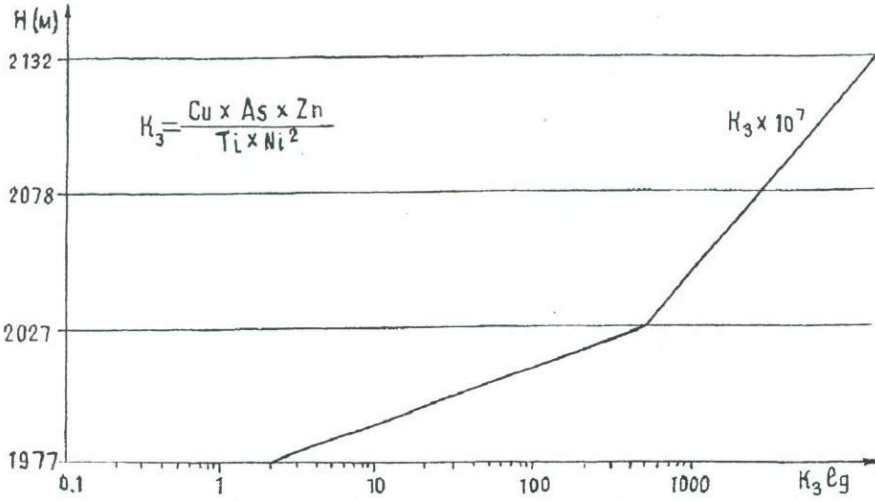


Рис. 2.38. Графики изменения  $K_3 = \frac{Cu \times As \times Zn}{Ti \times Ni^2}$  и  $K_3 = \frac{Cu \times As}{Ti \times Ni}$  на различных уровнях пересечения рудного тела №1 по анализам пирита.

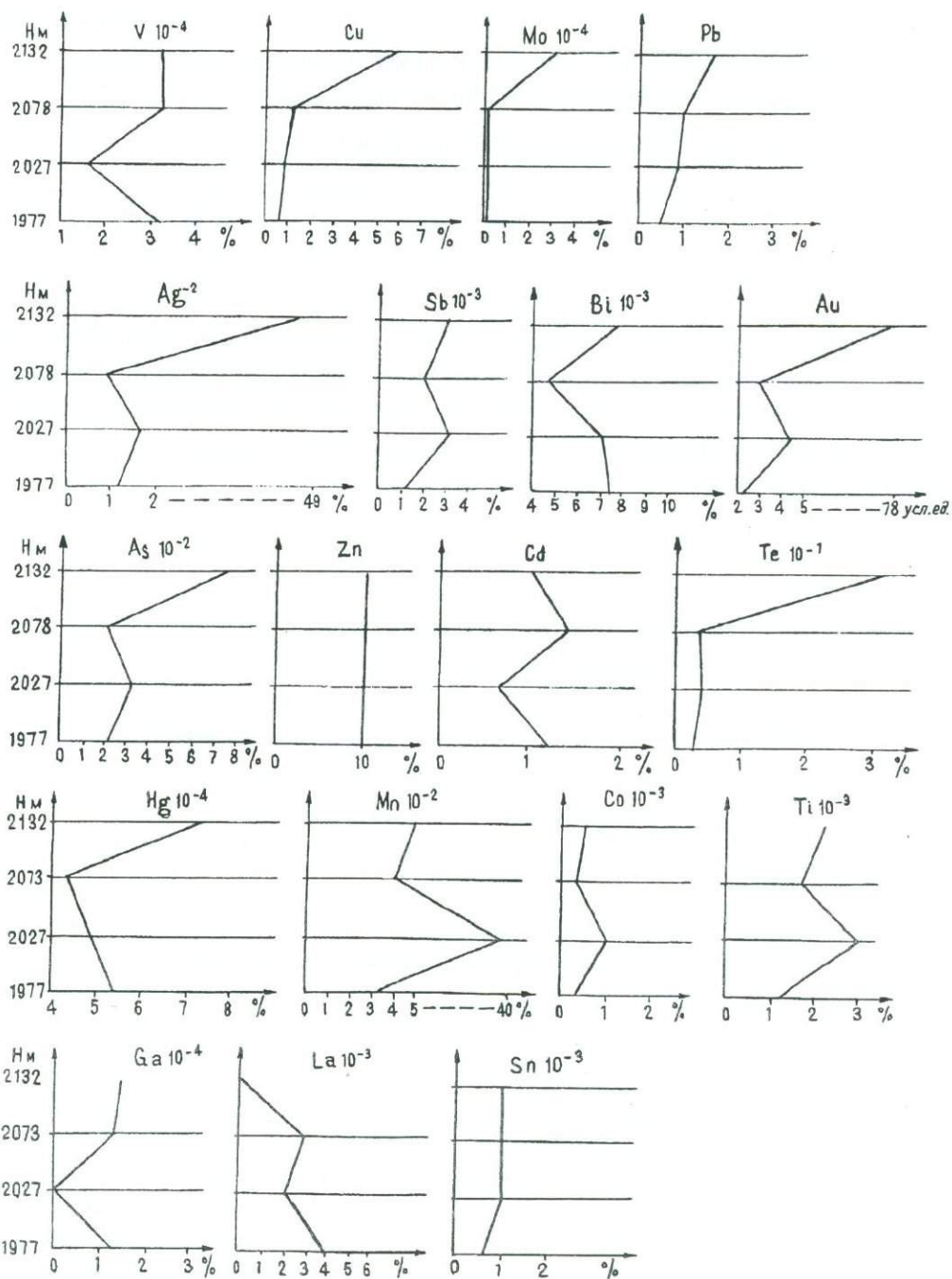


Рис. 2.39. Графики изменения содержания элементов-примесей в сфалерите.

Ряд зональности, отражающий сравнительное накопление элементов-примесей в сфалерите по вертикали представлен в следующем виде: золото-серебро-медь-теллур-мышьяк-молибден-галлий-свинец-олово-титан-сурьма-марганец-ванадий-кадмий-лантан-ртуть-кобальт-висмут.

Процентное содержание сфалерита в руде и значения поправочного коэффициента ( $K_n$ ) по горизонтам.

Горизонт	Содержание сфалерита в %	$K_n$
I	10	1,67
II	8	1,33
III	7	1,17
IV	6	1,0

Для количественной оценки уровня пересечения рудного тела, на основе ряда зональности выбраны мультипликативные отношения: серебро x теллур x медь/висмут<sup>2</sup> x лантан и серебро x медь/ висмут x лантан. Полученные значения  $K_3$  для различных уровней пересечения рудного тела показаны в табл. 2.19 и отражены на рис 2.40.

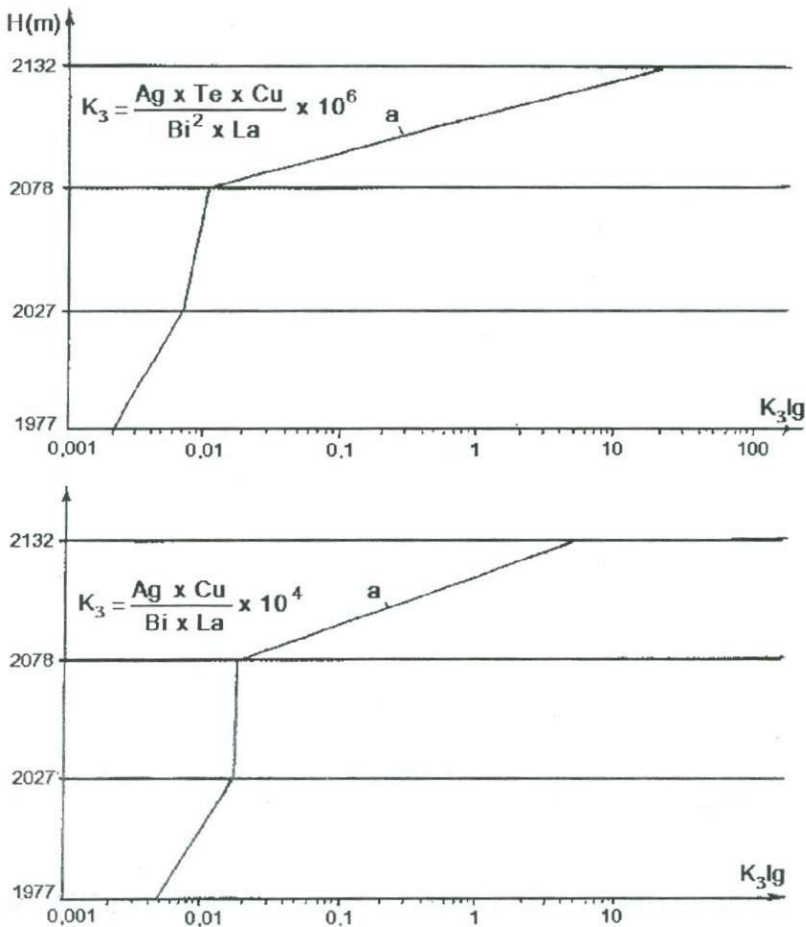


Рис. 2.40. Графики изменения значений  $K_3 = \frac{Ag \times Te \times Cu}{Bi^2 \times La}$  и  $K_3 = \frac{Ag \times Cu}{Bi \times La}$  на различных уровнях пересечения рудного тела №1 по анализам сфалерита.

Значение  $K_3 = \frac{AgxTexCu}{Bi^2 \times La}$  и  $K_3 = \frac{AgxCu}{BixLa}$  для различных уровней пересечения рудного тела №1 по сфалериту.

K <sub>3</sub>	Горизонт				Степень	Контрастность
	I	II	III	IV		
$\frac{AgxTexCu}{Bi^2 \times La}$	19,3	0,01	0,007	0,0021	10 <sup>6</sup>	9190
$\frac{AgxCu}{BixLa}$	4,72	0,04	0,036	0,0046	10 <sup>4</sup>	1026

Сопоставление полученных значений K<sub>3</sub>, рассчитанных по анализам рудных проб и мономинеральных фракций показывает, что наибольшей контрастностью коэффициента зональности характеризуются сфалерит (8 × 10<sup>3</sup>) и пирит (7,8 × 10<sup>3</sup>).

Высокая контрастность K<sub>3</sub> мономинеральных фракций относительно рудных проб хорошо видна на примере пирита. В табл. 2.20 приведены расчеты K<sub>3</sub> по пириту, задириковым, штучным пробам и концентрату с использованием в мультипликативном отношении тех же элементов. Как видно из таблицы контрастность коэффициента зональности по пириту на 1-2 порядка выше контрастности коэффициента зональности по рудным пробам.

Таблица 2.20

Контрастность K<sub>3</sub> пирита и рудных проб.

K <sub>3</sub>	Горизонт				Конт- раст- ность	Горизонт				Конт- раст- ность
	I	II	III	IV		I	II	III	IV	
	Пирит					Концентрат				
$\frac{CuxPbxZn}{TixNi^2}$	20027x10 <sup>7</sup>	2577x10 <sup>7</sup>	396x10 <sup>7</sup>	3,47x10 <sup>7</sup>	5771	438x10 <sup>11</sup>	66,7x10 <sup>11</sup>	64,4x10 <sup>11</sup>	4,66x10 <sup>11</sup>	94
$\frac{CuxPb}{Ni^3}$	4360x10 <sup>4</sup>	394x10 <sup>4</sup>	87,3x 10 <sup>4</sup>	2,7x10 <sup>4</sup>	1600	34,6x10 <sup>7</sup>	9,9x10 <sup>7</sup>	3,1x10 <sup>7</sup>	1,2x10 <sup>7</sup>	30
	Штучная проба					Задириковая проба				
$\frac{CuxPbxZn}{TixNi^2}$	349x10 <sup>12</sup>	381x10 <sup>12</sup>	57,8x10 <sup>12</sup>	1x10 <sup>12</sup>	349	90,9x10 <sup>4</sup>	5,85x10 <sup>4</sup>	2,2x10 <sup>4</sup>	0,66x10 <sup>4</sup>	138
$\frac{CuxPb}{Ni^2}$	28,5x10 <sup>7</sup>	29,7x10 <sup>7</sup>	15,9x10 <sup>7</sup>	1,2x10 <sup>7</sup>	25	6,24x10 <sup>3</sup>	0,4x10 <sup>3</sup>	0,2x10 <sup>3</sup>	0,12x10 <sup>3</sup>	52

Для увеличения контрастности коэффициента зональности оруденения, на основании коэффициента зональности мономинеральных фракций, рассчитан мультиминеральный коэффициент зональности:

$$K_{3M} = K_{3py} \times K_{3sf} \times K_{3gal} \cdot$$

Значения мультиминерального коэффициента зональности для различных уровней пересечения рудного тела №1 приведены в табл. 2.21 и показаны на рис. 2.41.

Значения мультипликативного коэффициента зональности для различных уровней пересечения рудного тела №1.

Горизонт	Мультиминеральный $K_3$	
	$K_{3_1} = \frac{Cu \times As \times Zn}{Tl \times Ni^2} \times \frac{Ag \times Te \times Cu}{LaxBi^2} \times \frac{Te \times As \times Hg}{Bi^3}$	$K_{3_2} = \frac{Cu \times Ag}{Tl \times Ni} \times \frac{Ag \times Cu}{LaxBi} \times \frac{Te \times As}{Bi^2}$
I	$2 \times 10^{16}$	$2.5 \times 10^{14}$
II	$7.7 \times 10^7$	$0.9 \times 10^9$
III	$0.1 \times 10^7$	$0.5 \times 10^9$
IV	$0.85 \times 10^5$	$0.17 \times 10^7$
Контрастность.	$4 \times 10^{11}$	$1.5 \times 10^8$

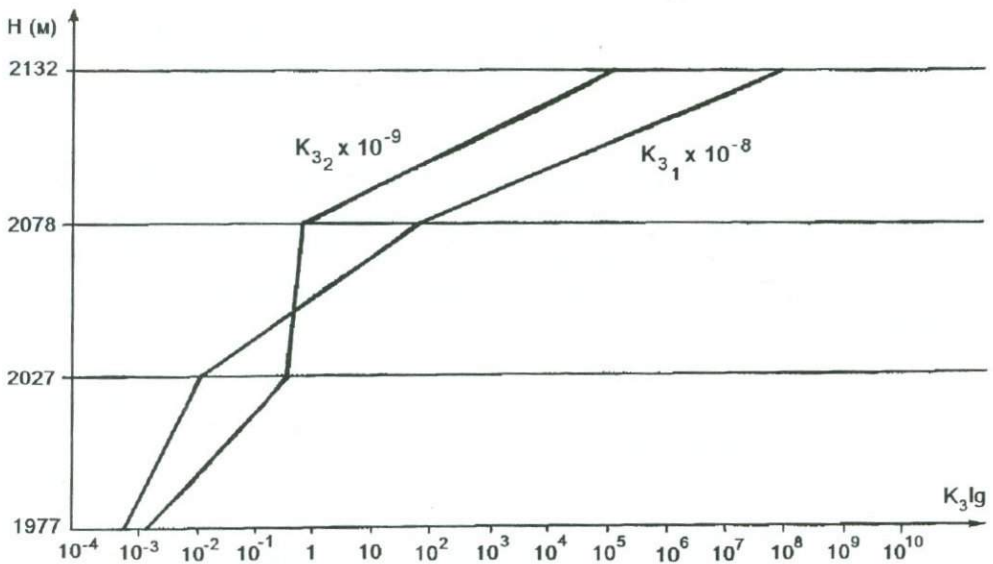


Рис. 2.41. График изменения мультиминерального  $K_3 = K_{3Py} \times K_{3Sf} \times K_{3gal}$  с глубиной.

Результаты проведенных на Меградзорском рудном поле геохимических исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

- Вещественный состав первичных геохимических ореолов Меградзорского месторождения соответствует вещественному составу рудных тел. Прямыми элементами-индикаторами золотого оруденения являются свинец, цинк, серебро, медь, висмут, мышьяк.

Впервые в качестве прямого элемента-индикатора золотого оруденения рассмотрен теллур [37]. В рядах зонального отложения элементов он стабильно занимает место в группе элементов, накапливающихся на верхних горизонтах оруденения. В едином ряду зональности он располагается между серебром и свинцом. На практике, использование теллура ограничивается аналитическими возможностями.

- В строении первичных геохимических ореолов устанавливается вертикальная зональность, выражающаяся следующим рядом, в котором слева-направо происходит смена надрудных элементов-подрудными: цинк-свинец-теллур-серебро-барий-ванадий-медь-олово-молибден-хром-кобальт-никель. Количественная оценка вертикальной зональности наиболее стабильно и контрастно определяется значениями мультипликативного отношения серебро  $\times$  цинк  $\times$  свинец / никель  $\times$  кобальт  $\times$  молибден, изменяющегося от надрудных сечений ореола к подрудным в пределах от 100 до 0,0001.
- При невозможности проведения геохимического опробования околорудного ореольного пространства и наличии только рудных проб, наиболее стабильное и контрастное изменение с глубиной показывают коэффициенты зональности, рассчитанные по данным анализа мономинералов концентрата тяжелых фракций. Однако, это не исключает возможности использования также данных анализов задиркового и штучного опробования.
- Установлено закономерное изменение с глубиной содержаний элементов-примесей в основных рудных минералах: пирите, галените, сфалерите. Анализ мономинеральных фракций позволяет значительно расширить круг элементов, участвующих в расчете коэффициента зональности за счет элементов не образующих контрастных ореолов, но присутствующих в качестве примесей в мономинералах.

К числу типоморфных элементов-примесей, характерных для мономинеральных фракций золоторудного оруденения относятся: теллур - типоморфный для галенита; теллур и лантан - типоморфные для сфалерита.

При расчетах ряда вертикальной зональности элементов-примесей в минералах, для упорядочивания местоположения элементов, необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий процентное содержание минерала в руде на данном горизонте.

- Рассчитанные ряды вертикальной зональности элементов-примесей в мономинеральных фракциях не идентичны друг другу и ряду вертикальной зональности эндогенного геохимического ореола, отличаясь местоположением в ряду отдельных элементов, но общая группировка элементов в левой и правой частях рядов, отражающая их относительное накопление на верхних или нижних горизонтах оруденения, сохраняется.
- Коэффициенты зональности золотого оруденения, представляющие собой мультипликативные отношения медь  $\times$  мышьяк  $\times$  цинк / титан  $\times$  никель<sup>2</sup> и серебро  $\times$  теллур  $\times$  медь / лантан  $\times$  висмут<sup>2</sup>, рассчитанные по данным анализа мономинеральных фракций соответственно пирита и сфалерита, превышают по контрастности коэффициенты зональности, рассчитанные по анализам рудных проб на один-два порядка.

### 2.8.5. Перспективы Меградзорского рудного поля.

Для оценки перспектив Меградзорского месторождения площадь рудного поля была охвачена геохимической съемкой масштаба 1:10000. Результаты проведенной съемки интерпретировались в совокупности с геохимическими данными предшествующих лет. Основной целью проведенных работ было:

- Выявление и установление особенностей сопровождающих рудные тела геохимических ореолов на поверхности.

- Выявление геохимических ореолов золотого оруденения и на основе полученных на эталонном разрезе значений разработанного коэффициента зональности, определение относительного уровня их эрозионного среза.

В результате проведенных геохимических исследований в пределах рудного поля на поверхности были выявлены геохимические ореолы следующего элементного состава: барий, мышьяк, сурьма, ртуть, серебро, свинец, цинк, медь, висмут, молибден, олово, бериллий, ванадий, вольфрам, никель, титан, кобальт, хром, марганец.

Как показал анализ их количественного распределения, основными ореолообразующими элементами фиксирующими рудоносные зоны на поверхности Меградзорского рудного поля являются свинец, цинк, серебро, медь, молибден, ванадий.

В то же время следует отметить, что такие элементы как мышьяк, сурьма, висмут, не образующие крупных ореолов, но присутствующие в значительных количествах в руде, при установлении в геохимических пробах могут служить прямым признаком оруденения.

Морфология ореолов характеризуется, в основном, вытянутыми линзообразными, ленточными, веретенообразными формами, предопределенными линейной ориентировкой рудоносных зон. Конформностью морфологии рудных тел и ореолов обусловлена также пространственная ориентировка последних, что важно учитывать при проведении поисков на флангах рудного поля. Так, если на Меградзорском месторождении рудные тела и сопутствующие им ореолы характеризуются близширотной и северо-восточной ориентировкой, то ореолы на флангах отличаются северо-западным простиранием, что позволяет судить об идентичности простирания рудных тел.

В результате проведенной геохимической съемки установлено, как указано выше, отсутствие ореолов вокруг рудных тел развитых в интрузивных породах. К их числу относится и разведанное "слепое" рудное тело. По разведочным данным оно находится на глубине двадцати метров от дневной поверхности. Однако, даже на этом маленьком расстоянии оно практически не фиксируется ореолами. Аналогичные тела при проведении площадных геохимических поисков традиционными методами могут быть пропущены.

Выявление и оконтуривание геохимических аномалий на рудном поле проводилось методом полей естественных геохимических ассоциаций, путем отображения их интенсивности величиной мультипликативного показателя, пред-

ставляющего собой произведение свинец  $\times$  цинк  $\times$  серебро. Выбранный показатель характеризуется большой контрастностью, интенсивностью и дискретностью, проявляющейся в делении ореолов высоких градаций по простиранию и в поперечном направлении на более мелкие полосы.

Учитывая кулисообразный характер оруденения в зонах и частое слияние аномалий приуроченных к близко расположенным рудным телам, для сепаратной оценки аномалии искусственно расчленились по интервалу наименьшей величины мультипликативного показателя.

Оценка относительного уровня эрозионного среза проводилась путем подсчета по каждой пробе в контуре комплексных аномалий свинец  $\times$  цинк  $\times$  серебро величины коэффициента зональности, равного мультипликативному отношению свинец  $\times$  цинк  $\times$  серебро/никель  $\times$  кобальт  $\times$  молибден. На основании проведенных методических исследований были приняты следующие значения коэффициента зональности для различных уровней вскрытия рудоносных зон: надрудный уровень - больше 100, верхнерудный - 100-10, среднерудный - 10-1, нижнерудный - 1-0,0001, корневой - меньше 0,0001.

Оценка перспективности выявленных аномалий значительно облегчилась возможностью сопоставления размеров и интенсивности аномалий, приуроченных к известным рудным телам с аномалиями, выявленными на неразведанных участках рудного поля.

Всего на рудном поле выявлено около пятидесяти аномалий (рис. 2.42).

Учитывая, что выявленные на флангах рудного поля геохимические аномалии значительно удалены от известных рудных тел, для их типоморфизации рассчитаны ряды поперечной зональности основных ореолообразующих элементов, сопоставление которых с рядами поперечной зональности аномалий фиксирующих известные золоторудные тела позволяет определить тип ассоциирующего с вновь выявленными аномалиями оруденения. Рассчитанные по аномалиям ряды поперечной зональности приведены в табл. 2.22.

Учитывая относительный уровень эрозионного среза, масштабность оруденения и типоморфный ряд элементов к наиболее перспективным аномалиям заслуживающим первоочередной проверки относятся аномалии приведенные в табл. 2.23.

Как следует из приведенной специализированной карты геохимических аномалий (Pb  $\times$  Zn  $\times$  Ag) Меградзорского рудного поля и вышеизложенного материала наиболее перспективным объектом для проведения детальных поисковых работ на золото является восточный фланг рудного поля.

Неоконтурные аномалии к северу от Меградзорского месторождения и ряд аномалий на участках, примыкающих к нему непосредственно с востока, где могут быть выявлены новые рудные тела, также представляют наибольший интерес.

В заключение необходимо отметить, что хотя в настоящее время наиболее перспективной для выявления новых участков с оруденением золота, представляется среднеэоценовая толща, выявление геохимических аномалий в

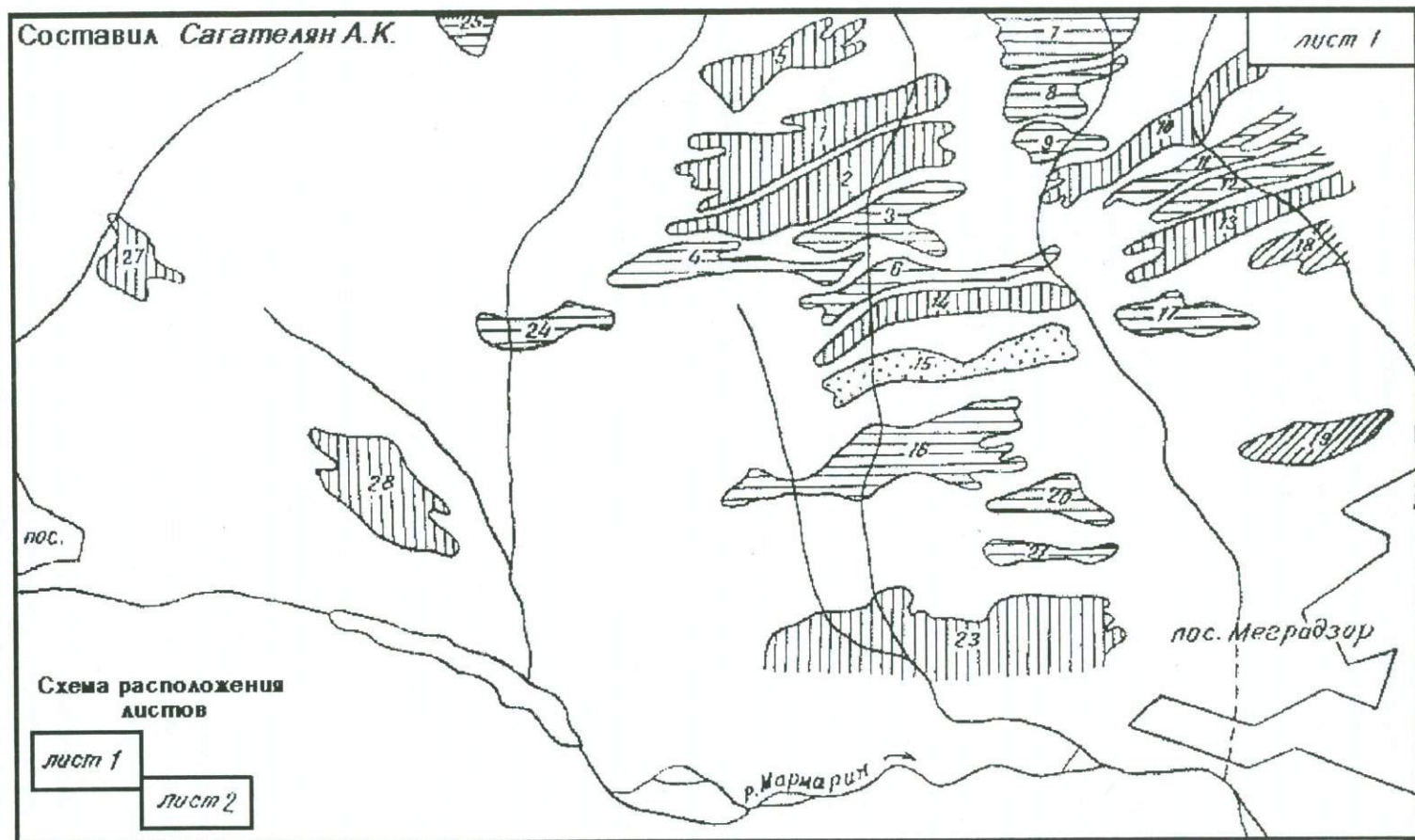


Рис. 2.42. Специализированная карта геохимических аномалий (Pb x Zn x Ag) Меградзорского рудного поля.



Ряды поперечной зональности аномалий Меградзорского рудного поля.

№ аномалий	Ряд поперечной зональности
1	серебро-молибден-свинец-цинк-медь-ванадий
2	цинк-серебро-молибден-ванадий-свинец-медь
3	серебро-цинк-свинец-медь-молибден-ванадий
4	серебро-цинк-медь-свинец-ванадий-молибден
5	серебро-цинк-свинец-медь-молибден-ванадий
6	цинк-серебро-молибден-медь-свинец-ванадий
7	цинк-ванадий-(свинец-медь-серебро)-молибден
8	цинк-ванадий-медь-свинец-серебро-молибден
9	цинк-(медь-молибден)-свинец-серебро-ванадий
10	цинк-свинец-молибден-ванадий-серебро-медь
11	ванадий-цинк-свинец-серебро-молибден-медь
12	цинк-свинец-ванадий-молибден-серебро-медь
13	медь-цинк-молибден-ванадий-серебро-свинец
14	цинк-молибден-серебро-ванадий-свинец-медь
15	серебро-свинец-цинк-молибден-медь-ванадий
16	серебро-цинк-медь-свинец-молибден-ванадий
17	цинк-свинец-молибден-серебро-ванадий-медь
18	цинк-ванадий-свинец-молибден-серебро-медь
19	серебро-ванадий-молибден-(цинк-свинец)-медь
20	цинк-серебро-молибден-ванадий-медь-свинец
21	цинк-медь-ванадий-серебро-молибден-свинец
22	серебро-свинец-цинк-молибден-медь-ванадий
23	серебро-свинец-молибден-медь-цинк-ванадий
24	медь-цинк-молибден-ванадий-серебро-свинец
25	молибден-свинец-цинк-серебро-ванадий-медь
26	цинк-свинец-медь-ванадий-серебро-молибден
27	свинец-медь-(серебро-цинк)-ванадий-молибден
28	серебро-цинк-медь-свинец-ванадий-молибден
29	цинк-молибден-свинец-серебро-ванадий-медь
30	молибден-свинец-цинк-медь-ванадий-серебро
31	цинк-серебро-свинец-медь-молибден-ванадий
32	цинк-свинец-молибден-серебро-медь-ванадий
33	серебро-цинк-ванадий-молибден-свинец-медь
34	свинец-(цинк-серебро)-молибден-ванадий-медь
35	цинк-серебро-свинец-медь-молибден-ванадий
36	свинец-цинк-серебро-ванадий-медь-молибден
37	цинк-молибден-ванадий-свинец-серебро-медь
38	молибден-серебро-цинк-медь-свинец-ванадий
39	цинк-ванадий-медь-свинец-серебро-молибден
40	цинк-ванадий-медь-молибден-серебро-свинец
41	цинк-медь-свинец-ванадий-серебро-молибден
42	цинк-молибден-медь-свинец-ванадий-серебро
43	цинк-медь-ванадий-свинец-серебро-молибден
44	цинк-ванадий-медь-свинец-молибден-серебро
45	цинк-свинец-серебро-молибден-медь
46	свинец-цинк-молибден-серебро-медь
47	цинк-свинец-молибден-серебро-медь
48	серебро-свинец-медь-молибден-цинк
49	серебро-медь-свинец-молибден-цинк

Относительный уровень эрозионного среза перспективных аномалий  
Меградзорского месторождения.

Порядковый номер аномалий	Значение $K_3$	Определяемый относительный уровень эрозионного среза
5	11	верхнерудный
22	5,8	среднерудный
23	14,6	верхнерудный
29	3,7	среднерудный
31	4,7	среднерудный
32	24,1	верхнерудный
33	5,7	среднерудный
34	157,7	надрудный
35	5	среднерудный
45	24,5	верхнерудный
48	13,1	верхнерудный

гранитоидах верхней юры - нижнего мела и метаморфической толще верхнего протерозоя-нижнего палеозоя, позволяет значительно расширить площади поисковых работ.

## ГИПЕРГЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ РУДОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

## 3.1. Ретроспективный обзор.

Трансформация первичных геохимических полей, описанных в предыдущей главе, происходящая под действием экзогенных процессов представляет собой второй этап формирования геогенных аномалий, имеющих не только сугубо геологическое значение, но и играющих первостепенную роль при формировании биогеохимических провинций. Гипергенные ассоциации рудогенных элементов, являясь асинхронными образованиями в отношении первичного субстрата, но, будучи парагенетически связаны с ним в качественном отношении, характеризуются общностью вещественного состава, определенные отклонения в котором обусловлены спецификой поведения элементов в зоне гипергенеза.

По особенностям миграции элементов в зоне гипергенеза существует значительное количество публикаций. Из них применительно к нашим исследованиям особо следует выделить работы А.И. Перельмана [56] по геохимии процессов гипергенеза, Б.Б. Польшова [57], впервые давшего понятие геохимического ландшафта, А.Г. Назарова [58] по геохимии ландшафтов высокогорных районов Центрального Кавказа.

Анализ и обобщение основного опубликованного материала даны С.В. Григоряном и В.И. Морозовым [59]. В силу этого, во избежание повторения, анализ публикаций нами не приводится.

Ретроспективный обзор литературы в данной области позволяет выделить три основных аспекта исследований.

1. Гипергенные аномалии - как индикаторы оруденения в практике геолого-поисковых работ на цветные, редкие и благородные металлы (локальный металлогенический прогноз).

2. Гипергенные аномалии - как основа для геохимической характеристики структурно-формационных металлогенических зон (региональный металлогенический прогноз).

3. Гипергенные аномалии - как критерии экологической оценки окружающей среды и основа для выделения биогеохимических провинций, районов и т.д.

Истоки первых двух аспектов исследований уходят к работам Н.И. Сафронова, А.П. Соловова и В.И. Красникова, впервые давших классификацию гипергенных ореолов и обосновавших понятия, которые в настоящее время являются общепринятыми.

Н.И. Сафронов классифицировал ореолы, подразделив их на механические, солевые и газовые. А.П. Соловов ввел понятие ореолов и потоков рассеяния.

Наиболее объемной можно считать классификацию В.И. Красникова [60], выделившего лито-, гидро-, атмо- и биогеохимические ореолы. Более дробная классификация была дана В.В. Поликарпочкиным [61].

Основополагающую роль в развитии методов количественной интерпретации вторичных ореолов и потоков рассеяния сыграли работы Ю.Е. Саета [62] и А.П. Соловова [63] по основам теории и практики металлометрических съемок, послужившие основой широкого и последовательного применения металлометрии почти во всех республиках бывшего Союза, в том числе и в Армении.

Впервые установленная и теоретически обоснованная А.П. Солововым зависимость между продуктивностью эрозионного среза коренного оруденения и его вторичного литохимического ореола рассеяния позволили по-новому оценить характер формирования геохимического поля и его локальных аномалий.

А предложенный С.В. Григоряном коэффициент соответствия ( $K_c$ ), представляющий собой отношение среднеаномальных содержаний элементов во вторичном и первичном ореолах, позволил с достаточной определенностью судить о степени соответствия первичных и вторичных литохимических ореолов. Разработанные математические модели (модель Соловова-Шварова и др.) литохимических потоков рассеяния явились основой количественной интерпретации результатов региональных литохимических съемок по потокам рассеяния при решении прогнозно-металлогенических задач на Русской плите [64], в республиках Средней Азии [65, 66] и в других регионах. Результаты, полученные вышеуказанными авторами не оставляют сомнения в том, что исследования гипергенных литохимических ореолов позволяют по-новому подойти к характеристике структурно-формационных металлогенических зон, оценивая их на уровне особенностей не только первичных, но и вторичных геохимических полей, имеющих важное значение как в целях металлогенического прогноза, так и экспертной экологической оценки урбанизированных территорий, что рассмотрено нами на примере Армении [67-70].

### **3.2. Особенности гипергенного процесса.**

На территории Армении направленность процессов рассеяния или аккумуляции гипергенного материала и тип миграции элементов предопределяются спецификой геологических (литолого-петрографических) рельефно-морфогенетических и ландшафтных особенностей, подробно рассмотренных П. Капланяном, составившим первую ландшафтно-геохимическую карту Армении.

Среди указанных факторов решающим, на наш взгляд, является рельефно-морфогенетический. Достаточно отметить, что среди разнообразных форм рельефа подавляющими для преобладающей части территории Армении являются резко расчлененные эрозионные формы, среди которых выделяются:

- 1) высокие горы интенсивно расчлененные (свыше 2800 м),
- 2) средние горы глубокого расчленения (с 1400 м до 2800 м),
- 3) низкие горы густо расчлененные (ниже 1400 м),
- 4) плато,
- 5) плоскогорья.

Более поздний наложенный вулканический рельеф лишь перекрывает значительные рудоносные площади, делая их труднодоступными для геохимических исследований. Однако он существенно не влияет на резко расчлененные эрозионные формы, а в ряде случаев и усложняет их, способствуя интенсивности протекающих денудационных процессов. Более того, резко расчлененный рельеф и вертикальная поясность, обуславливающая естественное сопряжение различных геохимических ландшафтов при ведущей роли водного стока, предопределяют определенную общность эпигенетических процессов, несмотря на разнообразие геохимических типов ландшафтов.

Преобладающей формой миграции является физическая или механическая, при подчиненной роли химической или солевой.

Среди эпигенетических процессов в водной среде преобладают процессы слабо-окислительного ряда, преимущественно протекающие в переходной кислотно-нейтральной карбонатной среде. Сернокислый эпигенез развит на участках месторождений с сульфидными рудами. Интенсивно окислительный или кислородный - в районах развития марганцевого оруденения.

За редким исключением (Техутское рудное поле) для рудных месторождений Армении характерно отсутствие ярко выраженных зон окисления и вторичного сульфидного обогащения, столь специфичных для Уральских медно-колчеданных месторождений С.С. Смирнов [71]. Объективности ради следует отметить, что это отнюдь не означает отсутствие минералов зон окисления на тех или иных месторождениях. В частности, еще в 60-ых годах минералы зон окисления медно-молибденовых месторождений были детально изучены Н.А. Акопян [72], однако как показали результаты исследований, несмотря на разнообразие минерального состава, последние в количественном отношении сколь-либо существенного значения в балансе рудных запасов не играют в силу маломощности, либо спорадического развития или полного отсутствия самой зоны окисления.

В силу вышеизложенного, классическая схема описания процессов гипергенеза в пределах рудных полей и месторождений, обычно начинающаяся с описания зоны окисления и вторичного обогащения сульфидных месторождений в региональном плане, в данном случае непригодна, тем более, что даже на Техутском месторождении классическая схема окислительных процессов отсутствует: здесь нет зоны вторичного сульфидного обогащения. Гипергенные ассоциации рудогенных элементов на территории Армении характерны для вторичных ореолов и потоков рассеяния, формирующих вторичные геохимические поля в пределах отдельных месторождений, рудных полей и металлогенических зон.

### 3.3. Вторичные литохимические ореолы.

Первые исследования гипергенных ореолов рассеяния на территории Армении принадлежат Э.М. Баранову [51], изучившему на медно-колчеданных месторождениях Закавказья не только литохимические, но и биогеохимические ассоциации элементов.

Согласно указанному автору вторичные ореолы в современных элювиально-делювиальных отложениях и почвах развиваются непосредственно над эрозированными колчеданными рудными телами и первичными ореолами, смещаясь относительно последних на первые десятки метров. В условиях крутых склонов и значительной мощности покрова рыхлых отложений (20-30 см) вторичные ореолы в ряде случаев смещаются вниз по склону от 50 до 150 м. При малой мощности почв и рыхлых отложений, экзогенные ореолы в почвах четко оконтуривают не только выход рудного тела на эрозионную поверхность, но и всю площадь первичного ореола, в несколько раз ее превышая. На территории Армении им были изучены вторичные ореолы рассеяния на некоторых участках медно-колчеданного месторождения Шамлуг и Карнутском месторождении. Ниже по данным Э.М. Баранова приводятся основные сведения по Карнутскому месторождению.

Участок месторождения характеризуется сильно пересеченным холмистым рельефом с пологими вершинами и разделяющими их неглубокими долинами.

Почвенный покров основной площади представлен горно-лесными бурями почвами, переходящими к горно-луговым. Для верхних частей склонов характерны горно-луговые почвы. В ландшафтно-геохимическом отношении площадь месторождения относится к трансэлювиальному ландшафту. В геологическом строении месторождения принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы средне-верхне-юрского возраста. Наиболее древними породами в разрезе месторождения, являются вскрытые скважиной вулканогенно-осадочные породы.

Рудовмещающими являются окварцованные, серицитизированные и хлоритизированные порфириды, перекрытые толщей туфобрекчий, туфоконгломератов и туффитов. Рудоносная толща характеризуется наличием нескольких рудных подзон с маломощными жилами и прожилково-вкрапленным медно-колчеданным оруденением. Экзогенные ореолы Карнутского месторождения изучались Э.М. Барановым по шести профилям в северо-западном направлении вкрест простирания рудных подзон. Расстояние между профилями 35-150 м, шаг опробования над выходами рудоносной толщи - 20 м, за ее пределами - 40-80 м. В результате полевых работ почвенно-геохимическими исследованиями была охвачена полоса 500 м x 1300 м, вытянутая вкрест простирания рудных подзон. Это позволило наряду с собственным участком месторождения изучить распределение элементов в почвах и рыхлых отложениях на 550 м к северо-востоку от выходов рудоносной толщи и на 500 м к юго-востоку от нее.

Элементы, определенные методом приближенно-количественного спектрального анализа подразделены на две группы. Первая - Cu, Zn, Pb, Mo, повышенные содержания которых в почвах приурочены к участку выхода на эрозионную поверхность рудоносной толщи порфириров. Вторая - Cr, V, Ni, Co, содержание которых примерно одинаково как над рудоносной толщей, так и над перекрывающими ее породами. Основные элементы-индикаторы Cu, Zn, Pb, Mo выявляют отмеченные интенсивные ореолы над выходом рудоносной толщи на эрозионную поверхность. Основные параметры концентраций элементов (фоновых и аномальных) Карнутского месторождения приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1  
Средние фоновые и ореольные содержания меди, цинка, свинца и молибдена их отношения и контрастность аномалий в коренных породах, почвах Карнутского месторождения (автор Э.М. Баранов).

Типы природных образований	Средние фоновые содержания, $\times 10^{-4}$				Отношения фоновых содержаний				Средние ореольные содержания весов. %			
	Cu	Zn	Pb	Mo	Cu	Zn	Pb	Mo	Zn/Cu	Pb/Cu	Mo/Cu	Pb/Zn
Горизонт А	47	63	7	0,59	1,4	0,10	0,009	0,10	0,015	0,009	0,015	0,0004
Горизонт В	670	65	7,5	0,57	0,97	0,12	0,009	0,11	0,03	0,01	0,023	0,0004
Горизонт С	37	57	6	0,59	1,0	0,10	0,01	0,10	0,02	0,007	0,0037	0,0084
Коренные породы (фон – андезиты, аномалия – минерализованные порфириды)	67	76	46	1	1,1	0,7	0,01	0,06	0,173	0,115	0,038	0,0007

**Примечание:** Контрастность экзогенных ореолов в почвах определялась по средним ореольным содержаниям (в числителе) и по минимальным аномальным содержаниям, установленным с 1% уровнем значимости (в знаменателе). Контрастность эндогенных ореолов определялась по отношению к фоновому содержанию в порфиридах.

Вторичные литохимические ореолы на территории Армении хорошо проявлены в автохтонных образованиях, включающих современные элювиально-делювиальные осадки, остаточные коры выветривания, продукты местного переотложения, зоны окисления и почвы развитые по перечисленным отложениям. Характерной особенностью автохтонных отложений и ореолов остаточного рассеяния является их асинхронность в отношении времени формирования первичного субстрата и непосредственная минералого-петрографическая связь с рудными образованиями. Именно благодаря этому вторичные литохимические ореолы наследуют основные свойства геохимических аномалий в коренных породах: морфологию, элементный состав, пространственную приуроченность и т.д. Особен-

ности формирования вторичных ореолов находятся в тесной связи как с ландшафтно-геохимическими особенностями территории, так и рядом специфических особенностей среды их формирования. Поскольку первоосновой для суждения о направленности гипергенных процессов являются данные о концентрации элементов в первичном субстрате, ниже в табл. 3.2 приведены значения минимально-аномальных содержаний химических элементов, рассчитанные нами для ряда месторождений, расположенных в различных структурно-металлогенических зонах: Анкадзорского молибденово-медного, Арманисского золото-полиметаллического, Анкаванского, Техутского медно-молибденового, Мецдзорского оловорудного, Тухманукского, Меградзорского золото-редкометалльных, Какавасарского, Круглая Шишка свинцово-цинковых.

Таблица 3.2

Минимально-аномальные содержания химических элементов (с вероятностью 84,13%) вмещающих пород некоторых рудных месторождений Армении.

Месторождение	Тип оруденения	Вмещающие породы, возраст	Содержания химических элементов, %								
			Cu·10 <sup>-3</sup>	Zn·10 <sup>-3</sup>	Pb·10 <sup>-3</sup>	Ag·10 <sup>-5</sup>	Mo·10 <sup>-4</sup>	Co·10 <sup>-3</sup>	Ni·10 <sup>-3</sup>	Sn·10 <sup>-4</sup>	
Анкаванское	Медно-молибденовый	Интрузивные породы среднего эоцена	8,2	35,6	19,9	6,5	3	2,4			
Техутское		Интрузивные породы верхняя юра – нижний мел	6	8	3,5	1	3	3	7	0,5	
Анкадзорское				5	8	4,5	2	3	0,5	9	3
Какавасарское	Свинцово-цинковый	Вулканогенно-осадочные породы среднего эоцена		18	45	13	7,4	6,9	3,2		
Круглая Шишка				10	39	10,5	7,3	3	4	5,6	6,3
Мецдзорское	Оловорудный			8	17	15	1,5	4	1,6		20
Арманисское	Золото-полиметаллический			13	32	7	1,7	1	3,4	3,6	3,5
Меградзорское	Золото-редкометалльный		Магматогенные образования среднего эоцена	10	14	3,7	0,6	9	1,7	2,2	0,5
Тухманукское		Вулканиды средней юры	7,7	10	2,7	0,5	1,6	3,5	4,5	2,6	
Среднее			9,5	223,2	8,9	3,2	3,8	2,6	5,3	5,2	

В табл. 3.3. приведены среднеаномальные (среднеарифметические по аномальным пробам) содержания ряда химических элементов в рудовмещающих породах некоторых рудных месторождений республики. Как следует из приведенных в табл. 3.3. данных содержания этих элементов намного превышают их кларковые концентрации.

Таблица 3.3

Среднеаномальные содержания химических элементов в рудовмещающих породах некоторых месторождений Армении

Месторождение	Вмещающие породы, возраст	Содержание элементов, % $\times 10^{-3}$					
		Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Co
Привольненское	Вулканогенно-осадочные образования среднего эоцена	16	180	230	0,1	0,3	2
Шамлугское	Вулканыты средней юры	7	1	3	$1 \cdot 10^{-2}$	0,7	0,7
Техутское	Интрузивные породы, верхняя юра - нижний мел	100	10	6	$5 \cdot 10^{-2}$	10	2
Кларк элементов по А.П. Виноградову		4,7	8,3	1,6	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,11	1,8

Ниже рассмотрены примеры различных по среде формирования, вторичных ореолов, характерных для рудных месторождений Армении.

В качестве примера аномалий, сформированных за счет обнаженных на поверхности рудных тел и их первичных ореолов может служить исследованная нами геохимическая аномалия центрального участка Арманисского золото-полиметаллического месторождения (рис. 2.30). Здесь вокруг небольших по мощности кулисообразно расположенных золото-полиметаллических рудных тел, залегающих в гидротермально измененных вулканогенных образованиях среднеэоценового возраста, развита значительная по размерам геохимическая аномалия, площадь которой превышает 240000 м<sup>2</sup>. Выявление геохимических аномалий на месторождении проводилось методом естественных геохимических ассоциаций путем отображения их интенсивности величиной показателя, представляющего собой произведение  $Pb \times Zn \times Ag$ . Выбранный показатель характеризуется большой контрастностью, интенсивностью и дискретностью, проявляющейся в делении ореолов высоких градаций по простиранию и в поперечном направлении на более мелкие полосы.

Оценка относительного уровня эрозионного среза рассчитана по величине коэффициента зональности, равного мультипликативному отношению среднеаномальных содержаний  $\frac{Pb \times Zn \times Ag}{Ni \times Co \times Mn}$ . Указанная аномалия рассмотрена в главе 2.

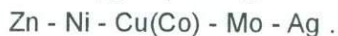
Здесь же считаем нужным отметить, что рудоносные зоны, к которым приурочены выявленные аномалии, вскрыты горными выработками и по величине Кз могут быть отнесены к верхнему и среднерудному уровню эрозионного среза. Для представления характера вторичных ореолов, развитых по вышеотмеченным первичным аномалиям, рассмотрим рассчитанные нами коэффициенты соответствия первичных и вторичных ореолов, предложенные С.В. Григоряном в качестве критерия для оценки степени сродства вторичных ореолов с первичными, представленные в табл. 3.4.

Коэффициенты соответствия элементов первичных и вторичных ореолов Арманинского, Тухманукского и Техутского месторождений.

Место-рождение	Тип орудене-ния	Вмещающие породы, возраст	Коэффициент соответствия элементов							
			Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Co	Ni	Sn
Арманис-ское	Золото-полиметаллическое	Вулканогенные образования среднего эоцена	0,71	0,38	1,9	0,88	0,73	0,71	0,46	-
Тухма-нукское	Золото-редкометальное	Вулканиды сред-ней юры	1,4	0,65	1,38	0,5	0,58	1,64	1,29	1,28
Техутское	Медно-молибдено-вое	Кварцевые диориты нижнего мела	0,33	0,2	1,2	0,3	0,86	0,25	0,6	0,8

Как следует из данных, приведенных в табл. 3.4 вторичные ореолы Арманинского месторождения, развитые по первичным геохимическим аномалиям центрального участка, характеризуются существенным перераспределением концентраций ореолослагающих элементов в условиях преимущественного выноса элементов. При этом, при формировании вторичных ореолов наибольшая миграционная активность характерна для цинка и никеля. Коэффициенты соответствия этих элементов в первичном и вторичном ореолах соответственно равны 0,38 и 0,46. Сравнительно низкая миграционная активность характерна для серебра (Кс-0,88). Сравнительно низкой и примерно равной миграционной активностью характеризуются медь (Кс-0,71), кобальт (Кс-0,71) и молибден (Кс-0,73).

При общей тенденции основной части ореолообразующих элементов, к выносу обращает на себя внимание существенное накопление свинца (Кс-1,9). Общий ряд гипергенной подвижности ореолообразующих элементов по степени их убывания представляется в следующем виде:



Как следует из сопоставления данных, приведенных в табл. 3.4 поведение ореолообразующих элементов в зоне гипергенеза отдельно взятых месторождений крайне специфично.

Обращает на себя внимание общая тенденция выноса ореолообразующих элементов, характерная как для Арманинского золото-полиметаллического, так и для Техутского медно-молибденового месторождения. Причем, как это следует из данных табл. 3.5 на Техутском месторождении вынос носил более интенсивный характер. Указанные месторождения разнятся не только по вещественному составу руд, но и по составу вмещающих пород. На Арманиском месторождении рудовмещающими являются вулканогенные образования среднего эоцена, а на Техутском - кварцевые диориты нижнемелового возраста. При этом, как в первом, так и втором месторождениях единственным элементом, выявившим четкую тенденцию к накоплению, является свинец.

Ряды гипергенной подвижности ореолообразующих элементов Арманинского, Техутского и Тухманукского месторождений.

Месторождение	Ряды гипергенной подвижности ореолообразующих элементов
Арманиское	Zn-Ni-Cu, Co-Mo-Ag
Техутское	Zn-Co-Cu-Ag-Ni-Sn-Mo
Тухманукское	Ag-Mo-Zn-Co-Cu-Pb-Ni-Sn

На Тухманукском золото-редкометальном месторождении четко выделяются две группы элементов. Первая группа элементов с довольно близкой миграционной активностью представлена: Ag (Кс - 0,5) - Mo (Кс - 0,58) - Zn (Кс - 0,65). Вторая более обширная группа выявляет четкую тенденцию к накоплению: Co (Кс - 1,64) - Cu (Кс - 1,4) - Pb (Кс - 1,38) - Ni (Кс - 1,29) - Sn (Кс - 1,28).

Как следует из данных таблицы 3.5 в рядах гипергенной подвижности элементов Арманинского и Техутского месторождений наибольшую активность выявляет цинк; ряд завершают серебро и молибден. На Тухманукском месторождении, несмотря на ограниченный ряд подвижности элементов, он завершается цинком и начинается серебром. Обращает на себя внимание факт, что в районах месторождений с широкими ореолами вкрапленности сульфидов во вмещающих породах (Арманиское, Техутское рудные поля) преобладают процессы выноса элементов, обусловленные интенсивным действием сернокислых растворов, а район малосульфидного Тухманукского месторождения характеризуется тенденцией накопления.

В качестве примера аномалий, установленных по вторичным ореолам в автохтонных образованиях, развитых по различным типам пород могут служить аномалии, выявленные нами на участке Агавнадзор Меградзорского золото-редкометального рудного поля (рис. 3.1). Характеристика выявленных аномалий приведена в табл. 3.6.

Как следует из данных таблицы комплекс ореолообразующих элементов представлен цинком, медью, серебром, молибденом и ванадием. В качестве мультипликативного показателя здесь также выбран показатель, представляющий произведение  $Pb \times Zn \times Ag$ , опробованный нами на Арманиском месторождении. К числу перспективных аномалий, как это следует из рис. 3.1 и табл. 3.6 относятся аномалии №№30, 31, развитые в автохтонах, перекрывающих измененные олигоценовые монзониты и аномалия №32, развитая в автохтонах, перекрывающих андезитовые туфы и порфириды среднеэоценового возраста, являющиеся рудовмещающими.

В экологическом аспекте особый интерес представляют вторичные ореолы рассеяния в почвах. Как правило, почвы наследуют аномальные содержания элементов в горных породах почвообразующего субстрата. В табл. 3.7 по нашим

данным и данным других исследователей приведены содержания химических элементов в почвах рудных полей Армении. Расчет аддитивного показателя загрязнения почв указанных районов, согласно нормативам Минздрава, действовавшим в бывшем Союзе, приведен в табл. 3.8.

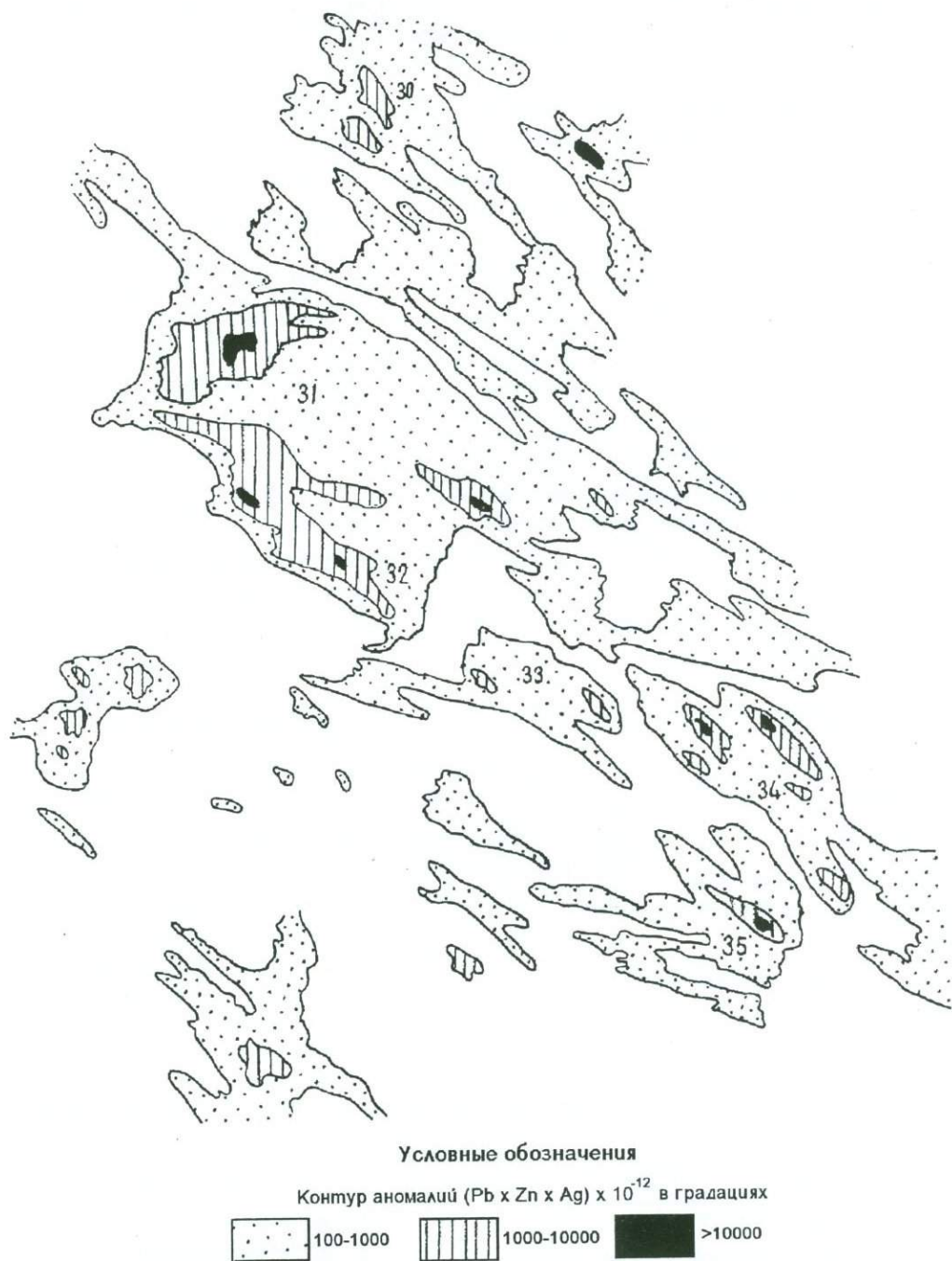


Рис. 3.1. Геохимические аномалии (Pb x Zn x Ag) Агванадзорского участка Меградзорского месторождения.

Таблица 3.6

Характеристика аномалий по вторичным ореолам рассеяния на участке Агавнадзор Меградзорского рудного поля.

NN аномалий	Тип контрастности	Вмещающие породы	Параметры	Ореолообразующие элементы в %					
				Pb	Zn	Cu	Ag	Mo	V
30	Слабоинтенсивная до второй градации	Автохтоны, покрывающие олигоценые монзониты	Линзообразная, простираение СЗ, размеры 450x200м	0,009	0,02	0,1	$4 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,02
31	Интенсивная		Изометричная, близширотное простираение, размеры 450x250 м	0,005	0,05	0,01	$1 \cdot 10^{-5}$	0,001	0,003
32		Линзообразная, простираение СЗ, размеры 300x250м	0,005	0,03	0,018	$6 \cdot 10^{-6}$	0,0001	0,2	
33		Автохтоны, перекрывающие контакт монзонитов с андезитовыми порфиридами	Изометричная, размеры 350x150м простираение СЗ	0,004	0,02	0,005	$1 \cdot 10^{-5}$	0,00009	0,03
34	Слабо интенсивная	Автохтоны, перекрывающие контакт монзонитов с андезитовыми порфиридами	Линзообразная, простираение СЗ, размеры 600x170м	0,01	0,02	0,005	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0002	0,02
35			Линзообразная, размеры 600x170м	0,01	0,02	0,005	$1 \cdot 10^{-5}$	0,0002	0,02

Таблица 3.7

Содержание химических элементов в почвах рудных полей Армении.

Месторождение	Тип почвы	Содержание элемента в %					Автор
		Cu	Pb	Zn	Mo	Ag	
Меградзор	Каштановые горно-луговые	0,009	0,005	0,01	0,0001	0,00002	А.К. Сагателян
Техут		0,04	0,004	0,003	0,01	0,00004	
Арманис		0,01	0,023	0,05	0,002	-	
Каджаран		0,12			0,013		Д.А. Малюга
Кафан		0,0008	0,002	0,004	0,0017	0,0045	С.В. Григорян, В.И. Морозов
Анкаван	Бурые горно-луговые	0,012	-	-	0,0021	-	В.В. Ковальский

Таблица 3.8

Аддитивный показатель загрязнения почв некоторых рудных полей Армении.

Месторождение	Тип почвы	Аддитивный показатель	Класс опасности
Меградзор	горно-луговые каштановые	12	допустимый
Арманис		28	умеренно-опасный
Техут		108	опасный
Каджаран		143	чрезвычайно опасный
Кафан		160	

### 3.4. Потоки рассеяния.

Широкое развитие на территории Армении литохимических полей, в которых наряду с первичными геохимическими полями и вторичными ореолами рассеяния превалирующую роль играют потоки рассеяния, обусловили наличие обширных районов, характеризующихся аномальными содержаниями определенного круга элементов.

Следует отметить, что потоки рассеяния, представляя собой, как и вторичные ореолы, асинхронные образования в отношении первичного субстрата, существенно разнятся от моногенных вторичных ореолов по своей информативности или генетическому коду.

В подавляющем большинстве случаев они не выявляют пространственной сопряженности с конкретными рудными телами. По своей сути они полихронны и гетерогенны. В своем составе они отражают весь набор рудогенных элементов, отдельные ассоциации которого являются производными разновозрастных и разнотипных магматогенно-рудных систем, развитых в данном районе, а в совокупности и металлогенической зоны. С этих позиций их информативность выше информативности вторичных ореолов рассеяния, что дает возможность использовать их как при оценке структурно-формационных металлогенических зон на уровне особенностей формирования вторичных геохимических полей, так и при экспертной экологической оценке территории.

Неоднородность строения литохимических полей дает возможность использовать их в качестве основы для суждения о первичной геохимической обстановке и последующей ее трансформации в ходе процессов гипергенеза и техногенеза.

В качестве информативной матрицы, дающей наиболее полную характеристику первичной геохимической обстановки, нами выбраны аллювиально-делювиальные образования, в своем составе отражающие типоморфные компоненты и их содержания, присущие данной биогеохимической провинции [73, 74].

В работе интерпретированы результаты анализов более 300000 проб, отобранных в разные годы при проведении геологопоисковых работ подразделениями ПО "Армгеология".

Для характеристики распространенности элемента нами, наряду с его средним содержанием, учитывалась площадь его аномальных значений, путем подсчета площадной продуктивности, выражаемой в % км<sup>2</sup>.

Результаты расчетов нашли свое отражение в 13 составленных нами моноэлементных специализированных картах территории республики М 1:200000. Из них в работе представлены карты наиболее широко распространенных типоморфных элементов: медь, молибден, цинк, свинец, а также специализированная геохимическая карта содержания олова на территории Армении (рис. 3.2-3.6).

Устанавливается зависимость пространственного размещения доминирующих элементов ассоциаций от морфоструктурных особенностей магматических образований рудных полей. Поле медно-молибденовой ассоциации очерчи-

вает контуры Мегринского плутона, а расположение выделяющихся внутри него гипергенных аномалий подчиняется контролю Дебаклинским разломом, вдоль которого устанавливается цепочка вышеуказанных аномалий. Геохимические поля Привольненского района, где преобладающей ассоциацией является свинцово-цинковая, характеризуется кольцевым расположением аномалий, вытянутых в северо-западном направлении, что обусловлено вулcano-тектонической кольцевой структурой района.

На территории Армении В.В. Ковальским [75] описаны ставшие хрестоматийными биогеохимические провинции: обогащенная молибденом - Анкаванская, медью и молибденом - Каджаранская, свинцом - Ахтальская.

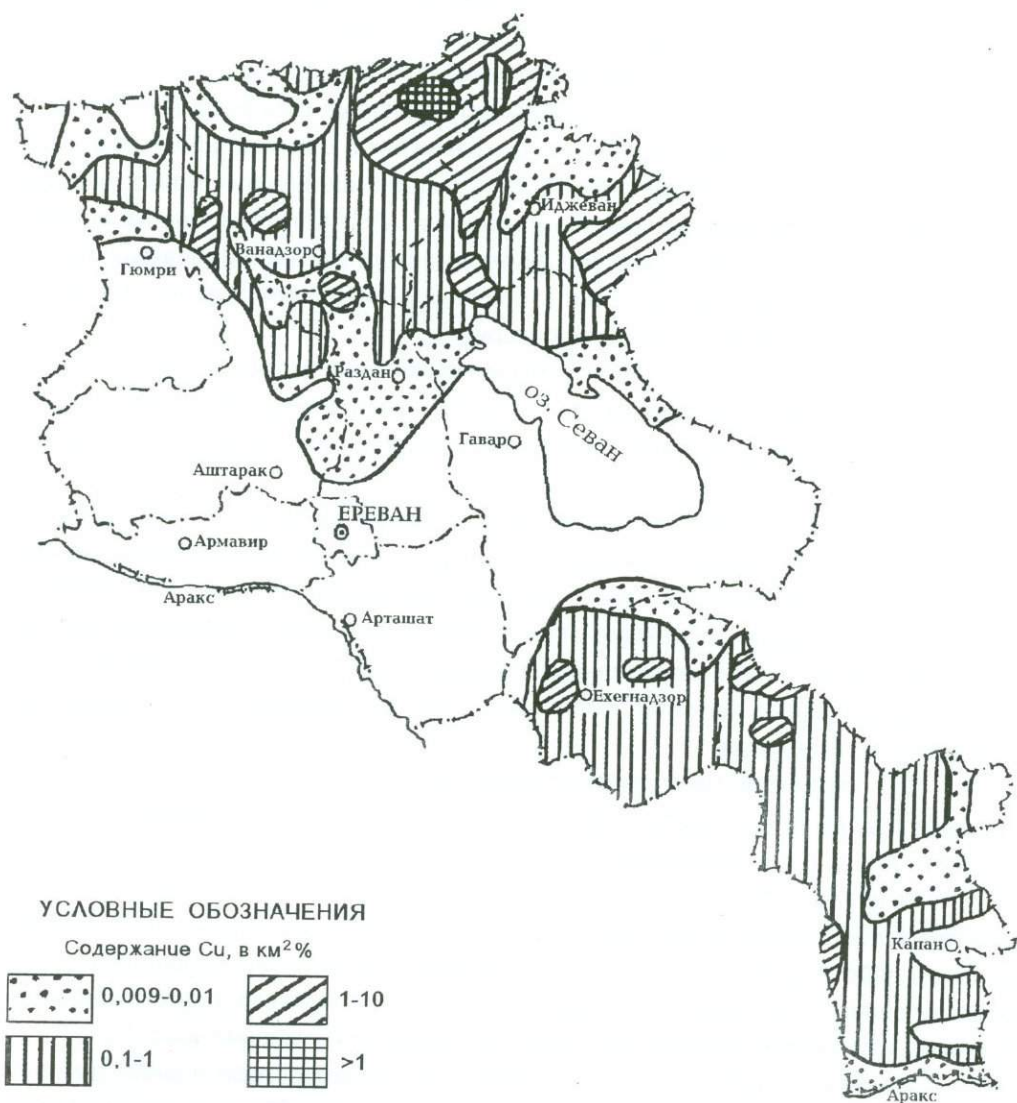


Рис. 3.2. Специализированная геохимическая карта содержания меди на территории Армении.

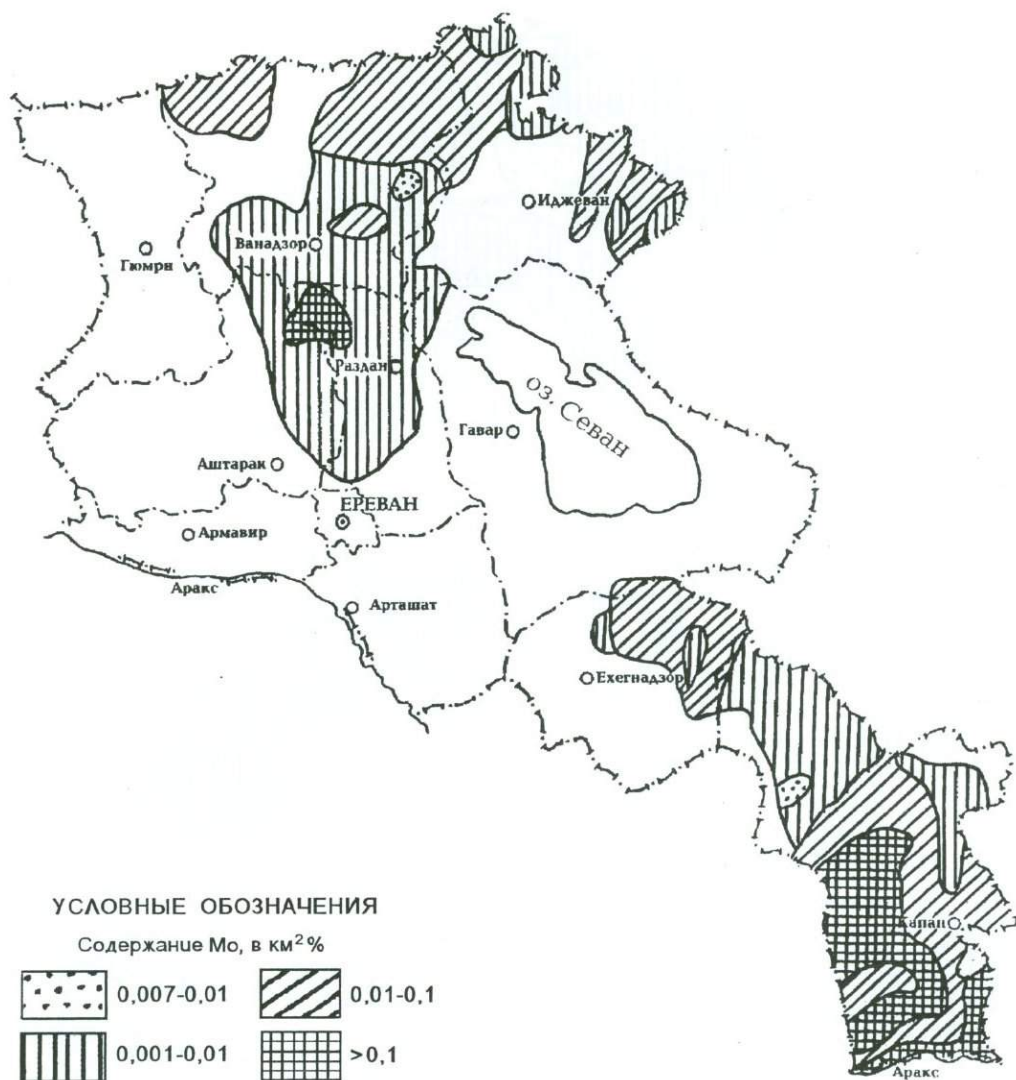


Рис. 3.3. Специализированная геохимическая карта содержания молибдена на территории Армении.

Ниже в табл. 3.9 приведены ранжированные по фоновым содержаниям ряды элементов по отдельным рудным районам, входящим в ту или иную структурно-металлогеническую зону.

Анализ ранжированных рядов естественных ассоциаций химических элементов, характерных для отдельных структурно-металлогенических зон позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Типоморфными для большинства районов Армении являются молибден, медь, свинец, цинк, олово, меньше - серебро, мышьяк, марганец и т.д.



Рис. 3.4. Специализированная геохимическая карта содержания цинка на территории Армении.

2. Состав рядов естественных ассоциаций элементов и некоторое их варьирование соответствует основным элементам типоморфных парагенезисов руд, характерных для отдельных районов и в целом для структурно-металлогенических зон.

Так, в Туманянском и Кафанском рудных районах Сомхето-Карабахской зоны, являющихся аналогами, устанавливается почти идентичный ранжированный ряд первых пяти элементов, представленный соответственно Cu-Mo-Sn-Pb-Zn и Mo-Cu-Sn-Pb-Zn. Для Сисианского района Мисхано-Зангезурской и Амасийского района Севано-Акеринской структурно-формационных зон наличие мышьяка вначале ранжированных рядов обусловлено наличием в данных районах сурьмяно-мышьякового и сурьмяно-ртутного месторождений и т.д.

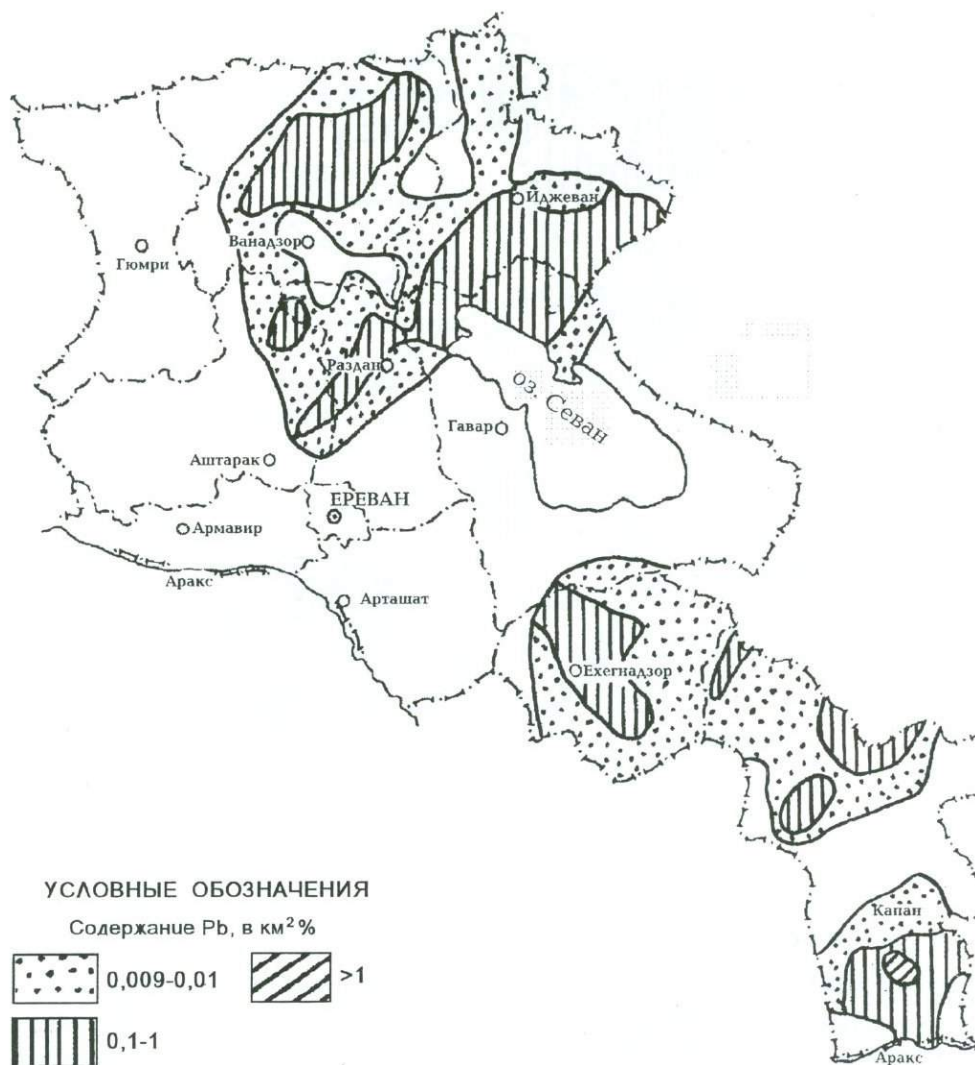


Рис. 3.5. Специализированная геохимическая карта содержания свинца на территории Армении.

3. Устанавливается зависимость широты спектра элементов в естественных рядах геохимических ассоциаций от длительности формирования магматогенно-рудных систем и этажности их развития.

Максимальный спектр элементов установлен для районов развития орогенного гранитоидного магматизма Мисхано-Зангезурской структурно-металлогенической зоны. Минимальный спектр элементов установлен для Присеванского блока Севано-Амасийской структурно-металлогенической зоны.



Рис. 3.6. Специализированная геохимическая карта содержания олова на территории Армении.

4. Общей закономерности не соответствует устойчивое положение олова, которое в ранжированных рядах элементов в Ноемберянском, Кафанском, Каджаранском, Ехегнадзорском районах занимает третье место, а в Азизбековском районе - второе место, при отсутствии месторождений олова в перечисленных районах. Учитывая наличие на территории республики Мецдзорского месторождения, принадлежащего, как это установлено нами [16], к сульфид-касситеритовой формации, не исключено что на территории республики в районах локализации ореолов олова могут быть обнаружены и оловорудные месторождения.

Детальных эколого-геохимических исследований заслуживают районы развития аномалий мышьяка, ртути, бора и серебра.

Ранжированные ряды элементов основных районов структурно-металлогенических зон Армении.

Структурно-металлогеническая зона	Рудный район	Ранжированный ряд элементов
Сомхето-Карабахская	Туманянский	Cu-Mo-Sn-Pb-Zn-Hg-Ba
	(Алавердский)	
	Шамшадинский	Cu-Pb-Mo-Mn-Zn-V-Hg
	Ноемберянский	Mo-Cu-Sn-V-Zn-Pb-Mn-Ba
	Иджеванский	Mo-Cu-Pb-Mn-V-Zn-Hg-Sn-Ba
Мисхано-Зангезурская	Кафанский	Mo-Cu-Sn-Pb-Zn-Mn-Be
	Каджаранский	Mo-Cu-Sn-Pb-Zn-Mn-Be
	Мегринский	Mo-Sn-Pb-Zn-Be
	Горисский	Mo-Ag-Zn-Cu-Pb-Co-Ba
	Сисианский	As-Mo-Ag-Cu-Zn-Pb-Co-Sb-Hg-Ba
	Вайкский	Pb-Sn-Mo-Cu-Co-Zn-Sb-Hg-Mn-Ba
	Ехегнадзорский	Pb-Mo-Sn-Cu-Zn-Hg-Mn-Be-Ba
Разданский (Мисханский)	Mo-Pb-Cu-Sn-Ti	
Севано-Амасийская	Гугаркский	Ag-Mo-Pb-Mn-Cu-Zn-Hg-Sn
	Гукасянский	Zn-Cu-Pb-Sn
	Амасийский	Ag-Ba-Cu-Sb
	Севанский	Cu-Pb-Mn-V-Zn-Sn-Ti
	Красносельский	Cu-Pb-Mn-V-Zn
Еревано-Ордубадская	Тухманукское рудное поле	Pb-Mo-Sn-Ti
	Апаранский	Mo-Pb-Cu-Sn-Ti

Варьирование компонентов в составе естественных геохимических ассоциаций, частое присутствие в них специфичных элементов с высоким коэффициентом концентрации свидетельствует о мозаичности распространения биогеохимических провинций на территории республики.

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Естественная картина распределения концентраций тяжелых металлов на территории Армении осложнена вследствие широкого развития процессов техногенеза, обусловленных деятельностью мощных производств горнодобывающей, металлургической, строительной, химической и других отраслей промышленности.

Эволюция геохимического ландшафта урбанизированных территорий обусловленная антропогенной мобилизацией вещества в биосфере, детерминирована В.И. Вернадским [76] как человеческий геохимический фактор в развитии Земли. В промышленных центрах этот процесс проявляется наиболее ярко, так как здесь, по сути, фокусируются антропогенные миграционные пути вещества и энергии. Общие закономерности геохимии процессов техногенеза освещены в ряде работ [77, 78].

Впервые по территории республики обобщенный анализ техногенного загрязнения тяжелыми металлами был осуществлен в 1989г., при составлении под руководством автора раздела "Геохимические особенности природных и антропогенных ландшафтов", в рамках разработки "Территориальной комплексной схемы охраны природы Армении".

Как показали результаты работ, активизация геохимического обмена обусловленная производством, сопровождается изменением геохимических полей, проявляющихся по-разному в зависимости от специфики промышленных центров.

Анализ пространственной локализации площадей техногенной контаминации показывает, что среди них выделяются два основных типа: старые горнорудные центры и относительно молодые крупные промышленные узлы.

- Горнорудное производство в Армении имеет очень древнюю историю и здесь обнаружены разработки и плавильни, датируемые IV в. до н.э. Практически во всех известных сегодня рудных районах шла добыча и переработка руды, и к началу XX-го века сформировались традиционные горнорудные центры с возрастающими со временем объемами добычи и совершенствующимися технологиями переработки.

Источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в таких центрах, наряду с действующими предприятиями, являются многочисленные отвалы, шлако- и хвостохранилища. Нами [79] был проведен анализ этих образований с позиций расширения минерально-сырьевой базы республики, который позволил классифицировать их в качестве техногенных месторождений, запасы полезных компонентов в которых сопоставимы с разведанными запасами в недрах близлежащих месторождений. Данный подход нашел подтверждение начатой с 1997 г. переработкой хвостов Араратской золотообогатительной фабрики.

Характерной особенностью этого типа является, как правило, соответствие его качественного состава геохимической специфике данного ландшафта. То есть, в процессе добычи, транспортировки и переработки руды нарушаются природные параметры пространственного распределения концентраций химических элементов, но без привноса новых.

По результатам мониторинга загрязнения почв промышленных районов Армении тяжелыми металлами (С.В. Григорян, А.К. Сагателян [80]) было отмечено, что специфической особенностью территории Армении является ее металлогеническая специализация на молибден, медь, свинец и ряд других металлов, предопределившая их высокий природный фон, часто превышающий предельно допустимую концентрацию данного элемента.

Это обстоятельство обуславливает необходимость учета при оценке техногенного загрязнения уровня концентраций химических элементов в естественных природных геохимических аномалиях, которые отличаются высокими значениями содержания элементов. Речь, по существу, идет об оценке суммарной нагрузки на окружающую среду химических элементов, сформированной как результат суперпозиции двух составляющих: повышенной первичной природной (геогенной) и наложенной техногенной.

Типичным примером является Алавердский рудный район.

Преимущественным развитием на его территории пользуются представленные несколькими подтипами коричневые лесные почвы. Они характеризуются зернисто-ореховой структурой, значительным содержанием гумуса в верхних горизонтах, обязательным наличием карбонатов, оглиненностью почвенного профиля, рН в пределах 6,6-9,0. Основными почвообразующими породами служат порфириты, доломиты, мергели, песчаники, туфобрекчии, гранодиориты.

Результаты многочисленных исследований по содержанию тяжелых металлов в этом типе почв обобщены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Содержание ряда тяжелых металлов в коричневых лесных почвах.

Элемент	Среднее содержание в мг/кг	Пределы обнаружения в мг/кг
Cu	47,4	12-76
Mo	2,3	1-8
Zn	32,7	26-42
Co	11,3	3,1-23
Pb	16,5	16-19,7

Высокие значения верхних пределов концентраций элементов в почве предыдущие исследователи [81] связывают с их высоким содержанием в материнской породе, что вполне закономерно, учитывая широкое развитие рассеянной сульфидной минерализации в слагающих район породах.

Данный вывод хорошо подтверждается нашими исследованиями, проведенными еще в 1981 г. в пределах входящего в Алавердский район Техутского

рудного поля. Как следует из данных анализа 50 сопряженных проб, отобранных из материнского субстрата и почвенных образований, здесь устанавливается высокая степень преемственности в последних содержаниях тяжелых металлов (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Среднее содержание тяжелых металлов в коренных породах и развитых по ним почвах в пределах Техутского рудного поля.

Материал пробы	Содержание элементов в %					
	Cu 10 <sup>-3</sup>	Mo 10 <sup>-4</sup>	Pb 10 <sup>-3</sup>	Ag 10 <sup>-5</sup>	Zn 10 <sup>-2</sup>	Co 10 <sup>-4</sup>
Почвы	40	100	4	4,5	0,3	5
Коренные породы	50	130	5	5	5	5
Коэффициент соответствия	0,8	0,8	0,8	0,9	0,1	1

Как видно из таблицы, все элементы кроме цинка характеризуются значениями коэффициента соответствия (отношение содержания элемента в почве к содержанию в коренной породе) близкими к единице, что свидетельствует об очень слабом выносе данных элементов из почвенного горизонта.

Техногенные процессы мобилизации и перераспределения тяжелых металлов на территории района, в основном, обусловлены деятельностью Алавердского горно-металлургического комбината (АГМК). Основанный в 1770 г., он проработал до 1989 г., когда был закрыт по экологическим причинам. С 1997 г. выплавка меди (около 4 тыс. т / год) на комбинате возобновлена силами частной металлургической компании.

Ко времени закрытия, в 1989 г. на комбинате вырабатывалось в год около 40 тыс. т. меди. Перенос в окружающую среду промвыбросов осуществлялся как в воздушной, так и в водной среде. В среднем, в атмосферу поступало 1100 т. пыли, в гидросферу - 1,1 млн. м<sup>3</sup> промстоков за год. Среднегодовое содержание в пыли металлов составляло: меди, свинца, железа - около 10000 мг/кг, молибдена - около 80 мг/кг.

Необходимо отметить, что АГМК являлся комбинатом полного производственного цикла. Его рудничная база обеспечивалась не только собственно Алавердским медно-колчеданным месторождением, но и расположенными на удалении от него рудниками Шамлуг и Ахтала. У пос. Ахтала расположена также обогатительная фабрика (рис. 4.1).

В разное время, на расположенных в округе комбината многочисленных мелких месторождениях и рудопроявлениях велись разведочные работы.

В силу этого, на территории района разбросаны многочисленные заброшенные подземные горные выработки, отвалы штолен, отходы обогащения, которые сами по себе служат источником поступления тяжелых металлов в окружающую среду. В качестве своеобразного типа отходов горнорудного производства особый интерес представляют рудничные воды. Последние дренируют огромные массивы горных пород, благодаря широкой сети горных выработок.

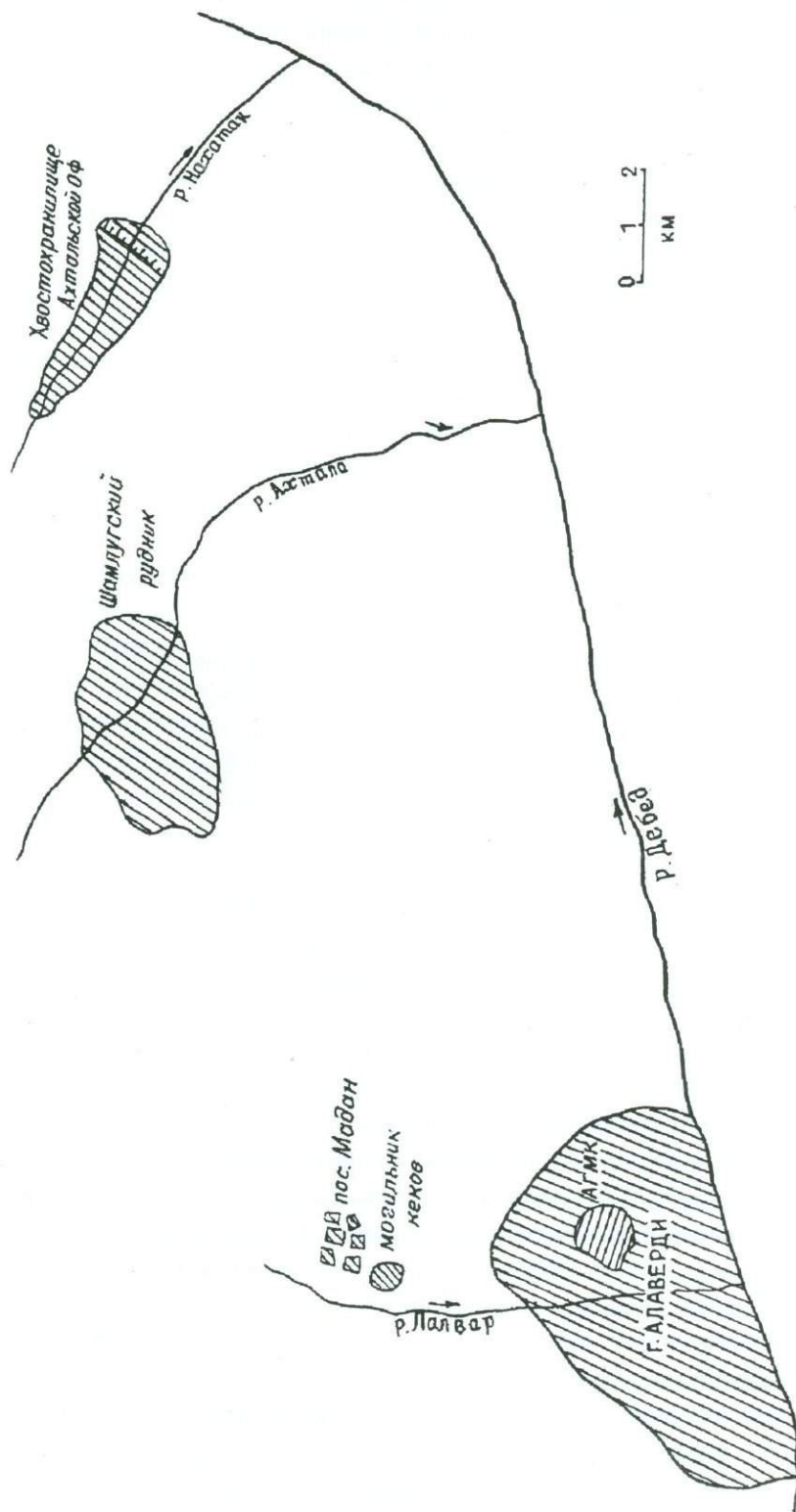


Рис. 4.1. Схема расположения объектов Алавердского промкомплекса.

В следствие подверженности минералов сульфидных руд (в особенности пирита) процессам активного окисления, в сфере гипергенного сернокислого воздействия оказываются территории в десятки раз превышающие размеры самих рудных зон. Фиксирующиеся в рудничных водах повышенные концентрации водородного иона и сульфат-иона, в свою очередь способствуют возрастанию миграции металлов за пределы горных массивов. Так, по данным А.И. Карапетяна, П.М. Капланяна и др. (1985г.) с рудничными водами в год выносятся:

- с территории Алавердского месторождения 36 т. меди,
- с территории Шамлугского месторождения около 10 т. меди,
- с территории Ахтальского рудника 4 т. меди и 8 т. свинца.

Рудничные воды по речкам Лалвар, Ахгала, Нахатак, Учкилиса и другим в итоге попадают в р.Дебед - главную водную артерию, обеспечивающую всю ирригационную сеть района, с последующим отложением тяжелых металлов в депонирующих средах зоны гипергенеза: донных отложениях (табл. 4.3) и почвах.

Таблица 4.3

Среднее содержание тяжелых металлов в донных отложениях р.Дебед в зоне действия АГМК.

Элемент	Содержание в %
Cu	0,009
Mo	0,002
Pb	0,013
Zn	0,028

Проблемой загрязнения почв в результате полива водами р.Дебед занимались ряд исследователей [82-86]. В частности, К.В. Григорьяном проанализирован механизм переноса металлов водами реки, соотношение валовых и подвижных форм этих элементов в воде и на орошаемых территориях; воздействие загрязнения на биологическую активность почв и урожайность сельскохозяйственных культур. В силу вышеизложенного, исходя из целей настоящей работы, ограничимся лишь констатацией факта, что орошаемые земли подвергнуты контаминации тяжелыми металлами (табл. 4.4) на протяжении около 30 км от промкомплекса АГМК, вниз по течению реки. На большем удалении, благодаря процессам самоочищения, содержание тяжелых металлов в воде входит в норму.

В целом, согласно Р.А. Эдияну и др. коричневые лесные почвы характеризуются высокой емкостью поглощения.

Сравнительный анализ данных (табл. 4.1 и 4.4) позволяет судить о повышенных содержаниях меди и молибдена в целинных почвах зоны влияния АГМК относительно средних содержаний. Это обстоятельство в значительной степени обусловлено интенсивным загрязнением почв атмосферными выпадениями, на состав которых сильное воздействие оказывают выбросы комбината. Согласно исследованиям С.А. Унаняна [87] загрязнение почв через атмосферу охватывает

вокруг АГМК площадь около 1000 км<sup>2</sup>. Определяющим фактором в пространственном распределении загрязнения является роза ветров, доминирующими направлениями которой являются северо-восточное, северо-западное и юго-западное.

Таблица 4.4

Среднее содержание тяжелых металлов в коричневых лесных почвах в зоне воздействия АГМК, в мг/кг.

Элемент	Вид почвы		Коэффициент накопления
	Целинная	Орошаемая	
Cu	63,0	383,5	6,1
Mo	4,0	46,6	11,6
Pb	16,1	43,	2,7

Проведенными нами исследованиями [88, 89] установлен нестабильный характер накопления меди, свинца и молибдена. Максимальное накопление меди, свинца, и меньше молибдена, устанавливается в зоне 2-2,5 км, охватывающей территорию завода и окрестности. На расстоянии 3-5 км содержание металлов понижается, но вновь начинает возрастать на расстоянии 5 км, особенно в северо-восточном направлении, что связано с приземлением дымового факела. На расстоянии 7-10 км наблюдается резкое снижение загрязнения с тенденцией к фоновым содержаниям.

Как следует из вышеизложенного, характерной особенностью распределения концентраций тяжелых металлов в горнорудных районах является сохранение геохимического облика территории, сопровождающееся лишь изменением естественных концентраций рудогенных элементов в результате процессов техногенеза.

● Принципиально иная картина наблюдается в промышленных центрах, расположенных на вулканических плато и сопряженных с ними аккумулятивных долинах. Характерной чертой естественных геохимических ландшафтов этих территорий являются крайне незначительные концентрации тяжелых металлов. Примером таких территорий является столица Армении - г.Ереван. В геологическом строении территории принимают участие вулканические лавы, туфы и четвертичные отложения, характеризующиеся содержанием тяжелых металлов на близких к кларку уровнях. На этих породах преимущественно развиты бурые полупустынные почвы. Они характеризуются щебневато-суглинистым механическим составом гумусового горизонта и слабой оструктуренностью. Устанавливается обогащенность профиля почв карбонатами и наличие гипса в нижних горизонтах, что свидетельствует не только об отсутствии процессов вымывания минеральных веществ в глубокие горизонты, но и создает условия для аккумуляции химических элементов, в частности, тяжелых металлов, в профиле почв. Исследования состава почв показали, что природная геохимическая ассоциация в них тяжелых металлов представлена слабоинтенсивным рядом:  $Zn_{(9,4)}-Cu_{(2,9)}-Co_{(1,8)}$ . В скобках дано превышение над кларком.

В бывшем СССР г.Ереван считался республиканской столицей с самым высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна. Здесь было сосредоточено более 60% промышленных мощностей республики.

Результаты исследований техногенного загрязнения г.Еревана, проведенные автором, докладывались на многочисленных международных конференциях и совещаниях [90-98].

Проведенные в 1980 г. с участием автора исследования Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (г. Москва) показали следующие ассоциации тяжелых металлов в выбросах, расположенных в городской черте крупных промпредприятий. Алюминиевый завод: серебро-свинец-медь-молибден-цинк. Электроламповый завод: свинец-цинк-вольфрам-медь-хром-олово-серебро. Опытный завод фрезерных станков: вольфрам-свинец-медь-молибден-цинк-серебро-хром-олово. Автокомбинат по ул.Тиграняна: свинец-цинк-медь-молибден. Камвольный комбинат: свинец-цинк-олово. Типография №1: сурьма-свинец-олово-серебро-цинк. Полиграфический комбинат: серебро-свинец-олово-вольфрам-цинк-сурьма.

Выбросы этих и ряда других предприятий и транспорта обусловили высокое содержание тяжелых металлов в атмосферной пыли города. В 1989 г. при разработке "Территориальной комплексной схемы охраны природы г.Еревана" нами была исследована пылевая нагрузка территории города. Установленные в атмосферной пыли концентрации тяжелых металлов приведены в табл. 4.5.

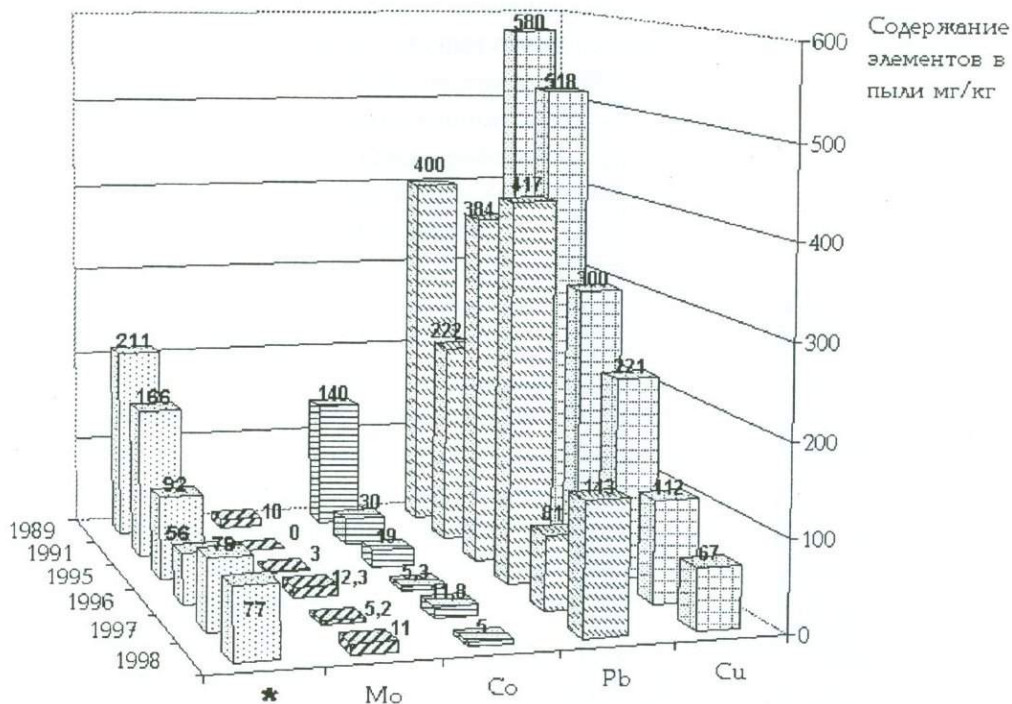
Таблица 4.5

Содержание ряда тяжелых металлов (мг/кг) в пыли г.Еревана (1989 г.).

Элемент	Среднее содержание	Кларк	Превышение над кларком
Pb	400	10	40
Cu	560	20	28
Cr	700	40	17,5
Ni	320	40	8
Co	140	1,0	14
Mo	10	2,0	5

После 1990 г. уровень промышленного производства резко сократился, что нашло свое отражение в количестве выбросов и в изменении содержания тяжелых металлов в атмосферной пыли (рис. 4.2) и, соответственно геохимической нагрузки на территории (рис. 4.3).

Наиболее наглядно проследить изменение параметров геохимического потока в атмосфере позволяет изучение такого депонирующего субстрата как снеговой покров. Особенно контрастно результаты этих исследований (мониторинг) иллюстрируются по данным последних лет в связи с резкими изменениями в Армении объемов и структуры промышленного производства.



\* Объемы промышленных и транспортных выбросов в атмосферу тыс.т/год

Рис. 4.2. Содержание тяжелых металлов в атмосферной пыли города Еревана.

В табл. 4.6 приведены объемы выбросов промышленности и транспорта в сопоставлении с показателями техногенного геохимического потока, где качественный ранжированный ряд рассчитан путем нормирования среднего содержания элемента в твердом остатке снега по фону почв г. Еревана, а интенсивность геохимического потока - суммированием нормированных величин.

Таблица 4.6  
Динамика интенсивности и качественного состава техногенного геохимического потока тяжелых металлов в воздушном бассейне г. Еревана.

Год	Техногенный выброс в атмосферу тыс.т/год		Интенсивность геохимического потока	Качественный ряд геохимического потока
	Всего	а/транспорт		
1989	211,5	165,8	57,7	Co-Cr-Pb-Cu-Ni-Mo-Ti-Zn
1991	165,9	122,1	29,6	Cu-Mo-Cr-Pb-Co-Ti-Zn
1995	91,6	86,9	34,5	Ag-Pb-Cu,Ni-Mo-Zn-Co,Cr-Ti
1996	55,8	52,0	46,0	Ag-Pb-Mo-Zn-Cu-Cr-Ni-Ti-Co
1997	78,5	76,2	15,3	Pb-Cu,Cr-Ni-Mo,Ag-Zn-Ti-Co
1998	76,5	74,8	25,5	Pb-Cr-Cu-Ni-Mo-Ag-Zn-Co-Ti
2000	79,7	67,3	50,1	Pb-Mo-Ag-Ni-Zn-Cu-Co-Cr
2001	63,4	61,3	105	Ag-Mo-Zn-Pb-Ni-Cu-Cr-Co
2002			122	Ag-Mo-Pb-Ni-Cu-Co-Zn-Cr

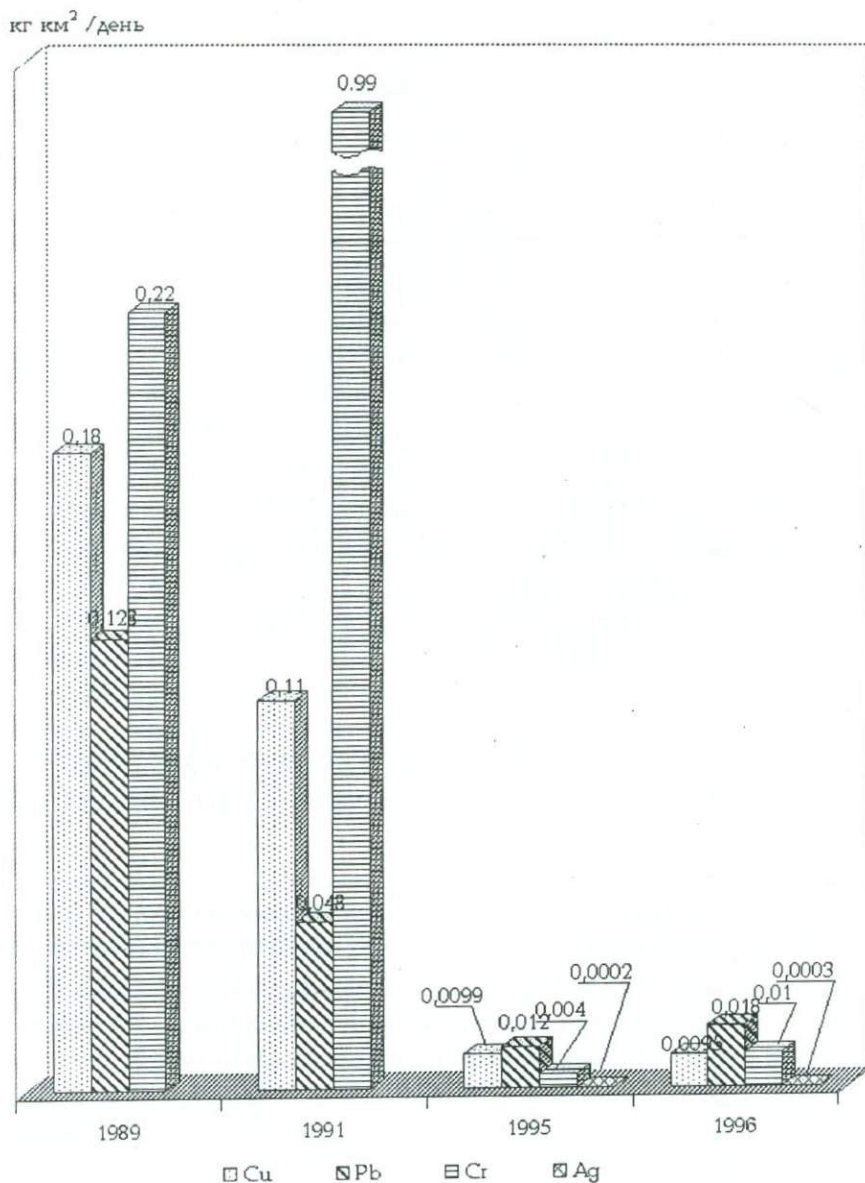


Рис. 4.3. Нагрузка ряда тяжелых металлов на территории г.Еревана, в кг x км<sup>2</sup>/день.

Из табл. 4.6 четко видно, что в 1989 г. когда в Ереване на полную мощь работали крупные предприятия химической, электронной, машиностроительной, автотранспортной отраслей - суммарный выброс загрязнителей в атмосферу составлял 211,5 тыс. т / год, что коррелировалось с интенсивностью (превышение фона) геохимического потока тяжелых металлов равной 57,7.

В 1995 г. спад уровня промышленного производства оценивался в 410 раз, работали только отдельные предприятия и автотранспорт. Суммарный

выброс загрязнителей в атмосферу понизился более чем в два раза и составил 91,6 тыс. тонн в год с соответствующим снижением интенсивности геохимического потока до 34,5. Снижение количества выбросов в последующие годы сопровождалось неадекватными изменениями интенсивности геохимического потока, что объясняется, в первую очередь, работой предприятий без очистных сооружений, отсутствием контроля за качеством бензина и красителей, изношенностью большинства автотранспортных средств.

Из табл. 4.6 видно, что изменение интенсивности геохимического потока сопровождается изменением и его качественного состава, что находит отражение в смене порядковых мест отдельных элементов в ранжированном ряду. В этом отношении показателен 1997 г., когда при практически полной стагнации промышленных предприятий, львиная доля выбросов пришлась на автомобильный транспорт, что проявилось в возглавлении ряда свинцом. С 2001 г. постановлением правительства запрещен ввоз в республику этилированного бензина, что сразу отразилось на смещении свинца с начала ряда. Обращает на себя внимание выдвигание на стабильное второе место в ряду Мо, что обусловлено активной работой завода "Чистое железо", который использует молибденовый концентрат Каджаранского обогатительного комбината. Доминантное место серебра связано с развитием в центре города широкой сети фотоателье при отсутствии (как до 1990 г.) системы централизованного сбора их отходов. Анализ динамики поступления тяжелых металлов в окружающую среду выявляет ее взаимосвязь со структурой и объемами промышленного производства.

Обобщающую картину долговременного воздействия на ландшафт антропогенного геохимического потока дополняют исследования другой природной депонирующей среды - почвенного покрова. В 1991 и 2001 гг. нами было проведено картирование территории города (120 км<sup>2</sup>) в масштабе 1:10000. Как показали результаты работ, наиболее интенсивные, характеризующиеся широким пространственным развитием аномалии формируют свинец (рис. 4.4), цинк (рис. 4.5), медь (рис. 4.6), серебро (рис. 4.7), менее интенсивные - молибден, никель, хром, кобальт, ванадий. На отдельных участках локально развиты аномалии олова, вольфрама, стронция, висмута, титана. В различных частях города выявлены также точечные аномалии таких высокотоксичных элементов как кадмий, сурьма, ртуть, мышьяк.

Особенно интенсивно территория города загрязнена свинцом. Достаточно отметить, что его фоновое содержание в почвах города составляет 0,004%, что в два раза превышает предельно допустимую концентрацию. Всего выявлено 19 крупных и более 30 мелких и точечных аномалий, суммарной площадью около 51 км<sup>2</sup>, что составляет более 40% территории города.

Распределение концентраций свинца крайне неравномерное, хотя устанавливается общая тенденция сгущения аномалий от периферии к центру. Эпицентры аномалий пространственно приурочены к типографиям, заводским цехам, перегруженным перекресткам и автомагистралям. Характер источника загрязнения предопределяет морфологические особенности аномалий: в первом

случае - прямоугольные и изометричные образования, во втором - линейно вытянутые, лентообразные, трассирующие транспортные артерии. Наиболее интенсивные аномалии установлены на территориях, прилегающих к автомобильному и ламповому заводам. Детальное описание выявленных на территории города аномалий тяжелых металлов приведено нами, как указано выше, в посвященных этим исследованиям публикациях, здесь же, для экономии места, в табл. 4.7 приведены их основные показатели.

Для получения интегративной характеристики загрязнения территории города, в каждой пробе, был рассчитан суммарный показатель концентрации (СПК) по основным поллютантам, который представляет собой сумму нормированных по фону содержаний элементов в пробе.

В табл. 4.8 приведены пределы значений суммарного показателя концентрации, соответствующие различным уровням загрязнения территории [99].

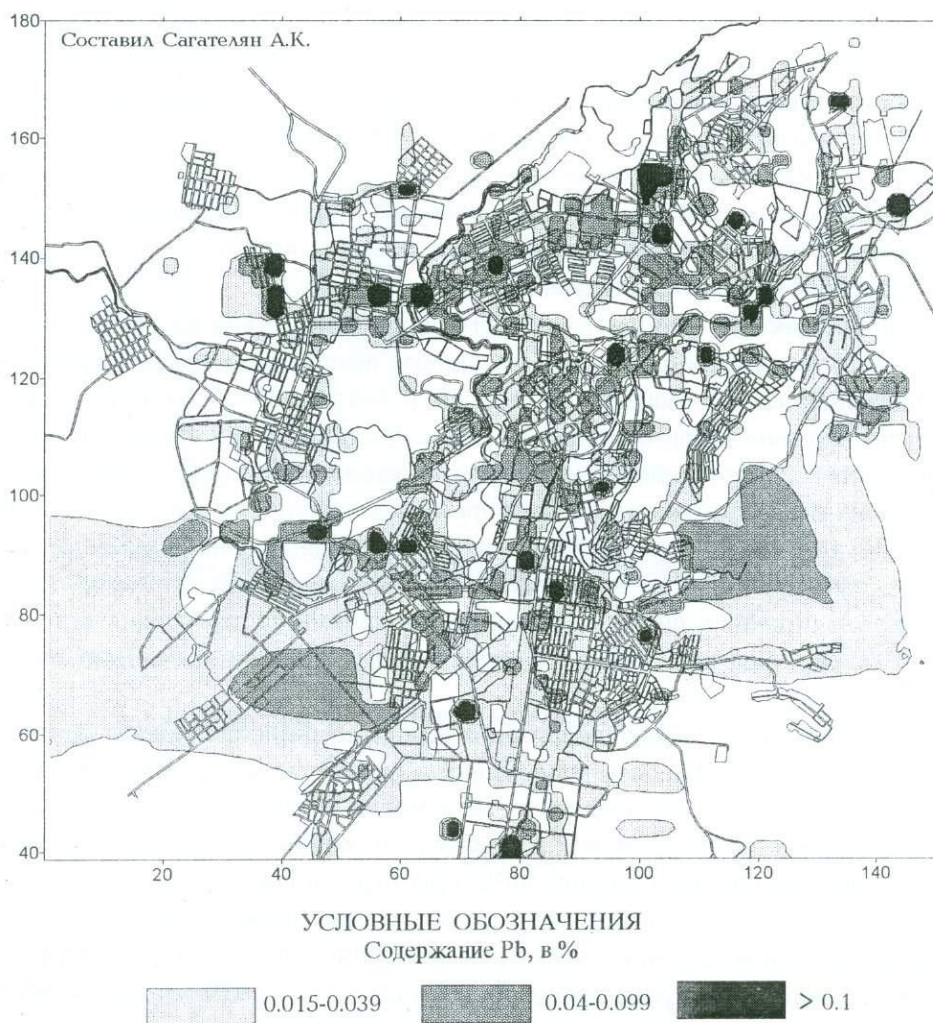


Рис. 4.4. Геохимическая карта аномалий Pb в почвах г.Еревана.

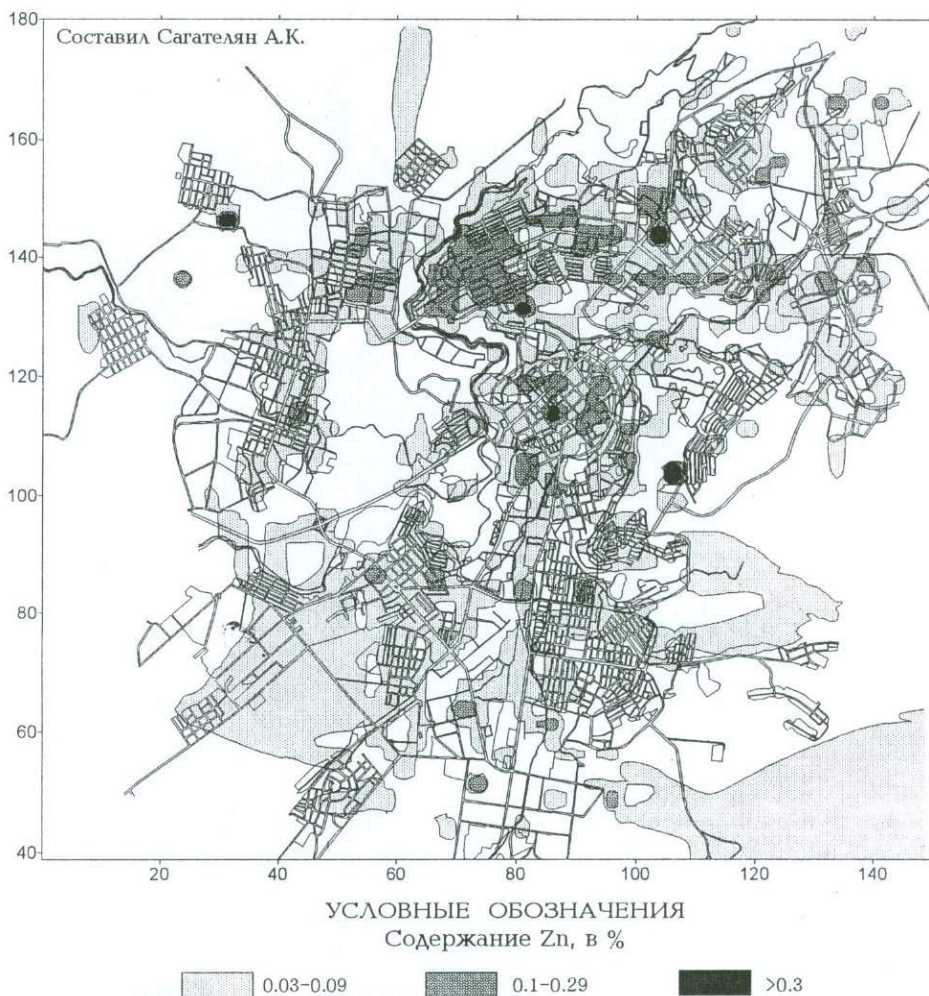


Рис. 4.5. Геохимическая карта аномалий Zn в почвах г.Еревана.

Таблица 4.7

Показатели аномалий тяжелых металлов на территории г.Еревана.

NN пп	Элемент и степень определе- ния	Фоновое содержа- ние, %	Превыше- ние фона над кларком	Минимально- аномальное содержание (CA <sub>1</sub> ), %	Суммарная площадь аномалий, км <sup>2</sup>	Площадная продуктив- ность, км <sup>2</sup> %
1	Pb 10 <sup>-3</sup>	4,0	42,5	13,0	50,8	2200
2	Cu 10 <sup>-3</sup>	6,0	9,3	9,0	59,0	1103
3	Zn 10 <sup>-2</sup>	1,0	14,4	2,2	57,2	412
4	Mo 10 <sup>-4</sup>	1,2	0,6	1,8	38,8	113
5	Ag 10 <sup>-5</sup>	0,5	0,5	0,8	67,6	609
6	Ni 10 <sup>-3</sup>	3,5	0,9	6,0	60,8	516
7	Cr 10 <sup>-3</sup>	6,8	0,3	13,0	91,3	2357
8	Co 10 <sup>-4</sup>	10,0	10,0	15,0	64,8	1124

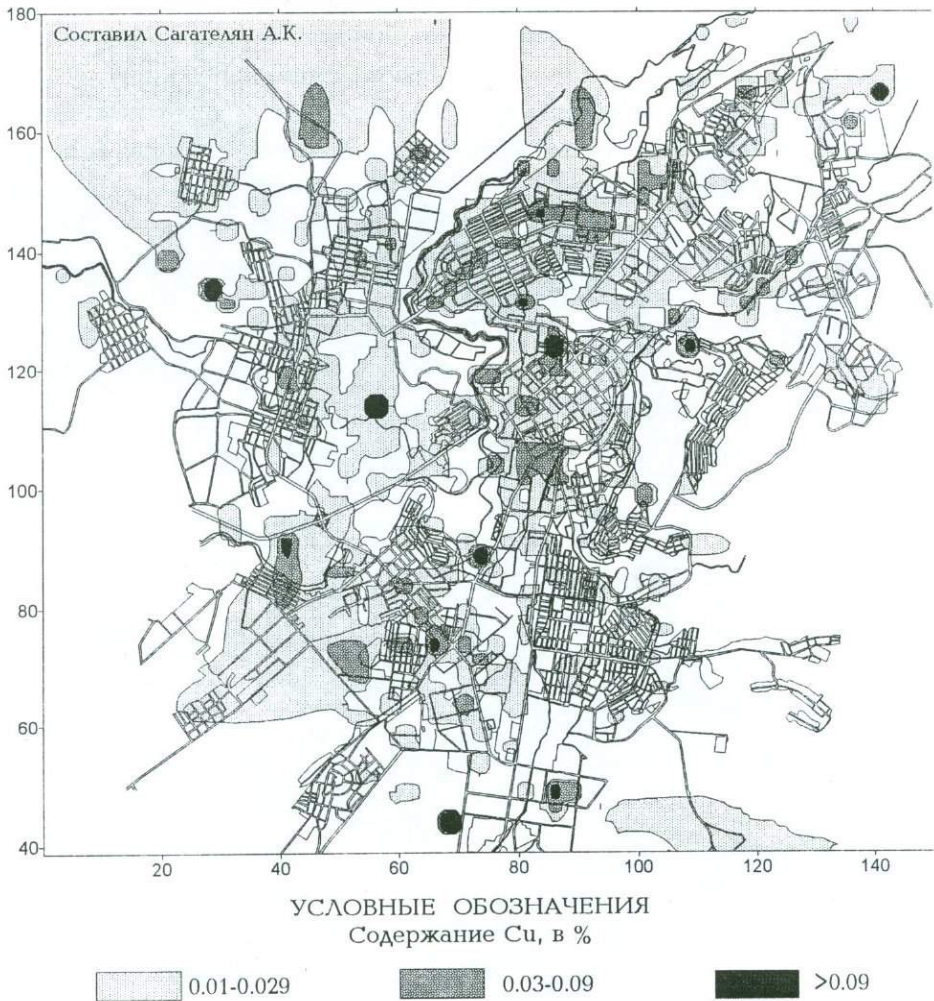


Рис. 4.6. Геохимическая карта аномалий Si в почвах г.Еревана.

Таблица 4.8  
Значение суммарного показателя концентрации и определяемый уровень  
загрязнения почв.

NN	Уровень загрязнения	Значение СПК
1	Минимальный	<8
2	Слабый	8-16
3	Средний	16-32
4	Сильный	32-64
5	Очень сильный	64-128
6	Максимальный	>128

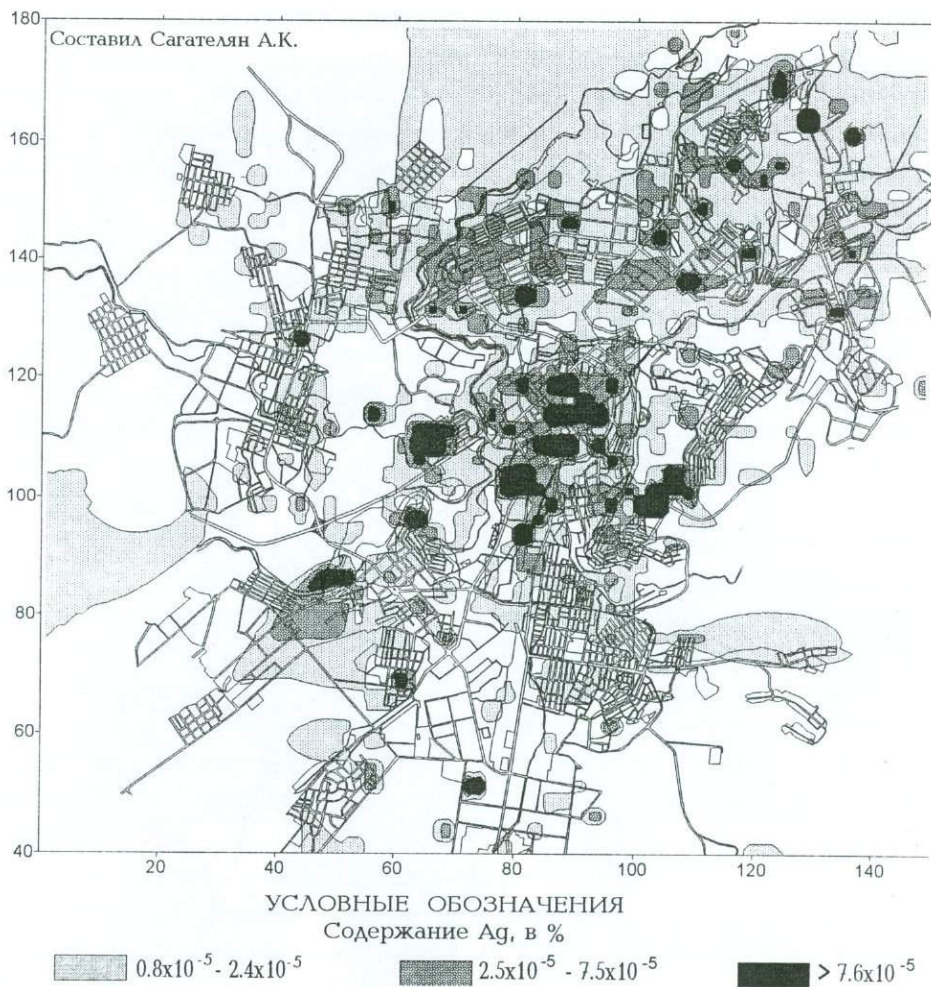


Рис. 4.7. Геохимическая карта аномалий Ag в почвах г.Еревана.

С целью зонирования территории города по уровням загрязнения выполнено отображение значений СПК на картографической основе при помощи программы GIS Surfer 6.04. Данная программа позволяет отобразить пространственное распределение расчетных значений СПК, а также экстраполировать их на территорию с нерегулярным отбором проб.

Согласно карте (рис. 4.8) территория города характеризуется наличием полей пяти уровней загрязнения. Поля характеризуются неправильной, изометричной формой с тенденцией к повышению концентраций в центральной части планшета. Ниже приводится характеристика полей загрязнения различного уровня.

Поля I уровня - минимальное загрязнение, значение СПК < 8. Эти поля отличаются незначительным уровнем накопления тяжелых металлов, концентра-

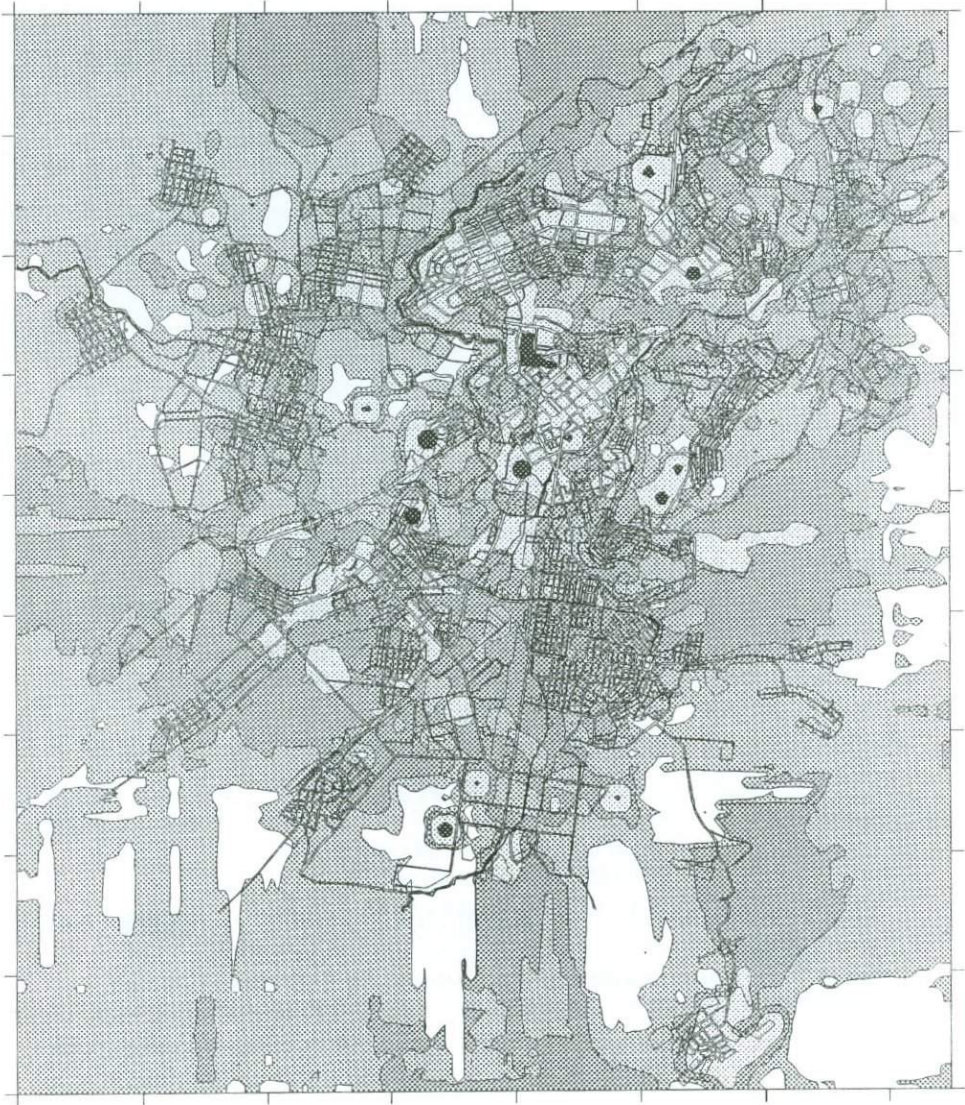


Рис. 4.8. Карта загрязнения территории г.Еревана (Pb, Cu, Zn, Ni, Ag, Co, Cr, Mo) по величине суммарного показателя концентрации.

Условные обозначения  
Значения СПК



ции которых колеблются в пределах фоновых содержаний:  $Cr_{(1,4)}-Ni_{(1,1)}, Ag_{(1,1)}-Co_{(1,0)}-Cu_{(0,8)}, Mo_{(0,8)}, Pb_{(0,8)}-Zn_{(0,7)}$ . Доминируют в ряду хром и никель. Поля этого уровня преимущественно развиты на южных, юго-восточных, северных и северо-западных окраинах города. Они охватывают суммарную площадь около 16 км<sup>2</sup>.

Поля II уровня - слабое загрязнение, значение СПК=8-16. Эти поля пользуются значительно более широким распространением по сравнению с полями I уровня. Аномалии слагающих их элементов слабоконтрастны, что обусловлено небольшим превышением их концентраций над фоновыми содержаниями:  $\text{Cr}_{(2,4)}\text{-Ni}_{(1,7)}\text{-Pb}_{(1,5)}\text{-Ag}_{(1,5)}\text{-Zn}_{(1,4)}\text{-Co}_{(1,3)}\text{-Cu}_{(1,2)}\text{-Mo}_{(1,0)}$ . Доминирующими элементами в ряду являются хром и никель. Поля этого уровня локализуются преимущественно в окраинных частях города, местами развиваясь в сторону центра. Суммарная площадь их охвата составляет около 80 км<sup>2</sup>.

Поля III уровня - среднее загрязнение, значение СПК=16-32. Поля этого уровня характеризуются следующим качественным рядом:  $\text{Pb}_{(5,6)}\text{-Zn}_{(3,8)}\text{-Cr}_{(3,7)}\text{-Ag}_{(2,6)}\text{-Cu}_{(1,9)}\text{-Ni}_{(1,8)}\text{-Co}_{(1,6)}\text{-Mo}_{(1,5)}$ . Доминирующими элементами в этих полях являются свинец (превышение фона более пяти раз) и цинк. Поля прослеживаются от северо-восточных и восточных окраин к центральной и южной частям города. Площадь охвата полей этого уровня составляет около 90 км<sup>2</sup>.

Поля IV уровня - сильное и очень сильное загрязнение, значение СПК=32-128. Поля этого уровня отличаются высокой контрастностью слагающих их аномалий отдельных элементов. Качественный состав полей характеризуется следующим рядом:  $\text{Pb}_{(19,6)}\text{-Zn}_{(9,1)}\text{-Ag}_{(8,4)}\text{-Cu}_{(4,1)}\text{-Cr}_{(3,9)}\text{-Mo}_{(2,1)}\text{-Ni}_{(2,0)}\text{-Co}_{(1,6)}$ . В ряду доминируют свинец (превышение фона более 19 раз) и цинк (превышение фона в 9 раз). Эти поля пользуются локальным развитием, они дискретны и пространственно тяготеют к районам промпредприятий и высокой транспортной нагрузки. Наиболее крупные поля этого уровня в центральной, с развитием к северу, части города. Суммарная площадь охвата около 28 км<sup>2</sup>.

Поля V уровня - максимальное загрязнение, значение СПК>128. Эти поля отличаются резкой пространственной локализацией, вплоть до точечного характера, высокой контрастностью и интенсивностью слагающих их аномалий отдельных элементов.

Качественный состав полей характеризуется следующим рядом:



Доминирующими элементами являются серебро и свинец. Всего таких резко аномальных участков на территории города насчитывается 14, вместе они охватывают площадь чуть более 1 км<sup>2</sup>. Большинство из них приурочено к промышленным предприятиям Зейтуна и Норагавита.

Анализ пространственного распределения и качественного состава загрязнения территории города позволяет отнести ее в целом по степени загрязнения к среднезагрязненным территориям.

В обобщенном виде, на территории города сформирована следующая техногенная геохимическая ассоциация:  $\text{Pb-Zn-Cu-Mo-Ag-Ni-Cr-Co}$ .

Сопоставление рядов естественной и техногенной ассоциаций показывает, что процесс контаминации проявляется в двух аспектах. Происходит нарастание концентраций химических элементов, присущих природному геохимическому ландшафту и одновременно устанавливается интенсивный привнос чуждых данному ландшафту элементов.

Исследования базируются на геоэкологическом принципе, когда все данные получают пространственно-временную привязку с отображением на специализированных картах соответствующего масштаба. Таким образом, используя территорию как объективизирующий фактор, становится возможным сопоставление геохимических и других экологически значимых факторов с биологическими и медицинскими показателями.

В качестве примера можно привести наши совместные с биологами исследования по воздействию загрязнения на почвенную фауну (рис. 4.9) или исследования с медиками по воздействию загрязнения тяжелыми металлами окружающей среды на перинатальную смертность (табл. 4.9) и другие патологии [101-107].

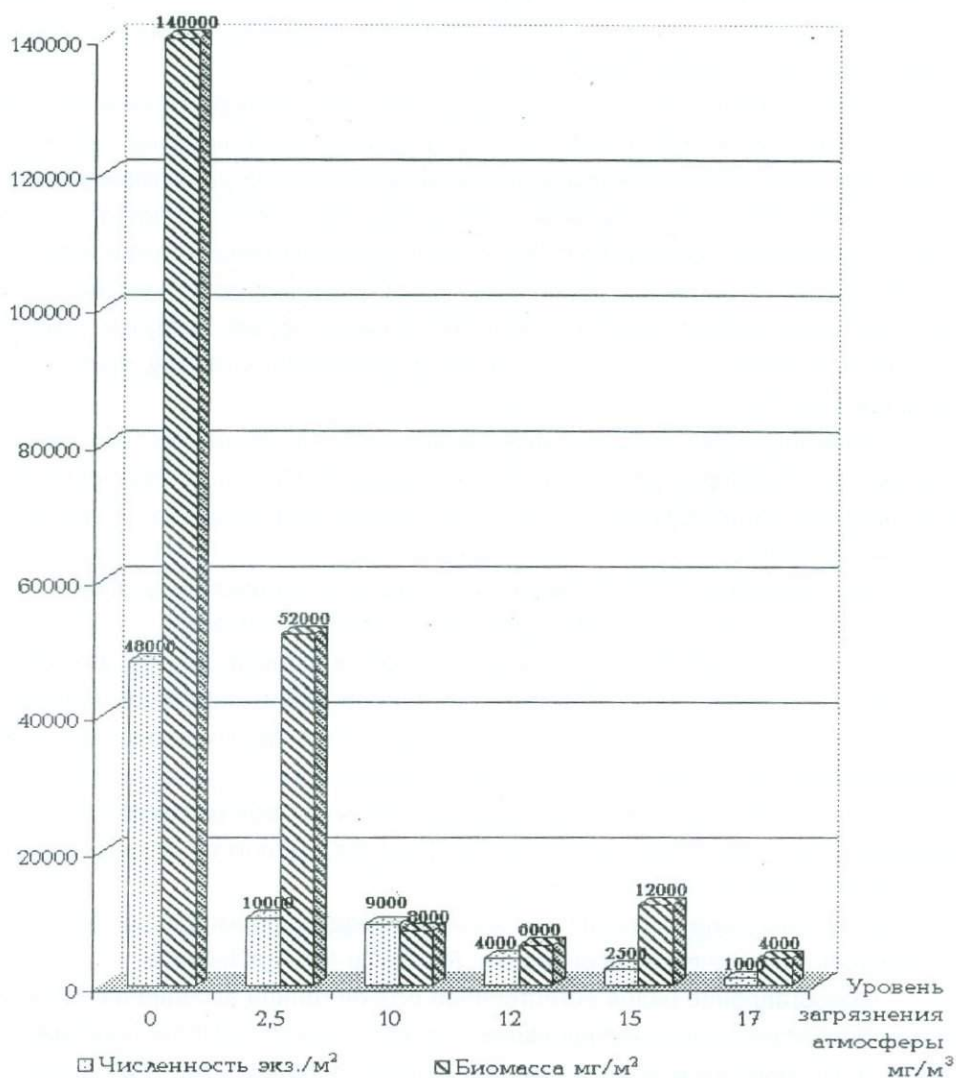


Рис. 4.9. Зависимость численности и биомассы почвенной фауны от уровня загрязнения атмосферного воздуха.

## Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и перинатальная смертность.

Элемент	Содержание в %	Площадь загрязнения в км <sup>2</sup>	Количество случаев смертности на 1 км <sup>2</sup>
Pb	0,015-0,039	11,3	19
	0,04-0,09	5,5	23
	> 0,09	0,8	21
Cu	0,01-0,029	9,8	21,7
	0,03-0,09	2,8	24
	> 0,09	0,2	30

Естественно, что изменение геохимических параметров окружающей среды находит отражение в отдельных звеньях экосистемы и может фиксироваться различными методами биомониторинга. Так лишайники, будучи первым звеном биогеохимических цепей, обладают способностью безбарьерного накопления катионов тяжелых металлов [108]. Последовательный ряд элементов геохимического потока тяжелых металлов рассчитанный в 1995 г. по анализам лишайников (*Xanthoria parietina*) представляется в следующем виде: Mo-Ag-Pb-Cu-Gr-Ni-Zn-Co-Ti. Интересно, что данный ряд, по сути, является переходным между рядами геохимического потока в воздушном бассейне 1991 и 1995 гг.

Важно отметить, что в таких сложных системах как урбанизированные территории, на миграционные пути химических элементов могут влиять не только природные и техногенные, но и социальные факторы. Так, до 90-х годов тяжелые металлы попадали в организм жителей г. Еревана преимущественно с пылью, т.е. ингаляционным путем. Соответственно, основное внимание уделялось пылеподавлению и снижению газопылевыбросов на предприятиях. С начала 90-х, несколько лет блокады республики и острый социально-экономический кризис привели к обнищанию широких слоев населения, которое для получения пищи стало активно развивать на городских землях огородничество.

Результаты наших исследований показывают, что тяжелые металлы в больших количествах переходят из загрязненной почвы в сельскохозяйственную продукцию (табл. 4.10).

Таблица 4.10

## Содержание тяжелых металлов в овощах, выращиваемых на территории г.Еревана (мг/кг).

Овощ / Элемент	Cu	Pb	Ni	Zn
Томат	3,7-72,8	0,2-3,3	0,99-19,2	0-11,5
превышение ПДК	до 7,3	до 7,8	до 38,4	-
Фасоль	3,0-37,0	0,16-1,0	1,36-18,2	7,9-22,8
превышение ПДК	до 3,7	до 2	до 36,4	до 2,3
Перец	1,0-14,5	0,21-0,62	0,57-33,8	0-8,9
превышение ПДК	до 1,5	до 1,2	до 67,8	-

ПДК взято по Т.А. Дюеку (1984).

Загрязненная тяжелыми металлами сельхозпродукция стабильно входит в рацион многих семей уже около 10 лет.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что на территории города сформировалась техногенная биогеохимическая провинция. Ее главным отличием от природных провинций является динамизм, обусловленный изменениями техногенного геохимического потока и повышенные содержания широкого круга элементов, чуждых данному природному ландшафту.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Эволюция тяжелых металлов в Земной коре на территории Армении характеризуется длительностью и этапностью развития на протяжении Киммерийской, Альпийской металлогенических эпох и антропогенного периода.

- Геохимической матрицей, претерпевшей дальнейшую трансформацию являются первичные геохимические аномалии рудогенных элементов, представленные, в основном, устойчивым комплексом халько-сидерофильного ряда: медь, молибден, золото, серебро, свинец, цинк и т.д., характеризующиеся различными количественными соотношениями в месторождениях разных формационных типов.

- Закономерности пространственного размещения первичных геохимических аномалий обусловлены характером и направленностью развития глубинных разломов. Последние определяют как формирование разномасштабных блоков, так и гетерогенность металлогенического облика структурно-формационных зон в зависимости от глубины залегания фундамента и особенностей эволюции магматогенно-рудных систем. Морфологические особенности первичных геохимических аномалий являются функцией физико-механических свойств вмещающих пород, а также характера и ориентации рудо локализирующих трещин.

- При общей генеральной направленности, зональность рудогенных элементов характеризуется автономностью проявления на уровне рудослагающих минералов, рудных тел, месторождений, рудных районов, структурно-металлогенических зон, зон разломов.

- Для территории Армении общая устойчивая эволюция зональности рудогенных элементов выражена следующим рядом:

$Fe \pm Mn \rightarrow Mo \pm Cu \pm As, Sb, Bi \rightarrow Pb + Zn + Ag, Au \rightarrow Au + Te \rightarrow Pb + Sb + Au, Ag \rightarrow Sb, (As) \rightarrow \text{редкометальное.}$

Установлена вертикальная зональность минеральных парагенезисов, элементов-примесей рудослагающих минералов и первичных геохимических ореолов, характерная для рудных тел и рудных месторождений. Латеральная зональность - на уровне месторождений, рудных районов, структурно-металлогенических зон и зон разломов.

- Рассчитанные коэффициенты зональности по исследованным месторождениям служат надежным критерием для оценки уровня среза месторождений и разбраковки аномалий. В результате проведенных работ на месторождениях Анкадзор, Меградзор, Арманис, Тухманук и ряде других выявлено более 100 аномалий, из коих по промышленно значимым аномалиям выданы рекомендации, значительная часть которых подтверждена последующими работами.

- В ходе трансформации первичных геохимических аномалий в гипергенные, сформированы вторичные ореолы и потоки рассеяния, слагающие вторичные геохимические поля в пределах отдельных месторождений, рудных районов и металлогенических зон.

- Потоки рассеяния характеризуются широким распространением и в своем составе отражают весь набор рудогенных элементов, отдельные ассоциации которых являются производными разновозрастных и разнотипных месторождений, развитых в данном районе и металлогенической зоне. Их вещественный состав и пространственное размещение обусловлены как типами оруденения и геолого-структурными особенностями их размещения, так и морфоструктурными особенностями магматических образований. Состав рядов естественных ассоциаций элементов и некоторое их варьирование соответствует основным элементам типоморфных парагенезисов руд, характерных для отдельных районов гетерогенных структурно-металлогенических зон.

Общей закономерности не соответствует устойчивое положение олова, которое в ранжированных рядах элементов в Ноемберянском, Кафанском, Каджаранском, Ехегнадзорском районах занимает третье место, а в Азизбековском районе - второе место, при отсутствии месторождений олова в перечисленных районах.

Учитывая наличие на территории республики руд сульфид-касситеритовой формации, не исключено, что в районах локализации ореолов олова могут быть обнаружены и оловорудные месторождения, что обусловлено металлогенической специализацией палеогенового гранитоидного магматизма.

Детальных эколого-геохимических исследований заслуживают районы развития аномалий мышьяка, ртути и бора.

- В ходе трансформации геогенных аномалий при процессах техногенеза образуются техногенные аномалии двух типов: 1) аномалии горнорудных районов, в которых суммарная нагрузка на биосферу химических элементов является результатом суперпозиции двух составляющих - повышенной природной (геогенной) и родственной с ней наложенной техногенной; 2) аномалии промышленных центров, расположенных на вулканических плато и аккумулятивных долинах. Последние характеризуются динамизмом, обусловленным изменениями техногенного геохимического потока и повышенным содержанием широкого круга элементов, чуждых данному природному ландшафту.

- Специфика распределения концентраций тяжелых металлов обуславливает мозаичность и гетерогенность проявления биогеохимических провинций на территории республики, представленных природными и техногенными разностями.

- Результаты исследований являются основой оценки перспектив месторождений и рудных районов, а также экологической экспертизы территории и широкого спектра проэкологических исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян А.В. О составе и строении земной коры на Малом Кавказе и формировании глубинных офиолитовых поддвигов // Изв. высших учебных заведений "Геология и разведка", 1988, №2. - М., с. 51-54.
2. Адамия Ш.А., Закариадзе Г.С., Лордкипанидзе М.Б. Эволюция древней активной континентальной окраины на примере альпийской истории Кавказа // Геотектоника, 1977, №1, с. 88-103.
3. Ковалев А.А. Проблемы мобилистской геотектоники и металлогении. - М.: Обзор ВИЭМС, 1973, 44 с.
4. Ковалев А.А. Мобилизм и поисковые геологические критерии. - М.: Недра, 1978, 287 с.
5. Магакян И.Г. Основные черты металлогении Армении // Советская геология, 1959, №7, с. 105-116.
6. Сагателян Э.А. Закономерности размещения полезных ископаемых на территории АрмССР. Геология СССР, т. 43, ч. 2. - М., 1972.
7. Паффенгольц К.Н. Геология Армении. Армения в системе Кавказа и Малой Азии. - М.-Л.: Недра, 1948, 895 с.
8. Асланян А.Т. Региональная геология Армении. - Ереван: Айпетрат, 1985, с. 430.
9. Габриелян А.А. Основные вопросы тектоники Армении. - Ереван: Из-во АН Арм. ССР, 1959, 185 с.
10. Мкртчян С.С. Зангезурская рудоносная область Армянской ССР. - Ереван: Из-во АН Арм.ССР, 1995, 297 с.
11. Вардапетян Б.С. Закономерности распределения медного оруденения на территории Армянской ССР. - Ереван: Из-во АН Арм.ССР, 1965, 308 с.
12. Твалчрезидзе Г.А. Металлогенические особенности главных типов вулканических поясов. - М.: Недра, 1977, 110 с.
13. Смирнов В.И. Пути развития металлогении. - Закономерности размещения полезных ископаемых. - М.: Недра, 1981, т. 13, с. 8-20.
14. Твалчрелидзе Г.А. Металлогения Земной коры. - М.: Недра, 1985, 161 с.
15. Никольский Ю.И., Милай Г.А., Коган Л.З. Геолого-геофизические исследования тектоники магматизма и металлогении Кавказа. - Л.: Недра, 1975, 216 с.
16. Джрбашян Р.Т. Палеогеновый вулканизм Базумского хребта (АрмССР) // Автореф. канд. дисс. - М., 1964.
17. Геворкян Р.Г. Геохимические особенности и петрология щелочных пород Центральной Армении // Автореф. канд. дисс. - М., 1966.
18. Сагателян А.К. Новый тип прожилково-вкрапленного медно-молибденового оруденения в Севано-Амасийской структурно-металлогенической зоне // Докл. АН Арм.ССР. - Ереван, 1984, т. IXXVIII, №4, с.178-181.
19. Сагателян А.К. Оценка перспектив выявления коренных месторождений олова в Армении по геохимическим данным // Сб. "Оценка прогнозных ресурсов скрытого эндогенного оруденения по данным геохимических работ". - М., 1983, с. 31-38.

20. Григорян С.В., Овчинников Л.Н. Единая геохимическая зональность первичных ореолов сульфидсодержащих гидротермальных месторождений и ее практическое значение // Проблемы прикладной геохимии. - Новосибирск, 1983.
21. Карцев А.И., Малахов А.С. Миграция элементов, геохимическая зональность и поиски глубоко залегающих гидротермальных месторождений. // Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений. - М.: Наука, 1973.
22. Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений. - М.: Наука, 1976, 400 с.
23. Силаев В.И. Эволюция минералообразования в гидротермальных палеосистемах. - Л.: Наука, 1989, 247 с.
24. Щербаков Ю.Г. Геохимическая эволюция Земли и эндогенное рудообразование // Золото и редкие элементы в геохимических процессах. - Новосибирск, Наука, 1975.
25. Зарьян Р.Н. Минералогия и геохимия руд Кафано-Зангезурской рудной области Армянской ССР // Автореф. докт. дисс. - Тбилиси, 1987.
26. Фаворская М.А., Томсон И.И. и др. Связь магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой. - М.: Недра, 1969, 264 с.
27. Рудоконцентрирующие системы Азии и их металлогения. - М.: Недра, 1983, 192с.
28. Сагателян А.К. Системный подход при геохимическом прогнозировании рудных месторождений. // Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. "Теория и практика геохимических поисков в современных условиях". - М.: ИМГРЭ, 1988, с. 89-90.
29. Сагателян Э.А. Минералогия свинцово-сурьмяных руд Азатекского месторождения. - Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1963.
30. Григорян Г.О. Условия образования и закономерности размещения полиметаллических месторождений Армении // Автореф. докт. дисс. - Тбилиси, 1982.
31. Каралетян А.И. Эндогенные рудные формации Памбак-Зангезурской металлогенической зоны Малого Кавказа. - Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1982.
32. Безирганов Б.Г. К прогнозу скрытого эндогенного оруделения в пределах Азатекского месторождения // Промышленность Армении, №9, 1984.
33. Сагателян Э.А., Малхасян Э.Г., Аревадзе Т.Ш. Об эволюции гидротермального рудообразования в Айоцдзорском рудном районе АрмССР // Бюллетень АН Грузинской ССР, 1990, №2.
34. Сагателян А.К. Минералого-геохимическая зональность медно-молибденового оруденения Анкадзорского рудного поля // Сб. "Методика, легенды и опыт составления геохимических карт". - Орджоникидзе, 1983, с. 78-79.
35. Баранов Э.Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. - М.: Наука, 1987.
36. Барсуков В.Л. Геохимические методы поисков рудных месторождений. - М.: Наука, 1981, 319 с.
37. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. - М.: Недра, 1975, 286 с.
38. Буренков Э.К.,<sup>1</sup> Кравченко Э.С. Геохимическая зональность апатит-магнетит-редкометалльных месторождений. - М.: Недра, 1986.

39. *Григорян С.В.* Рудогенные геохимические аномалии. - М.: Недра, 1982.
40. *Квятковский Е.М.* Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. - Л.: Недра, 1977, 189 с.
41. *Овчинников Л.Н.* Элементы-примеси как индикаторы процессов рудообразования и использования закономерностей их распределения при поисках и разведке рудных месторождений // Химия Земли. - М.: 1964.
42. *Сауков А.А.* Геохимия. - М.: Наука, 1975, 480 с.
43. *Сафронов Н.И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. - Л.: Недра, 1971, 216 с.
44. *Соловов А.П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. - М.: Недра, 1985.
45. *Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. - М.: Наука, 1981, 318 с.
46. *Барсуков В.Л., Волосов А.Г.* Геохимический метод прогноза оруденения на глубину и обнаружение слепых рудных тел на сульфидно-касситеритовых месторождениях // Геохимия, 1980, №11.
47. *Григорян С.В., Гольдмахер И.В.* Элементы-примеси в минералах для оценки геохимических аномалий // Разведка и охрана недр, 1983, №2, с. 29-33.
48. *Григорян С.В.* Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений. - М., 1974.
49. *Юф Б.Я.* Геохимия в локальном геохимическом прогнозе // Тез. докл. Всесоюз. совещ., 28-30 октября 1986 г. - Новосибирск, 1986, т. 2.
50. *Григорян С.В., Сагателян А.К.* Теллур - как элемент-индикатор золотого оруденения // Изв. АН Арм.ССР "Науки о Земле", т. XLII, №6. - Ереван, 1989, с. 19-23.
51. *Баранов Э.Н.* Некоторые особенности первичных геохимических ореолов колчеданных месторождений // Сб. "Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений". - Иркутск, 1971.
52. *Асланян М.П.* Особенности первичных геохимических ореолов Кафанского медного и Шаумянского золото-полиметаллических месторождений // Автореф. канд. дисс. - Ереван, 1993.
53. *Адамян А.З.* Рациональные методы опробования первичных геохимических ореолов // Автореф. канд. дисс. - Ереван, 1992.
54. *Крейтер В.М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. - М.: Госгеолтехиздат, 1953, 785 с.
55. *Амирян Ш.О.* Минералого-геохимическая характеристика золоторудных месторождений Армении. - Ереван: Из-во АН АрмССР, 1986.
56. *Перельман А.И.* Геохимия эпигенетических процессов. - М., 1986, 331 с.
57. *Полынов Б.Б.* Избранные труды. - М.: Из-во АН СССР, 1956.
58. *Назаров А.Г.* Геохимия высокогорных ландшафтов. - М.: 1974, 198 с.
59. *Григорян С.В., Морозов В.И.* Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. - М.: Наука, 1985, с. 220.
60. *Красников В.И.* Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. - М.: Недра, 1965, 399 с.

61. *Поликарпочкин В.В.* Вторичные ореолы и потоки рассеяния. - Новосибирск: Наука, 1976, 407 с.
62. *Саев Ю.Е.* Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. - М.: Наука, 1982, 167 с.
63. *Соловов А.П.* Основы теории и практики металлометрических съемок. - Алмата: Изд-во АН Каз.ССР, 1959, 266 с.
64. *Бородин В.П. и др.* Геохимические поиски золотороссыпного оруденения в условиях Русской плиты // Межд. симп. по прикладной геохимии стран СНГ, 29-31 октября 1997. - М., с. 83.
65. *Кулиев З.Д., Красильников Б.А.* Состояние геохимических методов поисков твердых полезных ископаемых и перспективы их дальнейшего использования в Туркменистане // Межд.симп. по прикладной геохимии стран СНГ, 29-31 октября 1997. - М., с. 12.
66. *Жураев А.Ж., Скрябин В.Ф. и др.* История, результаты и перспективы применения геохимических методов поисков в Узбекистане // Межд. симп. по прикладной геохимии стран СНГ, 29-31 октября 1997. - М., с. 13-14.
67. *Сагателян А.К., Кукулян М.А.* Экологические базы данных как основа создания экспертной системы оценки состояния окружающей среды // Тез. докл. "Применение математических методов и компьютерных технологий при решении задач геохимии и охраны окружающей среды". - Львов, 1992, с. 13-14.
68. *Сагателян А.К. и Кукулян М.А.* Опыт эксплуатации экогеохимической базы данных // Тез. докл. 2-го межд. симпоз. "Применение математических методов и компьютерных технологий при решении задач геохимии и охраны окружающей среды". - Львов, 1994, с. 35-36.
69. *Сагателян А.К., Кукулян М.А.* Комплексное экологическое картирование на базе многомерного статистического анализа // Тез. докл. 2-го межд. симпоз. "Применение математических методов и компьютерных технологий при решении задач геохимии и охраны окружающей среды". - Львов, 1994, с. 46-47.
70. *Сагателян А.К., Кукулян М.А.* Методологические проблемы рискологического анализа // Тез. межд. конф. "Фундаментальные и прикладные проблемы окружающей среды". - Томск, 1995, т. 1, с. 145-146.
71. *Смирнов С.С.* Зона окисления сульфидных месторождений. - М.: Изд-во АН СССР, 1955, 331 с.
72. *Акопян И.А.* Минералогия зоны окисления главнейших медно-молибденовых месторождений Армении. - Ереван: Из-во АН Арм.ССР, 1960, 252 с.
73. *Сагателян А.К.* Особенности распределения тяжелых металлов на территории Армении // Тез. межд. симпоз. "Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез". - Улан-Уде, 1999, с. 190-191.
74. *Sagatelyan A.K.* Natural and manmade biogeochemical provinces of Armenia's territory // Abstracts of 31<sup>st</sup> International geological congress. Rio de Janeiro, Brazil, 2000, CD-Rom Abstract Volume, 14.5.
75. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. - М.: Наука, 1974, 299 с.
76. *Вернадский В.И.* и современность. - М.: Наука, 1984.

77. *Соботович Э.В., Ольштынский С.П.* Геохимия техногенеза. - Киев, 1991, 226 с.
78. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов ССР. - М.: Высшая школа, 1988, 328 с.
79. *Сагателян А.К., Карапетян Г.А.* Техногенез и перспективы дальнейшего расширения сырьевых ресурсов медных месторождений Армении // Промышленность, строительство и архитектура Армении. - Ереван, 1987, №2, с. 44-46.
80. *Григорян С.В., Сагателян А.К.* Мониторинг загрязнения почв промышленных районов Армении тяжелыми металлами // Сб. тез. докл. конф. "Экологические проблемы охраны живой природы". - М., 1990, с. 116-117.
81. Почвы Армянской ССР. - Ереван, 1976, с. 382.
82. *Авакян Н.О., Кашун С.М.* Валовое содержание микроэлементов в основных типах почв в Армянской ССР // Изв. с/х наук, МСХ Арм.ССР, 1972, №4, с. 59-70.
83. *Авакян Н.О. и др.* Комплексное изучение загрязненности почв тяжелыми металлами // Агрохимия, №5. - Ереван, 1984, с. 63-66.
84. *Григорян К.В.* Влияние загрязненных промышленными отходами оросительных вод на питательный режим почвы и урожай сельскохозяйственных культур // Биол. ж. Армении, т. 32, №7, 1979, с. 663-669.
85. *Григорян К.В.* Влияние загрязненных вод на физические и физико-химические свойства почв // Уч. записки. Естеств. науки (ЕГУ), №1, 1984, с. 124-129.
86. *Джуграгян О.А.* Разработка системы экологической оценки и биомониторинга техногенного загрязнения экосистем промышленных районов Армении // Автореф. докт. дисс. - М., 1990.
87. *Унанян С.А.* Загрязнение почв и растительного покрова тяжелыми металлами (Pb, Cu, Mo) вокруг Алавердского горно-металлургического комбината. // Автореф. канд. дисс. - Ереван, 1987.
88. *Сагателян А.К., Джуграгян О.А., Аревшатыан С.Г.* Эколого-геохимическая оценка влияния Алавердского горно-металлургического комбината на прилегающие территории // Мат. Межд. школы "Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды". - Новосибирск, РФ, 2003, с. 127-128.
89. *Сагателян А.К., Аревшатыан С.Г.* Мониторинг состояния экосистемы под влиянием медеплавильного производства // Мат. Межд. науч.-практ. конф. "Страны и регионы на пути к устойчивому развитию". - Киев, 2003, с. 75-77.
90. *Григорян С.В., Сагателян А.К., Асланян М.П.* Загрязнение химическими элементами окружающей среды г.Еревана в зимний период // Тез. докл. Всесоюз. семинара "Экогеохимия городов". - М., 1989, с. 89-90.
91. *Сагателян А.К.* Техногенная ассоциация тяжелых металлов на территории г.Еревана // Сб. тез. Республ. науч. конф. "Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами". - Ереван, 1996, с. 39-40.
92. *Sagatelyan A.K.* Multiproposal use of geochemical maps of cities // Abstracts of 30<sup>th</sup> International geological congress. Beijing, China, 1996, pp. 42-43.

93. *Sagatelyan A.K.* Antropogenic geochemical flow assessment by means of natural deposits in substrata monitoring // Proceeding of First St.-Petersburg International Conference "International and national aspect of ecological monitoring". St.-Petersburg, RF, 1997, pp. 75-76.
94. *Сагателян А.К.* Техногенный геохимический поток тяжелых металлов на территории г. Еревана // Сб. тез. докл. Межд. симпоз. по прикладной геохимии стран СНГ. - М., 1997, с. 20.
95. *Sagatelyan A.K., Petrosyan A.P.* Towards the problem of geochemical association series definition for statistical data of Yerevan City // Proceedings of Conference "Computer science and information technologies". Yerevan, 1999, pp. 509-512.
96. *Sagatelyan A.K., Haroutunyan E.A., Petrosyan A.P.* Computer mapping of the soils contamination with heavy metals applied for Yerevan City // Journal "Mathematical problems of computer science". Yerevan, 1998, v. 20, pp. 111-115.
97. *Сагателян А.К.* Геохимические аспекты экологии города // Тез. Межд. науч. конф. "География, общество, окружающая среда. Развитие географии в странах Центральной и Восточной Европы". - Калининград, РФ, 2001, ч. II, с. 9-10.
98. *Сагателян А.К., Налбандян М.А.* Экотоксикологическая характеристика загрязнения окружающей среды г.Еревана // Мат. межд. науч. семинара "Эко-токсикологическая оценка риска загрязнения окружающей среды Кавказа". - Ереван, 2002, с. 166-171.
99. *Сагет Ю.Е., Ревич Б.А.* Геохимия окружающей среды. - М.: Недра, 1990.
100. *Тер-Терян А.Е., Хачатрян А.Г., Сагателян А.К. и др.* О состоянии фауны насекомых и других групп беспозвоночных животных г.Еревана в условиях антропогенного пресса // Журнал "Энтомологическое обозрение". - Л., 1993, т.62, с. 762-775.
101. *Аракелян С.А., Симонян Т.Ш., Сагателян А.К. и др.* Влияние загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на перинатальную смертность // Мат. науч. конф. Национального Института здравоохранения. - Ереван, 1995, с. 167-168.
102. *Сагателян А.К., Кукулян М.А., Хачатрян Т.С.* Оценка риска перинатальной смертности при загрязнении окружающей среды тяжелыми металлами // Сб. тез. Республ. науч. конф. "Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами". - Ереван, 1996, с. 69-70.
103. *Сагателян А.К., Бабяян Э.А., Вартазарян Л.Д. и др.* Содержание свинца в объектах окружающей среды и в крови детей и взрослых // Сб. тез. Республ. науч. конф. "Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами". - Ереван, 1996, с. 68-69.
104. *Babayan E.A., Sagatelyan A.K., Hovhannessian R.D., ect.* Some health indices under conditions of Lead contamination of the environment and industrial areas // Journal "Medical science of Armenia". Yerevan, 1999, XXXIX, №4, pp. 141-151.
105. *Бабяян Э.А., Сагателян А.К., Коган В.Ю. и др.* Некоторые данные по экологической оценке загрязнения свинцом производственной и окружающей сре-

ды Армении // Вестник Межд. Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, №7(9), вып. 2. - СПб., РФ, 1999, с. 29-34.

106. Сагателян А.К., Бабаян Э.А., Ованесян Р.Д. и др. Гигиенические и экологические аспекты загрязнения свинцом объектов окружающей среды в Армении // Тез. докл. Межд. семинара "Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ". - Ереван, 2000, с. 20.
107. Сагателян А.К. Техногенный геохимический поток и выделение групп риска среди населения // Тез. докл. Межд. семинара "Конверсионный потенциал Армении и программы МНТЦ". - Ереван, 2000, с. 189.
108. Сагателян А.К., Аревшатян С.Г. Использование растений в изучении техногенных биогеохимических провинций // Тез. докл. XI Межд. симпоз. "Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга". - Сыктывкар, РФ, 2001, с. 164.

## СПИСОК РИСУНКОВ

	Стр.
1.1. Схема блокового строения территории Армении.	8
2.1. Схема расположения аномальных участков в системе Анкаванского и Мармарикского разломов.	20
2.2. Схема пространственного расположения минеральных парагенезисов в западной части Вайоцзорского рудного района.	24
2.3. Схема пространственного расположения минеральных парагенезисов в пределах Анкадзорского рудного поля.	29
2.4. Геологическая карта Анкадзорского рудного поля. М 1:10000.	34, 35
2.5. График распределения содержания меди в сложном штокверке. Анкадзорское месторождение, шт. №6, инт. 27-64 м (по данным Анкадзорской ГРП).	36
2.6. Анкадзорское месторождение. Рудные жильные зоны в прожилково-вкрапленных рудах на плане А и в разрезе Б. М 1:2000. По данным ГРП.	37
2.7. Вариации содержаний сидерофильных элементов в пиритах разных генераций Анкадзорского рудного поля.	38
2.8. Вариации содержаний халькофильных элементов в пиритах разных генераций Анкадзорского рудного поля	38
2.9. Вариации содержаний сидерофильных элементов в халькопиритах разных генераций.	38
2.10. Вариации содержаний халькофильных элементов в халькопиритах разных генераций.	38
2.11. Содержание молибдена в сульфидах Анкадзорского рудного поля.	40
2.12. Первичные ореолы меди, молибдена и цинка вокруг рудного тела №1 на горизонте шт. №1 Антониевского месторождения. М 1:2000.	43
2.13. Изменение значений $K_3 = \text{медь} \times \text{серебро/вольфрам} \times \text{олово}$ для различных уровней пересечения рудных зон на разрезах 4-4 <sup>1</sup> , 5-5 <sup>1</sup> , 6-6 <sup>1</sup> Анкадзорского месторождения.	45
2.14. Специализированная карта геохимических аномалий (Cu x Zn x Ag) Анкадзорского рудного поля. М 1:10000.	47
2.15. Схематическая геологическая карта Арманисского месторождения.	50

2.16. Морфологические особенности рудных тел Арманисского месторождения по разрезам III-III, IV-IV, VI-VI Центрального участка. М 1:2000.	51
2.17. Особенности расположения рудных тел по гипсометрическим уровням на разрезе V-V Центрального участка Арманисского месторождения. М 1:2000.	52
2.18. Графики изменения с глубиной продуктивности основных рудных элементов на продольном вертикальном разрезе жильной зоны №2 Арманисского месторождения.	55
2.19. Изоконцентрации содержаний золота в условных единицах на продольном разрезе рудной зоны №2 Арманисского месторождения (Центральный участок). М 1:2000.	56
2.20. Изоконцентрации содержаний серебра в условных единицах на продольном разрезе рудной зоны №2 Арманисского месторождения (Центральный участок). М 1:2000.	57
2.21. Первичный мультипликативный ореол /свинец x цинк x серебро/ на разрезах III-III, IV-IV, VI-VI Арманисского месторождения.	60
2.22. Первичный мультипликативный ореол /свинец x цинк x серебро/ на разрезе V-V Арманисского месторождения.	61
2.23. График изменения количественного соотношения химических элементов в ореоле с глубиной.	62
2.24. График изменения Кз с глубиной.	64
2.25. График изменения с глубиной Кз рассчитанный по элементам-примесям мономинеральных фракций.	65
2.26. Аномалии бария на участке "Восточный" Арманисского рудного поля. М 1:10000.	68
2.27. Аномалии свинца на участке "Восточный" Арманисского рудного поля. М 1:10000.	69
2.28. Аномалии серебра на участке "Восточный" Арманисского рудного поля. М 1:10000.	70
2.29. Аномалии цинка на участке "Восточный" Арманисского рудного поля. М 1:10000.	71
2.30. Геохимическая аномалия (Pb x Zn x Ag) Центрального участка Арманисского месторождения.	72
2.31. Специализированная карта геохимических аномалий (Pb x Zn x Ag) Арманисского месторождения.	73

2.32. Схематическая геологическая карта Меградзорского месторождения.	75
2.33. Первичные геохимические ореолы вокруг рудного тела №1.	82, 83
2.34. График изменения $K_3 = \frac{AgxZnxPb}{NixCохMo}$ с глубиной.	83
2.35. Графики изменения содержания химических элементов в концентрате с глубиной.	86
2.36. График изменения значений $K_3 = \frac{CuxTe}{BixBe}$ и $K_3 = \frac{TexSbxCu}{Ni^2xBe}$ для различных уровней пересечения рудного тела №1 по анализам концентрата тяжелых фракций.	88
2.37. Графики изменения содержания элементов-примесей с глубиной в пирите.	89
2.38. Графики изменения $K_3 = \frac{CuxAsxZn}{TixNi^2}$ и $K_3 = \frac{CuxAs}{TixNi}$ на различных уровнях пересечения рудного тела №1 по анализам пирита.	90
2.39. Графики изменения содержания элементов-примесей в сфалерите.	91
2.40. Графики изменения значений $K_3 = \frac{AgxTexCu}{Bi^2xLa}$ и $K_3 = \frac{AgxCu}{BixLa}$ на различных уровнях пересечения рудного тела №1 по анализам сфалерита.	92
2.41. График изменения мультиминерального $K_3 = K_3Py \times K_3Sf \times K_3gal$ с глубиной.	94
2.42. Специализированная карта геохимических аномалий (Pb x Zn x Ag) Меградзорского рудного поля.	98, 99
3.1. Геохимические аномалии (Pb x Zn x Ag) Агавнадзорского участка Меградзорского месторождения.	111
3.2. Специализированная геохимическая карта содержания меди на территории Армении.	114
3.3. Специализированная геохимическая карта содержания молибдена на территории Армении.	115
3.4. Специализированная геохимическая карта содержания цинка на территории Армении.	116
3.5. Специализированная геохимическая карта содержания свинца на территории Армении.	117
3.6. Специализированная геохимическая карта содержания олова на территории Армении.	118

4.1. Схема расположения объектов Алавердского промкомплекса.	123
4.2. Содержание тяжелых металлов в атмосферной пыли города Еревана.	127
4.3. Нагрузка ряда тяжелых металлов на территории г.Еревана, в кг x км <sup>2</sup> /день.	128
4.4. Геохимическая карта аномалий Pb в почвах г.Еревана.	130
4.5. Геохимическая карта аномалий Zn в почвах г.Еревана.	131
4.6. Геохимическая карта аномалий Cu в почвах г.Еревана.	132
4.7. Геохимическая карта аномалий Ag в почвах г.Еревана.	133
4.8. Карта загрязнения территории г.Еревана (Pb, Cu, Zn, Ni, Ag, Co, Cr, Mo) по величине суммарного показателя концентрации.	134
4.9. Зависимость численности и биомассы почвенной фауны от уровня загрязнения атмосферного воздуха.	136

- 2.1. Парагенетические ассоциации минералов многокомпонентных физико-химических систем гидротермальных месторождений Кафанозангезурской области (по Р.Н. Зарьяну). 18
- 2.2. Эволюционные ряды элементов структурно-металлогенических зон Армении (данные А.И. Карапетяна, Р.Н. Зарьяна, А.К. Сагателяна). 19
- 2.3. Ранжированные ряды элементов-индикаторов геохимических аномалий зоны Анкаван-Зангезурского разлома. 22
- 2.4. Значения  $K_3$  для различных уровней пересечения рудных зон Анкадзорского месторождения. 44
- 2.5. Значения  $K_3$  по отдельным пересечениям рудных зон на разрезе 6-6' Анкадзорского месторождения. 44
- 2.6. Значения коэффициента зональности  $\frac{\text{медь} \times \text{серебро}}{\text{вольфрам} \times \text{олово}}$  для различных уровней среза штокверковых зон Анкадзорского рудного поля. 44
- 2.7. Уровень среза перспективных геохимических аномалий Анкадзорского рудного поля. 48
- 2.8. Вещественный состав руд Арманисского золото-полиметаллического месторождения. 54
- 2.9. Значения  $K_3$  для различных уровней пересечения ореола. 63
- 2.10. Значения  $K_3 = \text{свинец} \times \text{серебро} / \text{кобальт}^2$  для сфалерита, пирита и халькопирита по горизонтам Центрального участка Арманисского месторождения. 65
- 2.11. Относительный уровень эрозионного среза аномалий Центрального участка Арманисского месторождения. 72
- 2.12. Значения мультипликативных коэффициентов зональности для различных уровней пересечения эндогенного ореола вокруг рудного тела №1. 83
- 2.13. Корреляционная связь золота с химическими элементами в руде, концентрате пирите и сфалерите. 85
- 2.14. Значения показателя зональности элементов в концентрате тяжелых фракций. 87
- 2.15. Процент выхода концентрата из пробы. 87
- 2.16. Значения  $K_3 = \frac{Cu \times Te}{Bi \times Be}$  и  $K_3 = \frac{Te \times Sb \times Cu}{Ni^2 \times Be}$  для различных уровней пересечения рудного тела №1. 87

2.17.	Значения $K_3 = \frac{Cu_xAs_xZn}{TixNi^2}$ и $K_3 = \frac{Cu_xAs}{TixNi}$ для различных уровней пересечения рудного тела №1 по пириту.	90
2.18.	Процентное содержание сфалерита в руде и значения поправочного коэффициента (Кп) по горизонтам.	92
2.19.	Значение $K_3 = \frac{AgxCu}{Bi^2xLa}$ и $K_3 = \frac{AgxCu}{BixLa}$ для различных уровней пересечения рудного тела №1 по сфалериту.	93
2.20.	Контрастность $K_3$ пирита и рудных проб.	93
2.21.	Значения мультипликативного коэффициента зональности для различных уровней пересечения рудного тела №1.	94
2.22.	Ряды поперечной зональности аномалий Меградзорского рудного поля.	100
2.23.	Относительный уровень эрозионного среза перспективных аномалий Меградзорского месторождения.	101
3.1.	Средние фоновые и ореольные содержания меди, цинка, свинца и молибдена их отношения и контрастность аномалий в коренных породах, почвах Карнутского месторождения (автор Э.М. Баранов).	106
3.2.	Минимально-аномальные содержания химических элементов (с вероятностью 84,13%) вмещающих пород некоторых рудных месторождений Армении.	107
3.3.	Среднеаномальные содержания химических элементов в рудовмещающих породах некоторых месторождений Армении.	108
3.4.	Коэффициенты сродства элементов первичных и вторичных ореолов Арманисского, Тухманукского и Техутского месторождений.	109
3.5.	Ряды гипергенной подвижности ореолообразующих элементов Арманисского, Техутского и Тухманукского месторождений.	110
3.6.	Характеристика аномалий по вторичным ореолам рассеяния на участке Агавнадзор Меградзорского рудного поля.	112
3.7.	Содержание химических элементов в почвах рудных полей Армении.	112
3.8.	Аддитивный показатель загрязнения почв некоторых рудных полей Армении.	112
3.9.	Ранжированные ряды элементов основных районов структурно-металлогенических зон Армении.	119

4.1.	Содержание ряда тяжелых металлов в коричневых лесных почвах.	121
4.2.	Среднее содержание тяжелых металлов в коренных породах и развитых по ним почвах в пределах Техутского рудного поля.	122
4.3.	Среднее содержание тяжелых металлов в донных отложениях р.Дебед в зоне действия АГМК.	124
4.4.	Среднее содержание тяжелых металлов в коричневых лесных почвах в зоне воздействия АГМК в мг/кг.	125
4.5.	Содержание ряда тяжелых металлов (мг/кг) в пыли г.Еревана (1989г).	126
4.6.	Динамика интенсивности и качественного состава техногенного геохимического потока тяжелых металлов в воздушном бассейне г.Еревана	127
4.7.	Показатели аномалий тяжелых металлов на территории г.Еревана.	131
4.8.	Значение суммарного показателя концентрации и определяемый уровень загрязнения почв.	132
4.9.	Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и перинатальная смертность.	137
4.10.	Содержание тяжелых металлов в овощах, выращиваемых на территории г.Еревана (мг/кг).	137

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫХ ЗОН АРМЕНИИ</b> .....	7
<b>Глава 2. ТИПЫ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ</b> .....	17
<b>2.1. Геохимические аномалии как индикатор металлогенической         зональности</b> .....	17
<b>2.2. Геохимические аномалии как индикатор металлогенической         зональности разломов</b> .....	19
<b>2.3. Минералого-геохимическая зональность Вайоцзорского         рудного поля</b> .....	23
<b>2.4. Минералого-геохимическая зональность оруденения         Анкадзорского рудного поля</b> .....	27
<b>2.5. Первичные геохимические ореолы</b> .....	30
<b>2.6. Геологическое строение и первичные геохимические         ореолы медно-молибденового оруденения Анкадзорского         рудного поля</b> .....	33
2.6.1. <i>Геологическое строение Анкадзорского рудного поля</i> .....	33
2.6.2. <i>Морфология рудных тел</i> .....	35
2.6.3. <i>Минералого-геохимические особенности руд</i> .....	35
2.6.4. <i>Первичные геохимические ореолы</i> .....	39
2.6.5. <i>Перспективы месторождений Анкадзорского рудного поля</i> .....	46
<b>2.7. Геологическое строение и первичные геохимические         Арманисского золото-полиметаллического месторождения</b> .....	49
2.7.1. <i>Геологическое строение Арманисского месторождения</i> .....	49
2.7.2. <i>Морфология рудных тел</i> .....	49
2.7.3. <i>Минералого-геохимические особенности руд</i> .....	53
2.7.4. <i>Первичные геохимические ореолы</i> .....	58
2.7.5. <i>Перспективы Арманисского месторождения</i> .....	66
<b>2.8. Геологическое строение и первичные геохимические ореолы         Меградзорского золото-редкометального месторождения</b> .....	74
2.8.1. <i>Геологическое строение Меградзорского рудного поля</i> .....	74
2.8.2. <i>Морфология рудных тел</i> .....	75

2.8.3. Минералого-геохимические особенности руд .....	77
2.8.4. Первичные геохимические ореолы .....	80
2.8.5. Перспективы Меградзорского рудного поля .....	96
<b>Глава 3. ГИПЕРГЕННЫЕ АССОЦИАЦИИ РУДОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ....</b>	<b>102</b>
3.1. Ретроспективный обзор .....	102
3.2. Особенности гипергенного процесса .....	103
3.3. Вторичные литохимические ореолы .....	105
3.4. Потоки рассеяния .....	113
<b>Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ     ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ .....</b>	<b>120</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>139</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>141</b>
<b>СПИСОК РИСУНКОВ .....</b>	<b>148</b>
<b>СПИСОК ТАБЛИЦ .....</b>	<b>152</b>

*Армен Карленович*  
**САГАТЕЛЯН**

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ  
МЕТАЛЛОВ НА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ**

*Монография*

Подписано в печать 20.03.2004. Формат 70x100 1/16  
Офсетная печать. Печ. л. 10. Тираж 250 экз.  
Цена договорная.

Издательство Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА  
375025, г. Ереван, ул. Абовяна 68

Типография НАН РА  
375019, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24

5615