

ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

Гарбоноуважаме
С.Б. Абовян
Ван

На правах рукописи

УДК: 551.4:550.84.092.2:523.9(479.25)

ШАГИНЯН ГРАЧЯ ВАРТАНОВИЧ

ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ ПОИСКОВ НА ОСНОВЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО
ДЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Специальность 04.00.13. - Геохимические
методы поисков месторождений полезных
ископаемых

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Е Р Е В А Н - 1991

Работа выполнена в Институте геологических наук
Академии наук Республики Армения

Научный руководитель: член-корреспондент АН РА,
доктор геолого-минералогических
наук А.И.Карапетян

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических
наук Ю.Ю.Бугельский (ИГЕМ)
кандидат геолого-минералогичес-
ких наук А.Л.Ананян

Ведущая организация: "Армгоскомгеология"

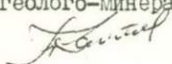
Защита состоится 12 декабря 1991г. в 14 час. 00 мин.
на заседании Специализированного Совета К 005. 16. 01
при Институте геологических наук АН РА.

Адрес: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24^а,
Институт геологических наук АН РА

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института геологических наук АН РА

Автореферат разослан 6 ноября 1991 г.

Ученый секретарь Специализированного
Совета, кандидат геолого-минералогиче-
ских наук



П.М.Каплянян

Актуальность работ. Опыт проведения геохимических поисков полезных ископаемых свидетельствует о недостаточной их информативности в горных районах со сложными природными условиями, если не учтены ландшафтно-геохимические особенности исследуемой территории и не выбран наиболее рациональный комплекс методов поисков.

В настоящей работе разработана методика составления крупномасштабных (1:25000) ландшафтно-геохимических карт районов с большой изменчивостью геохимических параметров. На основе ландшафтно-геохимической карты предлагаются наиболее рациональные методы поисков или их комплекс в пределах каждого выделенного геохимического типа ландшафтов (г.т.л.).

Предложенная методика составления ландшафтно-геохимических карт и проведения поисков в равной мере дают положительные результаты при прогнозировании скрытого оруденения и решении экогеохимических вопросов.

Цель работы - получение достоверной информации о геохимических аномалиях путем комплексирования геохимических методов поисков на основе ландшафтно-геохимического деления исследуемого района.

Основные задачи - составление ландшафтно-геохимической карты Аревис-Барцраванской зоны Сисианского района Армении масштаба 1:25000; изучение вторичных ореолов и потоков рассеяния элементов на основе ландшафтно-геохимического деления этой зоны; рациональное комплексирование методов поисков с выделением участков аномальных содержаний элементов; определение основных геохимических характеристик вод, почв, донных образований и растительного покрова района и установление степени их информативности при проведении поисков; определение степени обоснованности применения каждого метода в пределах каждого выделенного геохимического типа ландшафтов (г.т.л.).

Научная новизна. 1. Впервые составлена ландшафтно-геохимическая карта Аревис-Барцраванской зоны масштаба 1:25000; 2. Для выделенных шести г.т.л. горных районов впервые определена степень информативности всех примененных методов поисков оруденения с выделением ведущих из них в пределах каждого г.т.л. Определены также и элементы-показатели оруденения по каждому методу, которые могут быть использованы при проведении поисков в районах с идентичной металлогенерацией; 3. Установлены типоморфные, избыточные и дефицитные элементы каждого г.т.л. района.

Основные защищаемые положения. 1. В горных, интенсивно расчлененных областях геохимические параметры меняются на весьма небольших расстояниях и проведение геохимических поисков должно основываться

1973



ся на ландшафтно-геохимическом делении района, которое учитывает эти изменения. 2. Нередко даже при одинаковом классе водной миграции элементов разные мощности почв определяют разное поведение элементов, что и определяет выбор типа ландшафтов, как наивысшего таксона деления при масштабе 1:25000. 3. Высокая степень достоверности результатов обеспечивается рациональным комплексированием методов поисков в пределах каждого г.т.л.

Фактический материал и методика исследований. В ходе полевых и лабораторных исследований в период 1982-89 г.г. отобрано и подвергнуто гидрохимическому и спектральному анализам 149 проб воды, методом водной и кислотной вытяжек исследовались 207 проб почв. Все пробы почв, 60 проб растительности и 130 проб донных образований подверглись приближенно-количественному спектральному анализу. Установлен минеральный состав (по гранулометрии) магнитной, электромагнитной и немагнитной составляющих донных образований в объеме 220 проб. Минералого-геохимическое опробование проводилось в 85 точках. Во всех сляках определены минеральный состав магнитной, электромагнитной и немагнитной составляющих тяжелой и легкой фракций и, с помощью приближенно-количественного спектрального анализа, элементный состав этих составляющих в объеме 240 проб. Исползованы результаты свыше 550 анализов свежих и выветлелых разностей пород.

В водах и водных вытяжках определялись макрокомпонентный состав, общая минерализация, pH, железо (общее содержание, двухвалентное и трехвалентное), медь, цинк, марганец, мышьяк, молибден, в некоторых пробах - золото, серебро, ртуть, кадмий, свинец. В кислотных вытяжках определен только микрокомпонентный состав.

Первый этап работы включал определение ландшафтно-геохимических условий района, второй - описание примененных методов поисков, интерпретацию полученных по ним результатов и заключительные выводы.

Практическая ценность работы. Разработанная методика составления ландшафтно-геохимической карты может быть применена также при составлении экогеохимических карт, а сама карта может быть использована для выявления перспективного, скрытого на глубине оруденения, геохимических аномалий, а также для решения ряда сельскохозяйственных и природоохранных вопросов. Методика крупномасштабного ландшафтно-геохимического картирования может служить основой для проведения более детальных (1:10000, 1:5000) поисковых геохимических исследований.

Апробация полученных результатов. По теме диссертации опубликовано 5 статей, о некоторых основных положениях исследований должны на XIII научной конференции молодых ученых и аспирантов в МГУ (1987 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка использованной литературы: включает 152 стр. машинописного текста, 51 таблиц, 28 рисунков и 6 схематических карт. Библиография состоит из 66 наименований.

Работа выполнена под руководством члена-корреспондента АН Армении А.И.Карапетяна в лаборатории гидрогеологии и гидрогеохимии ИГН АН Армении. Большую практическую помощь оказали автору канд. геол.-мин. наук П.М.Каплянцян, доктора геол.-мин. наук С.Р.Крайнов, С.Б.Абовян и Б.М.Меликсетян, кандидаты геол.-мин. наук Э.М.Налбандян, О.П.Гушаджян и Г.М.Мкртчян. Анализы выполнены в гидрохимической, спектральной лабораториях и ЦАЛ ИГН АН Армении, сотрудниками Ц.О.Экзусян, Р.П.Заргарян, И.А.Шагоян и в гидрохимической лаборатории ВСЕГИНГЕО под руководством Л.Л.Волейшо.

Всем перечисленным товарищам автор выражает свою искреннюю благодарность.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

I.1. Орогидрография. Исследования проводились в южной части Армении, на восточных склонах Зангезурского хребта. Это типично горный, интенсивно расчлененный рельефом район площадью около 300 кв.км. Перепад высот составляет 1000 м и более и, как следствие, эрозионные процессы протекают весьма интенсивно, определяя на многих участках преобладание механического сноса над хемогенным. Гидрографическая сеть района принадлежит бассейну р.Воротан.

I.2. Климат. Району свойственны три климатических типа (А.Б.Багдасарян, 1975): холодный, с продолжительной снежной зимой; умеренный, с непродолжительным прохладным летом и холодной зимой и умеренный, с теплым продолжительным летом и холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха и суммарное количество годовых осадков по этим типам, соответственно, составляют: -2° и 750-800 мм; $+1^{\circ}$ и 700-750 мм; $+2^{\circ}$ и 600-650 мм.

I.3. Почвы. Общей чертой характеристики почв района является небольшая мощность. Выделяются 6 типов почв (Р.И.Парсаданян, 1965):

горные каштановые почвы; лесные коричневые, остепненные почвы; лугово-степные почвы; горно-луговые почвы; дерновые коричневые почвы; горные черноземы.

1.4. Растительность. Растительный покров весьма разнообразен, распределение - неравномерное. Леса развиты только в юго-западной части района и в нижнем течении р. Гижет, где преобладают представители буковых (*Fagaceae*) и дубовых (*Quercus*). Большое распространение имеют альпийские луга и комплекс низкотравянистых растений с неглубокопроникающей корневой системой. Биогеохимическое опробование было ориентировано на лишайники (*Lichenes*), мохообразные (*Bryopsida*), маревые (*Chenopodiaceae*), тонколистные (*Hymenophyllaceae*), самые разные представители злаков (*Gramineae*) и низкотравянистые растения.

1.5. Геоморфология. Образование современного рельефа в основном связано с миоплиоценовым вулканизмом. В его формировании принимали участие процессы складкообразования эоцен-олигоцена и миоцена. Проявлены следы действия ледников. Рельеф сильно изрезан довольно глубокими V-образными ущельями.

Проведенный геоморфологический анализ дает основание расчленить район на следующие родовые единицы ландшафтно-геохимического деления: высокогорный, сильно расчлененный рельеф (выше 2500 м); среднегорный, сильно расчлененный рельеф (1500-2500 м); среднегорный, слабо расчлененный рельеф (1500-2000 м); низкогорный, холмистый рельеф (1500-1600 м).

ГЛАВА II. КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЙОНА

2.1. Стратиграфия. Стратиграфическую колонку района составляют метаморфизованные терригенные и карбонатные отложения докембрия-нижнего палеозоя (?), девона, перми, карбонатные отложения позднего мела, вулканические и вулканотерригенные образования эоцена, среднего-верхнего миоцена, нижнего плиоцена.

2.2. Магматизм. В районе интенсивно проявлен эффузивный магматизм. Вулканические породы представлены покровами базальтов (P_{g_2}), андезитов ($P_{g_2} - N_{g_1}$), андезито-дацитов (P_{g_2}), экструзивными и субвулканическими секущими телами, neckами и куполами андезито-дацитов и риолитов неогенового вулканического комплекса и др.

Интрузивный магматизм представлен кварцевыми диоритами (P_{g_2}), гранодиоритами (P_{g_2}), монцонитами (P_{g_3}), а также амфиболизированными габбро ($P_{g_2} - P_{g_3}$) и др. Эти породы образуют сложные по составу интрузивные массивы, среди которых наиболее значительными

являются: Аревисский, Кошакарский, Каракертский и Гижгетский.

2.3. Тектоника. Характерная черта тектоники района - широкое развитие дизъюнктивных нарушений преимущественно СЗ простирания, некоторые из коих являются магмородуоконтролирующими.

2.4. Металлогения. Эндогенное оруденение района в целом связано с магматизмом палеогена и неогена. Наиболее важной является формация золото-сурьмяно-полиметаллических плутогенно-гидротермальных руд, представленная Марджанским, Мазмазакским месторождениями и Барцраванским рудопроявлением. Промышленное значение имеет также формация опалитовых фумарольно-сульфатных руд. Здесь развиты и медно-молибденовая, кварц-золоторудная, полиметаллическая, мышьяковая (реальгар-аурипигментовая) и другие формации, представленные небольшими рудопроявлениями. Некоторые из них являются весьма перспективными.

ГЛАВА III. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА

Изучение гидрогеологических особенностей района основывалось на схеме трехчленного гидродинамического деления Н.К.Игнатовича, предложенного для горных стран. Вертикальное деление - зона местного стока, зона регионального стока и зона вод глубокой циркуляции. Горизонтальная гидрохимическая зональность рассматривается в зависимости от генерализованных по химическому составу и возрасту комплексов пород.

3.1. Зона местного стока. В ее пределах по типу циркуляции выделены: воды подзоны аэрации, грунтовотрецинные воды и пластовотрецинные воды. Имея краткие пути подземного транзита, воды первой подзоны лишь частично отражают химический состав пород, в которых циркулируют. По классу - гидрокарбонатно-хлоридные, кальциево-магниевые-натриевые. Грунтовотрецинные воды - гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-магниевые-натриевые. Они частично зональны по отношению к породам (верхнеплиоценовые и современные отложения), в которых циркулируют. Пластовотрецинные воды гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-натриево-магниевые. Зональны по отношению к породам (андезито-дациты, дациты, липариты и др.) миоплиоценового комплекса.

3.2. Зона регионального стока. Движение вод этой зоны более упорядоченное. Они, в основном, гидрокарбонатно-сульфатные, кальциево-натриево-магниевые, зональны по отношению к породам миоплиоценового комплекса, в которых циркулируют.

3.3. Зона вод глубокой циркуляции. Выходы вод этой зоны немногочисленны. Зафиксированы Мазмазакская группа минеральных источников и Гижгетская минеральная вода. Воды первой группы циркулируют в миоценовых вулканогенах среднего-кислого и среднего-основного состава. Относятся к сульфатно-гидрокарбонатному, кальциево-магниевому классу. Минерализация - 850-900 мг/л. Гижгетская вода - сульфатно-гидрокарбонатная, магниевое-кальциево-натриевая с минерализацией 600 мг/л.

3.4. Рудничные воды района. В пределах Марджанского месторождения циркулируют сульфатно-гидрокарбонатные, кальциево-магниевое-натриевые воды с минерализацией 670 мг/л и $pH=7,5-8,5$. Основным показателем разложения сульфидов служит повышенное содержание сульфат-иона. Годовой вынос металлов водами Марджанского участка составляет: по Fe - 38 кг, по Si - 9,0 кг, Zn - 27,0 кг, As - 27,0 кг, Mn - 90,0 кг, Au - 0,38 кг.

В пределах Мазмазакского участка воды сульфатные, натриевые с минерализацией до 650 мг/л и $pH=3,0$. В самом участке оруденения воды сульфатно-гидрокарбонатные (часто - сульфатные), кальциево-магниевые с минерализацией 1700 мг/л и $pH=2,5-3,0$. Годовой вынос металлов составляет: Si - 155 кг, Zn - 770 кг, As - 125 кг, Mn - 1555 кг, Fe - 7776 кг, Mo - 90 кг, Au - 1,5 кг. Эти цифры представляют интерес как с точки зрения утилизации металлов, так и при экогеохимической интерпретации материала.

ГЛАВА IV. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ДЕЛЕНИЕ РАЙОНА

В основу этого деления положен принцип, предложенный А.И. Перельманом и доработанный для горных стран П.М.Капеляном. Наивысшей таксономической единицей деления, установленной на основе биоклиматических особенностей территории (климат, почвы, растительность), является тип ландшафтов. В геохимическом плане тип определяет характер и направленность гипергенных процессов. В пределах Аревис-Барцраванской зоны выделены следующие типы, именуемые нами геохимическими типами ландшафтов (г.т.л.): альпийский, субальпийский, сухих лесов и кустарников, лесостепной и умеренно-влажных степей. Вторым таксоном деления является класс ландшафтов. Он учитывает миграционную способность элементов и соединений в зоне гипергенеза, а в геохимическом плане характеризует интенсивность протекания процессов. Выделены: кислый; кислый, переходящий в кальциевый и кальциевый классы. Следующий таксон деления - род ландшафтов, характеризует рельефо-морфоло-

гические условия района и в геохимии гипергенеза определяет степень равномерности распределения элементов. Рельефными элементами деления являются: привершинные участки, крутые склоны южной экспозиции, крутые склоны северной экспозиции, пологие склоны южной экспозиции и пологие склоны северной экспозиции. Последний таксон - вид ландшафтов, характеризует различия в геологическом строении и в геохимическом плане определяет степень концентрации (рассеяния) элементов в различных комплексах пород. На основе данных карты "Геологическое строение бассейна р.Сисиан" А.И.Карапетяна и др. произведена генерализация комплексов пород по их химическому составу и возрасту: а) верхнеплиоценовые и современные аллювиальные, делювиальные, пролювиальные и флювиогляциальные отложения (N_2^3-Q); б) верхнеплиоценовые диатомитовые глины, вулканические пески (Сисианская свита), вулканотерригенные конгломераты, гравелиты и песчаники (Мазмазакская свита) (N_2^3); в) миоплиоценовые вулканиды среднего-кислого состава - андезиты-дациты, дациты, липариты-дациты, липариты (N_1-N_2); д) миоплиоценовые вулканиды основного-среднего состава - базальты, андезиты-базальты, андезиты, конгломераты, туфы и др. (N_1-N_2); е) верхнеэоцен-нижнеолигоценные плутонические породы основного-ультраосновного состава - оливиновые габбро, троктолиты, габбро-нориты, пироксениты, монзониты, базифицированные экзоконтактовые породы - метапироксениты, метагорнблендиты, метагаббро ($P_2^3-P_3^1$); ж) нижний олигоцен-нижнемиоценовые плутонические породы среднего и кислого, гранитоидного состава - кварцевые диориты, граносиениты, порфировидные адамеллиты, а также породы комплекса малых интрузивов - кварцевые микромонзониты, микрогранодиорит-порфиры и др. ($P_3^1-N_1^1$).

4.1. Альпийский г.т.л. Развиг на горно-луговых, коричневых, маломощных почвах с кислым классом водной миграции. Привнос материала из вне полностью исключен. Преобладающая фаза выноса - механическая денудация поверхностным стоком. Г.т.л. автономен. Мощность почвенного покрова в среднем составляет 20 см.

4.2. Субальпийский г.т.л. Развиг на горных черноземах, горно-луговых остепненных, коричневых, коричнево-каштановых почвах с кислым классом водной миграции. Привнос материала сильно ограничен. Сравнительно больше продуктивность биомассы. Мощность почв в среднем составляет 40-60 см.

4.3. Г.т.л. сухих лесов и кустарников. Развиг на горно-лесных коричневых почвах с кислым классом водной миграции. По сопряжению - подчиненный, трансальвиальный. Растительный покров в основном представлен кустарниками, карликовым дубом и грабом. Средняя

мощность почв - 50-60 см. Здесь также типоморфен ион водорода, но с глубиной наблюдается действие подвижного углекислого кальция.

4.4. Лесостепной г.т.л. Развита на горно-лесных почвах с кислым, переходящим в кальциевый, и кальциевым классами. Их средняя мощность, соответственно, достигает 80-100 см и 120 см и более. Принос-вынос материала в почвах первого класса сбалансирован. В почвах с кальциевым классом преобладает аккумуляция вещества. Хемогенная миграция большинства элементов весьма затруднена. Типоморфными являются ион водорода и подвижный углекислый кальций.

4.5. Г.т.л. умеренно-влажных степей. Развита на горных черноземах и остепненных лесных почвах с кислым, переходящим в кальциевый и кальциевым классами. Мощность составляет 120 см и более. Происходит интенсивное накопление вещества особенно в почвах с кальциевым классом. Типоморфными являются ион водорода и подвижный углекислый кальций. В геохимическом сопряжении г.т.л. занимает самое низкое, аккумулятивное положение.

С учетом вышеизложенного, составлен ряд карт по родовым и видовым таксонам деления, а так же результирующая "Карта ландшафтно-геохимического деления Аревис-Барцраванской зоны".

4.6. Ландшафтно-геохимическое районирование территории. В масштабе 1:25000 элементами районирования являются: геохимически однородные, элементарные ландшафты и ландшафтно-геохимические фации. Под понятием "геохимически однородный, элементарный ландшафт" мы понимаем участок суши, характеризующийся протеканием одинаковых геохимических процессов на всей его площади (Б.Б.Полынов). В пределах Аревис-Барцраванской зоны выделены 676 таких ландшафтов, из коих 121 - в альпийском г.т.л., 163 - в субальпийском, 7 - в г.т.л. сухих лесов и кустарников, 328 - в лесостепном, 46 - в умеренно-влажных степях и II - в горно-луговом г.т.л.

Различные сочетания г.т.л. составляют ландшафтно-геохимические фации, под которыми понимается определенная совокупность различных сопряженных г.т.л. (П.М.Капеланян). Границами фаций являются местные базисы эрозии, которые в каждом конкретном случае ограничивают миграцию элементов данной фацией. Выбор базисов эрозии диктуется масштабом проводимых работ. В районе исследований выделены 18 ландшафтно-геохимических фаций. Составлены "Карта геохимически однородных элементарных ландшафтов" и "Карта ландшафтно-геохимических фаций" Аревис-Барцраванской зоны.

ГЛАВА V. ПОКАЗАТЕЛИ ОРУДЕНЕНИЯ ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ И ПОТОКАМ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕО- ХИМИЧЕСКИХ ТИПАХ ЛАНДШАФТОВ АРЕВИС-БАРЦРАВАН- СКОЙ ЗОНЫ

5.1. Гидрогеохимические показатели оруденения. В альпийском г.т.л. воды, в основном, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные, кальциево-магниево-натриевые. Установлено, что и поверхностные, и подземные воды, в связи с чрезмерно короткими путями транзита, малоинформативны и метод не может являться ведущим.

В субальпийском г.т.л. исследования проводились по отдельным участкам, в зависимости от изменений видового таксона. Вследствие более длительной циркуляции информативность метода увеличивается. Зафиксированные 4 класса вод по гидрохимическим характеристикам ощутимо отличаются друг от друга, но, обладая достаточно высокой контрастностью металлов-индикаторов в ионной составляющей и в сухих остатках вод, наряду с вариациями химического состава и особенно сульфат-иона, приобретают достаточную степень информативности. В целом метод может применяться в качестве основного.

В г.т.л. сухих лесов и кустарников, в связи с наличием здесь Марджанского месторождения, исследования велись весьма детально. Вопросы влияния зоны окисления месторождения, величины ореолов рассеяния металлов-индикаторов на фоне околонефтральных вод и, как следствие, загрязнение ими окружающей среды, являются весьма актуальными. Метаморфизация состава природных вод под воздействием окисляющихся рудных тел приводит к следующему ряду изменений анионного состава с запада на восток (в пределах ущелий локализации месторождения): $\text{HCO}_3^- \rightarrow (\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}) \rightarrow (\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-) \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$.

Протяженность гидрохимических ореолов ионной составляющей уступает механической, т.е. ионная миграция меди, цинка, мышьяка (основных поисковых показателей) вне рудного поля затруднена. В целом метод информативен по перечисленным элементам и, частично, по молибдену и SO_4^{2-} .

В лесостепном г.т.л. природные воды слабощелочные, что и способствует интенсивной транспортировке материала водным путем. Как правило, поверхностные фоновые воды гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-сульфатные), кальциево-магниево-натриевые. Примерно аналогичными параметрами характеризуются и подземные воды.

В пределах Мазмазакского участка метаморфизация состава вод происходит по следующей схеме: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow (\text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-) \rightarrow \text{HCO}_3^-$.

Левые притоки р.Мазмазак на этом участке имеют $M=1660$ мг/л и нейтральный pH. В значительных концентрациях присутствуют: Cu, Zn, As, Mo, Fe, Mn, иногда - Au. Подземные воды этого участка имеют сульфатный, сульфатно-гидрокарбонатный состав (при фоновом гидрокарбонатном классе) с $pH=3,45-5,8$. Большой информативностью характеризуются и сухие остатки этих вод. В целом, роль метода значительна, особенно при поисках по Cu, Ag, Mn, Mo и Fe.

В г.т.л. умеренно-влажных степей поверхностные и подземные воды гидрокарбонатно-сульфатные с относительно невысокой минерализацией - 340-400 мг/л. Содержание сульфат-иона практически не превышает 10-12% состава анионов и скорее является результатом его привноса с вышерасположенных г.т.л. Компоненты рудной минерализации практически отсутствуют и любые их проявления заслуживают внимания. Наиболее перспективными следует считать поисковые признаки из числа косвенных (повышенные против фона концентрации сульфат-иона и комбинация солевого состава).

В результате гидрохимических исследований выделены участки с аномально-повышенными содержаниями элементов. Принята следующая градация по степени их достоверности: малоперспективные, умеренно-перспективные и перспективные. К первым относятся участки с проявлением косвенных показателей оруденения, ко вторым - участки, включающие аномальные значения некоторых основных и ряда косвенных показателей. Перспективными признаны участки с наложением большинства основных и косвенных показателей. По этому принципу составлена карта аномальных содержаний элементов по данным гидрогеохимических исследований в Аревис-Барцраванской зоне.

5.2. Почвенно-гидрохимические показатели оруденения. Сущность метода заключается в обнаружении искомых компонентов в воднорастворимой части почв. С учетом металлогении района и поведения элементов в зоне гипергенеза в качестве металлов-индикаторов оруденения приняты: Cu, Zn, Mn, Fe, As. Установлены фоновые содержания этих показателей в воднорастворимой и кислотнорастворимой (5%-ный раствор HCl) частях почв в пределах каждого г.т.л. С целью выяснения степени информативности того или иного металла использовано соотношение воднорастворимой части искомого компонента к его валовой подвижной концентрации в кислотной вытяжке, что позволяет определить воднорастворимую часть элемента количественно и наметить набор элементов, служащегося надежным поисковым признаком в пределах каждого г.т.л.

В альпийском г.т.л. роль почвенной гидрохимии второстепенная. Из-за интенсивной расчлененности рельефа создается значительное отличие мощностей почвенного покрова на небольших по площади участках, что приводит к разным условиям миграции и накопления элементов.

Почвы субальпийского г.т.л. по своим геохимическим параметрам сходны с альпийскими, но имеют большую мощность. При поисках метод дает положительные результаты по Zn , Cu , As , Fe ; он может успешно применяться при картировании ореолов и потоков рассеяния, оконтуривании границ зон окисленных руд, крупномасштабном картировании рудных тел. Рациональная глубина опробования по Cu - 10-15 см, по Zn - 40 см.

В г.т.л. сухих лесов и кустарников иллювиальный горизонт выражен более четко и содержание элементов выше. Высока роль органического вещества в распределении элементов по почвенному разрезу. Глубина рационального опробования в среднем составляет 20-25 см, а в целом, почвенная гидрохимия достаточно информативна.

В лесостепном г.т.л. с переходящим классом наблюдается относительное равновесие привноса-выноса материала. В почвах с кальциевым классом преобладает его аккумуляция. Здесь затруднено и перемещение хемогенного материала по почвенному разрезу. Типоморфность подвижного углекислого кальция приводит к выпадению большинства катионов на карбонатном барьере во всех почвенных горизонтах, что, в свою очередь, приводит к образованию ложных аномалий. Почвы с переходным классом сравнительно легко вымываются с поверхности и наблюдается накопление материала в иллювиальном горизонте. Миграционная способность металлов-индикаторов оруденения на один - два порядка ниже, чем в вышеописанных г.т.л., что является следствием слабого растворения сульфидного материала в условиях преобладания карбонатной среды. Основными индикаторами оруденения являются Cu и Fe , вспомогательными - Zn и Mn . В почвах с переходным классом эти элементы фиксируются на глубине 15-20 см, в почвах с кальциевым классом - на поверхности.

В г.т.л. умеренно-влажных степей распределение элементов по почвенному профилю кислого, переходящего в кальциевый, класса аналогично соответствующему классу лесостепного г.т.л. с некоторым увеличением содержаний элементов. Это результат аккумулятивного характера г.т.л. Такая же аналогия наблюдается и в почвах с кальциевым классом. Здесь так-же показателями оруденения являются Cu и Fe . Глубина отбора проб в первом случае составляет 15-20 см, во

втором - до 20 см. По указанным элементам метод информативен.

По результатам почвенно-гидрохимических исследований выделены 4 участка аномальных содержаний элементов, два из которых имеют высокую степень достоверности.

5.3. Литохимические показатели оруденения. Разнообразие природных условий обуславливают чрезвычайную изменчивость геохимических параметров, определяя при этом необходимость корректировки основных поисковых критериев (глубина и шаг опробования). Установление этих параметров также должно базироваться на ландшафтно-геохимическом делении территорий, которое, в свою очередь, учитывает и геохимические особенности каждого г.т.л. в отдельности. В первую очередь это относится к дифференциации глубины и частоте опробования, выбора наиболее информативных элементов-индикаторов оруденения. Выбор этих элементов предусматривает металлогеническую специализацию всех этапов, стадий рудной минерализации района (Cu, Pb, Zn, As, частично - Fe и Mn). Для решения поставленных задач мы использовали метод сравнения средних содержаний элементов в породах, рыхлых новообразованиях и почвах, КК (кларк концентрации) по отдельным г.т.л. и по району в целом, рядами контрастности по КК и коэффициентами почвенного накопления (КПН) ($KПН = \frac{КК_{почвы}}{КК_{породы}}$). Все эти величины рассмотрены по слагающим г.т.л. почвам и породам. Для района в целом ряды контрастности по КК для пород среднего, основного и кислого составов, соответственно, имеют следующий вид: $Mo > Cu > Zn > Pb > Mn \approx Fe$; $Mo > Pb > Zn > Cu > Mn > Fe$; $Pb > Mo > Cu > Mn > Fe > Zn$.

Для почв и рыхлых новообразований, развитых, соответственно, на породах среднего, основного и кислого составов, эти ряды имеют следующий вид: $Mo > Cu > Pb > Mn > Fe \approx Zn$; $Mo > Cu > Pb > Zn > Mn > Fe$; $Mo = Cu > Pb > Mn > Zn = Fe$. Ряды по району в целом, соответственно по КПН для почв, развитых на породах среднего, основного и кислого составов, имеют следующий вид: $Mn > Pb > Fe > Cu > Mo > Zn$; $Cu > Fe > Mn > Pb > Zn > Mo$; $Cu > Zn > Mo > Fe \approx Mn > Pb$. Наибольшими аккумулятивными свойствами обладают г.т.л., развитые на средних породах, наименьшими - на кислых. Однако, установленные ряды, характеризующая район в целом, не отражают поведение элементов в отдельных г.т.л. Для каждого из них получены следующие ряды по КПН: альпийский - $Cu > Fe > Mn > Pb > Zn > Mo$; субальпийский - $Mn > Fe > Cu > Pb > Zn = Mo$; сухие леса и кустарники - $Mn > Pb > Fe > Zn > Cu > Mo$; лесостепной г.т.л. - $Pb > Cu > Fe > Mn > Zn > Mo$; г.т.л. умеренно-влажных степей с $H^+ - Ca^{2+}$ классом - $Fe > Cu > Mn > Zn > Pb > Mo$, в почвах с Ca^{2+} классом того же г.т.л. - $Fe > Cu > Mn > Pb > Zn > Mo$.

Элементы, имеющие $KПН > I$, характеризуются накоплением, при $KПН < I$ элемент подвержен рассеянию.

Исходя из этих данных, по результатам литохимических работ выделены участки аномальных содержаний элементов в почвах.

5.4. Литохимия сухих логов. Суть метода заключается в опробовании образований временных водотоков с последующим спектрометрическим определением искоемых компонентов. Объектами исследований являются почвы, донные отложения небольших логов и балок. Это продукты гипергенеза небольших водотоков, характеризующие распределение элементов в пределах весьма ограниченных площадей. Глубина опробования определяется ландшафтно-геохимическими условиями местности и обычно варьирует от 1-2 до 15-20 см. По определении степени рассеяния или концентрации элементов в логовых образованиях по отношению к аналогичному показателю в почвах для конкретного г.т.л., введено понятие коэффициента логового накопления ($KЛН$), выраженный отношением среднего содержания искомого элемента в отложениях лога к его содержанию в почвах и новообразованиях. Принцип исследований в сущности идентичен принципу литохимических работ. Полученные ряды гипергенного поведения элементов по $KЛН$ имеют следующий вид: альпийский г.т.л. - $Cu > Fe > Mn > Pb > Zn > Mo$; субальпийский - $Pb > Mn > Fe > Cu > Mo > Zn$; сухих лесов и кустарников - $Mn > Pb > Fe > Zn > Cu > Mo$; лесостепной г.т.л. - $Cu > Fe > Mn > Zn > Pb > Mo$; г.т.л. умеренно-влажных степей - $Cu > Fe > Mn > Mo > Pb > Zn$.

5.5. Биогеохимические показатели оруденения. Элементами-индикаторами оруденения района по биогеохимическим исследованиям являются: $Cu, Zn, Pb, Mo, Hg, As, Mn, Fe$, а для выяснения поведения элементов в биогеохимических (фитогеохимических) ореолах, в зависимости от ландшафтно-геохимических условий, вначале было определено их среднее содержание в растительном покрове всего района. Сопоставление же этих данных со средними значениями содержаний в биосфере и установление общих кларков концентраций ($KК$) показало правомерность выбора элементов-индикаторов. Выяснилось, что исследуемый район отличается повышенными концентрациями отмеченных элементов (особенно по Mn, Ag, Mo, Cu) в растениях. Ряд $KК$ в золе растений имеет следующий вид: $Mn > Ag > Mo > Cu > Fe > Pb > Zn$. Для почв, подстилающих растительное сообщество, ряд следующий: $Ag > Cu > Mo > Pb > Mn > Zn > Fe$. Ряд по $KБП$ для района в целом - $Mn(6,2) > Mo(5,4) > Cu(I,9) > Ag(I,5) > Zn(I,25) > Pb(0,5) > Fe(0,38)$. Однако, в пределах различных г.т.л. эта последовательность не соблюдается. Для описания каждого г.т.л. использованы 3 критерия: ряды, сос-

тавленные по отношению местного фона к региональному (МФ/РФ), ряды по КК (отношение к биосфере) и ряды по коэффициентам биологического поглощения (КБП) - A_x . Использование их в комплексе обеспечивает высокую степень достоверности при выделении участков аномальных содержаний элементов в растениях. Полученная нами схематическая карта таких участков основывается на упомянутых рядах, которые условно носят название рядов информативности. Ниже приводятся ряды по КБП выделенных г.т.л.: альпийский - $Cu(5,3) > Mn(2,8) > Zn(0,93) > Mo(0,78) > Fe(0,48) > Pb(0,1)$; субальпийский - $Cu(4,0) > Mn(3,2) > Mo(2,2) > Pb(1,33) > Zn(1,0) > Fe(0,42)$; сухих лесов и кустарников - $Zn(10,0) > Mn(3,2) > Mo(2,1) > Cu(1,3) > Pb(0,6) > Fe(0,11)$; лесостепной с $H^+ \rightarrow Ca^{2+}$ классом - $Mn(18,0) > Cu(5,4) > Mo(2,1) > Zn(1,4) > Pb(0,9) > Fe(0,54)$, с Ca^{2+} классом - $Cu(8,5) > Mo(4,6) > Mn(1,6) > Zn(1,0) > Pb(0,9) > Fe(0,85)$; умеренно-влажные степи с $H^+ \rightarrow Ca^{2+}$ классом - $Mo(13,1) > Mn(4,3) > Cu(1,0) > Zn(1,0) > Pb(0,75) > Fe(0,1)$; с Ca^{2+} классом - $Mo(17,3) > Pb(3,0) > Cu(1,3) > Zn(1,0) > Mn(1,0) > Fe(0,54)$.

5.6. Сорбционно-солевые показатели оруденения. В качестве элементов-индикаторов оруденения приняты: $Fe, Mn, Cu, Mo, Pb, Zn, Ag, As$. Для расчетов использована величина коэффициента сорбционно-солевого накопления (КССН) элементов (отношение КК элементов в донных образованиях к КК в почвах и рыхлых новообразованиях). Для отдельных г.т.л. получена следующая картина: в альпийском г.т.л. широко развита сеть водотоков, но проработка ее - неглубокая. В ложах ручьев преобладают продукты механического сноса. Глинистый материал развит не повсеместно, что ограничивает возможности применения метода. В целом, концентрация металлов на сорбционном барьере происходит дифференцированно. Ряд по местным КК (отношение содержания искомого компонента в донных отложениях к его концентрации в том же природном теле по району в целом) для альпийского г.т.л. - $Pb > Cu > As > Zn > Mo > Fe > Mn > Ag$. Превышением фоновых концентраций характеризуются Pb, Cu и As ($KK > I, 0$). Ряд по КССН - $Zn > Fe > Pb > Cu > Mn > Mo$ (по Ag и As данных нет). В субальпийском г.т.л. отмечается достаточное количество тонкодисперсного материала и илисто-глинистых образований. Оптимальная частота опробования - от 80 до 100-120 м. Ряд по КССН - $Fe > Zn > Mn > Mo, Pb > Cu$, по КК - $Mo > As > Fe > Ag > Cu > Zn > Pb > Mn$. Для г.т.л. сухих лесов и кустарников: КК - $Fe = As = Ag = Zn \geq Cu \geq Mn > Mo > Pb$, КССН - $Fe > Zn > Cu > Mo > Mn > Pb$. Лесостепной г.т.л. с $H^+ \rightarrow Ca^{2+}$ классом: КК - $Mn > Cu > Fe > As = Ag = Zn > Pb > Mo$, КССН - $Mn > Fe > Zn > Pb > Cu > Mo$. Для почв

с Ca^{2+} классом того же г.т.л. - КК - $\text{Mo} > \text{Pb} > \text{Cu} = \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn}$, КССН - $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Mo}$. В умеренно-влажных степях: КК - $\text{Mo} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Pb} > \text{Mn}$; КССН - $\text{Zn} \geq \text{Fe} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Mo} > \text{Cu}$.

Для решения некоторых методологических вопросов проводились исследования по различным ингредиентам донного материала. Определялось, с какой конкретной гранулометрической фракцией минералов связан тот или иной элемент. С этой целью исследовались наиболее представительные пробы Марджанского и Мазмазакского участков, расположенных, соответственно, в г.т.л. сухих лесов и кустарников и в лесостепях. Каждая проба делилась на тяжелую и легкую фракции. В тяжелой выделялись магнитная, электромагнитная и немагнитная составляющие, в легкой - последние две. В каждой из них по гранулометрии выделялись интервалы 0,5-0,25 мм; 0,25-0,1 мм; 0,1-0,05 мм и <0,05 мм. Разделенные пробы дифференцированно подверглись минералогическому и полукалицистическому спектральному анализам с целью установления связи сорбированных и несорбированных компонентов рудной минерализации с минеральным и гранулометрическим составом донного материала.

5.7. Основные показатели оруденения по данным минералого-геохимического опробования. Опробование проводилось в субальпийском, лесостепном с $\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ классом г.т.л. и в сухих лесах и кустарниках. Установлено, что в субальпийском г.т.л. самое высокое значение Mn связано с магнитной составляющей со 100%-ной частотой встречаемости, Mo - с немагнитной, Cu распределена равномерно с некоторым превышением содержания в немагнитной составляющей, Pb и Zn в основном связаны с немагнитной составляющей. В г.т.л. сухих лесов и кустарников, на рудном участке Mn связан с магнитной составляющей, Mo , по частоте встречаемости, с магнитной, а по концентрации - с немагнитной. На рудном и безрудном участках Cu связана с немагнитной и, частично, с электромагнитной составляющими. Pb выявляется в электромагнитной и немагнитной составляющих, Zn связан, особенно на участке оруденения, с немагнитной и, частично, с электромагнитной составляющими. В лесостепном г.т.л. поведение Mn равномерное, Mo в основном связан с немагнитной составляющей, как Cu и Pb . Zn также связан с немагнитной составляющей. Основные минералы Pb (галенит) и Zn (сфалерит) в районе широко распространены, но в шлихах они не обнаружены. Наиболее представительный минерал зоны оруденения - пирит, входит в состав электромагнитной составляющей. Сульфиды других металлов, характерные для металлогении района, в шлихах не накапливаются,

хотя большинство из рудных элементов - Pb , Zn , Mo , Mn присутствуют в качестве примесей в различных составляющих шлихов.

Максимальные концентрации всех элементов рудной минерализации участка Мазмазак преимущественно связаны с немагнитной составляющей тяжелой фракции. Минеральный состав тяжелой фракции дает основание считать, что медь в своей основной массе связана с халькопиритом, эннергитом, блеклыми рудами, цинк - со сфалеритом, свинец с галенитом и сульфосолями и т.д. В электромагнитной составляющей эти элементы связаны с пиритом и, частично, лимонитом. Наиболее слаба связь с магнитной составляющей. Для прогноза оруденения наиболее информативной является немагнитная составляющая тяжелой фракции.

ГЛАВА VI. УСТАНОВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТИПАХ ЛАНДШАФТОВ

Эффективность применения геохимических методов поисков по вторичным ореолам и потокам рассеяния во многом зависит от правильного определения ландшафтно-геохимических особенностей района и выбора рационального комплекса методов поисков для этих условий. Многие из факторов, определяющие ландшафтно-геохимические особенности района, определяются масштабом работ. При масштабе 1:25000 должны учитываться типы и классы г.т.л., а масштабы 1:10000 и 1:5000 предполагают учет родов и видов. Исходя из сказанного, установлено, что: в альпийском г.т.л. ведущим методом поисков является литохимия (особенно по Cu с глубиной опробования 10-12 см, по Mo , Zn , Mn - 25-30 см). Высока и информативность фитогеохимии, но она является вспомогательной. В субальпийском г.т.л. ведущим методом является почвенная гидрохимия с глубиной опробования (по указанным элементам) до 10 см. Высока информативность фитогеохимии и, при достаточной обводненности территории, гидрогеохимии. В г.т.л. сухих лесов и кустарников ведущим является гидрогеохимический метод и, в меньшей степени, почвенная гидрохимия (особенно по Cu , Zn , Mn и Fe). Высока информативность литохимии и фитогеохимии. В лесостепном г.т.л. ведущими являются почвенная гидрохимия, литохимия и метод сорбционно-солевых ореолов. В г.т.л. умеренно-влажных степей наибольшей информативностью обладают почвенная гидрохимия, литохимия (Ca^{2+} класс) и сорбционно-солевые ореолы. Степень приемлемости

отмеченных методов в отношении конкретных г.т.л. по компонентам рудной минерализации, выраженная в баллах, приводится в табл. I:

Таблица I

Степень приемлемости геохимических методов поисков рудной минерализации (в баллах^{*}) в геохимических типах ландшафтов Аревис-Барправанской зоны

Методы	Геохимический тип ландшафтов и класс миграции						
	Альпий-ский	Субаль-пийский	Сухих лесов и кустарников	Лесостепной		Умеренно-влажных степей	
	H ⁺	H ⁺	H ⁺	H ⁺ -Ca ²⁺	Ca ²⁺	H ⁺ -Ca ²⁺	Ca ²⁺
Гидрогеохимия	I	3	4-5	3-4	3-4	2-3	2-3
Почвенная гидрохимия	I	3-4	4-5	3-4	3-4	3-4	3-4
Литохимия	4	3-4	3-4	2-3	2-3	2-3	3-4
Литохимия сухих логов	4	2-3	2-3	2-3	3	I	2
Фитогеохимия	3	3	3	2	2	3	3
Сорбцион-но-солевые ореолы	I	2-3	3-4	4	I-2	3-4	3-4
Минерало-го-геохи-мический метод	0-I	I	I-2	I-2	3	0-I	0-I

^{*}) 0-метод неприемлем; I-приемлем весьма выборочно; 2-приемлем выборочно; 3-приемлем как вспомога-тельный; 4-в основном приемлем; 5-безусловно приемлем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. Для горных областей, характеризующихся большими изменениями био-климатических, рельефо-морфологических и геолого-литологических условий, эффективность проведения крупномасштабных (1:25000) гео-химических поисков скрытого оруденения зависит от правильного лан-

ландшафтно-геохимического картирования, которое учитывает изменения природных условий и определяет рациональный комплекс методов поисков.

2. В пределах изученной части восточного Зангезура ландшафтно-геохимическое деление позволяет выделить 6 геохимических типов ландшафтов: альпийский, субальпийский, сухих лесов и кустарников, лесостепной, умеренно-влажных степей и горно-луговой.
3. При различных методах поисков информативность элементов в отношении скрытого оруденения разная. Высокая степень эффективности поисков обеспечивается при их рациональном комплексировании.
4. Для всех г.т.л. установлена степень приемлемости каждого метода, выделены ведущие из них или их комплекс: по гидрогеохимии показателями оруденения являются: Cu , Zn , Pb , As , Mo , Ag , Au , Fe , Mn , pH , общая минерализация, сульфат-ион и комбинация солевого состава. В целом, метод эффективен в пределах субальпов, г.т.л. сухих лесов и кустарников и, частично, в лесостепях и умеренно-влажных степях; по почвенной гидрохимии показатели оруденения - Cu , Zn , Fe , Mn , As , в некоторых случаях - Mo и сульфат-ион. Метод является ведущим в субальпийском г.т.л., где особенно результативен при картировании отдельных рудных тел и участков, в г.т.л. сухих лесов и кустарников и лесостепях с $\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ классом по Cu и Fe . По литохимии показатели оруденения - Fe , Mn , Mo , Cu , Zn , Pb , As . Метод является ведущим в альпийском, субальпийском г.т.л. (по Cu , Mo , Zn , Pb и Mn) и в сухих лесах и кустарниках (по Mn , Pb , Fe), в почвах с Ca^{2+} классом лесостепей и в умеренно-влажных степях по Cu , Zn , Mo . Литохимия сухих логов служит надежным дополнительным источником информации особенно при проведении литохимических исследований. По биогеохимии (фито-геохимии) показатели оруденения - Cu , Zn , Pb , Ag , Mo , As , Mn , Fe . В альпийском г.т.л. метод информативен по Cu , Zn , Fe и Ag , в субальпах - по Cu , Ag , Mo , Fe , в г.т.л. сухих лесов и кустарников - по Ag и, частично, Pb и Zn , в лесостепях - по Mn , Ag , Cu ($\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ класс миграции) и по Cu , Fe , Ag (Ca^{2+} класс). В умеренно-влажных степях - по Mo , Cu , Ag ($\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$) и по Mo , Zn , Fe в почвах с Ca^{2+} классом. По методу сорбционно-солевых ореолов показатели оруденения - Fe , Mn , Mo , Cu , Pb , Ag , As , Zn , Au . Метод является ведущим в лесостепном г.т.л. (по Cu , Pb , Zn , Mo), в умеренно-влажных степях (по Cu , Pb , Fe , Zn и, частично, Mo).
5. По каждому методу поисков в пределах Аревис-Барцраванской зоны выделены участки аномально-повышенных содержаний элементов: малоперспективные, умеренно-перспективные и безусловно-перспективные.

Последние выделяются по гидрогеохимии (в отношении Fe, Mo, Mn, As, и Zn), литохимии (в отношении Pb, Zn, Mo, Mn) и по методу сорбционно-солевых ореолов (в отношении Mn, Fe, Zn, Cu).

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. О некоторых гидрохимических показателях золото-полиметаллического оруденения при поисках. - Изв. АН Арм.ССР, сер. "Науки о Земле", т. XXXIX, № 4, 1986.
2. Принцип составления ландшафтно-геохимической карты для рационального комплексирования геохимических методов поисков в горных областях в масштабе 1:25000. Материалы XIII науч. конф. молодых уч. и аспирантов. М., МГУ, с. 21-28. 1987.
3. Ряды биологического поглощения элементов в различных геохимических типах ландшафтов. - Изв. АН Арм.ССР, сер. "Науки о Земле", т. XL, № I, 1988 (соавтор Р.А.Бурнутян).
4. Основные черты гидрохимии вод Аревис-Барцраванской зоны. - Изв. АН Арм.ССР, сер. "Науки о Земле", т. XL I, № 4, 1988.
5. Сравнительная оценка содержаний элементов в золе растений по спектральному и гидрохимическому анализам. - Изв. АН Арм.ССР, сер. "Науки о Земле", т. XIII, № 6, 1989 (соавтор Ц.О.Эксузян).
6. Природные воды бассейна озера Севан. Изд. АН Арм.ССР (в печати). (соавторы: А.И.Карапетян, П.М.Каплянян, А.Р.Галстян, Л.А. Григорян).

1973