

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՄԱՆԱԼԴՅԱՆ ՀԱՍՄԻԿ ՄԵԼՍԻ

ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ և
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԻՆԱԶՄՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՆԱԼԻԶ
ԵՐԿՐԱՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈՂՆԵՐՈՎ
(Գեղի գ. ավազանի և Ագարակի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի օրինակով)

ԻԴ.01.06 — «Օգտակար հանածոների հանքավայրերի երկրաբանություն, որոնում և
հետախուզում, մետաղագոյացում» մասնագիտությամբ երկրաբանական
գիտությունների թեկնածուի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2012

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

МАНАНДЯН АСМИК МЕЛСОВНА

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО И СТАТИСТИЧЕСКОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
МЕТОДАМИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
(на примере бассейна р. Гехи и Агарацкого медно-молибденового месторождения)

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук по
специальности 24.01.06 – “Геология месторождений полезных ископаемых, поиск и
разведка, металлогения”

ЕРЕВАН 2012

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների
ինստիտուտի գիտական խորհրդում

Գիտական ղեկավար՝

ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ,
երկրաբ.-հանքաբ. գիտ. դոկտոր
Ռ. Լ. Մելքոնյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

երկրաբ.-հանքաբ. գիտ. դոկտոր
Պ. Գ. Ալոյան
երկրաբ. գիտ. թեկնածու
Զ. Վ. Խաչանով

Առաջատար կազմակերպություն՝

Երևանի Պետական Համալսարան

Պաշտպանությունը կկայանա 2012թ. սեպտեմբերի 25-ին ժամը 13⁰⁰, ՀՀ ԳԱԱ
Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում գործող թ. 054 Մասնագիտական
խորհրդի նիստում:

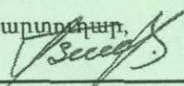
Հասցեն՝ 0019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պող. 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գրադարանում և ԵԳԻ
կայք-էջում:

Սեղմագիրն առաքված է 2012թ. օգոստոսի 14-ին:

054 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,

երկրաբ.-հանքաբ. գիտ. թեկնածու



Հ. Վ. Շահինյան

Тема диссертации утверждена Ученым советом Института геологических наук
Национальной академии наук Республики Армения

Научный руководитель:

член-корр. НАН РА
доктор геол.-мин. наук Р. Л. Мелконян

Официальные оппоненты:

доктор геол.-мин. наук П. Г. Алоян
кандидат геол. наук Х. В. Хачанов

Ведущая организация:

Ереванский Государственный Университет

Защита состоится 25 сентября 2012г., в 13⁰⁰, часов на заседании Специализированного совета
054 при Институте геологических наук НАН РА.

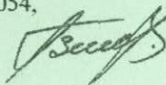
Адрес: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на веб-странице ИГН.

Автореферат разослан 14 августа 2012г.

Ученый секретарь Специализированного совета 054,

кандидат геол.-мин. наук



Г. В. Шагинян

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы

В связи с интенсивным развитием и широким распространением информационных технологий и геоинформационных систем (ГИС), геоинформационное моделирование стало играть важную роль в научных, в том числе и в геологических исследованиях.

К настоящему времени в науках о Земле разработаны различные программные средства математического моделирования. Эти программы позволяют создавать также формальные модели геологических объектов, но не обеспечивают достаточно широких возможностей анализа их особенностей. Существуют горно-геологические и горно-технические информационные системы, с помощью которых можно решать некоторые геохимические задачи. Однако эти программы не могут заменить специализированную геоинформационную систему решения совокупности геохимических задач и не основаны на обобщенной модели организации геохимических данных. Иначе говоря, применение ГИС технологий для решения задач прикладной геохимии недостаточно разработано как за рубежом, так и в Армении. Учитывая это обстоятельство, а также эффективность геохимических исследований в сочетании с геологическими и геофизическими методами изучения месторождений полезных ископаемых, разработка обобщенной модели организации большого объема и разнородных геохимических данных и геоинформационной модели решения широкого круга геохимических задач является актуальной задачей.

В последние годы актуальность вопроса возрасла также в связи с нарастающими экологическими проблемами, при решении которых геохимические методы могут служить эффективным инструментом оценки состояния и прогноза динамики развития экологической системы.

Цель и задачи работы

Целью работы являлась разработка модели организации геохимических данных (Geochemical Data Model) и модели решения совокупности основных геохимических задач в среде ArcGIS, а также применение разработок на примере Агаракского медно-молибденового месторождения и среднего течения бассейна р. Гехи. Данное исследование проведено также с целью выяснения эффективности применения различных методов и алгоритмов при решении определенных геохимических задач.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- сравнительный анализ традиционных статистических и современных пространственных методов изучения геохимического поля,
- интеграция статистических и геоинформационных методов изучения геохимического поля, с целью повышения эффективности исследований и достоверности результатов,
- моделирование и анализ геохимического поля по данным 1:25000 и 1:1000 масштабов геохимического опробования на примере среднего течения бассейна р. Гехи и Агаракского медно-молибденового месторождения Армении,
- разработка модели организации геохимических данных,
- разработка прикладной программы и расширения ArcGIS решения совокупности основных геохимических задач.



2002

Объекты исследования и фактический материал

В качестве объектов исследования были выбраны поля концентраций Агаракского медно-молибденового месторождения и среднего течения бассейна р. Гехи.

Фактический материал диссертационной работы представлен данными эксплуатационного опробования на 14 горизонтах (результаты химических анализов меди и молибден более 23,7 тыс. проб) Агаракского месторождения масштаба 1:1000 и данными геохимической съемки (результаты приближенно-количественного спектрального анализа на Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn около 1600 проб) бассейна р. Гехи масштаба 1:25000.

Методы исследования

При выполнении работы использованы классические статистические методы решения геохимических задач и современные геоинформационные методы моделирования и анализа пространственных данных. Также для разработки прикладных программ использованы язык программирования Visual Basic и платформа ArcObjects в среде Visual Basic for Applications (VBA).

Научная новизна

- Предложен и на реальных геохимических данных применен новый подход к изучению структуры геохимического поля посредством анализа поверхностей концентраций и градиента концентраций.
- Получены новые данные о пространственных и статистических закономерностях распределения оруденения на Агаракском медно-молибденовом месторождении и перспективном участке бассейна р. Гехи.
- Впервые разработана модель организации геохимических данных (Geochemical Data Model) в среде ArcGIS, с целью разработки единой основы стандартных, общепринятых и унифицированных средств для организации, хранения, анализа большого объема геохимических данных и визуализации результатов анализа.
- Разработана прикладная программа решения геохимических задач статистическими методами, унифицирующая существующие методы, при этом интерфейс программы оформлен соответственно содержанию геохимических задач.
- Разработанная прикладная программа на данный момент является единственным расширением ArcGIS решения достаточно полного набора геохимических задач.

Практическая ценность работы

Созданные в рамках данной работы цифровые карты и базы данных геохимического опробования, тектонической структуры и геолого-петрографического содержания, моно- и бизлементные цифровые геохимические карты изученных территорий, а также трехмерные объемные модели Агаракского месторождения могут быть использованы для оценки перспектив и планирования дальнейших геолого-поисковых работ на территории бассейна р. Гехи, планирования и оптимизации эксплуатационных работ на Агаракском месторождении.

Опыт данной работы показывает, что разработанные прикладные программы и методы можно использовать при решении задач прикладной геохимии, а также прогнозно-поисковых, эксплуатационных, геоэкологических задач.

Разработанные модель организации геохимических данных и прикладные программы позволяют автоматизировать пространственный и статистический анализ, картографическое представление геохимических полей (концентраций химических элементов), построение специализированных геохимических карт по результатам вычислений.

Защищаемые положения

- Статистические и геоинформационные методы в геохимических исследованиях эффективно дополняют друг друга, их сочетание повышают достоверность моделирования геохимических полей и интерпретации результатов.
- Разработанная модель организации геохимических данных (Geochemical Data Model) в среде ArcGIS, обеспечивает эффективный анализ и представление геохимической информации.
- Разработанные функциональное расширение ArcGIS и прикладная программа представляют собой эффективный, унифицированный комплекс методов автоматизации решения геохимических задач.
- В бассейне р. Гехи выявлены взаимосвязанные группы химических элементов: 1) Co-V- Ni, 2) Pb-Zn, 3) Cu-Mo. Медь и молибден имеют генетическую общность процесса накопления, отличную от остальных элементов, одновременно установлены также определенные различия распределения этих элементов. Выявлен литологический контроль распределения меди и молибдена, совместная интенсивная аномалия которых наблюдается только вокруг месторождения Анкасар.
- На месторождении Агарак выявлена пространственная разобщенность высоких концентраций меди и молибдена как в плане, так и на глубину. Ориентировка участков с высоким градиентом концентраций меди и молибдена совпадает в пространстве с общим направлением разрывных нарушений.

Апробация работы и публикации

Основные положения и результаты диссертационной работы были доложены на международных конференциях: **International User Conference of Geoinformation Systems and Remote Sensing, 2009, 2007, 2006, Тбилиси, Грузия**; 5-я Международная конференция и летняя школа. Геоинформационные Системы в науках о Земле. 2008, Дубна, Россия; GIS and Remote Sensing, 2008, Ереван, Армения, а также на форуме молодых ученых. Достижения и перспективы молодых ученых, 2012, Цахкадзор, Армения.

Основные результаты и отдельные положения доложены на Ученом совете и научных семинарах ИГН НАН РА и в Лаборатории геоинформатики.

Основные положения и результаты работы освещены в трех научных статьях, а также в опубликованных тезисах двух международных конференций.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 119 наименований и приложения. Работа состоит из 187 страниц, включая 103 страницы машинописного текста, 11 таблиц, 126 рисунков и приложение.

Работа выполнена в лаборатории Геоинформатики Института геологических наук НАН РА.

Автор выражает свою благодарность директору ИГН НАН РА, доктору геол.-мин. наук А. С. Караханяну за содействие и внимание при выполнении работы.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю – члену-корр. НАН РА, доктору геол.-мин. наук Р. Л. Мелконяну за ценные советы и замечания при подготовке работы.

Автор выражает особую признательность канд. геол.-мин. наук А. А. Авакяну за неоценимую помощь при проведении исследований и подготовке работы.

Автор признателен за ценные советы и консультации академику НАН РА, докт. геол.-мин. наук С. В. Григоряну.

Свою глубокую благодарность автор выражает канд. геол.-мин наук О. П. Гуюмджяну,

К. М. Мартияну и Р. Н. Таяну за консультации и любезное предоставление различных геологических и геохимических данных. Автор признателен всем сотрудникам Лаборатории геоинформатики Института геологических наук и геологического отдела Агаракского медно-молибденового месторождения за содействие при выполнении работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА I. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ИЗУЧЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методы моделирования и, в особенности, геоинформационного моделирования приобрели важное значение в науках о Земле, создавая возможность глубокого, многостороннего и многофакторного анализа закономерностей распределения геологических объектов в пространстве, выявления закономерностей распределения рудных элементов, оценки пространственных взаимосвязей, оконтуривания перспективных участков, а также оценки достоверности полученных результатов.

Рассмотрены описанные в литературе множества определения модели и моделирования, классификация и основные функции научных моделей. Основываясь на этих представлениях создана концепция моделирования геохимических данных, для обеспечения эффективного применения модели и достоверной интерпретации результатов анализа на основе моделирования. Эффективное моделирование геохимических данных организовано как циклический процесс, включающий следующие последовательные шаги - определение целей моделирования, упрощение объекта, содержательное описание модели, создание формализованной схемы, создание модели, оценка адекватности модели, исследование модели, перенос знаний с модели на объект-оригинал и проверка полученных результатов. Исследование модели для получения знаний об объекте-оригинале осуществлено после положительной оценки адекватности модели. Оценка адекватности геохимической модели осуществлена путем определения соответствия модели свойствам объекта на эталонных участках и сравнительного анализа характеристик различных моделей. Неудовлетворительные модели дорабатывались.

Данный подход моделирования и изначальная ориентировка на особенности поставленных конкретных геохимических задач существенно повысили эффективность модели и достоверность полученных результатов.

ГЛАВА II. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основных методов решения поставленных задач использованы статистические и геоинформационные методы моделирования и анализа геохимического поля. Впервые проведенное интегрирование статистических и геоинформационных методов явилось наиболее оптимальным подходом создания более достоверных моделей геохимического поля и проведения более глубокого, многофакторного и многостороннего исследования закономерностей распределения химических элементов.

Математическая статистика является одним из основных инструментов анализа геохимических данных и в настоящее время широко применяется для решения конкретных геохимических задач.

Методами математической статистики решены следующие геохимические задачи:

- выявление статистических закономерностей распределения содержаний химических элементов,

- определение фоновых и минимально аномальных содержаний,
- оценка тождественности конкретных геохимических объектов,
- решение вопроса об изменении концентрации элемента на глубину путем сравнения результатов опробования на разных горизонтах,
- оценка статистической взаимосвязи содержаний элементов методами корреляционного и кластерного анализов.

Изучены пространственные закономерности геохимического поля посредством моделирования и анализа геохимического поля (DMGF-Digital Model of Geochemical Field) в среде ArcGIS и SurPac. Построены специализированные моно- и бизлементные геохимические карты концентраций, карты градиентов концентраций, поверхностей тренда и остаточных поверхностей тренда концентраций, выделены аномальные участки рудного поля, изучены такие важные характеристики геохимического поля, как линейная и площадная продуктивности. С этой целью использованы стандартные возможности ArcGIS, их комбинации, используя Model Builder и разработанное нами специализированное приложение для ArcGIS решения геохимических задач.

Выполнен сравнительный анализ триангуляции и интерполяции поверхностей концентраций. Выбор оптимального метода решения каждой конкретной задачи осуществлен на основании сравнительного анализа алгоритмов триангуляции и различных методов интерполяции, а также исходя из масштаба исследования. В результате сравнения методов выявлено, что при анализе структуры геохимического поля TIN модель эффективна для обнаружения резких изменений концентраций на небольших расстояниях, выявления и картирования геохимических барьеров.

При геолого-геохимических исследованиях наиболее подходящими интерполяторами оцениваются Кригинг (Kriging) и Обратных взвешанных расстояний (Inverse distance weighted).

При моделировании геохимического поля среднего * масштаба наиболее подходящим оценивается метод Кригинга, однако следует учитывать требование о соответствии нормальному закону распределения концентраций. Для моделирования геохимического поля крупного масштаба больше подходит метод Обратных взвешанных расстояний, позволяющий фиксировать локальные вариации концентраций.

Применен новый подход анализа изменчивости геохимического поля посредством анализа поверхности градиента концентраций.

Анализ поверхностей концентраций является эффективным методом анализа структуры геохимического поля. Преимуществом этого метода является применение топологии точек опробования для анализа пространственных закономерностей распределения химических элементов. Учитывается взаимное расположение точек опробования и ориентировка площадей с определенными концентрациями.

Построена также трехмерная модель оруденения Агаракского месторождения, посредством программного пакета SurPac. Созданы каркасная и блочная модели рудного тела, которые использованы для выявления закономерностей распределения химических элементов по горизонтали и на глубину.

Осуществлена интеграция статистических и пространственных методов как эффективный подход для многостороннего и многофакторного анализа геохимического поля и получения обоснованных результатов. Интеграция осуществлена посредством параллельного анализа статистического и пространственного моделей, а также статистического анализа пространственной модели геохимического поля.

Для статистического анализа пространственных особенностей геохимического поля поверхности концентраций, аппроксимированные по дискретным данным, классифицируются по определенному правилу, в зависимости от масштаба и целей исследования (Таблица 1.).

Далее посредством статистического анализа площадей с определенными интервалами содержаний химического элемента выявляется характер их распределения (выделенных интервалов содержаний элемента или классов интенсивности оруденения), основываясь на пространственном расположении концентраций.

Таблица 1.

Интервалы содержаний при исследованиях геохимических данных среднего и крупного масштабов

№	Интервал содержаний		Геохимическая интерпретация классов
	Средний масштаб	Крупный масштаб	
1	$< \bar{X}$	$< \text{МПК}$	Не превышающие фоновые содержания
2	$(\bar{X}; \bar{X} + \sigma)$	$(\text{МПК}; \text{МПК} + \sigma)$	Слабые аномалии
3	$(\bar{X} + \sigma; \bar{X} + 2\sigma)$	$(\text{МПК} + \sigma; \text{МПК} + 2\sigma)$	Интенсивные аномалии

Статистический анализ пространственной модели геохимического поля дает возможность выявлять и количественно оценить зависимости между основными компонентами геохимического поля – обогащенностью (концентрациями), изменчивостью, геологическим и структурным строением изученного района.

Таким образом, интеграция статистических и пространственных методов является наилучшим подходом для решения геохимических задач. Построение достоверной пространственной модели геохимического поля основывается на результатах анализа статистического распределения концентраций. В то же время статистические методы являются эффективным инструментом анализа характеристик пространственной модели и особенностей структуры многокомпонентного поля концентраций.

ГЛАВА III. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ СРЕДНЕГО МАСШТАБА (1:25000) НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ БАСЕЙНА РЕКИ ГЕХИ

Моделирование геохимического поля осуществлено на примере среднего течения бассейна р. Гехи, по данным геохимической съемки масштаба 1:25000, выполненной Кольцовской экспедицией. Использованы данные приближенно-количественного спектрального анализа около 1600 проб на Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn, выполненного в спектральной лаборатории г. Эссентуки.

Статистическая модель геохимического поля. Изучены закономерности статистического распределения химических элементов во всех типах пород, слагающих изученную площадь, вычислены выборочные средние содержания, стандартные отклонения, представляющие степень изменчивости содержаний, а также гистограммы частот распределения содержаний. Проведен сравнительный анализ изученных пород на основании указанных характеристик. Средние содержания изученных типов пород сравнены также с кларком и с соответствующими средними содержаниями химических элементов в главных типах магматических пород.

Для выявления наличия или отсутствия взаимосвязанности и ассоциативных связей между Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn на данной территории применены корреляционный и кластерный анализы (Рис. 1), рассмотрено также совместное статистическое распределение содержаний этих элементов с помощью трехмерной гистограммы (Рис. 2).

В породах изученного района наблюдается накопление меди и молибдена, поведение которых имеет как сходство, так и определенные различия.

Выявленные различия распределения меди и молибдена в пределах ядра и кольца интрузии подтверждают двухфазное строение Гехинской интрузии.

В породах слагающих внешнее кольцо и ядро интрузии выявляются также различные ассоциации химических элементов. Корреляционным анализом не выявляется связь между медью и молибденом. Кластерным анализом медь и молибден объединяются в группу, однако между ними наблюдается наибольшее расстояние (Рис. 1).

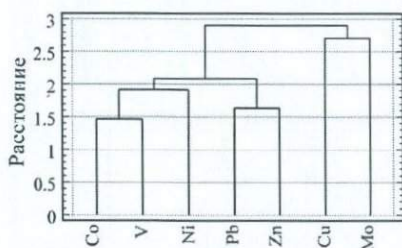


Рис. 1. Дендрограмма, построенная по методу ближайшего соседа

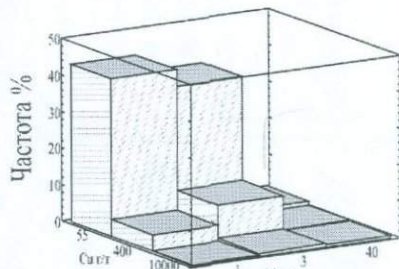


Рис. 2. Трехмерная гистограмма Cu и Mo

На основе результатов корреляционного и кластерного анализов выделены следующие ассоциации химических элементов: Co-V-Ni, Pb-Zn и Cu-Mo. Пространственная модель геохимического поля. Для изучения и выявления пространственных закономерностей распределения химических элементов на основе данных геохимического опробования среднего масштаба построены моно- и биеlementные карты геохимических аномалий (Рис. 3, Рис. 4). Создан ГИС проект изученной территории со следующими тематическими слоями - геологическое строение изученного района, петрографический состав пород, разрывные нарушения, гидротермально или метасоматически измененные участки, точки геохимического опробования и речная сеть. Использована геолого-петрографическая карта М 1:25000, составленная О. П. Гуюмджяном. Также создана база данных, каждая таблица которой содержит атрибутивную информацию об объектах на тематической карте. Посредством наложения всех выше перечисленных цифровых карт решены вопросы пространственной приуроченности повышенных содержаний химических элементов к конкретным структурам и разновидностям пород. Наложением поверхностей концентраций различных химических элементов выявлена также пространственная корреляция между ними.

Результаты статистических методов подтверждаются пространственными методами. Выявлены закономерности пространственного распределения химических элементов, размещение геохимических аномалий, их приуроченность к определенным структурам, отсутствие или наличие структурного, магматического или литологического контроля.

Анализ цифровых моноэлементных геохимических карт позволил выявить пространственную корреляцию между Ni, Co, V; Pb, Zn; Cu, Mo.

Изучено совместное пространственное распределение меди и молибдена, посредством построения и анализа биеlementной карты. Для составления биеlementной карты каждой точке опробования присвоено значение в ранговой (порядковой) шкале измерения по принципу двумерного распределения меди и молибдена. Далее, на основе новых атрибутов, а также учитывая плотность распределения точек опробований с указанными комбинациями содержаний меди и молибдена, выделены ореолы для каждой комбинации содержаний.

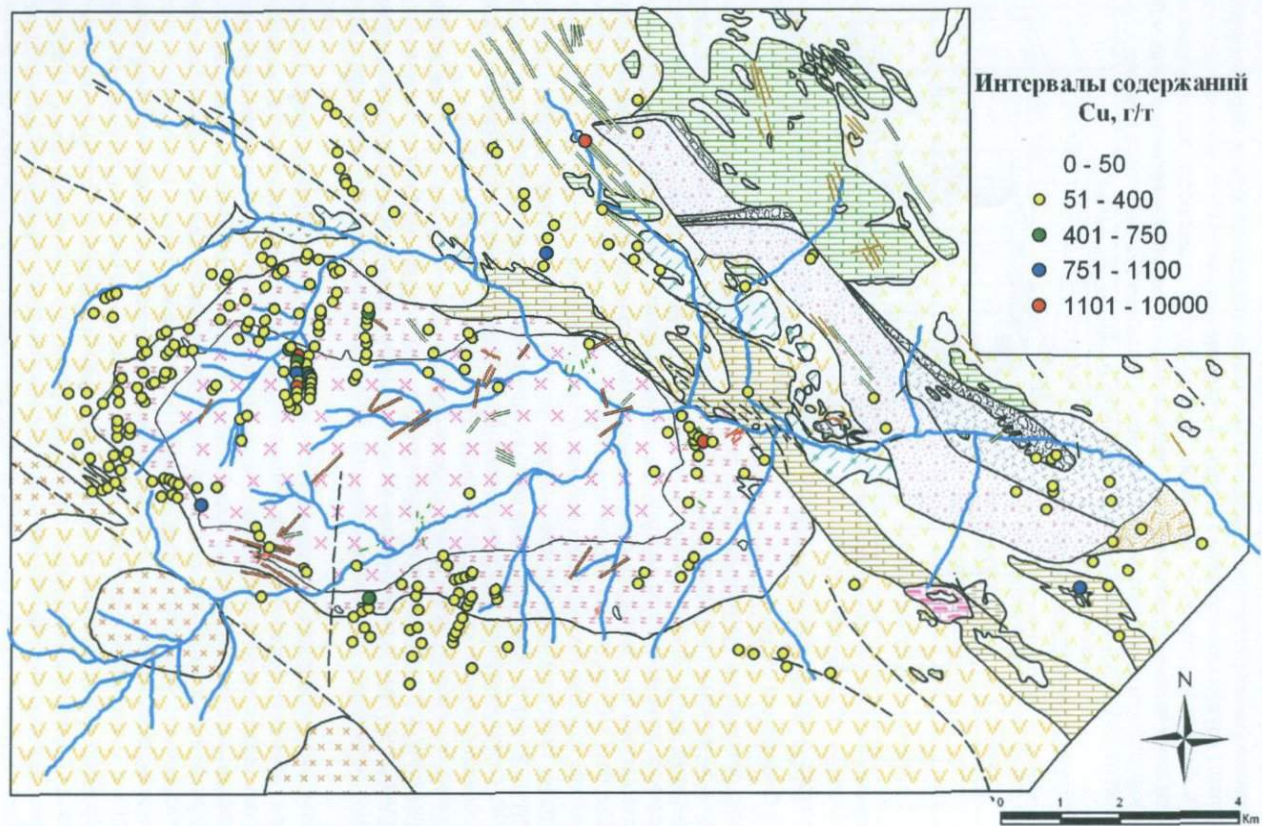


Рис. 3. Геохимическая карта пространственного распределения Cu

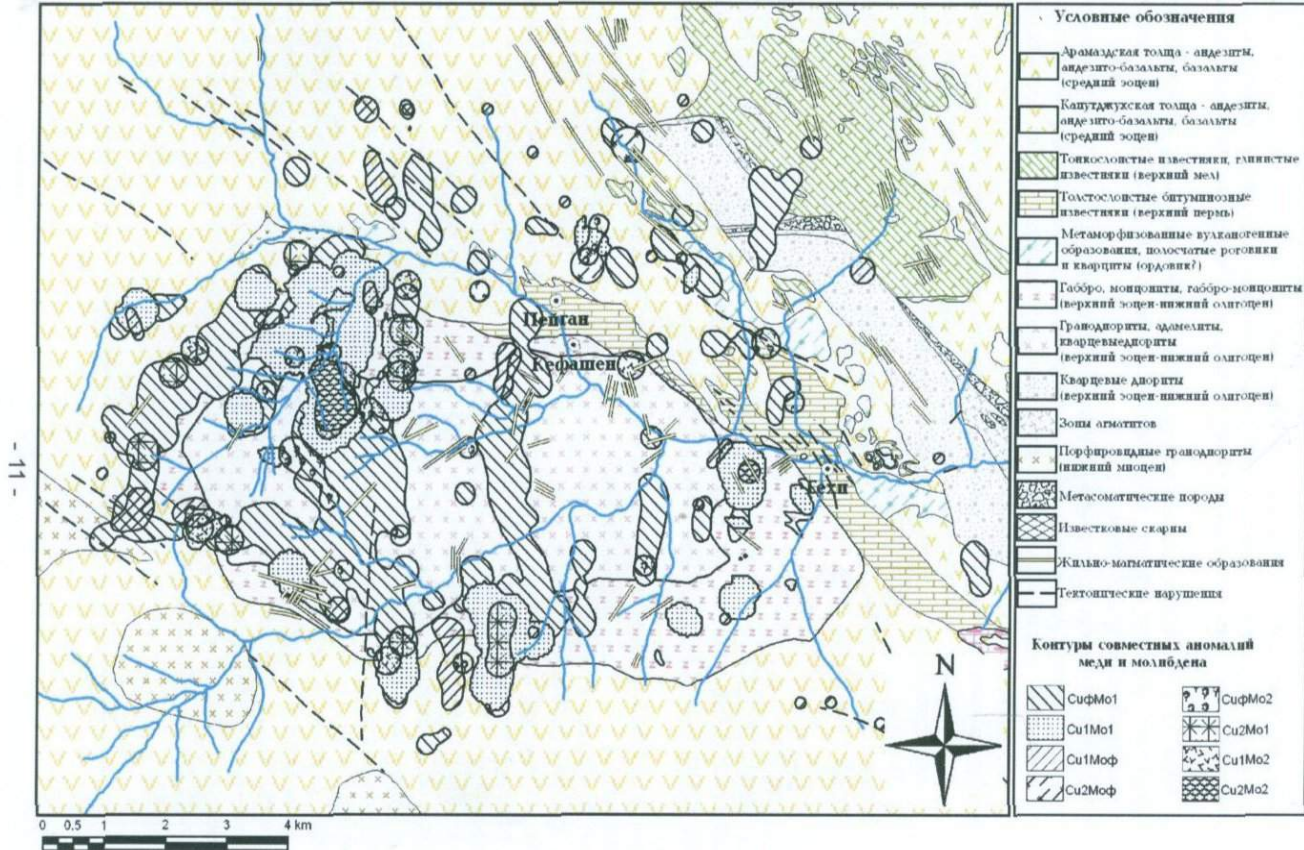


Рис. 4. Бизлементная карта геохимических аномалий меди и молибдена среднего течения р. Гехи

Результаты анализа пространственных закономерностей распределения изученных элементов сводятся к следующему:

1. Изученные элементы в основном образуют вытянутые, реже изометричные аномалии как в пределах Гехинской интрузии, так и во вмещающих породах. Аномалии в основном вытянуты в меридиональном и субмеридиональном направлении, часть которых приурочена к известным тектоническим нарушениям.
2. В породах изученного района наблюдается накопление меди и молибдена, поведение которых имеет как сходство, так и определенные различия, заключающиеся в следующем.
 - В пределах внешнего кольца Гехинской интрузии имело место равновесное магматическое накопление меди, в то время как в пределах ядра Гехинской интрузии – молибдена. Однако в пределах ядра интрузии имело место также постмагматическое накопление меди;
 - По количественным и качественным признакам на всей территории преобладает молибденовая минерализация. Совместная интенсивная аномалия меди и молибдена наблюдается только вокруг месторождения Анкасар.
3. Установлена статистическая и пространственная взаимосвязь между элементами выделенных групп: 1) Co-V-Ni, 2) Pb-Zn, 3) Cu-Mo.

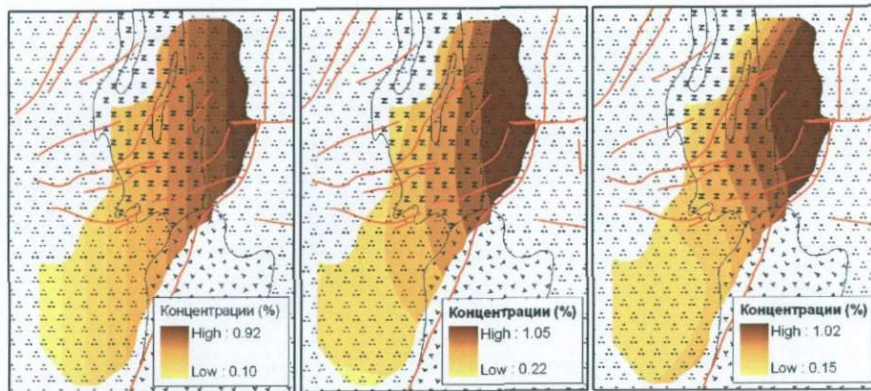
ГЛАВА IV. МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО ДАННЫМ ДЕТАЛЬНОГО ОПРОБОВАНИЯ (М 1:1000) НА ПРИМЕРЕ АГАРАКСКОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АРМЕНИИ

Рассматривается геологическая характеристика Агаракского рудного поля и одноименного месторождения.

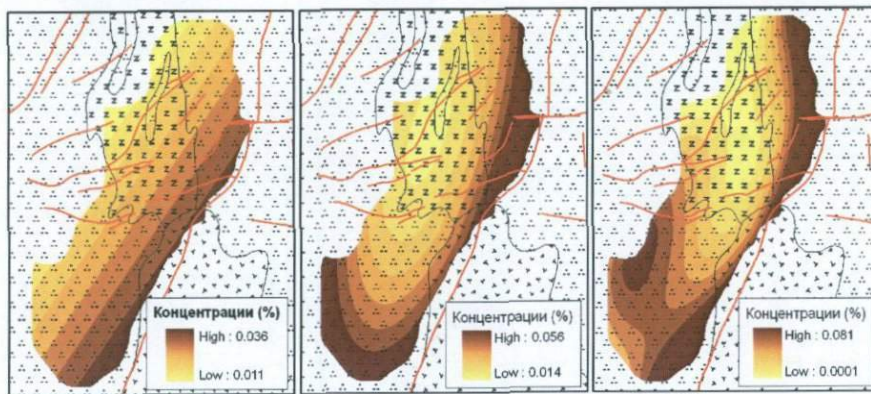
Разработан и применен новый подход решения основных задач поисковой геохимии и анализа структуры поля концентраций.

Осуществлено моделирование и анализ структуры геохимического поля в среде ArcGIS по данным эксплуатационных скважин на 14-и горизонтах. Модель включает следующие тематические слои: геолого-петрографическое строение, разрывные нарушения, планы эксплуатационного опробования 14 горизонтов М 1:1000, контур карьера. Также, создана база данных с описательной информацией и организована динамическая связь между базами данных и цифровыми картами. Программным пакетом SurPac создана блок модель и объемная модель рудного тела и смоделированы разрывные нарушения в трехмерном пространстве.

В качестве основного метода исследования закономерностей пространственного распределения меди и молибдена использованы различные методы анализа поверхностей концентраций: тренд анализ (первого, второго и третьего порядков), остаточные поверхности тренда концентраций, анализ градиентов концентраций, как метод оценки изменчивости поля концентраций (Рис. 5, Рис. 6). Отмеченные пространственные модели созданы и подробно изучены для всех 14 горизонтов.



а) Поверхности тренда концентраций меди первого, второго и третьего порядков горизонта 970.



б) Поверхности тренда концентраций молибдена первого, второго и третьего порядков горизонта 970.

Условные обозначения

- Нижний-средний плато
- Континентально-озерные отложения
- Верхний эоцен
- Лейкократовые порфиридные гранодиориты
- Верхний эоцен
- Граносенииты
- Разрывные нарушения

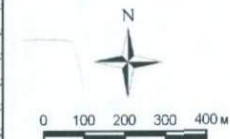
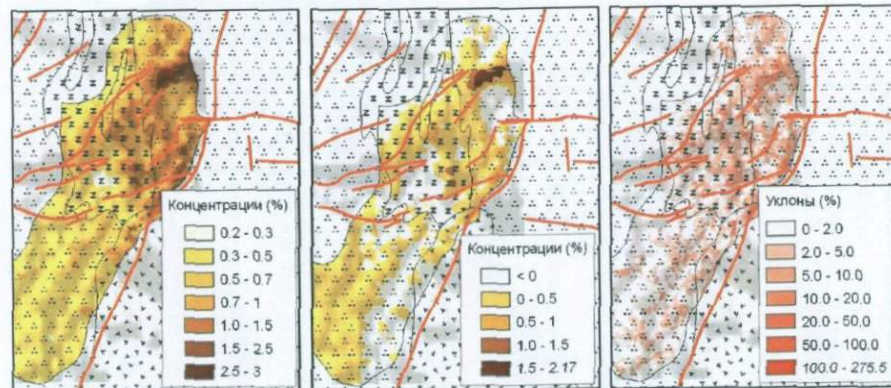


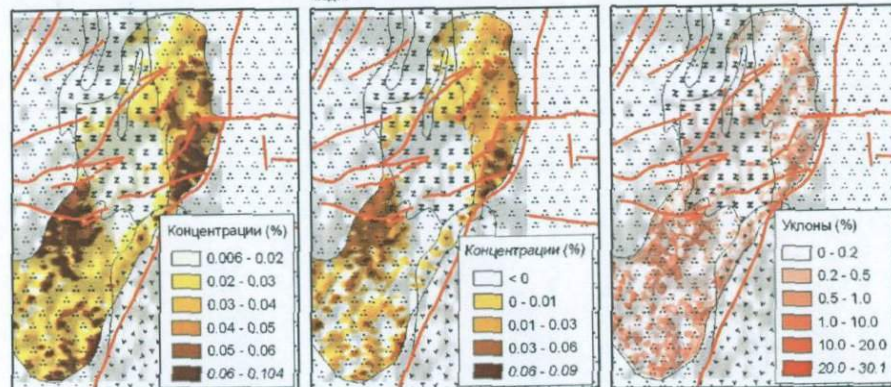
Рис. 5. Поверхности трендов концентраций меди (а) и молибдена (б)



а) Поверхность концентраций меди

б) Остаточная поверхность концентраций меди

в) Поверхность уклонов концентраций меди



г) Поверхность концентраций молибдена

д) Остаточная поверхность концентраций молибдена

е) Поверхность уклонов концентраций молибдена

Условные обозначения

Нижний-средний палеоц. континентально-озерные отложения

Верхний эоц. лейкократовые порфировидные гранодиориты

Верхний эоц. Граносениты

Разрывные нарушения



Рис. 6. Структура поля концентраций меди (а, б, в) и молибдена (г, д, е)

Интегрированы статистические и геоинформационные методы для анализа структуры поля концентраций, выявления особенностей совместного распределения, закономерности вертикального распределения, изменчивости поля концентраций меди и молибдена. Указанные вопросы подробно рассмотрены для каждого горизонта.

Особенности распределения рудных элементов изучены посредством статистического анализа пространственного показателя поля концентраций - частотами встречаемости площадей концентраций (выраженные в процентах от общей площади опробования заданных интервалов на каждом горизонте (Рис. 7, Рис. 8)).

Особенности совместного распределения меди и молибдена выявлены посредством анализа биеlementных поверхностей концентраций и трехмерных гистограмм, представляющих частоту встречаемости заданных комбинаций содержаний двух элементов (Рис. 9).

Закономерности вертикального распределения меди и молибдена изучено посредством сравнительного анализа поверхностей концентраций 14 горизонтов.

В качестве критерия интенсивности оруденения использованы удельные площадные продуктивности меди и молибдена на всех горизонтах. Ореолы элементов оконтурены по величинам минимально промышленных концентраций или бортовых содержаний, а площади представлены в процентах от общей площади опробования на данном горизонте. Следует отметить, что качество руды характеризуется распределением не отдельных элементов, а их суммой, выраженной условным содержанием основного компонента - в данном случае меди (Рис. 10).

В качестве критерия пространственной изменчивости оруденения использованы средние значения уклонов поверхностей концентраций (Рис. 11).

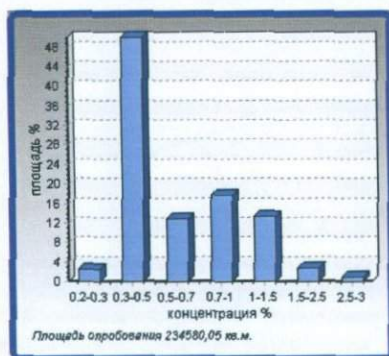


Рис. 7. Гистограмма частот встречаемости содержаний Cu

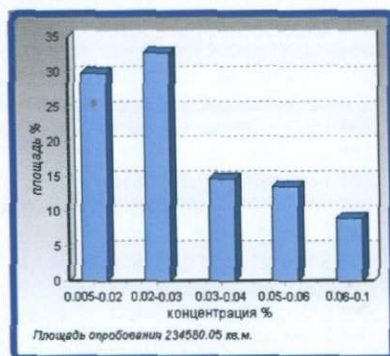


Рис. 8. Гистограмма частот встречаемости содержаний Mo

Горизонт 1135

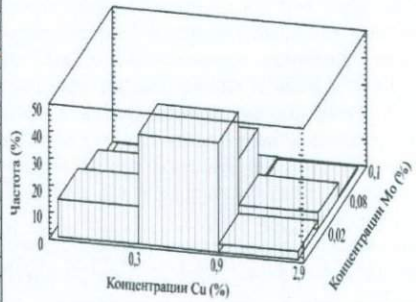
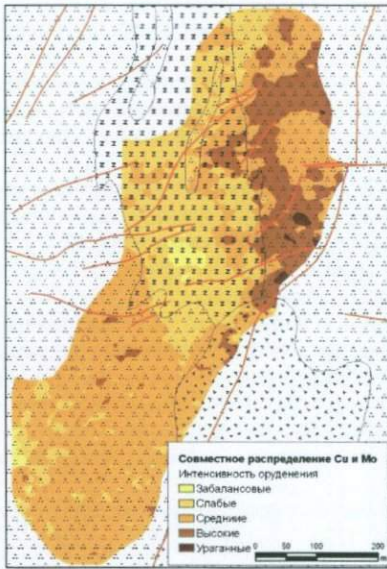


Рис. 9. Совместное распределение меди и молибдена

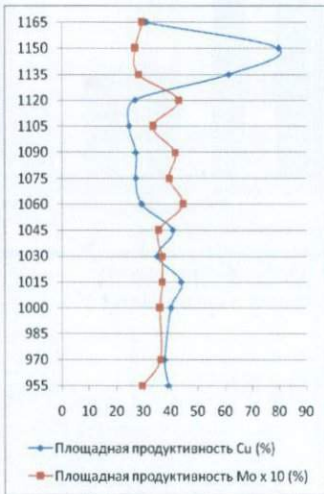


Рис. 10. Удельные площадные продуктивности Cu и Mo

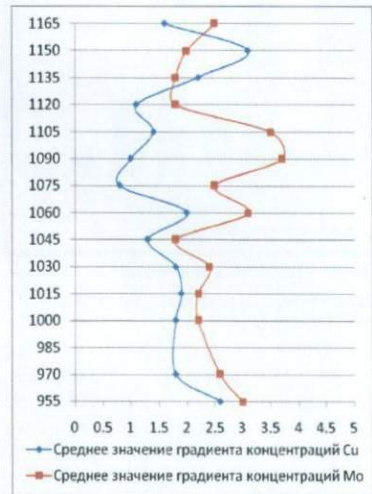


Рис. 11. Изменчивость меди и молибдена на глубину

На основании проведенных исследований получены следующие методические результаты и выявлены закономерности строения оруденения:

- Построение и анализа поверхностей концентраций является эффективным методом изучения структуры геохимического поля. Результаты, полученные статистическими и пространственными методами, согласуются между собой и совместное применение этих методов расширяет их возможности.
- Наблюдается пространственная разобщенность высоких концентраций меди и молибдена как в плане, так и на глубину. На верхних и нижних горизонтах высокие концентрации меди и молибдена приурочены к Спетринскому глубинному разлому и наблюдается уменьшение концентраций по мере удаления от разлома. Однако направление наибольшего тренда этих элементов различается.
- Высокие содержания меди главным образом приурочены к Спетринскому глубинному и второстепенным разрывным нарушениям (с падением на северо-запад под углами 50-65°) субмеридионального направления. Наиболее обогащенные участки имеют вытянутую форму и главным образом расположены в межразрывных участках по серии опережающих трещин.
- Высокие содержания молибдена главным образом приурочены к широтным разрывным нарушениям (с падением на северо-запад под углами 80-85°).
- Сравнительно высокие значения уклонов поверхностей концентраций меди и молибдена фиксируют разрывные нарушения и совпадают в пространстве с высокими содержаниями меди и молибдена. На месторождении наблюдается сравнительно высокая степень изменчивости молибдена.
- На глубину наблюдается тенденция понижения интенсивности оруденения меди на средних горизонтах и некоторое повышение на нижних горизонтах. Интенсивность оруденения молибдена имеет тенденцию повышения на средних горизонтах и понижения на нижних.

ГЛАВА V. МОДЕЛЬ РЕШЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Разработана модель решения геохимических задач в среде ArcGIS. Актуальность вопроса обусловлена тем, что для решения задач определенной предметной области необходимы модель организации данных и набор инструментов.

На сегодняшний день уже разработаны более 30 моделей данных ArcGIS для различных предметных областей, однако до сих пор не существуют модель организации геохимических данных и приложение решения специфических геохимических задач.

Разработанная модель решения геохимических задач основана на современном представлении об организации баз данных в среде ArcGIS и состоит из двух блоков: блок организации геохимических данных и блок анализа геохимических данных (Рис. 12). В первом блоке предлагается концепция для оптимальной организации геохимических данных. Во втором блоке организованы инструменты для решения совокупности основных геохимических задач. В главе описывается созданные автором ГИС-расширение и прикладная программа решения типовых геохимических задач.



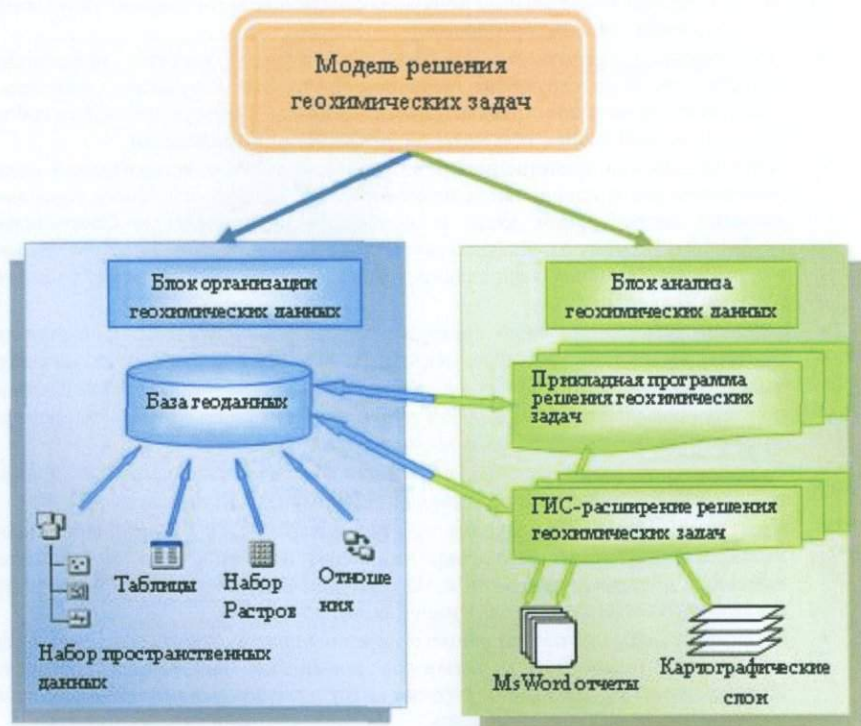


Рис. 12. Модель решения геохимических задач

Создание модели организации геохимических данных (Geochemistry Data Model) является необходимой и целесообразной для повышения эффективности и достоверности геохимических исследований.

Формирование модели данных включает создание концептуальной схемы, логической и физической структуры базы геоданных. Разработана оптимальная структура базы геохимических данных, связей между таблицами этой базы данных и удобные средства для многофункционального использования (хранения, анализа, визуализации и извлечения) большого объема геохимической информации, в том числе различного рода геологической информации, используемой при геохимических исследованиях.

Проектирование модели организации геохимических данных осуществлено на основании выявления и определения комплекса взаимоотношений между символами, концепциями, проявлениями и множества описательных таблиц (терминология моделей данных). Это является более высоким уровнем моделирования по сравнению с традиционными подходами, которые непосредственно моделируют предметную область.

База данных проявлений состоит из набора цифровых геологических и геохимических карт. По существу, это модели геохимического пространства.

Для организации базы данных концепций реализована генерализованная иерархическая схема геолого-геохимических концепций. Верхний уровень схемы, который относится к геохимической информации в широком смысле, условно назван "Геолого-геохимическая концепция". На втором уровне представлены те основные концепции, которые явным или неявным образом применяются для представления и изучения структуры геохимического

поля – структура геохимического поля, стратиграфия, литология, магматизм, генезис, геологический возраст, тип горных пород, контактовые зоны, геохимические барьеры, поля концентраций, ландшафт. Следующие уровни каждой концепции рассматриваются отдельно.

Все перечисленные геолого-геохимические концепции организованы в базе данных концепций, который по существу составляет библиотеку терминов.

Описательные таблицы также являются базами данных, в которых хранится основная часть информации.

Данная методика структурирования данных является эффективной основой для моделирования геохимической среды и имеет ряд преимуществ:

- Позволяет избежать логических и содержательных ошибок и осуществить перевод процесса моделирования геохимической информации в автоматизированный режим.
- Хранение основной информации во внешних базах данных позволяет избежать многократного дублирования данных, облегчить систему и обеспечить ее быстрейшее действие при работе с большими объемами данных.
- Позволяет создать взаимосовместимые, интегрируемые с ГИС базы данных.

На основании разработанной модели организации геохимических данных реализована *прикладная программа совместимая с ArcGIS* решения совокупности основных геохимических задач, интерфейс которых соответствует геохимическому содержанию задач. Прикладная программа разработана средствами языка программирования Visual Basic, а ArcGIS расширение геохимических задач - ArcObjects в среде Visual Basic for Applications (VBA).

Интеграция программы в среду ArcGIS позволяет автоматизировать построение цифровых специализированных геохимических карт на основе вычисленных параметров. Результаты могут быть непосредственно обработаны исследователем и при необходимости возвращены в программу для дальнейшего анализа. Результаты анализа данных могут быть оформлены в виде Microsoft Word документов.

Программа позволяет произвести предварительную оценку и исправление базы данных на предмет ее соответствия обязательным требованиям, к которым относятся недопустимость текстовых, отрицательных и нулевых значений в полях концентраций химических элементов.

Программа включает решение двух групп задач. Первая завершается результатами определенными в терминологии геохимических задач, а вторая - математической статистики. Решаемыми задачами являются:

- анализ взаимосвязи содержаний элементов,
- анализ однородности геохимического поля,
- оценка фоновых и аномальных содержаний,
- определение оптимального количества проб для получения достоверных результатов,
- построение специализированных геохимических карт (в среде ArcGIS).
- вычисление статистик распределения,
- определение соответствия выборочного распределения концентраций химических элементов нормальному или логнормальному закону распределения,
- построение диаграммы частот концентраций,
- построение теоретической кривой распределения.

В зависимости от конкретных требований задачи можно решать при различных уровнях и критериях (z преобразование Фишера, t критерий Стьюдента) статистической значимости.

Для этого в программу встроены генерализованные таблицы распределения случайных величин по закону Стьюдента и Фишера.

Таким образом, впервые создана модель организации геохимических данных и расширение ArcGIS решения совокупности основных геохимических задач.

Данное приложение дает возможность расширения круга решаемых задач геохимии, экологии и, в общем, геологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сформулировать следующие основные выводы:

- Моделирование и анализ поверхностей концентраций и производных поверхностей показателей геохимического поля является эффективным методом изучения структуры геохимического поля.
- Статистические и пространственные методы анализа геохимических данных эффективно дополняют друг друга. Интеграция этих методов позволяет выстроить эффективную схему решения задач, реализуемую доступными компьютерными программами.
- Разработанная модель организации геохимических данных (Geochemical Data Model) в среде ArcGIS является эффективной основой для исследования геохимических данных.
- Разработанные прикладная программа и расширение ArcGIS являются унификацией основных задач анализа геохимического поля и повышают эффективность и достоверность исследований.

В пределах среднего течения бассейна р. Гехи (М 1:25 000):

- Изученные элементы (Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn) в основном образуют вытянутые, реже изометричные аномалии в меридиональном и субмеридиональном направлении, часть которых приурочены к известным тектоническим нарушениям.
- Выявлен литологический контроль накопления меди и молибдена, наблюдается приуроченность меди в основном к породам внешнего кольца Гехинской интрузии, а молибдена – к породам его ядра.
- Медь и молибден имеют общность процесса накопления, отличную от остальных элементов.
- Установлена пространственная взаимосвязь между элементами выделенных групп статистическими методами.

Проведенные исследования подтверждают преобладание молибденовой минерализации, совместная же интенсивная аномалия меди и молибдена наблюдается только в поле месторождения Анкасар. Подтверждается существование ассоциации следующих химических элементов, которые оценены как наиболее близкие по статистическим критериям: 1) Co-V-Ni, 2) Pb-Zn, 3) Cu-Mo.

В пределах геохимического поля Агаракского медно-молибденового месторождения (М1:1 000):

- Наиболее обогащенные участки меди имеют вытянутую форму и главным образом расположены в межразрывных участках по серии опережающих трещин.
- Наблюдается пространственная разобщенность высоких концентраций меди и молибдена как в плане, так и на глубину. Северный участок площади опробования характеризуется низкими содержаниями меди и высокими содержаниями молибдена, в то время как на южном участке, в зоне развития субмеридиональных разломов, аномалии молибдена несколько смещены на запад по сравнению с аномалиями меди.
- На нижних горизонтах наблюдается некоторое повышение содержания меди и уменьшение содержания молибдена.
- Ориентировка участков с высоким градиентом концентраций меди и молибдена совпадает в пространстве с общим направлением разрывных нарушений.

Одновременно, проведенные исследования подтверждают уже известные представления о:

- вертикальной зональности концентраций меди и молибдена;
- приуроченности высоких содержаниях меди главным образом к Спетринскому глубинному и второстепенным разрывным нарушениям (с падением на северо-запад под углами 50-65°) субмеридионального направления;
- приуроченности высоких содержаниях молибдена главным образом к широтным разрывным нарушениям (с падением на северо-запад под углами 80-85°);
- сравнительно высокой степени изменчивости содержаниях молибдена.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. А. М. Манандян. Построение непрерывных поверхностей геохимических переменных по данным детального картирования. Прикладные вопросы географии и геологии горных областей Альпийско-Гималайского пояса. Материалы конференции, посвященной 90-летию профессора С.П. Бальяна, Ереван 2007 г., с. 291-294.
2. А. М. Манандян. О методике и результатах анализа геохимического поля меди и молибдена бассейна р. Гехи. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2007 г., №2, с. 39-45.
3. А. М. Манандян. Применение ГИС для анализа геохимического поля, 5-я международная конференция "Геоинформационные системы в науках о Земле. Использование достижений фундаментальной науки в практической деятельности". Тезисы докладов. Международный Университет природы, общества и человека "Дубна", 2008, с. 29.
4. А. М. Манандян Структура полей концентраций меди и молибдена Агаракского месторождения. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2009, №2, с. 58-63.
5. А. А. Авакян, С. В. Григорян, А. М. Манандян. ГИС приложение для решения геохимических задач. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2009, №3, с. 34-37.
6. А. М. Манандян. Применение современных методов геоинформационного моделирования для исследования полезных ископаемых. Форум молодых ученых. Достижения и перспективы молодых ученых, Цахкадзор, Армения, 2012, с. 57-59.

Հասմիկ Մելսի Մանանդյան

ՄԵՏԱՂԱԿԱՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ՕԳՏԱԿԱՐ ԲԱՂԱԴՐԻՉՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾԱԿԱՆ և
ՎԻՃԱԿԱԳՐԱԿԱՆ ՏԵՂԱԲԱՇԽՄԱՆ ՕՐԻՆԱԶՄՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՆԱԼԻԶ
ԵՐԿՐԱՏԵՂԵԿԱՏՎԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐՈՎ
(Գեոլի գ. ավազանի և Ագարակի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի օրինակով)

ԱՄՓՈՓՈՒՄ

Աշխատանքը նվիրված է մետաղական օգտակար հանածոների հանքավայրերի և հեռանկարային տարածքների երկրաքիմիական դաշտերի մոդելավորմանն ու վերլուծությանը ժամանակակից երկրատեղեկատվական մեթոդների կիրառմամբ: Մշակվել է երկրաքիմիական տվյալների կազմակերպման մոդել (Geochemical Data Model) և, հիմնվելով այդ մոդելի վրա, ստեղծվել են կիրառական երկրաքիմիայի խնդիրների լուծման ինքնուրույն ծրագիր և ընդլայնում ArcGIS միջավայրում: Ծրագրերը կազմվել են Visual Basic և Visual Basic for Applications (VBA) ծրագրավորման միջոցներով:

Մշակված մոդելը և կիրառական ծրագրերը օգտագործվել են Գեոլի գետի ավազանում միջին մասշտաբի (1:25000) և Ագարակի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրում խոշոր մասշտաբի (1:1000) երկրաքիմիական նմուշարկման տվյալների հիման վրա երկրաքիմիական դաշտերի մոդելավորմանն ու վերլուծության համար:

Երկրատեղեկատվական մեթոդների արդյունավետ և հիմնավորված կիրառումը հիմնվում է տվյալ առարկայական ոլորտի առանձնահատկություններին համապատասխան մշակված տվյալների կազմակերպման մոդելի վրա: Ներկայումս մշակված են շուրջ 30 առարկայական ոլորտների տվյալների կազմակերպման մոդելներ ArcGIS միջավայրում: Մշակված է նաև Երկրաբանական տվյալների կազմակերպման մոդել (Geology Data Model), որը տրամադրում է ընդհանուր մոտեցումներ մեծ ծավալի երկրաբանական տվյալների կազմակերպման համար: Հարկ է նշել, որ մինչ այժմ գոյություն չի ունեցել Երկրաքիմիական տվյալների կազմակերպման մոդել: Նշված խնդիրները ունեն մեծ կարևորություն, քանի որ երկրաքիմիական ուսումնասիրությունները արդյունավերտորեն համատեղվում են օգտակար հանածոների որոնման երկրաբանական և երկրաֆիզիկական մեթոդների հետ: Վերջին տարիներին խնդրի արդիականությունը աճել է նաև էկոլոգիական հիմնախնդիրների զարգացմանը զուգընթաց, որոնց լուծման համար գեոինֆորմացիոն համակարգերում ինտեգրված երկրաքիմիական մեթոդները կարող են լինել էկոլոգիական համակարգերի վիճակի գնահատման և զարգացման դինամիկայի կանխատեսման արդյունավետ գործիք:

Հետազոտության իրականացման համար կիրառվել է երկրաքիմիական դաշտերի կառուցվածքի ուսումնասիրության նոր մոտեցում՝ պարունակությունների

մակերևույթների և դրանց ածանցյալ մակերևույթների մոդելավորում ու վերլուծություն: Որպես դաշտի փոփոխականության տարածական ցուցանիշ կիրառվել է պարունակությունների գրադիենտը: Այս մոտեցումը հնարավորություն է ստեղծում հաշվի առնել նմուշարկման կետերի տոպոլոգիան (փոխադարձ դասավորությունը տարածության մեջ):

Իրականացվել է երկրաքիմիական դաշտերի ուսումնասիրության դասական վիճակագրական և ժամանակակից գեոինֆորմացիոն մեթոդների ինտեգրում: Համադրման հիմնական նպատակն էր ուսումնասիրությունների արդյունավետության և արդյունքների հավաստիության բարձրացումը:

Հետազոտության արդյունքները վկայում են, որ.

- Վիճակագրական և տարածական մեթոդների արդյունքները գտնվում են համաձայնության մեջ և արդյունավետ կերպով լրացնում են միմյանց:
- Պարունակությունների մակերևույթների մոդելավորումը և վերլուծությունը երկրաքիմիական դաշտի կառուցվածքի ուսումնասիրության արդյունավետ մեթոդ է:
- Մշակված տվյալների կազմակերպման մոդելի և ծրագրային միջոցների կիրառումը զգալիորեն բարձրացնում է երկրաքիմիական դաշտերի ուսումնասիրության արդյունավետությունը:

Մշակված մոդելի և ծրագրային միջոցների կիրառմամբ Գեղի գետի ավազանի և Ագարակի հանքավայրի երկրաքիմիական դաշտերի կառուցվածքի և օրինաչափությունների վերլուծության արդյունքները համաձայնության մեջ են գտնվում նախորդ տարիների հետազոտողների կողմից հրատարակած տվյալների հետ, ինչը վկայում է մոդելի և ծրագրի կիրառելիության ու հավաստիության բարձր աստիճանի մասին: Ստացվել են նաև նոր տվյալներ երկրաքիմիական դաշտերի կառուցվածքի և օրինաչափությունների վերաբերյալ:

Մոդելավորվել և բացահայտվել են ուսումնասիրված քիմիական էլեմենտների վիճակագրական և տարածական բաշխման առանձնահատկությունները:

Գեղի գետի ավազանում բացահայտվել է անոմալիաների կառուցվածքը, ուղղվածությունը և կապը տարածքի տեկտոնական կառուցվածքի և լիթոլոգիական կազմի հետ: Ուսումնասիրված քիմիական էլեմենտները (Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn) ձևավորում են մերձմիջօրեական ուղղությամբ ձգված, երբեմն իզոմետրիկ անոմալիաներ, որոնք հարում են տեկտոնական խզվածքներին: Բացահայտվել է պղնձի և մոլիբդենի պարունակությունների լիթոլոգիական վերահսկում: Առանձնացվել են ուսումնասիրված քիմիական էլեմենտների հետևյալ ասոցիացիաները՝ 1) Co-V- Ni, 2) Pb-Zn, 3) Cu-Mo: Հայտնաբերված է նաև առանձնացված ասոցիատիվ խմբերում ընդգրկված էլեմենտների տարածական կորելյացիա:

Ագարակի հանքավայրում բացահայտվել է պղնձի և մոլիբդենի բարձր պարունակությունների տարածական տարանջատում ինչպես ուղղաձիգ, այնպես էլ հորիզոնական ուղղությամբ:

Պղնձի բարձր պարունակությունները գլխավորապես հարում են Սպետրիի և երկրորդական մերձմիջօրեական խզվածքներին (անկումը հյուսիս-արևմուտք, անկման անկյունը 50-65°), իսկ մոլիբդենի բարձր պարունակությունները լայնակի

խզվածքներին (անկումը հյուսիս-արևմուտք, անկման անկյունը 80-85°):
Բացահայտվել է պղնձի և մոլիբդենի պարունակությունների ուղղաձիգ
զոնալականություն. պղնձի հանքայնացման ինտենսիվության նվազում դեպի միջին
հորիզոնները ու որոշ բարձրացում՝ ստորին հորիզոններում և մոլիբդենի
հանքայնացման ինտենսիվության բարձրացում միջին հորիզոններում և որոշ նվազում՝
ստորին հորիզոններում:

Բացահայտվել է մոլիբդենի պարունակության փոփոխականության համեմատաբար
ավելի բարձր աստիճան: Հայտնաբերվել են պարունակության գրադիենտի բարձր
արժեքներով առանձին տարածքներ, որոնք հարում են տեկտոնական խզվածքներին և
տարածականորեն համընկնում են պղնձի և մոլիբդենի բարձր պարունակությունների
հետ:

HASMIK M. MANANDYAN

MODELING AND ANALYSIS OF GEOCHEMICAL FIELDS BY METHODS OF GEOINFORMATION SYSTEMS

RESUME

The paper discusses application of modern GIS techniques for modeling and analysis of geochemical fields. Geochemical data model has been developed and based on this model a stand-alone software and ArcGIS extension created for solutions of geochemical problems. These programs were created using Visual Basic and Visual Basic for Applications (VBA) programming languages.

Developed model and software have been used for modeling and analysis of geochemical exploration data from Gekhi river basin (medium scale) and Agarak copper-molybdenum deposit (large scale).

Effective and valid use of GIS methods is based on the organized data model which has been built using the specific features of particular subject area. Over 30 ArcGIS data models and applications related to different fields have been developed up to now. A Geology Data Model has also been developed, which offers general solutions for a large amount of geological information. It should be noted that neither ArcGIS geochemical data model, nor applications for solutions of specific geochemical tasks has been developed so far. The mentioned-above problems are of great importance, since geochemical studies are used with geological and geophysical methods of mineral exploration. In recent years the relevance of the issue also rose because of growing environmental problems, since geochemical methods can be an effective tool to assess and forecast the dynamics of ecological systems.

The study used a new approach for analysis of geochemical fields' structure - modeling and analysis of concentrations' surfaces and their derivative surfaces. As a criterion of spatial variability the concentration gradient have been applied. This approach makes it possible to take into account the topology of the sampling points.

Integration of classical statistical methods and GIS techniques for studies of geochemical fields have been implemented. The main goal of integration is to improve effectiveness of the research and reliability of the results.

The results of the study showed that:

- *Statistical and spatial methods of geochemical data analysis effectively complement each other.*
- *Modeling and analysis of concentrations' surfaces is an effective method for studying the structure of the geochemical field.*
- *The use of the developed software and geochemical data model improves the efficiency of geochemical fields' studies.*

The results of studies of Gekhi river basin and Agarak copper-molibdenum deposit agree with published data of other investigators. This indicates a high degree of reliability and validity of the developed programs and data model. New data on the structure and regularities of geochemical fields is obtained as well.

Regularities of spatial and statistical distribution of the studied elements have been modeled and identified.

Structures, orientations and relationship with the tectonic structure and lithology of anomalies in Gekhi river basin have been identified. The following elements (Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn) mostly form extended, at least isometric anomalies in sub-meridional direction, some of which are confined to known tectonic faults. Lithological control of copper and molibdenum concentrations has been identified. Associations of the following chemical elements have been identified: 1) Co-V-Ni, 2) Pb-Zn, 3) Cu-Mo:

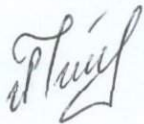
Spatial correlation of separated groups of elements has been discovered as well.

Spatial separation of copper and molibdenum height concentrations in the plan and vertical directions is discovered in Agarak copper-molibdenum deposit.

Height concentrations of copper are mostly confined to the Spetri and secondary faults with sub-meridional direction (slope 50-65° to the northwest). Height concentrations of molibdenum are mostly confined to the faults with latitude direction (slope 80-85° to the northwest).

A vertical zonation of concentrations of copper and molybdenum is revealed – mineralization of copper tends to decrease in the middle levels and increase at the lower depths, while mineralization of increases at middle levels and decreases at lower levels.

Relatively high degree of variability of molybdenum concentration is revealed. Separate areas with a high concentration gradient have been identified. The orientation of these areas coincides with the general direction of the faults and coincides with high concentrations of copper and molybdenum.



2002