

## О МЕТОДИКЕ И РЕЗУЛЬТАТАХ АНАЛИЗА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕДИ И МОЛИБДЕНА БАССЕЙНА РЕКИ ГЕХИ

© 2007 г. А. М. Манандян

Институт геологических наук НАН РА  
0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения  
E-mail: hasmik@geoscom.am  
Поступила в редакцию 08.12.2006 г.

Основываясь на традиционных геохимических методах поисков оруденения (Беус, Григорян, 1975; Григорян, 1992), сделана попытка сочетания статистических и пространственных методов анализа геохимического поля.

Изучены особенности статистического и пространственного распределения основных элементов-индикаторов медно-молибденового оруденения, выявлены их ассоциации, построена биэлементная геохимическая карта, позволившая выявить характер совместного проявления аномальных содержаний изученных элементов. Данное исследование проведено также с целью выяснения эффективности применения различных методов и алгоритмов анализа геохимического поля.

Заметное оживление горнорудной промышленности в последние годы возродило интерес к рудному сырью, перспективам рудных районов, сделало также актуальным применение современных средств анализа геохимических данных. К эффективным методам относятся анализ и картирование пространственных данных, основанные на геоинформационных принципах.

Работа выполнена по данным геохимической съемки бассейна р. Гехи масштаба 1:25000, проведенной с 1973 по 1975 гг. Кольцовской экспедицией. Использованы данные спектрального приближенно-количественного анализа около 1600 проб на Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn (в г. Ессентуки), однако, учитывая ограниченный объем статьи, ниже рассматриваются результаты статистического и пространственного анализа только меди и молибдена, за исключением корреляционного и кластерного анализа.

Статистическое распределение химических элементов в группах пород охарактеризовано выборочным средним содержанием, стандартным отклонением, которое представляет степень изменчивости содержаний, а также гистограммой частот распределения содержаний (Девис, 1977; Родионов, 1981; Шарапов, 1971). По указанным характеристикам изученные группы пород сравнены друг с другом, средние содержания сравнены также с кларком и с соответствующими средними содержаниями химических элементов в главных типах магматических пород по данным А. П. Соловова и др. (1990). Повышенное значение выборочного среднего интерпретировано как накопление элемента в данной группе пород, высокое значение стандартного отклонения — как признак сильной изменчивости процесса накопления, более характерной для процессов гидротермального метасоматоза и оруденения.

По доступной нам документации геохимического опробования оказалось возможным выделить следующие группы пород: габбро, монциты (первая интрузивная фаза, кольцевая интрузия Гехинского массива), гранодиориты, кварцевые диориты (вторая интрузивная фаза, центральное ядро Гехинского массива), жильно-маг-

матические породы: гранодиорит-порфиры; диорит-порфириты; жильные граниты; роговики, окварцованные и гидротермально-измененные породы, известняки, туфы. Выделенные нами группы пород габбро, диоритов и гранодиоритов, основываясь на общей схеме последовательности главных интрузивных фаз (Гуюмджян, 1973; Карамян и др., 1974), соответствуют габбро-диорит-гранодиорит-граносиенитовому комплексу верхнего эоцена-нижнего олигоцена, монциты проявляются исключительно в приконтактных зонах интрузии с известняками. Гранодиорит-порфиры и диорит-порфириты соответствуют жильным породам II этапа, которые развиты в пределах Гехинского интрузивного массива, а также во вмещающих вулканогенных толщах палеогена и карбонатных отложениях перми и верхнего мела.

Статистические параметры содержаний меди и молибдена в выделенных породных группах представлены графически (рис. 1, 2, 3, 4).

Кварцевые диориты (ядро Гехинской интрузии) характеризуются высоким средним содержанием меди ( $104.5 \text{ г/т}$ ), вдвое превышающим кларк и среднее содержание этого элемента в магматических породах (Соловов и др., 1990). Столь же высокое среднее содержание ( $110 \text{ г/т}$ ) характерно для гидротермально-измененных пород. Содержание меди в обеих породах имеет высокую вариацию (рис. 2), что в совокупности с высокими средними может свидетельствовать о постмагматическом характере накопления элемента.

Средние содержания меди несколько повышены по сравнению с кларком ( $46 \text{ г/т}$ ) в гранодиоритах ( $57.6 \text{ г/т}$ ) и габбро ( $57.7 \text{ г/т}$ ). Стандартные отклонения содержаний меди в этих породах имеют не такую высокую величину. Такое сочетание выборочных параметров свидетельствует о невысоких и стабильных содержаниях меди, характерных для равновесных условий накопления. Среднее содержание меди сравнительно повышено также в окварцованных породах ( $66.6 \text{ г/т}$ ) при невысоких значениях стандарта.

Высокое среднее содержание молибдена (рис. 3) наблюдается в гидротермально-изменен-

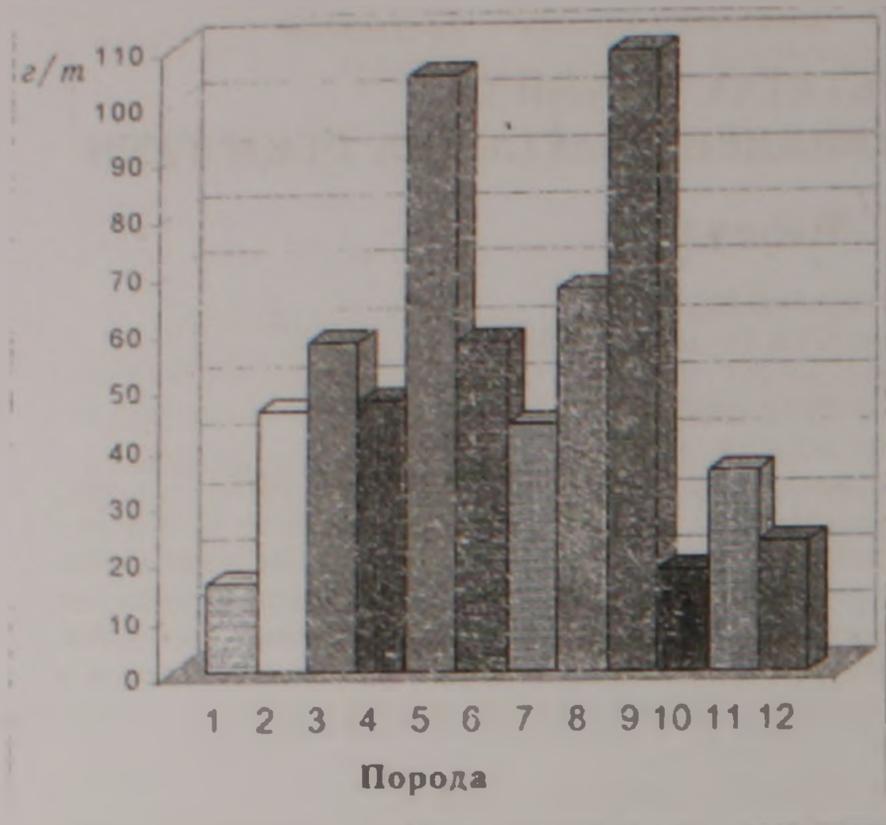


Рис 1. Стандартное содержание Cu в породах.

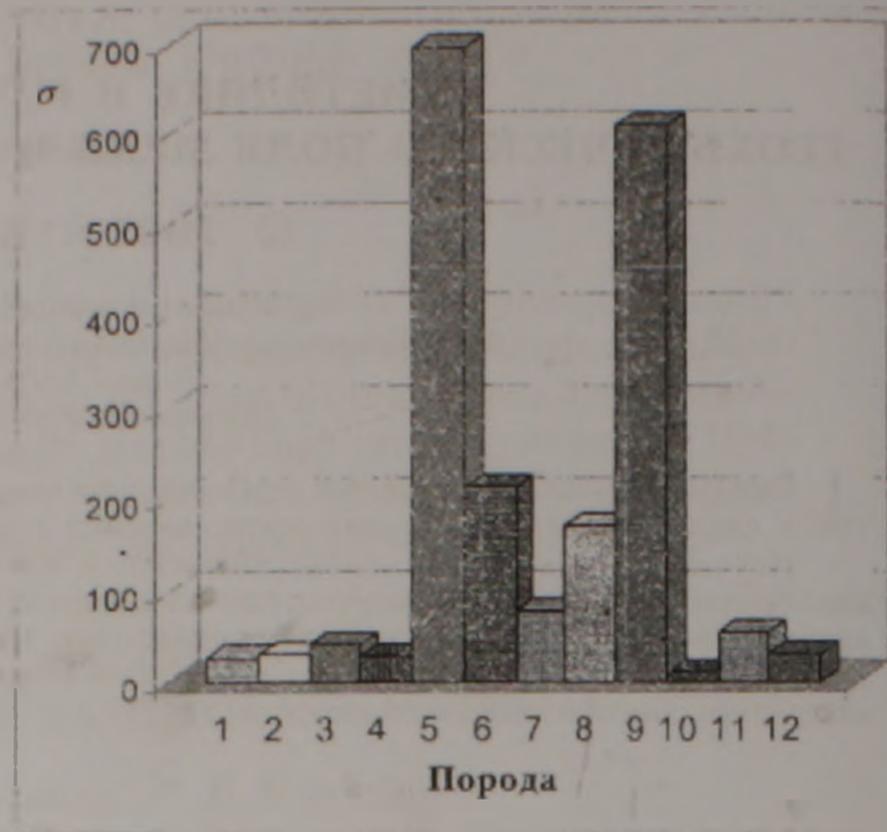


Рис 2. Стандартное отклонение Cu в породах.

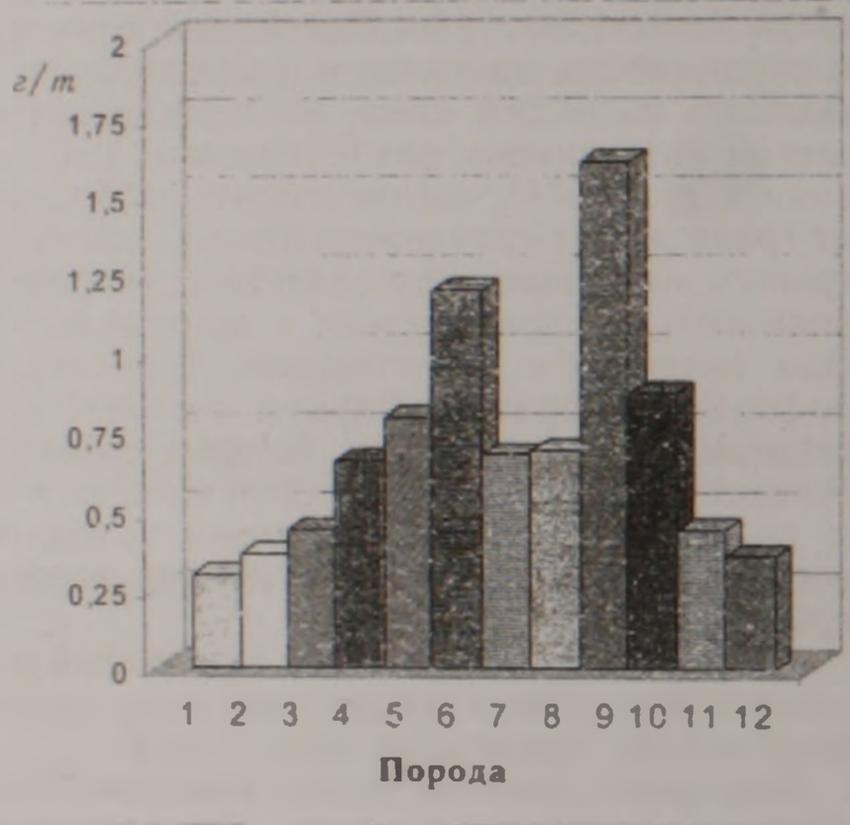


Рис.3 Стандартное содержание Mo в породах.

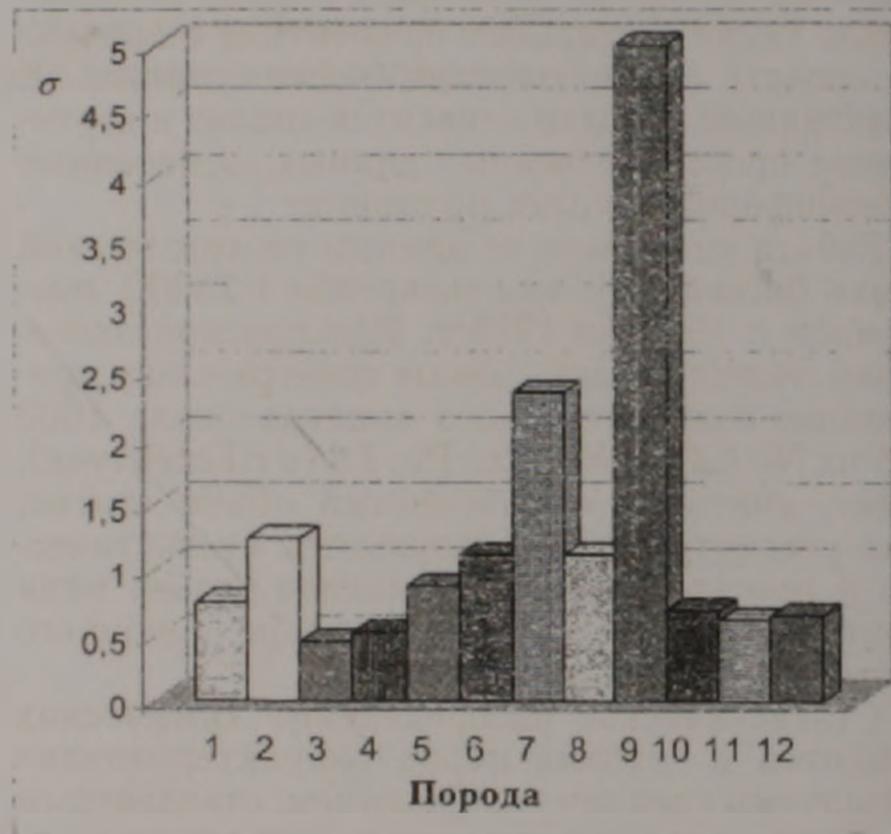


Рис 4. Стандартное отклонение Mo в породах.

- 1 Известняки
- 2 Туфы
- 3 Габбро
- 4 Монцититы

- 5. Кварцевые диориты
- 6. Гранодиориты
- 7. Роговики
- 8. Окварцованные породы

- 9. Гидротермально-измененные породы
- 10. Гранодиорит-порфиры
- 11. Диорит-порфириты
- 12. Жильные граниты

ных породах ( $1.61 \text{ г/м}$ ) при высоком значении стандарта (рис 4), что также свидетельствует о постмагматическом характере накопления молибдена.

В гранодиоритах (ядро Гехинской интрузии) наблюдается сравнительно высокое среднее содержание молибдена ( $1.2 \text{ г/м}$ ), однако при низком значении стандарта.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют как о сходстве, так и определенном различии поведения меди и молибдена в изученных породах. Оба элемента имеют высокие средние содержания и стандарты в гидротермально измененных породах.

Однако стабильно высокие средние содержания меди в габбро (внешнее кольцо Гехинской

интрузии), а молибдена — в гранодиоритах (ядро Гехинской интрузии) дают основание предположить о различных условиях накопления.

Наряду с особенностями статистического распределения меди и молибдена в породах изучаемой территории, для выявления наличия или отсутствия взаимосвязи меди и молибдена, а также для выявления ассоциативных связей между Ni, Co, V, Mo, Cu, Pb, Zn на данной территории вычислены коэффициенты парной линейной корреляции между элементами в одиннадцати породных группах. В табл. 1 приведены пары элементов, величина коэффициентов корреляции которых является значимой по статистическим критериям.

Таблица 1  
Ассоциации химических элементов,  
выделенные методом парной корреляции

Петрографические типы пород	Химические элементы со значимой корреляцией
Габбро	V-Cu, Ni-V, V-Pb, Ni-Pb, Ni-Zn, V-Zn, Pb-Zn, Co-Zn
Монциты	V-Mo, Co-V
Кварцевые диориты	Co-V
Гранодиориты	Pb-Zn, Ni-Co
Роговики	V-Zn, V-Cu, Mo-Pb
Окварцованные породы	Pb-Zn
Кварциты	Mo-Pb, V-Mo, Ni-Mo, V-Pb, Ni-Pb, Co-Mo, Ni-V, Ni-Co, Co-V, V-Zn (-0.67)
Гидротермально-измененные породы	Ni-Co, Pb-Zn
Гранодиорит-порфиры	V-Zn, V-Mo, Pb-Zn
Диорит-порфиры	Co-V, Ni-Co
Жильные граниты	Pb-Zn, Ni-Co, V-Mo

Как видно из табл. 1, в различных породных группах взаимосвязи между элементами неодинаковы. Это не позволяет выделить элементные ассоциации, стабильные для всех породных групп. Можно отметить только пары элементов 1) Pb-Zn, 2) Ni-Co, 3) Co-V, которые взаимосвязаны в большинстве петрографических типов пород.

Следует также отметить тот факт, что корреляция меди и молибдена не обнаружена ни в одной из рассмотренных групп пород.

Неопределенность результатов корреляционного анализа, возможно, объясняется следующими причинами: во-первых, коэффициент корреляции является мерой линейной зависимости между двумя переменными, и, во-вторых, корректное вычисление и содержательная интерпретация этой меры зависимости возможны при нормальном статистическом распределении переменных, которое, как правило, не имеет места в геохимических выборках.

Исходя из указанного выше, для выявления элементных ассоциаций применён также метод кластеризации, который является эффективным способом объединения взаимосвязанных объек-

тов в более или менее однородные группы с установлением иерархии между группами, не требующей ограничений относительно характера связи или других статистических условий.

Группирование (кластеризация) осуществляется на основе некоторой меры сходства или подобия между каждой парой классифицируемых объектов и правила объединения кластеров. В качестве меры сходства пар объектов могут быть выбраны как коэффициент корреляции, так и формальные расстояния между ними – евклидово, квадрат евклидова, манхеттенское, чебышева, степенное и др. Кластеры, построенные на основе этих двух мер, отражая реальную связь между объектами, имеют определенное сходство. В то же время дендрограммы на основе расстояния более наглядны, в силу того, что эта величина, в отличие от коэффициента корреляции, не ограничена пределами (-1, +1) (Девис, 1977).

На первом шаге объединения групп, когда каждый объект рассматривается как отдельный кластер, близость между ними определяется выбранной мерой. Со следующего шага кластеры объединяются по выбранному правилу. Существует множество правил объединения кластеров – одиночной связи (метод ближайшего соседа), полной связи (метод дальнего соседа), невзвешенного попарного среднего, взвешенного попарного среднего, невзвешенный центроидный метод, взвешенный центроидный метод (медиана), метод Варда.

Для выявления наиболее эффективного метода анализа групп, применительно к нашим задачам, сравнены результаты, полученные различными методами кластеризации.

Методом ближайшего соседа (рис. 5) на первом шаге объединяются в группы Co-V, Pb-Zn и Cu-Mo, т.е. элементы, относящиеся к одному геохимическому классу (Соловов и др., 1990). Наиболее сильные связи выявлены между Co-V, Pb-Zn.

На втором шаге объединения к сидерофильной группе Co-V присоединяется Ni.

Следует подчеркнуть, что халькофильная группа Pb-Zn объединяется не с однотипной группой Cu-Mo, а с сидерофильной группой Co-V-Ni.

Cu и Mo наименее связаны между собой и

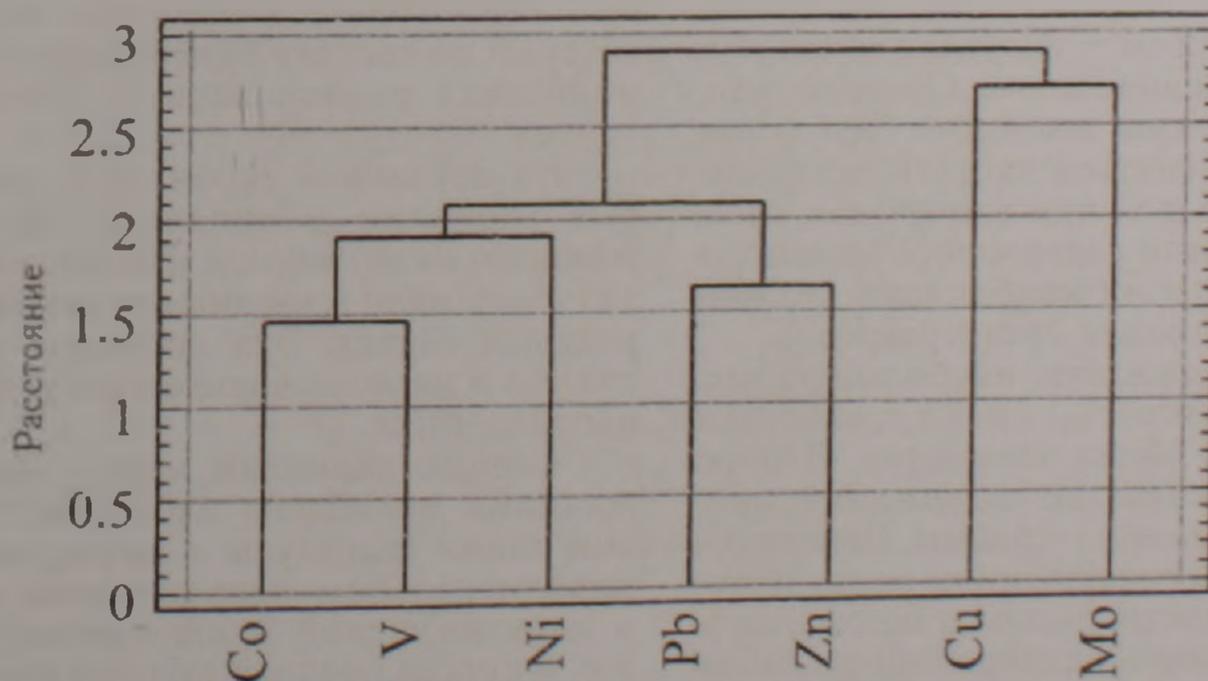


Рис 5 Дендрограмма, построенная по методу ближайшего соседа

с остальными элементами, что свидетельствует о возможном различии процессов накопления от остальных элементов.

Таким образом, кластерный анализ является эффективным средством как для выделения элементных ассоциаций, так и для определения степени взаимосвязи элементов в ассоциациях. Следует отметить, что кластеры, полученные различными методами, отличаются некоторыми деталями, которые также дают дополнительную информацию о характере распределения содержаний элементов-индикаторов. Однако этот интересный вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

Важным результатом анализа групп является выявление связи между медью и молибденом, которая не выявляется методом парной корреляции.

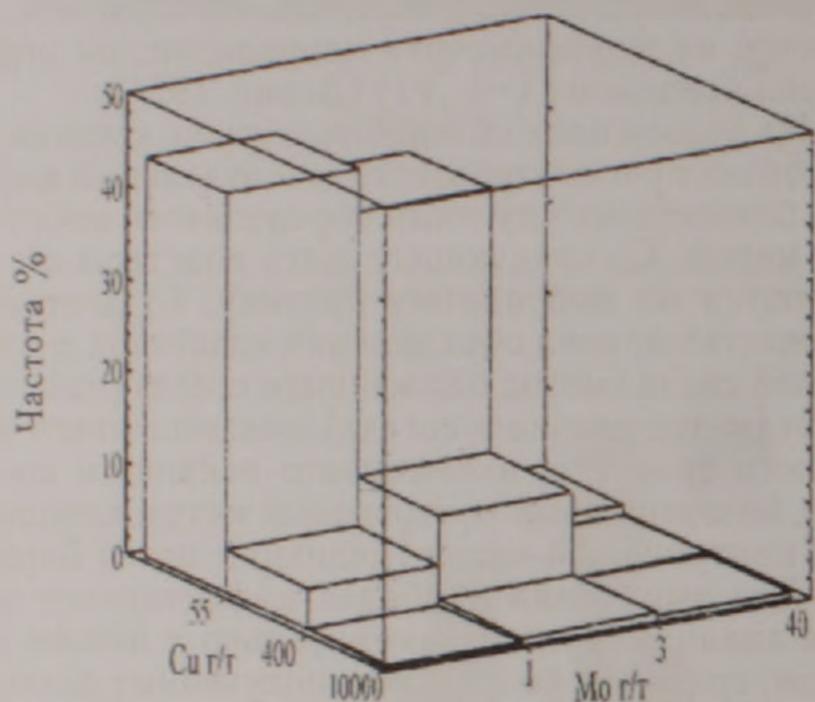


Рис. 6. Трёхмерная гистограмма меди и молибдена.

Для получения дополнительной информации о характере связи меди и молибдена рассмотрено совместное статистическое распределение содержаний этих элементов с помощью трёхмерной гистограммы (рис. 6), представляющей частоту встречаемости комбинаций содержаний двух элементов. Содержания обоих элементов разделены на три интервала: меньше  $\bar{x}$ ,  $\bar{x} - \sigma$ , больше  $\bar{x} + \sigma$ . Где  $\bar{x}$  – среднее содержание элементов,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение. При таком разделении первый интервал интерпретируется как соответствующий содержаниям, не превышающим фоновые, второй – слабым аномалиям, третий – интенсивным аномалиям. Очевидно что, чем более взаимосвязаны элементы, тем более согласованно будут меняться частоты встречаемости их содержаний, т.е. при достаточно высокой степени взаимосвязи содержаний элементов самые высокие частоты их комбинаций должны располагаться по диагонали гистограммы.

Как и следовало ожидать, наибольшую частоту встречаемости (частоту) имеют совместные фоновые содержания обоих элементов. Вторую по частоте группу составляют содержания, соответствующие одновременно слабым аномалиям молибдена и фоновым содержаниям меди. Далее по уменьшению частоты располагаются содержания, соответствующие одновременно слабым аномалиям молибдена и меди, затем – слабые аномальные содержания меди при фоновых со-

держаниях молибдена. Значительно меньшую частоту имеют совместно и отдельно высокие аномальные содержания меди и молибдена.

Приведенные данные о совместном распределении содержаний свидетельствуют о том, что на этой территории рудные аномалии имеют больше молибденовую и в меньшей степени медно-молибденовую специфику.

Таким образом, проведён многосторонний статистический анализ особенностей распределения изученных химических элементов, однако одна и та же совокупность значений в зависимости от их расположения в пространстве может иметь как совершенно случайный характер, так и обнаруживать некоторую зависимость от пространства (Боровко, 1971).

Для выявления и изучения зависимостей подобного рода построена биеlementная цифровая геохимическая карта меди и молибдена (рис. 7) на основе нескольких тематических слоев – геолого-петрографической, речной сети, разрывных нарушений и точек геохимического опробования.

Наличие цифровой карты точек опробования и связанной с ней базы данных содержаний позволяет автоматизировать построение карты аномалий произвольной комбинации элементов с выбранными интервалами содержаний. Интервалы на биеlementной карте выбраны по тем же принципам, что и на трёхмерной гистограмме. Смысл такой карты заключается в том, что условными знаками показываются моноэлементные и совместные аномалии меди и молибдена различной интенсивности. В условных обозначениях биеlementной карты  $Cu_1$  и  $Mo_1$  соответствуют фоновым содержаниям меди и молибдена,  $Cu_2$  и  $Mo_2$  – слабым аномалиям,  $Cu_3$  и  $Mo_3$  – интенсивным аномалиям.

Значительная часть аномальных содержаний сосредоточена в пределах Гехинской интрузии (рис. 7) и только отдельные аномальные значения встречаются во вмещающих породах, которые в основном совпадают с зонами гидротермального изменения, приуроченными к известным тектоническим нарушениям, описанным в литературе (Алоян, 2000; Таян, 1998).

Надо отметить, что, если аномалии меди расположены только в пределах внешнего кольца, который по составу более основной, то аномалии молибдена расположены в пределах всей интрузии.

На изученной территории преобладают слабые аномалии молибдена с фоновыми содержаниями меди, а более интенсивные аномальные значения меди и молибдена наблюдаются в центральных частях. Эти аномалии в основном вытянуты в меридиональном и субмеридиональном направлениях.

Слабые аномалии меди с фоновыми содержаниями молибдена наблюдаются очень редко, они также вытянуты в меридиональном и субмеридиональном направлениях и расположены в капутджухской вулканогенно-осадочной толще, а иногда продолжают в пределы интрузии.

Следующими по распространённости являются совместные слабые аномалии меди и мо-

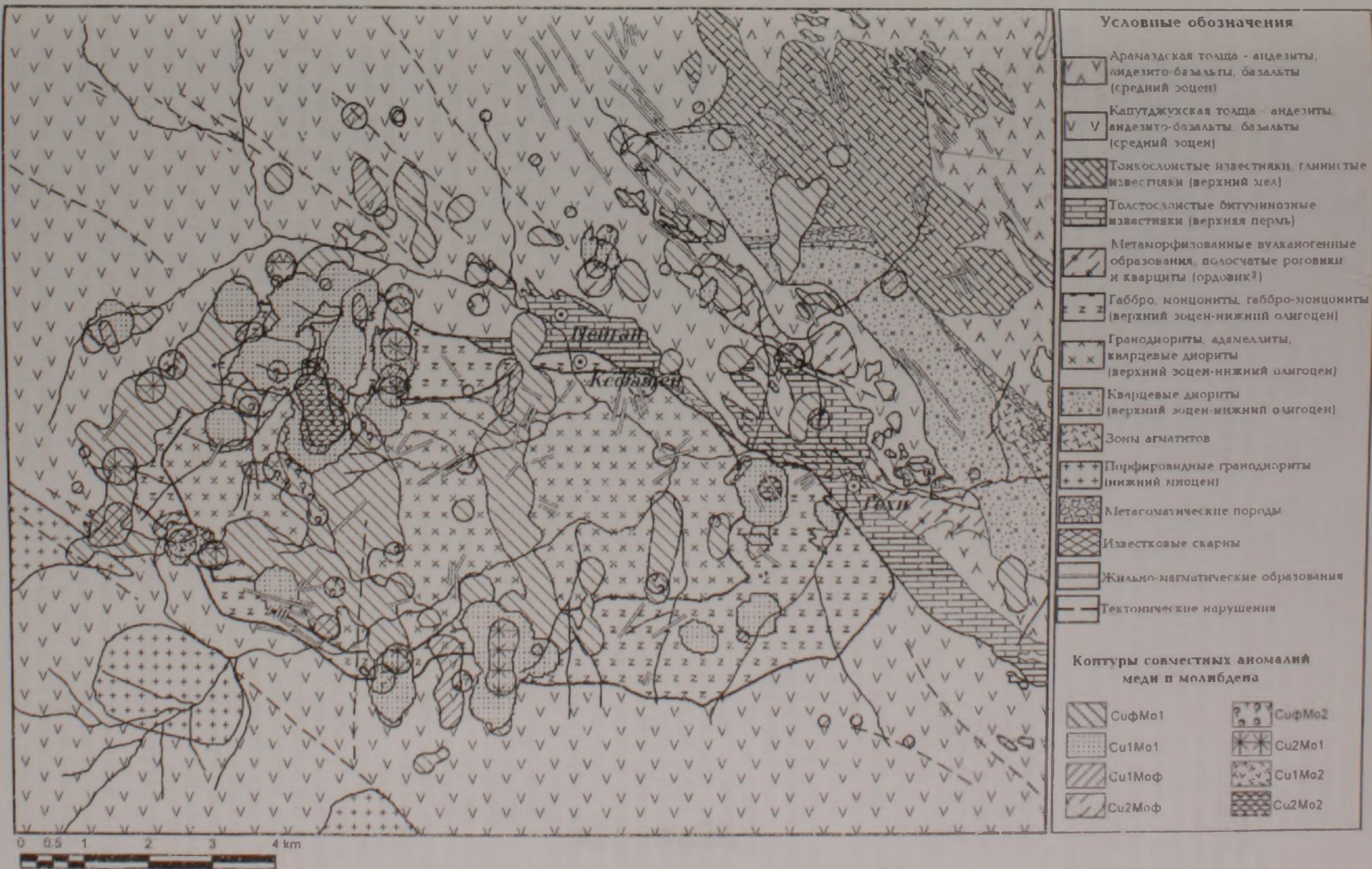


Рис.7. Биэлементная карта геохимических аномалий меди и молибдена среднего течения р.Течи. Геолого-петрографическая основа О.П. Гуюмджяна.

либдена, которые в основном проявляются в сочетании со слабыми аномалиями молибдена.

Своей интенсивностью особенно выделяется изометричная аномалия вокруг месторождения Анкасар, где наблюдаются почти все комбинации содержаний меди и молибдена. Совместные интенсивные аномальные значения и меди, и молибдена на всей изученной территории наблюдаются только здесь.

Интенсивные аномальные значения молибдена в сочетании со слабыми аномальными значениями меди и интенсивные аномальные значения меди в сочетании со слабыми аномальными значениями молибдена наблюдаются редко. Интенсивные аномалии меди с фоновыми содержаниями молибдена наблюдаются очень редко, они расположены в скарновых зонах на контактах интрузии с пермскими известняками и в капутджухской вулканогенно-осадочной толще.

Таким образом, за пределами уже известных месторождений аномалии в основном молибденовые и в меньшей степени слабые медно-молибденовые, что и видно на трехмерной гистограмме меди и молибдена.

Итак, нами была сделана попытка совмещения пространственных и статистических методов при изучении особенностей распределения некоторых элементов-индикаторов медно-молибденового оруденения на примере бассейна р.Гехи.

Поскольку в настоящее время практическая реализация статистических методов обработки геологических данных стала доступной благодаря наличию развитых программных средств, таких как STATISTICA, STATGRAPHICS, Surfer, которые предлагают большой набор алгоритмов математической статистики, концептуальная сторона которых в геологии недостаточно изучена, данное исследование проведено также с целью выяснения эффективности применения различных методов и алгоритмов. В частности, показаны сравнительные возможности корреляционного анализа и некоторых алгоритмов классификации для выделения ассоциаций элементов.

Таким образом представим основные выводы о методике и результатах исследования.

а) Сочетание статистических и пространственных методов анализа геохимических данных эффективно дополняют друг друга и позволяют выстроить схему решения задач, реализуемую доступными компьютерными программами. Нами на конкретных данных решена одна из возможных задач изучения накопления элементов-индикаторов в породах, определения наличия ассоциативных связей между элементами и поиска картографического обоснования этих связей. При этом использованы компьютерные программы построения и анализа двумерных распределений и полиэлементных карт.

б) Геохимические результаты 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

направлениях, часть которых приурочена к известным тектоническим нарушениям.

2. В породах изученного района наблюдается накопление меди и молибдена, поведение которых имеет как сходства, так и определённые различия. Вычисленные статистики меди и молибдена дают основание предположить о том, что концентрация этих элементов имела как постмагматический, так и магматический характер. Медные аномалии в основном сконцентрированы во внешнем кольце Гехинской интрузии, а молибденовые – в центральной части, однако по количественным и качественным признакам во всей территории преобладает молибденовая минерализация. Совместная интенсивная аномалия меди и молибдена наблюдается только вокруг месторождения Анкасар.

3. На основе парной корреляции выделены следующие статистически значимые ассоциации химических элементов: 1) Pb-Zn, 2) Ni-Co, 3) Co-V.

4. Методом кластерного анализа выявлена также связь между медью и молибденом. В то же время методом кластерного анализа выявлено, что медь и молибден имеют генетическую общность процесса накопления, отличную от остальных.

В заключение автор выражает глубокую благодарность канд. геол.-мин. наук А.Авакяну за помощь и советы при проведении исследований и подготовке статьи.

Статью рецензировал и рекомендовал к опубликованию докт. геол.-мин. наук, академик НАН РА С.В. Григорян. Автор выражает глубокую признательность рецензенту за ценные советы, которые учтены в статье.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аюян П.Г. Геолого-структурные особенности и рудоконтролирующие структуры Зангезурского сегмента Малого Кавказа. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2000, т. LIII, № 1-2, с.11-19.
- Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых, М.: Недра, 1975.
- Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. СПб: Недра, 1971, 174 с.
- Григорян С.В. Рудничная геохимия. М.: Недра, 1992, 294с.
- Гуюмджян О.П. Магматические плутонические формации Западного Баргушата. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1973, 1, с.52-65.
- Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977, 571 с.
- Карамян К.А., Таян Р.Н., Гуюмджян О.П. Основные черты интрузивного магматизма Зангезурского рудного района Армянской ССР. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, 1974, 1, с.54-65.
- Коган Р.И., Белов Ю.П., Родионов Д.А. Статистические ранговые критерии в геологии. М.: Недра, 1983, 134 с.
- Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1979, 423с.
- Родионов Д.А. Статистические решения в геологии. М.: Недра, 1981, 228 с.

Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990, 335 с.

Таян Р.Н. О центральной магмо-рудоконтролирующей

зоне Зангезурского рудного района. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1998, т. LI, №3, с.20-26

Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М.: Недра, 1971, 241 с.

## ՔԵՆԻ ՔԵՏԻ ԱՎԱՋԱՆԻ ՊՂՆՉԻ ԵՎ ՄՈՒԻՔԴԵՆԻ ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԳԱՇՏԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ՍԵԹՈՂՆԵՐԻ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Հ. Մ. Մանանդյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Հիմնվելով հանքայնացման որոնման ավանդական երկրաքիմիական մեթոդների վրա՝ փորձ է կատարվել համատեղել երկրաքիմիական դաշտի վերլուծության վիճակագրական և տարածական մեթոդները:

Ուսումնասիրված են պղինձ-մոլիբդենային հանքայնացման ինդիկատոր-էլեմենտների վիճակագրական և տարածական տեղաբաշխման առանձնահատկությունները, առանձնացված են նրանց ասոցիացիաները, կազմված են մոնո և բիէլեմենտային երկրաքիմիական քարտեզներ, որոնք հնարավորություն են տվել բացահայտել ուսումնասիրվող էլեմենտների անոմալ պարունակությունների համատեղ դրսևորման բնույթը: Կատարված ուսումնասիրությունը հապատակ ունի նաև սլարգաբանել երկրաքիմիական դաշտի վերլուծության ժամանակ կիրառվող տարբեր մեթոդների և ալգորիթմների արդյունավետության հարցը:

## ON METHODS AND OUTCOMES OF THE ASSAY OF RIVER GEKHI BASIN COPPER AND MOLYBDENUM GEOCHEMICAL FIELD

H. M. Manandyan

Abstract

Based on traditional geochemical mineralization prospecting methods (Beus, Grigorian, 1975; Grigorian, 1992) an attempt was made to combine statistical and spatial methods of geochemical field assay.

We studied peculiarities of statistical and spatial distribution of basic elements indicatory to copper and molybdenum mineralization, revealed their associations, produced a bi-elemental geochemical map to indicate the character of combined manifestation of anomalous contents of the studied elements. One more research goal was to indicate the efficiency of application of different geochemical field assay methods and algorithms.