

1. Аранович Л. Я. Некоторые равновесия минералов переменного состава в скарнах. В сб.: Породообразующие минералы и их равновесия. Под ред. Перчука Л. Л., Изд. МГУ, 1979.
2. Жариков В. А. Скарновые месторождения. В кн.: Генезис эндогенных месторождений. М.: Недра, 1968.
3. Перчук Л. Л., Рябчиков Н. Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976.
4. Шатагин Н. Н. Зависимость температуры декрипитации от размера включений, толщины стенки зерна и давления минералообразования. Тезисы докладов IV регионального совещания по термобарохимическим процессам минералообразования (24—30 сентября, 1973 г.). Изд. Ростовского ун-та, 1973.

Известия АН Армении. Науки о Земле, 1990, XI-III, № 2, 45—50.

УДК: 550.84.093:053:519.2

Р. С. СИМОНЯН, С. А. КОЧАРЯН

КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Предлагается метод классификации по формационной принадлежности и оценки геохимических аномалий, основанный на принципах многомерного статистического анализа.

Классификация и предварительная оценка выявленных геохимических аномалий, т. е. выделение из большого числа аномальных образований наиболее перспективных в промышленном отношении объектов, являются одними из самых трудных и важных задач геохимических поисков. Существенную помощь в деле их решения могут оказать методы многомерного статистического анализа. Впервые этот метод был успешно применен Р. С. Симоняном и Л. Н. Гинзбургом [3] при оценке перспектив геохимических аномалий полиметаллического месторождения Вассбо (Центральная Швеция) и дал довольно обнадеживающие результаты.

Аналогичная задача была поставлена и при определении формационной принадлежности и перспектив геохимических аномалий, выявленных в пределах Марджан-Мазмазакского рудного поля.

В контурах этого рудного поля находится Марджанское золото-полиметаллическое месторождение, локализованное в верхах капутджухской, низах гехакарской свит, и объединяет ряд кварц-полиметаллических жил преимущественно северо-западного простирания, имеющих многостадийный характер образования (детальная геолого-минералогическая характеристика месторождения приводится во многих публикациях и здесь не рассматривается).

Проведенная оценка ранговых коэффициентов Спирмена [4], с целью описания реальной зависимости между химическими элементами с помощью линейной модели, позволила нам выявить парагенетические ассоциации элементов для различных уровней оруденения месторождения Марджан. Следует отметить, что под парагенетической ассоциацией мы понимаем группу сонаходящихся в конкретном геологическом объекте элементов, сходно (как по интенсивности, так и по знаку) реагирующих на изменения параметров среды и характеризующихся в связи с этим сопряженностью и однонаправленностью изменения их содержаний в пространстве объекта.

Обработка результатов приближенно-количественного спектрального анализа геохимических проб, отобранных из руд и вмещающих

пород участка Мазмазак, являющегося составной частью Марджан-Мазмазацкого рудного поля, позволила выявить особенности распределения широкого круга химических элементов: свинца, цинка, серебра, бария, мышьяка, молибдена и др. Было установлено зональное строение первичных ореолов и выделены в пределах Мазмазацкого участка шесть аномальных зон (А-I—А-IV). Аналогичные классифицирующие процедуры были проведены и для выявленных геохимических аномалий участка Мазмазак. Анализ формационной принадлежности этих аномалий позволил классифицировать аномалии А-III и А-IV как близкие по своим характеристикам к рудным образованиям нижних горизонтов месторождения Марджан. Остальные аномалии не характерны для золото-полиметаллического оруденения и классифицированы как аномалии медно-молибденовой и вольфрамовой формаций.

Чтобы подтвердить или опровергнуть сделанные ранее выводы, касающиеся классификации геохимических аномалий, использовался многомерный статистический анализ. При этом возникла необходимость по заданным выборкам из двух классов объектов (первого — характеризующего известные геохимические аномалии Марджанского месторождения; второго — характеризующего геохимические поля вокруг альтернативных аномалий Мазмазацкого участка) найти решающее правило, позволяющее относить новые объекты к первому или второму классу с наименьшим количеством ошибок.

Кратко суть алгоритмов можно свести к следующему.

Пусть K_1 — класс (совокупность) объектов, характеризующих геохимические поля вокруг известных рудных образований, K_2 — класс объектов, характеризующих геохимические поля иной формационной принадлежности. Каждый объект охарактеризован набором признаков x_{ij} . В l -мерном пространстве признаков каждому объекту может быть сопоставлена точка

$$x_{ij} = (x_{ij}^1; x_{ij}^2; x_{ij}^3; \dots; x_{ij}^l).$$

Необходимо найти решающее правило, которое позволит разбить все пространство наблюдений на две непересекающиеся области R_1 и R_2 , так, чтобы при пользовании этим правилом мы несли наименьшие потери.

Пусть параметром классов K_1 и K_2 являются μ_1 и μ_2 — векторы математического ожидания соответственно I-го и II-го классов; а Σ_1 и Σ_2 — ковариационные матрицы этих классов.

В случае равенства ковариационных матриц ($\Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$) задача сводится к составлению и решению линейного дискриминантного уравнения*. Дискриминантную функцию в этом случае можно записать в виде

$$l(x) = x' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2} (\mu_1 + \mu_2)' \Sigma^{-1} (\mu_1 - \mu_2).$$

Решение дискриминантного уравнения для случая неравных матриц ковариации было предложено Т. Андерсоном и Р. Бахадуром [5]. В применении к геологическим задачам их метод был впервые использован В. А. Кутолиным и др. [2].

В случае неравных ковариационных матриц ($\Sigma_1 \neq \Sigma_2$) необходимо найти линейную решающую функцию вида

$$l(x) = b'x - P,$$

где b — вектор коэффициентов; P — порог распознавания.

* Способ построения линейных дискриминантных функций при равных матрицах ковариации изложен во многих работах по многомерному статистическому анализу и поэтому подробно здесь не рассматривается.

Согласно Т. Андерсону и Р. Бахадур

$$b = |r \sum_1 + (1-r) \sum_2| (\mu_2 - \mu_1).$$

Следует отметить, что величина r определяется методом проб и ошибок с помощью выражения

$$\{|r \sum_1 + (1-r) \sum_2|^{-1} (\mu_2 - \mu_1)\}^{-1} |r^2 \sum_1 - (1-r)^2 \sum_2| \{|r \sum_1 + (1-r) \sum_2|^{-1} (\mu_2 - \mu_1)\} = 0.$$

Величина порога P определяется из уравнения:

$$P = \frac{(b' \sum_2 b)^{1/2} b' \mu_1 + (b' \sum_1 b)^{1/2} b' \mu_2}{(b' \sum_1 b)^{1/2} + (b' \sum_2 b)^{1/2}}.$$

Решающее правило заключается в отнесении наблюдений x к первому классу, если $l(x) \leq 0$ и ко второму классу, если $l(x) > 0$.

Ожидаемая ошибка классификации равна $1 - \Phi(d)$, где $\Phi(d)$ — функция нормального распределения с параметрами $(0,1)$ при

$$d = \frac{b' \mu_2 - b' \mu_1}{(b' \sum_1 b)^{1/2} + (b' \sum_2 b)^{1/2}}.$$

Для нахождения линейного решающего правила в приведенной выше задаче нами были взяты выборки проб из геохимических ореолов, развитых вокруг золото-полиметаллических рудных тел Марджанского месторождения (объем выборки—50) и на золото-полиметаллической аномалии Мазмазакского участка (А-1, объем выборки 70), представляющие результаты приближенно-количественного спектрального анализа основных элементов индикаторов:

$$x_1 - \text{Zn}; x_2 - \text{Cu}; x_3 - \text{Ag}; x_4 - \text{Mo}; x_5 - \text{Ba}; x_6 - \text{Ni}; x_7 - \text{Pb}.$$

По этим выборкам была построена линейная решающая функция для случая неравных ковариационных матриц. При этом было принято, что логарифм отношения правдоподобия имеет нормальное распределение. Из этого условия, а также условия равенства цен ошибок и получения минимаксного правила решения были получены коэффициенты уравнения разделяющей гиперплоскости и величина порога распознавания ($P = -0,012$).

Это уравнение имеет вид:

$$l(x) = -0,015x_1 - 0,61x_2 + 2,01x_3 + 46,4x_4 - 0,025x_5 - 7,10x_6 - 0,056x_7.$$

Теоретическая ошибка классификации оказалась равной 19%.

Найденное решающее правило было проверено на «экзаменационном» материале—участках, один из которых был классифицирован как золото-полиметаллический, а другой—нет (медно-молибденовый). На основе решающего правила при классификации проб, отобранных из Марджанского месторождения, 81% проб был отнесен к золото-полиметаллическому типу оруденения (или полиметаллическому), а 19% имели другую формационную принадлежность или оказались не аномальными. При классификации проб, отобранных из аномалий Мазмазакского участка, лишь 14% проб были отнесены к полиметаллическому типу оруденения, а 86% были классифицированы правильно. Средняя ошибка классификации составила 17%, что хорошо согласуется с теоретической ошибкой распознавания и нашими выводами.

Значение такой, на первый взгляд, довольно большой ошибки можно объяснить тем, что распределение признаков отличается от нормального закона. Однако доказано, что линейные правила оптимальны при гораздо более широких предположениях о типе распределения, чем предположение о нормальности. В целом, все распреде-

ления унимодальны, имеют эллипсоидальную симметрию и плотность их монотонно убывает в направлении от среднего. Можно ожидать, что многие распределения на практике будут отвечать этим требованиям и для них применение линейных решающих функций окажется оптимальным. Если при этом будут получены результаты, устраивающие нас с точки зрения количества ошибок классификации, то можно считать поставленную цель достигнутой. На основе вышеприведенного алгоритма Р. С. Симоняном и Л. Н. Гинзбургом были составлены программы «Класс-1» и «Класс-2», реализующие методы построения решающих функций, которые написаны на языке «Фортран-IV» и реализованы на ЭВМ ЕС-1020 в ВЦ ИМГРЭ. Программа «Класс-2» предназначена для построения линейных решающих функций независимо от равенства матриц ковариации двух классов. Это достигается путем оформления программы «Класс-1», как одной из подпрограмм программы «Класс-2», причем сравнение ковариационных матриц и передача управления соответствующих подпрограмм производится автоматически.

Данная методика была успешно применена и на ряде других месторождений. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности вышепредставленного метода анализа при геохимических поисках рудных месторождений.

ПО «Армгеология»

Поступила 27.XI.1989

Ո. Ս. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս. Ա. ԳԻՆՉԱՐՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԱՆՈՄԱԼԻԱՆԵՐԻ ԳԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄԸ ԸՍՏ ԲԱԶՄԱԶԱՓ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հայտնաբերված երկրաքիմիական անոմալիաների դասակարգումը և նախնական գնահատումը, այսինքն մեծ թվով անրնականոն գոյացումներից արդյունաբերության համար ամենահեռանկարային օրյեկտների առանձնացումը, երկրաքիմիական հետազոտությունների դժվարագույն և կարեորագույն խնդիրներից մեկն է: Այդ հարցի լուծման գործում էական օգնություն կարող են ցույց տալ բազմաշափ վիճակագրական վերլուծության մեթոդները, մասնավորապես՝ դիսկրիմինացիոն վերլուծությունը:

Նմանօրինակ խնդիր էր դրված նաև Մարջան-Մաղմաղակի հանքադաշտի լաւահաններում հայտնաբերված երկրաքիմիական անոմալիաների ֆորմացիոն պատկանելիության և հեռանկարների որոշման ժամանակ: Դժային մոդելի միջոցով քիմիական տարրերի միջև իրական կանխումը նկարագրելու նպատակով կատարված Սպիրմենի կարգային գործոնների գնահատումը հնարավորություն տվեց մեզ հայտնաբերել, ի տարրերի համաձայնումնաբանական դուգորդություններ Մարջանի հանքավայրի տարրեր մակարդակների հանքայնացումների համար: Հարկ է նշել, որ համաձայնումնաբանական դուգորդությունն առկա լով, մենք ի նկատի բռնենք կոնկրետ երկրաբանական օրյեկտում համատեղ գտնվող տարրերի մի խումբ, որոնք նույն ձևով են հակադրում (թե ուժղնությամբ և թե նշանով) միջավայրի պարամետրերի փոփոխությանը և բնութագրվում են օրյեկտի տարածքում նրանց պարունակության փոփոխության առնչությամբ և նույնուգորդվածությամբ: Մաղմաղակի հատվածի հանքայնությունից և հանք պարունակող ապարներից բնտրված երկրաքիմիական նմուշների մոտավորաբանական լուսապատկերային (սպեկտրալ) վերլու-

Ծովային արդյունքների մշակումը թույլ տվեց բացահայտելու բիմիական առարկերի մի ընդարձակ խմբի՝ կապարի, ցինկի, արծաթի, բարիումի, զառիկի, մոլիբդենի և այլ բաշխման առանձնահատկությունները։ Որոշվեց առաջնային եզրապսակի զոնալ կառուցվածքը, և Մազմազակի հատվածում առանձնացվեցին վեց անբնականոն գոտիներ։ Դասակարգման նմանօրինակ գործողություններ կատարվեցին նաև Մազմազակի հատվածում հայտնաբերված երկրաբիմիական անոմալիաների համար։ Այդ անոմալիաների ֆորմացիոն պատկանելիության վերլուծությունը հնարավոր դարձրեց երկու անոմալիաների դասակարգում, որոնք մոտ են իրենց բնութագրով և նման չեն Մարջանի հանքավայրի ստորին հորիզոնների հանքային գոյացումներին։ Մնացած անոմալիաները ոսկու և բազմամետաղային հանքայնացման համար բնորոշ չեն և դասակարգվում են որպես պղինձ-մոլիբդենային և վոլֆրամային ֆորմացիաների անոմալիաներ։

Երկրաբիմիական վերլուծությունների վերաբերյալ նախորդ եզրակացությունները հաստատելու կամ հերքելու համար կիրառվել է բազմաշափ վիճակագրական վերլուծություն։ Ըստ որում, անհրաժեշտություն առաջացավ երկու դասերի օբյեկտների տրված բնտրանիների հիման վրա (առաջինը՝ Մարջանի հանքավայրի հայտնի երկրաբիմիական անոմալիաները բնութագրող, երկրորդը՝ Մազմազակի հատվածի շուրջը ալլրոտրական անոմալիաների երկրաբիմիական դաշտերը բնութագրող) գտնել վճռողական մի կանոն, ըստ որի, նվազագույնի հասցնելով սխալների թիվը, դասել նոր օբյեկտները առաջին կամ երկրորդ խմբին։ Վճռողական գծային կանոնը գտնելու համար նմուշների բնտրանիներ ենք վերցրել Մարջանի հանքավայրի ոսկու և բազմամետաղային հանքամարմինների շուրջը զարգացած և Մազմազակի ոսկու և բազմամետաղային անոմալիաների երկրաբիմիական եզրապսակներից, որոնք ներկայացնում են հիմնական ցուցիչ-տարրերի մոտավոր-քանակական լուսապատկերային վերլուծության արդյունքները։

Այդ բնտրանիների հիման վրա անհավասար համավարիացիոն մատրիցաների համար գծային վճռողական ֆունկցիա է կառուցվել։ Ըստ որում, բնորոշվել է, որ ճշմարտանմանության հարաբերության լոգարիթմը նորմալ է բաշխված։ Ելնելով այդ պայմանից, ինչպես նաև սխալների արժեքների հավասարության և լուծման մինիմալ կանոնի որոշման պայմանից, ստացել են բաժանող գերհարթության հավասարման գործոնները և ճանաչման նախադրան մեծությունը։

R. S. SIMONIAN, S. A. KOCHARIAN

THE GEOCHEMICAL ANOMALIES CLASSIFICATION BY MEANS OF THE MULTI-DIMENSIONAL STATISTICAL ANALYSIS

A b s t r a c t

A method is proposed for classification (according to formational belonging) and evaluation the geochemical anomalies, based on the principles of the multi-dimensional statistical analysis.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Григорян С. В. Геохимические методы при поисках эндогенных рудных месторождений (Методические рекомендации). М.: Изд. ИМГРЭ, 1974, 206 с.
2. Кутюлин В. А. и др. К оценке возможности определения формационной принадлежности гипербазитов по петрохимическим данным. — «Геология и геофизика», 1966, № 5, с. 28—41.