

УДК 550.84

Г.О. Абрамян

ОКОНТУРИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрена проблема контурной показателя геохимического поля. На основе теории случайных множеств рассматриваются вопросы прогнозирования показателей геохимического поля, где используется дискретный и непрерывный пошаговые матрицы. При прогнозировании контура дискретно размещенных показателей геохимического поля месторождения используется дискретная пошаговая матрица, представляющая стохастическую матрицу переходных вероятностей. Приведены графики изменения функций переходных вероятностей полученные на конкретном месторождении. Показано, что между дискретными показателями геохимического поля на определенном расстоянии равном радиуса дискретной связи существует стохастическая связь, и оценка контура в пределах этого расстояния с помощью функции переходных вероятностей является несмещенной. Приведен сравнительный анализ погрешностей оконтуривания «классическим» способом и с использованием стохастической матрицы переходных вероятностей, где показана эффективность последней.

Ключевые слова: геохимическое поле, прогнозирование, оконтуривание, погрешность, пошаговые матрицы, стохастическая матрица, функция переходных вероятностей, радиус дискретной связи.

Одним из основных проблем эффективного освоения месторождений полезных ископаемых является достоверность исходных данных о пространственном размещении показателей геохимического поля месторождения. Особенно это важно при составлении проектов на отработку месторождения или планов развития горных работ на отдельные его участки, где погрешности оценки качественных и количественных запасов полезного ископаемого на много превышают аналогичные погрешности на непрерывных участках месторождения. Погрешности оконтуривания геохимического поля месторождения, а значит и его балансовых запасов, априори приводит к ошибочным технико-экономическим решениям, и как следствие — к нерациональному использованию недр и необоснованным затратам со всеми вытекающими отрицательными последствиями.

В настоящее время при оконтуривании показателей геохимического поля месторождения используют «классическую» методику, которая заключается в проведении контура между различными показателями поля месторождения посередине между их информационными точками (горными выработками, скважинами и т.д.). В случае экстраполяции контур проводят за крайней положительной информационной точкой, на расстоянии равной какой-либо части ($1/2$, $1/3$, $1/4$ и т.д.) от принятого расстояния между информационными точками.

Такой подход к оконтуриванию чего-либо в геометрическом пространстве и в частности геохимического поля месторождения *кажется «интуитивно правильным»*. Однако, это *не всегда верно* и при определенных условиях (расстояниях) вступают в силу «законы связи», которые вносят свои, достаточно существенные, поправки в определении местоположения (координат) искомого контура. Не учет этих связей приводит к смещению контура геохимического поля, и как следствие — к смещенной, несостоятельной и неэффективной оценке интересующих качественных и количественных характеристик, полученных в результате оконтуривания некоторой, как правило, геометрически весьма неправильной фигуры (формы).

Процесс оконтуривания геохимического поля эквивалентен прогнозированию пограничной, нулевой поверхности в пространстве и по своей математической сути, должен основываться на некоторой научно обоснованной прогнозной математической модели, где в качестве зависимой переменной выступает контур, а независимой — другие идентифицированные во время разведки показатели и/или признаки поля месторождения.

Согласно общей теории геохимического поля, введенное в горную науку основоположником «геометрии недр» профессором П.К. Соболевского, это поле является аналогом геофизического поля, которое рассматривается как функция пространства и времени $C = f(x, y, z, t)$. П.К. Соболевского показал, что если эта функция удовлетворяет условиям конечности, однозначности, непрерывности, плавности (КОНП), то такое поле, имеет слоисто-струйчатую структуру и любое его сечение дает систему непересекающихся изолиний, представляющая

собой функцию топографического порядка. Геометрическое совмещение сечений различных показателей геохимического поля дает возможность выполнения различных математических действий между ними.

Геохимическое поле C размещено в пространстве геометрического поля месторождения $G = f(x, y, z, t)$ рудного, шахтного, карьерного полей), которое кроме C содержит также и другой геохимический показатель (например, безрудие). С другой стороны, по своему минералогическому составу само геохимическое поле месторождения C состоит из различных показателей — геохимических полей C_i . И в первом и во втором случаях для того чтобы полностью определить пространство размещения отдельного показателя (здесь и далее $t = \text{const}$) в пространстве поля месторождения G к математическим действиям, которые используют при операциях с функциями топографического порядка, добавляются математические действия со множествами. В этом случае поле месторождения G выступает в роли универсального (полного) множества по отношению к полям C и (не C), где C также является полным множеством входящих в него подмножеств C_i :

$$\begin{cases} G = C \cup \bar{C} \\ C = \bigcup_{i=1}^n C_i \end{cases} \quad (1)$$

В поле месторождения различные геохимические показатели C_i различным образом могут пересекаться между собой, образуя новые сложные показатели и контурные поверхности, которые зависят от взаимного расположения исходных показателей. Поэтому для системного анализа возможных новых контурных поверхностей по источнику их образования ниже приведена табл. 1, построенная на основе диаграмм Эйлера-Венна, где A и B два различных показателя.

В работе [1] для решения проблемы оконтуривания геохимических показателей использована теория случайных множеств, где пространственные связи между различными показателями C_1, C_2, \dots, C_n — подмножествами поля месторождения, определяются с помощью дискретной и непрерывной пошаговых матриц. Дискретная пошаговая матрица представляет собой стохастическую матрицу переходных вероятностей:

$$p_{ij}(l) = \begin{bmatrix} p_{11}(l) & \dots & p_{1n}(l) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}(l) & \dots & p_{nn}(l) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $p_{ij}(l)$ — функция переходных вероятностей из подмножества C_i в подмножество C_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$).

Элементы стохастической матрицы переходных вероятностей (1) отображают вероятностные связи между подмножествами — по главной диагонали между самими подмножествами $C_i \rightarrow C_j$ ($i = j$), а остальные — между различными подмножествами $C_i \rightarrow C_j$ ($i \neq j$). Другими словами, функции переходных вероятностей $p_{ij}(l)$ являются функциями условных вероятностей, с помощью которых оценивается вероятность размещения подмножества C_j в поле месторождения при условии, что на расстоянии равном l (по данным разведки) размещалось подмножество C_i . В отличие от непрерывной пошаговой (корреляционной) матрицы:

$$k_{ij}(l) = \begin{bmatrix} k_{11}(l) & \dots & k_{1n}(l) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1}(l) & \dots & k_{nn}(l) \end{bmatrix}, \quad (3)$$



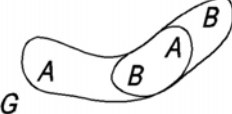


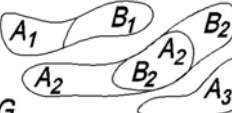
где $k_{ij}(l)$ — автокорреляционные функции при $i=j$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), а при $i \neq j$ парные корреляционные функции между подмножествами C_i и C_j , которая является симметричной, стохастическая матрица переходных вероятностей не является симметричной.

Совместное использование матриц (2) и (3) позволяет выполнить прогноз различных геохимических показателей в поле месторождения — с помощью дискретной пошаговой матрицы оценивается вероятность наличия того или иного геохимического показателя, а с помощью непрерывной пошаговой матрицы — интересующий признак (параметр) соответствующего показателя.

Характер поведения функций переходных вероятностей приведен на рис. 1, где горизонтальными линиями показаны стационарные (безусловные) вероятности двух геохимических

Таблице 1

Источники образования контурных поверхностей геохимических показателей в поле месторождения

Наличие сложного показателя	Наличие геометрической принадлежности	Характерные примеры размещения
1. Да	1. Взаимо-принадлежащий $A=1$	
	2. Принадлежащий $B \subset A$	
	3. Частично-принадлежащий $A \setminus B \neq \emptyset$ $B \setminus A \neq \emptyset$	
2. Нет	4. Не принадлежащий внешний $b\{x x \notin A\}$ $a\{x x \notin B\}$	
	5. Не принадлежащий внутренний $B \subset A \wedge B \neq A$	
3. Комбинации 1. ÷ 2.	6. Комбинации 1. ÷ 5.	

показателей C_i и C_j , а также соответствующие им переходные вероятности, которые с увеличением шага стремятся к своим стационарным вероятностям. Шаг, при котором хотя бы одна из переходных вероятностей, переходит свою стационарную вероятность в первый раз (на рис. 1 он равен 4,4), называется

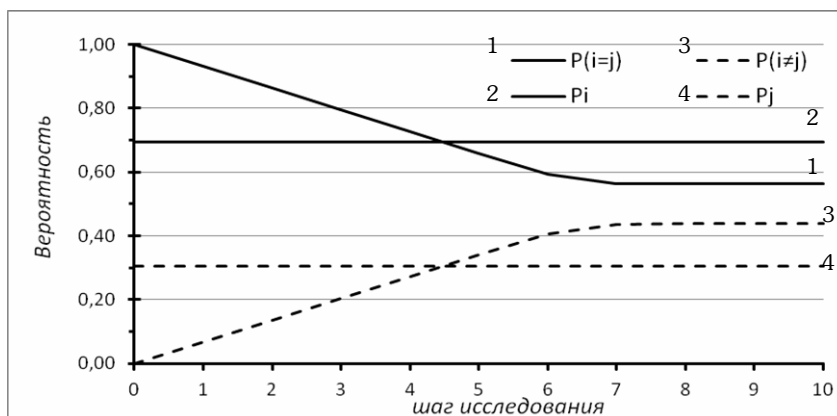


Рис. 1. Функции переходных вероятностей

радиусом связи дискретных показателей R_d (сокращенно — радиус дискретной связи). Этот радиус является аналогом радиуса автокорреляции при непрерывном размещении геохимического показателя и радиусом корреляции между различными показателями при прерывистом размещении показателей в поле месторождения.

Оценка вероятности наличия того или иного показателя в каждой «точке» пространства (с дискретностью равной минимальному шагу исследования) в области радиуса дискретной связи R_d дает решение по присваиванию этой «точке» соответствующего наиболее вероятного геохимического показателя и тем самым определение контура между различными показателями.

Для определения погрешности оконтуривания «классическим» и рассмотренной выше методиками было проведено множество исследований по данным моделирования и материалам месторождений цветных металлов, которые подтвердили, что использование функций переходных вероятностей $p_{ij}(l)$ в области радиуса дискретной связи R_d дают несмещенную оценку координат контура в пространстве месторождения. На рис. 2 приведен пример сравнения этих методик, где сплошной линией показана дисперсия погрешности оконтуривания «классической» методикой, а прерывистой — с помощью функций переходных вероятностей месторождения бокситовых руд ОАО «Севуралбокситруда» [4].

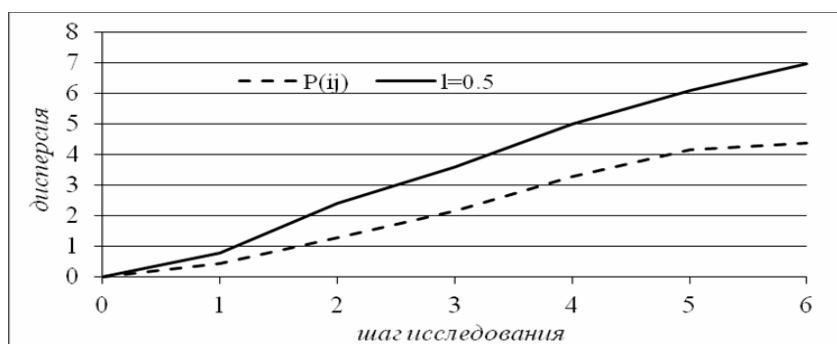


Рис. 2. Исследование погрешности оконтуривания

Таким образом, при оконтуривании геохимических показателей в поле месторождения необходимо учитывать закономерности их пространственного размещения, которые проявляются в существующих связях между различными, непересекающимися геохимическими показателями месторождения, в области радиуса дискретной связи R_d . Показано, что в области радиуса дискретной связи использование функций переходных вероятностей позволяет произвести несмещенную, состоятельную и эффективную оценку координат контурной поверхности между различными геохимическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамян Г.О. Разработка методики эксплуатационной геометризации на основе теории случайных множеств при планировании горных работ. М., МГИ, Автореферат диссертации на соискание кандидата наук, 1989, 20 с.
2. Ворошилов В.Г. К вопросу о геометризации аномальных структур геохимических полей гидротермальных рудных месторождений. журнал «Известия Томского политехнического университета», 2007, 311.1, 6 с.
3. Ершов В.В. Основы горнопромышленной геологии. – М. Недра, 1988, 328 с.
4. Толчкова (Осипова) Е.Н. Исследование точности районирования месторождений на основе теории случайных множеств. Диссертация на соискание магистра наук. – М.: МГТУ, 2004, 75 с. **ГИАВ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Абрамян Георгий Оникович — кандидат технических наук, доцент, исп. зав. кафедрой «Маркшейдерское дело и геодезия», профессор, ga03d@ya.ru, Горный институт НИТУ «МИСиС».

CONTOURING OF INDICATORS OF GEOCHEMICAL FIELDS

Abramyan G., candidate of technical Sciences, associate Professor, the Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», gao3d@ya.ru

The article considers the problem of contouring the indicators of geochemical field. Is given the table of spatial-geometric placement of indicators of geochemical field and relationships between them. On the basis of the given table and the theory of random sets are considered the issues of predicting the indicators of geochemical field, where is used discrete and continuous step by step matrix. When predicting the contours of discretely placed indicators of geochemical field is used discrete step by step matrix, which represents stochastic matrix transitional probabilities. Are given graphs of variation of the function of transitional probabilities on specific mine. It is shown that between discrete indicators of geochemical field at a certain distance equal to the radius of the discrete relationship there is a stochastic link, and evaluation of the contour within this distance using the functions of the transitional probabilities is unbiased. Is given the comparative analysis of errors of contouring by «classic» method and using a stochastic matrix of the transitional probabilities, which shows the effectiveness of the last.

Key words: Geochemical field, prediction, contouring, error, step by step matrix, stochastic matrix, the function of the transitional probabilities, the radius of a discrete relationship.

REFERENCES

1. Abramyan G.O. Development of a technique based on the geometrization of the ekspluatatsionno theory of random sets for mine planning. Thesis Autoabstract on competition candidate of Sciences dissertation, 2006.5, 2p.
2. Voroshilov V.G. To the question of geometrization of anomalous structures of geochemical fields of hydrothermal ore deposits. journal «News of the Tomsk Polytechnic University», 2007, 311.1, 6p.
3. Ershov V.V. Basics of mining geology. Moscow, Nedra, 1988, 328 p.
4. Tolchkova E.N. (Osipova) Investigation of accuracy of zoning fields on the basis of the theory of random sets. Dissertation on competition of Master of Science., Moscow, MSMU, 2004, 75 p.

