

Вероятностни и евристични методи при моделиране на изменчивостта на геоложки показатели

Койно Боев, Станислав Топалов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. Геоложки показатели са оценени и чрез колебанието (изменчивостта) им. Изменчивостта може да се моделира чрез вероятностни и евристични методи. В доклада са представени резултати от моделирането и оценка на приложимостта на групите методи.

VARIABILITY MODELING OF GEOLOGICAL PARAMETERS BY STOCHASTIC AND HEURISTIC METHODS

ABSTRACT. Some geological parameters are estimated by their variability, too. The variability can be modeled by stochastic and heuristic methods. Modeling results and estimation of methods group application are given in the paper.

Геоложките показатели се оценяват с характеристики за изменчивостта им. Тя има статистическа и физическа страна. Статистическото измерване на изменчивостта се изразява в мощността (силата) на използваните методи и критерии за оценка, а физическото – в приложната стойност на резултатите от оценката ѝ. Методите и критериите на оценката са вероятностни и евристични. Последните изискват систематизиране и обработване, на различно ниво, на статистическа информация за геоложкия показател.

Количествен израз на изменчивостта дават статистическите характеристики на геоложкия показател. Най-вече те са дисперсия, стандарт, коефициент на вариация, корелационна функция, структурна функция, вариограма и др. Приложение намират и други характеристики, изразяващи сходство/различие в изменчивостта на геоложките показатели [Попов В.Н., Бадамсурен Х., Буянов М.И., Руденко В.В., 2000].

Целта на настоящия доклад е да се споделят използвани технологии за оценка на изменчивостта на геоложки показатели, адресирани към различни инженерни задачи от геолого-проучвателното и минното дело.

Според (Букринский В.А., Ю.В. Коробченко, 1977) изменчивостта на геоложките показатели е абсолютна и относителна. Тя може да се оценява статистически и геометрично. Тези оценки дават възможност за определяне на детерминираната и случайната съставляваща на изменчивостта и амплитудата на колебание. Физическата страна осигурява използването на оценката на изменчивостта в дадено направление, в дадена площ или обем, разкриване анизотропията на геоложкия показател, влиянието на колебанието върху различните структурни нива при проучването и разработването на находищата на подземни богатства и др.

Прогнозирането на характеристиките на изменчивостта на геоложките показатели (Боев К., Ст. Топалов. Минно дело, 7 - 8, 1993) е подчинено на редица аргументи, като:

- обект на изследване;

- изходни данни и обем на геолого-маркшайдерската информация;

- средства и методи за систематизиране на информацията;

- критерии за типизиране на изменчивостта;

- теории и методи за анализ на изменчивостта;

- методи и средства за представяне на крайните резултати.

Интерпретацията на оценката на изменчивостта (физичната ѝ страна) най-често е свързана с:

- създаване на адекватен числен модел на находището;

- ориентиране на проучвателна мрежа и определяне на размерите ѝ;

- надеждност на определените статистически характеристики на геоложкия фактор;

- оценка на временно неактивни запаси;

- оценка на сложността на минно-геоложките условия.

- оценка на планирането за развитие на минните работи;

- оценка на степента на подготвеност на запасите.

Създаването на адекватен числен модел на находището в равнината (добивен хоризонт), отчитащ изменчивостта, е подчинено на следната последователност:

- детайлизиране на информацията в радиални ивици с параметри: ширина на ивицата и ориентиращ ъгъл α (всяка i ивица е определена с координатите на началната точка на оста Y Y_0 , Y_i , стойност на посочения ъгъл α , на надлъжната ос), фиг. 1.;

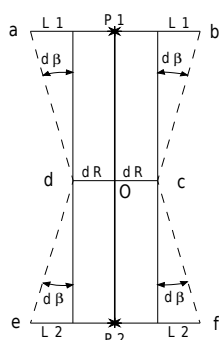
- за всяка i ивица и за j показател се определя радиуса на автокорелация;

- в подходящ мащаб по радиално излизаци от точка O прави, се нанасят стойностите на радиуса на автокорелация;

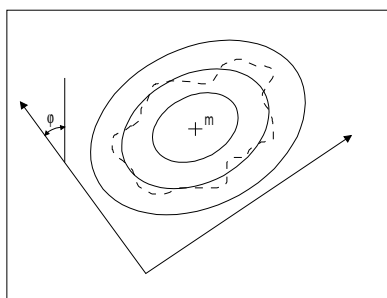
- създава се емпиричен модел на изменчивостта на изучавания показател фиг. 2. -прекъснатата линия;

- определя се теоретичния ѝ модел, фиг. 2.;

dR-минимален радиус на влияние
dβ-ъгъл на разсейване



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Теоретичният модел на изменчивостта се създава на базата на изградена топографска повърхнина, отразяваща стойностите на радиуса на автокорелация (стойностите на структурната функция).

Моделът на анизотропията (изменчивостта) на показател от находището е реализиран програмно. Основните модули са 9, като всеки от тях е свързан с предишния.

Въвеждането, в интерактивен режим, на определената ориентираност на анизотропията и нейната стойност повишава крайните резултати при използване програмния продукт "SURFER".

За ориентиране на проучвателната мрежа и определяне на размерите ѝ се наложи да се оцени изменчивостта на дебелината на рудна жила в полиметално находище, съдържанието на олово, цинк и мед в масива (Боев К., Ст. Топалов, И. Андонов, 1997):

Тази задача, с цел по-надеждно прогнозиране на посочените геоложки фактори, изисква:

- систематизиране на информацията от експлоатационното проучване;
- определяне на сборните статистически характеристики на изучаваните показатели;
- оценка на различието на средните характеристики на показателите;
- изследване структурата на корелационни връзки между показателите.

Обработена е информация за дебелина, съдържание на олово, цинк и мед от 10 технологични единици (експлоатационни блокове). Структурата на корелационните връзки между показателите е $r_{Pb/Zn} = 0.74$; $r_{Pb/Cu} = 0.49$; $r_{Zn/Cu} = 0.53$.

Определените средни стойности на радиусите на автокорелация по "посока" и по "страна" на рудното тяло не противоречат на генезиса на находището и на структу-

рата на рудния масив, напукаността на вместващите скали и морфологията на рудното тяло.

Прогнозирането на стойностите на изследваните геоложки показатели е осъществено чрез експоненциално изглаждане на Браун. Определени са стойностите на изглаждащата константа α за изучаваните показатели по "страна" и по "посока" на рудното тяло, предвид количествения израз на изменчивостта им, осигуряващи максимална надеждност на прогнозата.

Резултатите от изпълнението на посочените задачи, достигнати с помощта на теорията на случайните процеси/функции, практически реализирани машинно, дават възможност за оценка на избора на направлението на минните работи и грешката при изчисляване на запасите, както и др. инженерни задачи.

Надеждността на определените статистически характеристики на геоложки фактор (обемна плътност) във въглищно находище, разработвано по открит начин наложи:

- обособяване на четири представителни участъка от находището;
- определяне, чрез геофизичен метод, на стойностите на изучавания геоложки показател за различните петрографски типове скали и въглища;
- статистическа обработка на резултатите.

При априорно възприемане, че в четирите участъка статистическите характеристики на геоложкия фактор не се различават значимо, чрез проверка на статистически хипотези е оценено количествено сходството в изменчивостта на средните характеристики на отделните петрографски типове. Определени са надеждни стойности на геоложкия фактор, формиран от различни типове скали в зависимост от местоположението на участъка.

Разработването на различни неактивни запаси (в охранителни стълбове под здания и съоръжения, под водоеми и пътни комуникации; междухоризонтни, междублокови и междукламерни целици; зони на изклиняване на балансовия контур или такива с малка дебелина на залежа) наложи извършването на технико-икономическа оценка, основана върху определяне на промишлените кондиции на неактивни запаси (Христов С., К. Боев, Ст. Топалов, 1997.).

В района на охранителния стълб на промишлената площадка (рудно тяло 1 на полиметално находище "Метливко – Център"), бе извършена експлоатационна геометризация на съдържанието на олово, цинк и мед и дебелината на залежа. Резултатите от нея дават основание за следните изводи:

- дебелината на залежа е със статистически закон на разпределение, близък до Гаусовия закон на разпределение ($\bar{d} = 2.20m$, $Me = 2.00 m$, $Mo = 2.00m$). Средно аритметичната стойност е представителна характеристика. Тя е с най-малка изменчивост в сравнение с останалите геоложки фактори и показва слаби тенденции за намаляване в дълбочина.

• съдържанието на олово C_{Pb} се подчинява на лявоасиметрично разпределение ($A \in 0.8 \div 1.2$; $E \in -0.18 \div 0.6$; коефициентът на корелация между съдържанието на олово и цинк е в границите $0.42 \div 0.65$, а между оловото и медта той е статистически незначим; радиусът на автокорелация по простиране варира от 15 до 20m, а изменението на съдържанието има квазипериодичен характер, като координираната изменчивост е доминираща в южната част.

- съдържанието на цинк C_{Zn} се подчинява на лявоасиметрично разпределение (логнормален закон на разпределение - $A \in 0.56 \div 2.32$; $E \in 0.74 \div 2.68$; радиусът на автокорелация по простирание варира от 20 до 30m. Ани-зотропията по отношение на съдържанието на оловото е по-значима.

- с елементи на скрити топографски повърхнини е избразено изменението на дебелината на рудната жила, съдържанието на олово, цинк и мед, както и сумарно съдържание на олово и цинк.

Получените резултати са използвани за определяне на кондициите на съдържание на олово+цинк, послужили при преизчисляване на запасите.

Сложността на находището, в зависимост от етапите и задачите на геолого-проучвателния и добивния цикъл, в (В.Н. Попов, Д.И.Боровский. 1996.) се предлага да бъде разграничена на геоложка и минно-геоложка и оценката да бъде чрез интегрален показател, който да включва: геоложки фактори по степен на тяхната изменчивост, количествено оценяващи находището и влияещи на точността на оценката на прогнозиите минерални ресурси, на регионалното извличане на богатствата от недрата и на технико-икономическите показатели на дейността на минно-добивната фирма. Оценката на минно-геоложката сложност трябва според (В.Н. Попов, Д.И.Боровский. 1996.), да се извършва чрез показател, към който да бъдат предявени следните изисквания: безразмерност, пространствена обвързаност, отчитане на дискретния и непрекъснатия характер на геоложките показатели, възможност за формализация на качествените и описателните фактори, универсалност, гъвкавост и надеждност при изградения обемен модел на находището, даващ възможност да се използва при планирането и управлението на минните работи.

Чрез графиките на нормираната, приведена към дисперсия равна на единица, автокорелационна функция на изменението на съдържанието на мед по дадено направление в находище, което се разработва по открит начин, в случая за четири експлоатационни хоризонта 1090, 1075, 1060 и 1045 - рудник "Елаците" са построени лъчеви графики. Периметърът на всяка (дължината на начупената крива), се използва като решаващо правило при оценка на сложността на геоложкия показател – съдържанието на мед.

При решаването на задачи от детайлното и експлоатационно проучване на находищата, запасите/ресурсите от подземни богатства за различни участъци следва да бъдат оценявани чрез изменчивостта на няколко показателя. В този случай е целесъобразно да се използват логични методи. Такъв подход дава възможност да се оцени по-общо степента на близост/различие на отделни участъци. Един от методите за реализиране на този подход е използване на теорията за разпознаване на образи. Понятието "образ на участъка" включва геометричната форма, данните от измерване на геоложките показатели – дебелина, съдържание на полезен или вреден компонент, структура и др. Разпознаването може да се извърши по следните алгоритми: по най-малко разстояние между точките, по стойността на ъгъла между векторите, по фазов интервал или вероятностно.

Алгоритъмът за разпознаване по фазов интервал е приложен при изучаване на въглищен пласт (Боев К., Ж. Дончев. Въглища, 1982,7.), в който предстои проектиране

на минни работи в нов участък. Дебелината на пласта, измерена в обособени участъци образува статистически набор от данни, които съгласно теорията за разпознаване на образи се тълкува като определена фаза. Точката m_0 принадлежи към областта (участъка от въглищния пласт) при условие, че i -ия образ, разстоянието от нея до центъра на този участък е по-малко от нейния център до центровете на другите области. Във фазовото пространство по този начин се използва степента на близост/различие между отделните области. Количествено близостта/ различие се оценява чрез статистическата величина ϵ .

Разпознаване чрез най-малко разстояние между точките (Боев К., Ж. Дончев. Въглища, 1982,7.) предполага, че разработвано поле от въглищен пласт със стойности на дебелината на пласта могат да бъдат групирани в локални области. Нов, предстоящ за разработване участък от въглищния пласт притежава стойности на дебелината на пласта, които могат да бъдат отнесени (разпозна-ти) към всяка една от i -тата локална област. Разстоянието от центъра на новия участък (разбирай центъра на признаковото пространство – дебелината на пласта) до центъра на изследваните локални области е показател за различие/сходство.

Алгоритъмът минимално разстояние между центровете на фазовите пространства в (Боев, К., Ваклев, И. Рудодобив.1979,9.) е приложен за оценка на геоложки показатели в рудно тяло на полиметално находище (дебелината на тялото варира от 4 до 7 m, опробването за съдържанието на олово и цинк е браздово през 3 m. Опробвани са 3 щолни ($i=3$). Съдържанието на олово е обособено в 10, а на цинк в 9 подинтервала).

За определяне еднородността (различието) на рудата, проучена чрез трите щолни, се изисква сравняването да се извърши не по една или две сумарни характеристики на съдържанието на Pb и Zn, а по целия признаков спектър (в случая по 19 образни показателя).

В технологичен аспект, алгоритъмът, е приложен в следната последователност:

- изчисляват се сумарните характеристики (средна и стандарт) за съдържанието на оловото и цинка за всяка щолня;

- оценява се близостта на емпирично и теоретично разпределение чрез критерия на Пирсън.

Различието в сумарните характеристики и вида на теоретичното разпределение на съдържанието на олово-то и цинка в рудата от трите щолни е такова, че се създава възможност за издигане на нулева хипотеза за разнородна по съдържание на олово и цинк руда. Алтернативната хипотеза може да се оцени по вероятностите на появяване на отделните класове (подинтервали) съдържания на разглежданите геоложки признаци с използване на статистическата величина ϵ , определена чрез израза:

$$\epsilon_{i \div i+u} = (L_{i \div i+u}) / (R_i + R_{i+u}),$$

където: $L_{i \div i+u}$ е разстояние между центровете на i и $i+1$ образ (обект)

R_i и R_{i+u} – средни радиуси на i и $i+1$ образ.

Стойностите на ε_{i+1} за сходството на съдържанието на олово и цинк в рудата са по-малки от 1, т.е. различие по изменчивост на съдържание на Pb и Zn в рудата в трите щолни не съществува. Този извод беше по-късно потвърден от резултати в рудника.

В (Боев К., Рудодобив., 1981,8.) чрез разпознаване на образи (метод на обобщените разстояния) по 4 показателя в 14 блока за оловно-цинкова руда е определено мястото на всеки блок в n-мерното признаково пространство, като приоритет има четвърти показател.

С помощта на линейна дискриминантна функция на основата на разпознаване на образи е решена класификационна задача и е определена информативността на класификационните признаци.

Класическата теория за геохимичното поле, неговата структура и етапите на изучаването му предопределят възможността за прилагане на друг клон от изкуствения интелект – невронни мрежи. Те като най-типичен и най-развит представител на конекционисткия подход притежават някои предимства, свързани с по-лесната обработка на многозначни знания (знания, които даже в съответната предметна област могат да бъдат интерпретирани по няколко различни начина).

Между невронните мрежи и статистическите методи съществува силна връзка. Една от най-полезните характерна особеност на невронните мрежи, от статистическа гледна точка е, че тяхното приложение не изисква априорни предположения за вероятния модел на анализирания проблем. От гледна точка на статистиката невронните мрежи за картографско апроксимиране могат да се разглеждат като обобщение на статистическия регресионен анализ, тъй като функционалната форма заучена от невронната мрежа може да бъде нелинейна функция на входните данни и регресионните параметри.

Основните предимства при използването на невронни мрежи за оценка на геоложки показатели са:

- прилагането на метода е еднакво за всички видове находища;
- възможно е използването на допълнително постъпваща входна информация;
- методът не изисква построяване на сложни математически модели на находището.

В (Топалов Ст., К. Боев, Ив. Кошев., 2003.) са посочени резултати от изследване върху надеждността на прогнозиране на геоложки показател – съдържание на мед чрез невронни мрежи (програмна система Q-net). При предварително разкрита анизотропия на показателя съдържание на мед в добивен хоризонт по данни от детайлното проучване е тествана работоспособността (надеждността на прогнози-

ране) на пет обучени невронни мрежи, като местоположението на прогнозните точки е съобразено с ориентираността на изменчивостта на съдържанието на мед. Може да се отбележи, че резултатите от прогнозирането, чрез посочения евристичен метод, не се влияят от изменчивостта на геоложкия показател.

Литература

- Боев, К., Ваклев, И. *Определяне на еднородни обекти при изучаване на полезни изкопаеми чрез прилагане на кибернетико – статистически методи*. Рудодобив. 1979,9.
- Боев К. *Методи за обработване на геологомаркшайдерска информация*. Рудодобив., 1981,8
- Боев К., Ж. Дончев. *Използване на теорията на разпознаване на образи за определяне на степента на еднородност на разработваните и предстоящите за разработване въглищни пластове*. Въглища, 1982,7.
- Боев К., Ст. Топалов. *Геолого-маркшайдерската информация – база за анализ и решения във фирмите за добив на полезни изкопаеми*. Минно дело, 7 - 8, 1993, (с.43-47).
- Боев К., Ст. Топалов, И. Андонов. *Изменчивостта на пока-зателите на рудните запаси – определящ елемент при решаването на геолого-маркшайдерските задачи*. V-та Маркшайдерска конференция “Маркшайдерското осигуряване на прага на XXI-то столетие”, Несебър, 10-14 юни, 1997
- Букринский В.А., Ю.В. Коробченко. *Геометризация месторождений полезных ископаемых*. М., Недра, 1977.
- Попов В.Н., Бадамсурэен Х., Буянов М.И., Руденко В.В. *Квалитетрия недр: Учеб. Пособие для вузов.-М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. - 303с.:ил*
- Попов В.Н., Д.И.Боровский. *Проблемы оценки геологической сложности месторождений*. Горный журнал, 1996 №11-32.
- Христов С., К. Боев, Ст. Топалов. *Кондиции при преизчисляването на запасите в охранителния целик на промишлената площадка “Метлишко – Център – рк “Ерма”*. V-та Маркшайдерска конференция “Маркшайдерското осигуряване на прага на XXI-то столетие”, Несебър, 10-14 юни, 1997.(с.114-120).
- Топалов Ст., К. Боев, Ив. Кошев *Опит за използване на изкуствен интелект (невронни мрежи) за прогнозиране на изучаван геоложки показател*. X-та Национална Маркшайдерска конференция., Св. Константин и Елена, 16-20 юни, 2003.