

ВЕРОЯТНОСТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ

Л. М. ПЕТРОВСКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедр минералогии, петрографии и геологии
и разведки месторождений полезных ископаемых)

Из всех существующих методов определения плотности разведочной сети, как известно, только аналитические методы позволяют по данным предварительной разведки месторождения определять необходимую плотность в детальную стадию разведки отдельных участков. Однако широко известный метод заданной погрешности определения запасов [6] и близкий к нему вероятностно-статистический метод В. В. Богацкого [1] на практике применяются редко. Основными причинами последнего являются:

1) независимость рассчитываемого числа пересечений от относительных размеров участков детальной разведки;

2) неправильное преломление в указанных методах известной предпосылки о первостепенном значении количества наблюдений на объекте разведки: рассчитываемое минимально гарантийное количество наблюдений для разведки запасов данной категории распространяется на всю площадь объекта, а не на часть ее в контуре соответствующих запасов.

Отсутствие официально принятых значений допустимых погрешностей оценки запасов по разным категориям также сдерживает широкое применение аналитических методов определения плотности разведочной сети. Между тем потребность в объективном аналитическом методе расчета плотности разведочной сети, дифференцированно учитывающей особенности геологического строения месторождений, характер отдельных объектов их и задачи разведки, в связи с прогрессирующим ежегодным ростом объемов геологоразведочных работ и необходимостью их строгого планирования, становится все более очевидной.

Ниже предлагается универсальный вероятностно-аналитический метод определения плотности сети скважин. В основу его положено определение достаточного числа элементарных объектов интерполирования (единичных разведочных блоков), обеспечивающего вычисление

средних значений признака с заданной погрешностью на средних по площади участках всех месторождений, разведываемых буровыми и горно-буровыми системами. Это так называемое базисное число единичных разведочных блоков корректируется затем для каждого данного объекта в зависимости от степени изменчивости признака и площади участка.

При этом надо иметь в виду, что соответствующее базисное число скважин может быть равно или больше числа единичных разведочных блоков в зависимости от того, опирается ли блок на одну центральную скважину (по принципу ближайшего района) или он оконтуривается четырьмя скважинами (узловые сетки). Выбор одной из этих разведочных сеток для аналитического расчета числа скважин при прочих равных условиях, зависит от степени детальности разведки месторождений: для оценки запасов по категориям *A* и *B*, контур которых обычно проводится по выработкам, расчет скважин должен базироваться на узловых сетках (по формуле (5)); для оценки запасов по категориям *C*_{1,2}, контур которых проводится на основе близкой или далекой экстраполяции, расчет скважин должен базироваться на сетках блоков, построенных по правилу ближайшего района.

Определение базисного числа блоков или скважин проводится на основе вероятностного метода исследования [2]. Согласно последнему всякая случайная выборка равномерно распределенных значений признака (замеров мощности или определений содержания) может характеризоваться появлением одного из следующих несовместных событий (возможных исходов разведки):

событие *D* — среднее значение признака определяется при большем числе минусовых уклонений частных значений признака от истинного среднего;

событие *E* — то же при большем числе плюсовых уклонений;

событие *Ж* — то же при одинаковом числе плюсовых и минусовых уклонений.

Совокупность всех трех несовместных событий образует полную группу событий. Следовательно, совокупность вероятностей *P* этих событий составит полную вероятность.

$$P(D) + P(E) + P(Ж) = 1.$$

Для объектов с простыми законами изменения геологических параметров, разведываемых буровыми и горно-буровыми системами, рассматриваемая задача практически симметрична относительно количества плюсовых и минусовых уклонений частных значений от истинного среднего (при отсутствии систематической погрешности, с учетом данных каротажа, в определениях частных значений). Тогда $P(D) = P(E)$ или $2P(D) + P(Ж) = 1$, а вероятность интересующего нас благоприятного события *Ж* определится из выражения $P(Ж) = 1 - 2P(D)$.

Вероятности симметричных событий *D* и *E* подсчитываются, исходя из числа элементарных событий (членов выборки) и их вероятности, которая, очевидно, равна 1/2. Общее число элементарных событий для разведочной сети участка может быть представлено произведением *n* и *m* элементов интерполирования между соседними замерами признака по двум взаимно перпендикулярным направлениям разведки. Тогда вероятность события *D* может быть подсчитана из выражения:

$$P(D) = \left(\frac{1}{2}\right)^n \left(\frac{1}{2}\right)^m Z_n Z_m,$$

где Z_n, Z_m — число сочетаний или комбинаций элементарных событий по двум основным направлениям разведочной сети, подсчитываемое по формуле сочетаний [3].

Результаты проведенного расчета вероятностей благоприятного исхода разведки участков (события Ж) для разного числа элементарных объектов интерполирования (единичных разведочных блоков) приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что оценка точности исчисляемой сред-

Таблица 1

Число единичных разведочных блоков	Форма площади участков (n — m)		Вероятность события Ж	
4	2×2		0,5	
6		2×3		0,625
8	2×4		0,625	
«	1×8		0,453	
16		4×4		0,719
«		2×8		0,726
«		1×16		0,61
36	6×6		0,805	
«	4×9		0,816	
«	3×12		0,831	
«	1×36		0,736	
64		8×8		0,851
«		4×16		0,853
«		2×32		0,86
144	12×12		0,898	
«	6×24		0,899	

ней величины с вероятностью более 0,9 (с погрешностью менее 10%) вызывает резкое увеличение числа разведочных блоков. Очевидно, что с точки зрения экономической целесообразности, детальная разведка геологических объектов должна ограничиваться вероятностью достоверной оценки параметров, равной 0,9. С такой вероятностью в практике разведки соответствующих месторождений оцениваются запасы категории А; вероятности оценки запасов категорий В и С₁, как правило, принимаются равными соответственно 0,8 и 0,6. Из табл. 1 видно также, что в зависимости от формы площади расположения разведочных блоков для достижения заданного уровня вероятностной оценки среднего значения параметра требуется неодинаковое число единичных разведочных блоков. Сравнительно меньшее число их требуется для основной части участков прямоугольной и квадратной формы и наибольшее — для разведки периферийной полосы тел полезных ископаемых на выходах под наносы и при разведке зон их, прилегающих к тектоническим разрывам (табл. 2).

Таблица 2

Характер объекта разведки	Базисное число единичных блоков для разведки запасов кат.		
	А	В	С ₁
Прямоугольные и квадратные участки месторождений	144	36	9
Полосы залежей на выходах под наносы и зоны их, прилегающие к тектоническим разрывам	—	64	16

Приведенные в табл. 2 базисные количества единичных разведочных блоков обеспечивают вычисление средних значений параметров с заданной погрешностью на геологических объектах, разведываемых буровыми и горно-буровыми системами. Предельная изменчивость параметров на этих объектах обычно не превышает 100% по коэффициенту вариации V и, по-видимому, может быть оценена значением показателя неравномерности НП по В. В. Богацкому [1] в пределах до 8. Этим условиям отвечают первые две группы рудных месторождений [6], а также все месторождения угля. Тогда необходимое число единичных разведочных блоков $N_{A,B,C}^1$ на каждом из таких месторождений с конкретной изменчивостью основного (наименее выдержанного) параметра должно рассчитываться по формулам.

$$N_{A,B,C}^1 = N_{A,B,C} \cdot V / 100 \text{ или } N_{A,B,C}^1 = N_{A,B,C}^{\text{нп}} / 8. \quad (1)$$

Определяемые по формулам (1) количества единичных разведочных блоков $N_{A,B,C}^1$ гарантируют вычисление средних значений параметров с заданной погрешностью в пределах контура каждой категории разведываемых запасов. Тогда плотность разведочной сети для разведки запасов соответствующей категории, определяемая размерами площади единичных разведочных блоков $S_{A,B,C}^{\text{бл}}$, должна рассчитываться по формулам*:

$$S_{A,B,C}^{\text{бл}} = \frac{100 S_{A,B,C}}{V \cdot N_{A,B,C}} \text{ или } S_{A,B,C}^{\text{бл}} = \frac{8 S_{A,B,C}}{\text{НП} \cdot N_{A,B,C}}, \quad (2)$$

где $S_{A,B,C}$ — площади контуров разведки запасов по категориям A , B и C .

Из формул следует, что при постоянном базисном числе единичных разведочных блоков (табл. 2) плотность сети скважин для разведки запасов данной категории зависит, при прочих равных условиях, от абсолютной площади контуров запасов разных категорий. Возможная различная плотность сети скважин при разном соотношении категорий запасов (при постоянном числе единичных разведочных блоков и скважин в контуре каждой категории запасов) будет определять различную достоверность или точность оконтуривания запасов. Следовательно, достижение оптимальной точности оконтуривания запасов каждой категории при заданном числе единичных разведочных блоков должно определяться оптимальным соотношением категорий. Общие требования по оптимальному соотношению категорий запасов для разных групп месторождений твердых полезных ископаемых содержатся в Классификации запасов [4]. Обозначив долю запасов в контуре соответствующей категории от общих запасов участка площадью S через $K_{A,B,C}$, формулы (2) можно записать в виде

$$S_{A,B,C}^{\text{бл}} = \frac{100 K_{A,B,C} \cdot S}{V \cdot N_{A,B,C}} \text{ или } S_{A,B,C}^{\text{бл}} = \frac{8 K_{A,B,C} \cdot S}{\text{НП} \cdot N_{A,B,C}}. \quad (2a)$$

Теоретические исследования характера зависимости соотношений S_A и S_B от $S_A^{\text{бл}}$ и S_B при разных относительных количествах N_A и N_B наглядно можно представить на диаграмме (рис. 1). Из диаграммы следует, что необходимому соотношению S_A и S_B соответствуют определенные сочетания $N_{A,B}$ и $S_{A,B}^{\text{бл}}$.

Выбор входящего в формулы (2a) необходимого и достаточного базисного числа единичных разведочных блоков $N_{A,B,C}$ для разных по размерам участков следует проводить дифференцированно. Проведенные экспериментальные исследования для участков месторождений уг-

* По мере выработки более совершенных показателей изменчивости параметров эти формулы соответственно могут быть легко преобразованы.

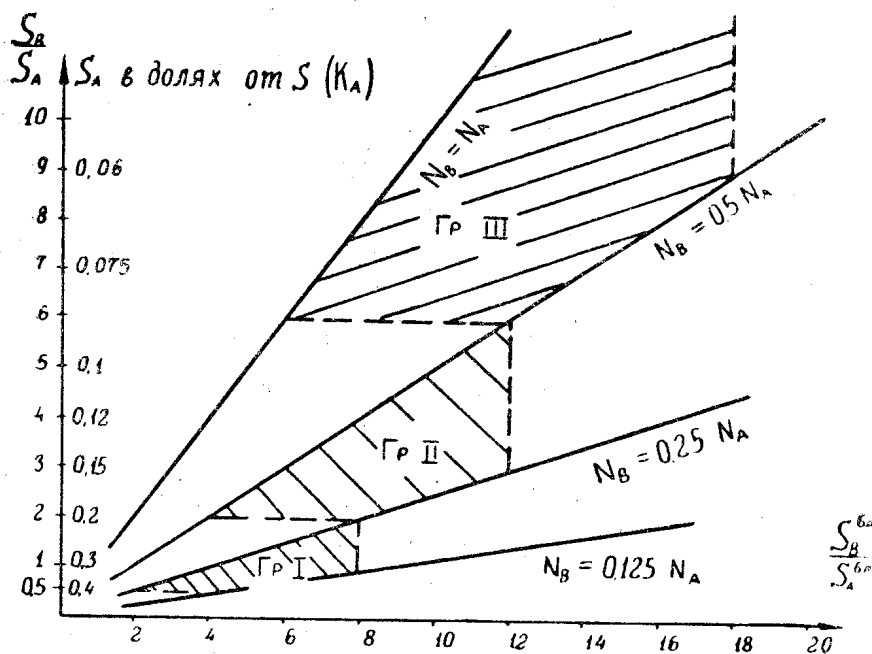


Рис. 1. Характер зависимости относительных размеров единичных разведочных блоков ($S_A^{6л}$ и $S_B^{6л}$) от заданных соотношений площадей контуров запасов категорий А и В (S_A и S_B) и числа блоков $N_{A,B}$. Принципиальная схема дифференциации плотности разведочной сети для месторождений (участков) угля простого (группа I), сложного (группа II), очень сложного (группа III) строения

ля показали [5], что определяемое по аналитическим методам число единичных разведочных блоков в детальную стадию разведки отвечает оптимальным требованиям разведки только для средних по площади участков (около 15 км^2). На мелких участках (6 км^2 и менее) необходимое число единичных разведочных блоков должно составлять от расчетного числа блоков $N_{A,B,C}^I$, принятого за 100%, до 75%, а на крупных участках (до 40 км^2)—до 200%. Для промежуточных по площади объектов разведки необходимое число единичных разведочных блоков может быть определено путем интерполяции между указанными пределами*. Из приведенных данных очевидно, что разведка мелких по площади участков, при прочих равных условиях со средними и крупными, является малоэффективной.

Обозначив скорректированное в соответствии с конкретной изменчивостью основного признака и относительным размером участка оптимальное число единичных разведочных блоков через $N_{A,B,C}^{II}$, получим окончательные формулы для определения их оптимальных размеров¹¹.

$$S_A^{6л} = \frac{K_A \cdot S}{N_A^{II}}, \quad S_B^{6л} = \frac{K_B \cdot S}{N_B^{II}}, \quad S_C^{6л} = \frac{K_C \cdot S}{N_C^{II}}. \quad (3)$$

Для практического определения оптимального числа единичных разведочных блоков $N_{A,B,C}^{II}$ необходимо строить специальные номограммы. В качестве примера такие номограммы построены для участ-

* На рудных месторождениях первых двух групп [6] такие же пределы необходимого числа единичных разведочных блоков могут быть приняты, по-видимому, при следующих размерах объектов разведки: мелкие — до 1 км кв. , средние — $1-6 \text{ км кв.}$ и крупные — $6-15 \text{ км кв.}$

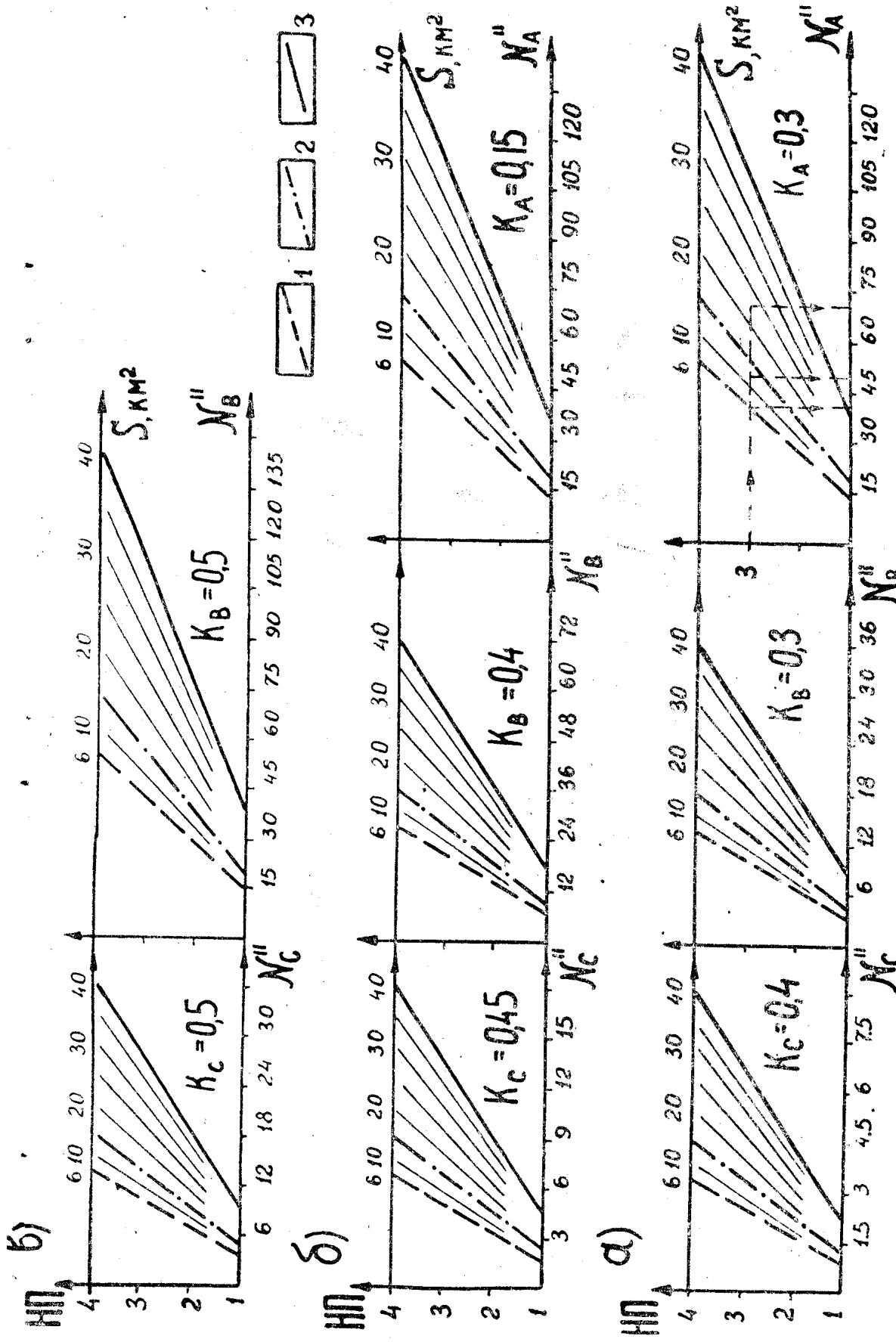


Рис. 2. Номограммы для определения оптимального числа единичных разведочных блоков N_A, N_B, N_C на месторождениях (участках) угля группы I (а), II (б) и III (в). 1 — мелкие по площади участки (нижняя граница для средних участков при интерполяции); 2 — средние по площади участки (верхняя граница для средних и нижняя граница для крупных участков при интерполяции); 3 — крупные по площади участки

ков месторождений угля на основе приведенной выше группировки их по размерам объектов детальной разведки (рис. 2). При этом построение номограмм ограничено по оси ординат величиной $НП=4$, практически охватывающей максимальную изменчивость показателей качества угля и мощности пластов на всех месторождениях угля. Дифференциация плотности сети скважин в детальную разведку на разных по сложности тектоники участках достигается путем изменения соотношений как между S_B и S_A , так и между N_B и N_C (рис. 1). В соответствии с этой дифференциацией для каждой из трех выделенных групп месторождений (участков) угля* номограммы построены при следующих условиях: группа I (простые) — $K_{A,B}=0,3$ и $N_C:N_B:N_A$ как $0,06:0,25:1$ (рис. 2, а); группа II (сложные) — $K_A=0,15$; $K_B=0,4$ и $N_C:N_B:N_A$ как $0,12:0,5:1$ (рис. 2, б) и группа III (очень сложные) — $K_B=0,0$; $K_A=0,5$ и $N_C:N_B:N_A$ как $0,25:1:1$ (рис. 2, в). Заданные значения $K_{A,B}$ и соотношения базисных количеств единичных разведочных блоков обеспечивают одинаково достоверную точность оконтуривания запасов одной именной категории для каждой из трех групп участков. Порядок определения значений $N_{A,B,C}^{11}$ на номограммах показан на примере выбора N_A^{11} для участков площадью 6, 12 и 24 км² I группы (рис. 2, а).

В качестве примера приведен расчет оптимальной плотности сети скважин для участков разных тектонических групп месторождений угля и различных размеров (табл. 3). Для разгрузки таблицы и облегчения сопоставления данных расчет на участках всех групп проведен для квадратной сети скважин и при одной и той же максимальной изменчивости параметра ($НП=2$).

Таблица 3

Группа м-ния	Расчетная сеть скважин (сторона квадрата, м) для разведки запасов категорий А, В, С ₁ на участках с площадью									Расчетное кол- во скв. на уч- ках с площ. в км ²		
	А			В			С ₁			6	12	24
	6 км кв.	12 км кв.	24 км кв.	6 км кв.	12 км кв.	24 км кв.	6 км кв.	12 км кв.	24 км кв.			
I	260	520	1140	330	660	1520	415	830	1800	51	60	80
II	185	420	890	335	510	1080	295	640	1360	61	71	97
III	—	335	670	—	430	860	—	510	1020	48	56	77

Примечание: в расчетных количествах скважин не учтены дополнительные скважины и выработки, необходимые для прослеживания пластов угля на выходах под паносы и отдельных тектонических разрывов и проведения специального опробования.

* Эти три группы месторождений угля выделены с учетом изменений и дополнений, внесенных в Классификацию запасов [4], и предложений в новом проекте «Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев», находящемся в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Богацкий. Математический анализ разведочной сети. Госгеолтехиздат, 1963.
2. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд. «Наука», 1964.
3. М. Я. Выгодский. Справочник по элементарной математике. Госиздат, 1959.
4. К. В. Миронов. Поиски и разведка угольных месторождений. Изд. «Недра», 1966.
5. Л. М. Петровский. Об определении рациональной плотности разведочной сети на угольных месторождениях. Изв. вузов «Геология и разведка», № 10, 1965.
6. В. И. Смирнов. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. МГУ, 1957.