Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIX, вып. 2, 1965 г.

УДК 550.8

О СПОСОБАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГУСТОТЫ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ

Е. О. Погребицкий

Важность правильного решения вопроса о рациональной плотности разведочной сети не требует пояснений. Литература, посвященная ему, обширна и непрерывно пополняется.

В настоящее время уже нет споров о факторах, определяющих плотность сети. Наиболее четко в общем виде они сформулированы В. И. Смирновым [1957]. Способов расчета необходимого и достаточного числа разведочных выработок предложено много и они продолжают разрабатываться. Обычно с предложением нового способа соседствует упоминание о ранее предложенных способах. Но в литературе очень редко встречается систематическое и сравнительное рассмотрение хотя бы наиболее известных способов определения рациональной плотности разведочной сети относительно одного и того же конкретного объекта. Никто как будто не возражает против общего положения, что все методы расчета плотности разведочной сети являются подсобными в отношении геологического метода, но что это конкретно значит — нигде и никем отчетливо не показано. Неудивительно, что даже о пути решения проблемы нет полного согласия. Обычно производственники определяют плотность сети по принятой на каждом месторождении традиции. Если же становятся на путь теоретических расчетов, то используют несколько способов. Решение принимают по достаточной сходимости результатов таких расчетов. При этом им часто без должного геологического анализа придают догматическое значение. А между тем они иногда могут привести к ошибкам и просчетам. Настоящая статья не предлагает новых способов определения плотности разведочной сети. Сравнением ряда известных способов в условиях конкретного объекта мы пытаемся установить истинное значение каждого и общий путь решения проблемы. Было бы желательно получить по затронутому вопросу конкретные замечания и предложения, чтобы в конце концов прийти к общепринятому оптимальному его решению.

Исходные данные. Объект исследования заимствован из диссертации А. И. Осецкого. Это модель одной из залежей угля Днепропетровского буроугольного бассейна — типичный объект для разведки квадратной сеткой вертикальных выработок. Генетически изменчивость мощности залежи определяется в основном палеорельефом области ее формирования. Морфогенетический тип подобных тел весьма распространен. Он характерен для многих месторождений осадочного, остаточного и инфильтрационного происхождения: углей, глин, песчано-гравийных материалов, железа, марганца, бокситов и т. д. Это в большинстве случаев залежи, крайне изменчивые по мощности и качеству полезного ископаемого. Часто для них характерна также сложная гипсометрия кровли и почвы. Для детальной разведки таких объектов обычно применяется густая сеть вертикальных выработок (100 × 100 *м*, а иногда и гуще). На практике

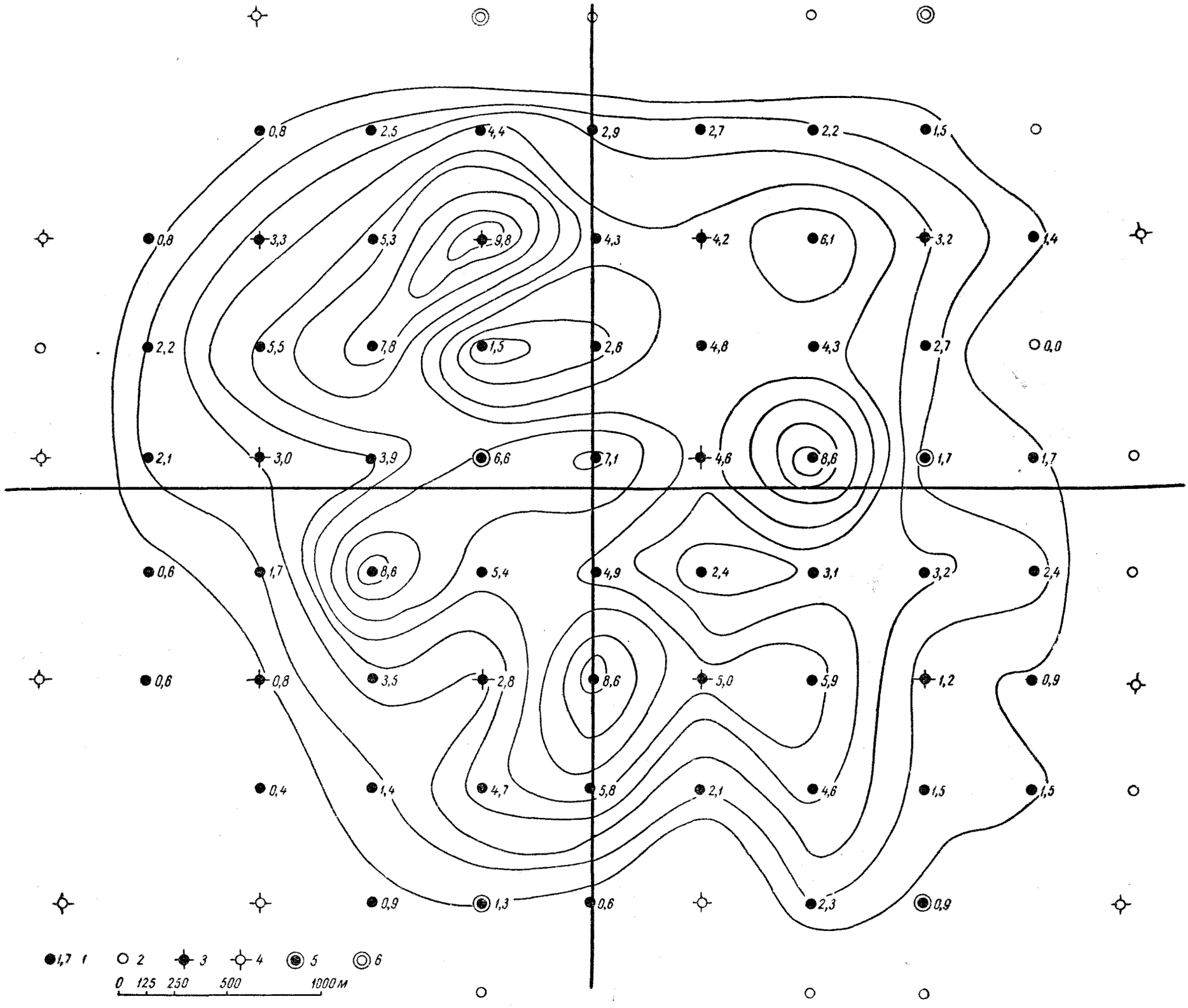


Рис. 1. Форма залежи в изолиниях через 1 *м* мощности по данным разведочной сети 500 × 500 *м*.

Скважины предварительной разведки: *1* — рудные, мощность залежи, *м*; *2* — безрудные; скважины поисково-разведочные: *3* — рудные; *4* — безрудные; скважины поисковые: *5* — рудные; *6* — безрудные.

Заказ 1045.

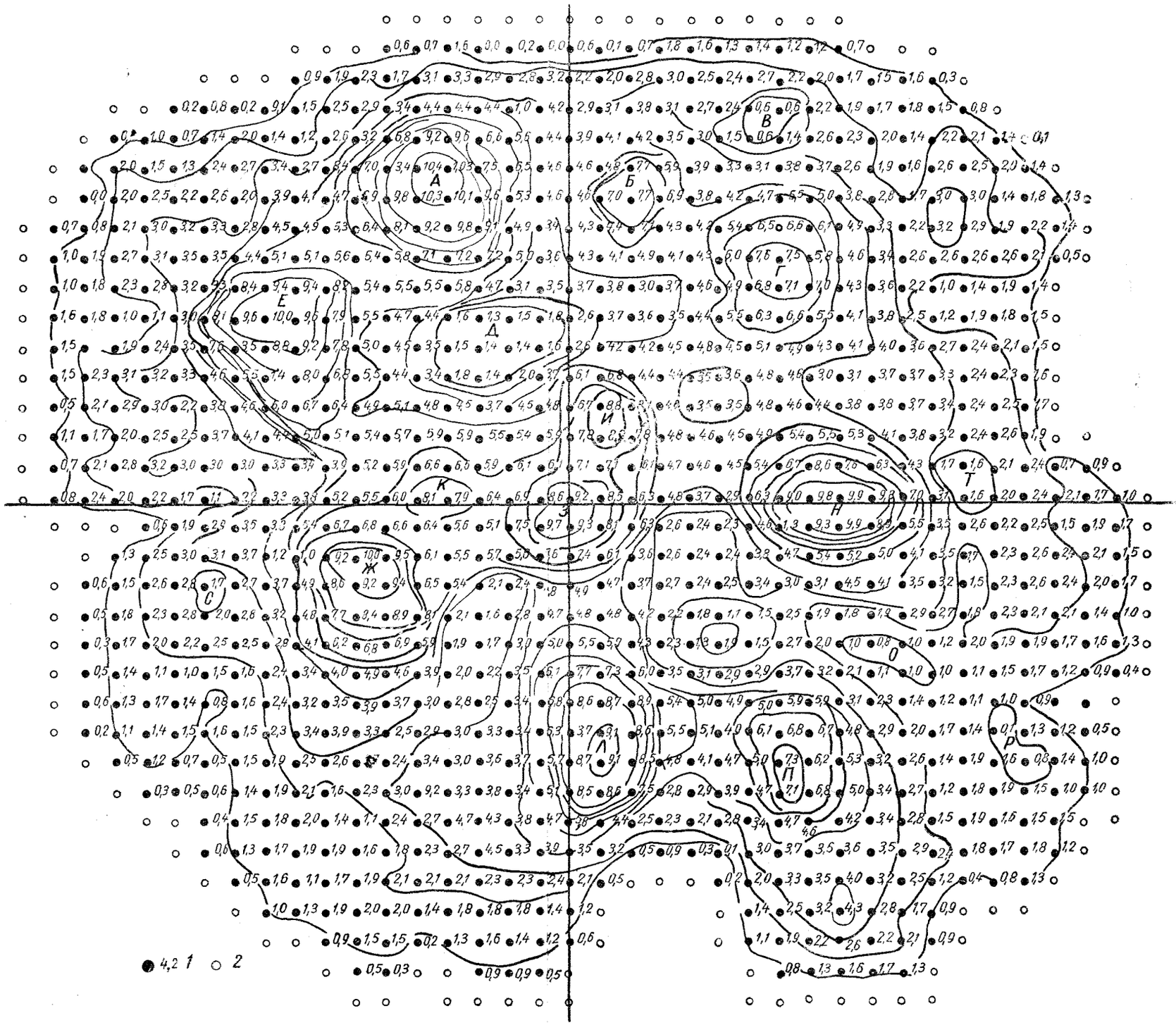


Рис. 2. Форма залежи в изогипсах через 1 *м* мощности по данным разведочной сети 125 × 125 *м*.

1 — рудные скважины, мощность залежи, *м*; *2* — безрудные скважины. *А*, *Б*, *В*, . . ., *Т* — блоки повышенной и пониженной мощности залежи.

Заказ 1045.

плотность сети для таких объектов наиболее часто рассчитывают разнообразными статистическими и аналитическими способами.

Для упрощения задачи залежь исследуется со стороны изменчивости только одного параметра — мощности. За кондиционную принята мощность 1 *м*. Распределение мощностей залежи изучается только в пределах рабочего контура. Изменчивость залежи в зоне между рабочим и нулевым контурами во внимание не принимается. При наличии в залежи внутренних нерабочих «окон» следовало бы учитывать изменение мощности залежи в зависимости от площади этих «окон». На стадии поисковых работ,

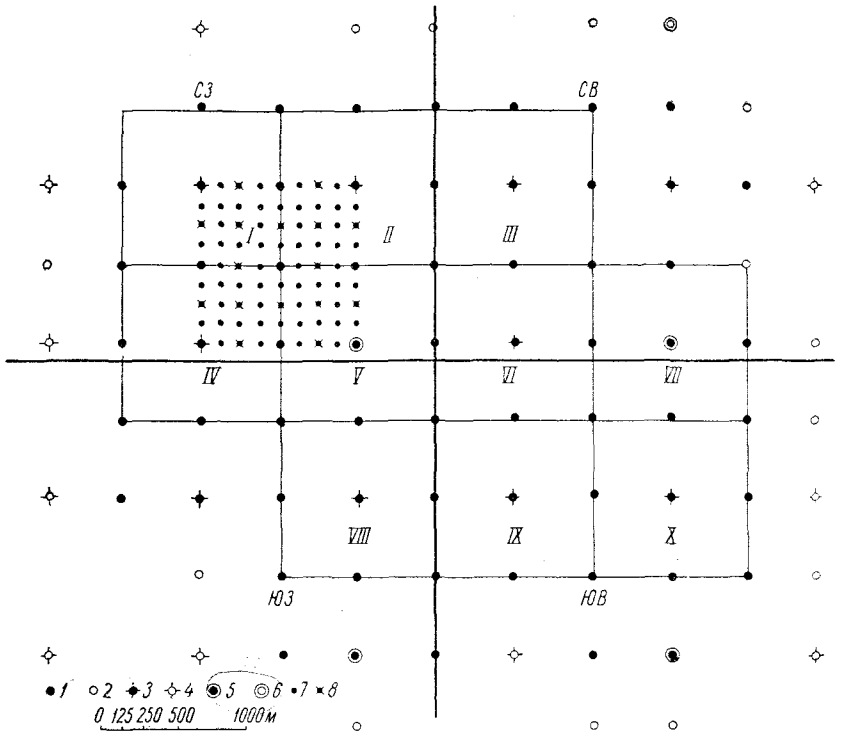


Рис. 3. Схема размещения скважин по стадиям разведки.

Скважины предварительной разведки: *1* — рудные; *2* — безрудные; скважины поисково-разведочные: *3* — рудные; *4* — безрудные; скважины поисковые: *5* — рудные; *6* — безрудные; скважины детальной разведки: *7* — по сети 125 × 125 *м*; *8* — по сети 250 × 250 *м*.

которые проводили квадратной сетью 2 × 2 *км*, залежь обнаружена в четырех выработках; на стадии поисково-разведочных работ по сети 1 × 1 *км* кондиционная мощность установлена в 15 точках; на стадии предварительной разведки с сетью 500 × 500 *м* — в 54 точках. Детальная разведка произведена по сети 125 × 125 *м*. Кондиционная мощность установлена в 888 точках.

На рис. 1, 2, 3 приведены результаты разведки объекта.

Показатели изменчивости мощности залежи. Показатели, полученные в результате обработки исходных данных различными, наиболее принятыми в разведочном деле математическими способами, сведены в табл. 1, 2, 3.

Анализ полученных показателей. Как следует из данных табл. 1, средняя мощность залежи по результатам поисково-разведочных работ (сеть 1 × 1 *км*), предварительной и детальной разведки (соответственно 500 × 500 и 125 × 125 *м*) совпадает. Во всех трех случаях $M = 3{,}8$ *м*. С этой точки зрения можно было бы закончить разведку при сетке 1 × 1 *км*, пройдя 30 разведочных выработок, из которых 15 показали кондиционную мощность.

Таблица 1

Характеристика изменчивости мощности залежи по месторождению

Показатель изменчивости мощности	Поисково-разведочные работы. Сеть 1×1 км. $n=15$, $M=3{,}8$ м	Предварительная разведка. Сеть 500×500 м. $n=54$, $M=3{,}8$ м	Детальная разведка. Сеть 125×125 м. $n=888$, $M=3{,}8$ м
По методу математической статистики			
$\sigma=\pm\sqrt{\frac{\Sigma(M_x-M)^2}{n-1}}$, м	±2,2	±2,2	±2,2
$v=\frac{\sigma\cdot 100}{M}$, %	58	58	58
$m=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, м	±0,57	±29	±0,08
$\varrho=\frac{m\cdot 100}{M}$, %	15	8	2
По методу последовательных разностей			
$q_{общ}=\sqrt{\frac{\Sigma d_1^2+\Sigma d_2^2}{2(n_1+n_2)}}$, м	±2,2	±2,2	—
$v=\frac{q\cdot 100}{M}$, %	58	58	—
По В. В. Богацкому [1963]			
$НП=\frac{M_{max}}{M}$	2,3	2,6	2,8
$D=НП-1$	1,3	1,6	1,8
$\Delta_{max}=\frac{2D}{n-1}$	0,19	0,06	0,004
По Д. А. Казаковскому [1948]			
$\mu a=\frac{\Sigma\Delta''_x}{k}$, м	3,3	3,2	—
$\mu=\frac{\mu a}{M}$	0,868	0,843	—
$R=\frac{n}{1000\,\mu}$	0,017	0,064	—
$M_{пр}$ по графику, %	>20	<10	—
По И. П. Шарапову [1952]			
$\gamma=\frac{\Sigma\Delta'_x}{2\Sigma M_x-(M_1+M_n)}$	0,281	0,291	—
$B=(1-\gamma)1000$, ‰	719	709	—

Примечания. n — число точек наблюдения; M — среднее арифметическое значение мощности; σ — среднеквадратичное отклонение; γ — коэффициент вариации; m — абсолютная погрешность вычисления среднего значения показателя; ϱ — относительная погрешность; $q_{общ}$ — общее среднеквадратичное отклонение последовательных разностей; d_1 — последовательные разности, вычисленные в широтных профилях; d_2 — то же, в меридиональных; НП — показатель неравномерности; D — показатель дисимметрии распределения; Δ_{max} — наибольшая относительная ошибка вычисления среднего значения M; μa — абсолютная изменчивость; $\Delta''x$ — вторые разности; μ — относительная изменчивость; R — степень разведанности; $M_{пр}$ — предельная ошибка аналогии; γ — коэффициент колеблемости; $\Delta'x$ — первые разности; M_x — мощность залежи по отдельным точкам; M_1 — мощность залежи в начальной точке; M_n — мощность залежи в конечной точке n разведочной сети; B — коэффициент устойчивости.

Таблица 2

Характеристика изменчивости мощности залежи по участкам (см. рис. 3)

Показатель изменчивости мощности	Участок				Вся залежь
	северо-западный	северо-восточный	юго-западный	юго-восточный	
Предварительная разведка. Сеть 500 × 500 *м*					
n	17	18	11	15	54
M, *м*	4,4	3,7	4,4	3,6	3,8
σ, *м*	±2,3	±2,0	±2,6	±1,7	±2,2
v, %	52	54	59	47	58
m, *м*	±0,58	±0,47	±0,75	±0,43	±0,29
ϱ, %	13	13	17	12	8
НП	2,2	2,3	1,9	2,4	2,6
D	1,2	1,3	0,9	1,4	1,6
Δ_{max}	0,15	0,15	0,18	0,18	0,06
Детальная разведка. Сеть 125 × 125 *м*					
n	258	260	201	233	888
M, *м*	4,5	3,9	3,6	3,4	3,8
σ, *м*	±2,4	±2,1	±2,2	±2,1	±2,2
v, %	53	54	61	62	58
m, *м*	±0,15	±0,13	±0,15	±0,11	±0,08
ϱ, %	3	4	4	3	2
НП	2,3	2,5	2,8	2,8	2,8
D	1,3	1,5	1,8	1,8	1,8
Δ_{max}	0,01	0,01	0,02	0,02	0,004

Показатели изменчивости залежи σ, *v*, $q_{общ}$, *Нп*, *D*, γ, μa, μ при указанных сетях также близки, и, следовательно, не было необходимости в дальнейшем сгущении сети после предварительной разведки.

Показатели относительной погрешности определения средней мощности залежи, естественно, уменьшаются с увеличением числа разведочных точек. При сети 1 × 1 *км* относительная погрешность колеблется от 15 до 20%, при сети 500 × 500 *м* — от 6 до 10% и при сети 125 × 125 *м* от 0,4 до 2% в зависимости от способов определения изменчивости залежи.

При разведке сетью 500 × 500 *м* величина относительной погрешности определения средней мощности залежи по всем рассмотренным способам около 10%, поэтому можно считать, что дальнейшего сгущения сети не требуется.

Из табл. 2 следует, что заключения о разведке всей залежи справедливы и для северо-западного, северо-восточного и юго-восточного участков. Лишь на юго-западном средняя мощность залежи, исчисленная по предварительной разведке, оказалась на 0,8 *м* больше, чем по детальной. Это дает 22% относительной погрешности. По материалам предварительной разведки, абсолютная погрешность была равна ±0,75 *м*, а относительная — 17%. Следовательно, на юго-западном участке сетку 500 × 500 *м* следовало сгустить.

Как указано ниже, наиболее важные для промышленности изменения мощности залежи в результате сгущения сети установлены не на юго-западном участке, а на северо-восточном и юго-восточном, где по статическим показателям в сгущении сети не было необходимости. В табл. 3 приведены результаты анализа «соответствия разведочной сети природным особенностям залежи» по методу А. И. Осецкого [1956].

Этот метод благодаря своей простоте и возможности дифференцированного подхода к определению рациональной густоты сети по отдельным ее ячейкам пользуется у многих разведчиков, особенно на осадочных месторождениях, большой популярностью. Как видно из табл. 3, все

Таблица 3

«Красные числа» по А. И. Осецкому [1956] $K = \pm \frac{a_1 + a_3 - (a_2 + a_4)}{12}$,

где a_1, a_2, a_3, a_4 — мощность в точках, образующих ячейку квадратной разведочной сети

Номер квадрата по рис. 3	Поисково-разведочные работы			Предварительная разведка		
	Средняя мощность, м	«Красное число», м	«Красное число», % относительно средней мощности	Средняя мощность и «Красное число» для квадратов предварительной разведки, м	Средняя мощность и среднее «Красное число» по данным предварительной разведки для соответствующих квадратов поисково-разведочных работ, м	Среднее «красное число», % относительно средней мощности
I	3,1	±0,2	6	1,2±0,1 2,9±0,1 3,2±0,1 5,7±0,1	3,2±0,1	3
II	3,9	±0,4	10	5,7±0,1 6,3±0,8 5,3±0,3 4,5±0,6	5,0±0,4	8
III	3,0	±0,2	7	3,5±0 4,0±0,2 3,8±0,2 4,8±0,2	4,0±0,2	5
IV	4,8	±0,2	4	3,2±0,2 1,8±0 5,0±0,1 36±0,3	3,4±0,2	6
V	6,0	±0,1	2	4,9±0,5 6,1±0,5 4,4±0,1 6,0±0,1	5,1±0,3	6
VI	3,7	±0,3	8	5,3±0,2 4,7±0 4,7±0,3 5,6±0,4	5,1±0,2	4
VII	2,4	±0,3	13	4,1±0,6 4,2±0,4 1,5±0,2 2,2±0,1	3,0±0,3	10
VIII	5,2	±0,7	13	5,1±0,2 3,1±0,3 5,4±0,5 5,4±0,4	4,7±0,4	9
IX	4,6	±0,1	2	5,0±0,1 5,4±0 4,1±0 4,4±0,1	4,7±0	Полное соответствие
X	2,9	±0,2	7	3,8±0,4 3,3±0,1 1,9±0 1,3±0	2,6±0,1	5

Примечание. Средние показатели по сумме квадратов поисково-разведочных работ 4,0±0,3 — 7% и предварительной разведки 4,1±0,2 — 5%.

квадраты по данным поисково-разведочных работ не требуют сгущения сети. «Красные числа» во всех случаях менее 10% и только для квадратов VII и VIII равны 13% относительно соответствующих средних мощностей залежей.

По данным сети 500 × 500 *м* «красные числа» более 10% относительно средней мощности лежат также в этих квадратах. Между тем наиболее неприятные изменения мощности (некондиционные «окна») установлены детальной разведкой в квадратах III, IX и X, где и по поисково-разведочным работам, и по предварительной разведке «красные числа» были близки нулю, что говорит о якобы полном соответствии сети 500 × 500 *м* и даже 1 × 1 *км* природной характеристике месторождения.

Возможности таких досадных просчетов заложены в первоначальном допущении метода. Оно состоит в том, что в пределах разведочной ячейки мощность изменяется по прямолинейной закономерности, чего нет, например, в случае, приводимом на рис. 2.

Здесь не рассмотрено определение рациональной плотности сети методом «разрежения» заведомо излишне плотной сети. Так как средняя мощность залежи при восьмикратном разряжении сети (с 1000 до 125 *м*) остается постоянной при весьма близкой площади кондиционной залежи, то плотность сети 500 × 500 *м* по этому методу вполне достаточна.

Таким образом, анализ рассмотренными способами изменчивости мощности залежи по окончании разведки по сети 500 × 500 *м* показывает, что залежь детально разведана и работы можно прекратить. Между тем сравнение формы по результатам разведки сетью 500 × 500 и 125 × 125 *м* (ср. рис. 1 и 2) свидетельствует об ошибочности такого заключения. При разведочной сети 500 × 500 *м* остались бы невыявленными некондиционные «окна» залежи (см. рис. 2 — блоки В, М, О, Р) и блоки повышенной мощности (Б, З, И, К, Н, П). Положение и конфигурация блоков А, Е, Д, Ж, С, Т определяются при этом весьма схематично, а изолиния 1 *м* (рабочий контур) дается приближенно. Без соответствующих уточнений разведка залежи практически не удовлетворительна. Если бы все указанные пропуски и неточности были установлены в процессе вскрытия и отработки залежи, эксплуатационная служба вправе была бы обвинить разведчиков в недостаточной точности и достоверности разведки.

Особенно большое значение для промышленности имеет пропуск некондиционных «окон» в теле залежи, хотя немаловажную роль в планировании добычи играют и точное положение и конфигурация блоков с повышенной мощностью, и рабочий контур залежи. Таким образом, возникает парадоксальное положение — разведка, по всем расчетам достаточно точная, оказывается все же неудовлетворительной, неточной, недостоверной с точки зрения промышленности. А ведь промышленности и принадлежит решающее слово в определении качества разведки. Такой парадокс объясняется просто: рассмотренные методы определяют точность исчисления среднего значения мощности, а для промышленности не меньшее (если не большее) значение имеет структура изменения мощности по площади залежи. В рассмотренных статистических и аналитических методах исследования геологических параметров эта сторона не находит отражения. Поэтому все методы не надежны в определении плотности сети. Изучение структуры распределения мощности залежи (см. рис. 2) показывает, что блоки повышенной и пониженной мощности имеют преимущественно округлую или овалообразную форму. Минимальные их размеры (особенно некондиционных «окон») колеблются от 200—300 *м* на 100—150 *м* до 300— на 300 *м*. Для надежного обнаружения окон разведочная сеть должна быть сгущена до 250 × 250 *м*. Однако и при этом некондиционные блоки М и Р не обнаружатся, а блоки В и О окажутся неоконтуренными (см. рис. 2 и 3).

Чтобы выполнить и эту задачу, следует в соответствующих блоках сгустить сеть до 125 × 125 *м*. Однако после разведки сетью 500 × 500 *м* ни наличие, ни местоположение этих блоков не известны. Очевидно, имея в виду средние размеры «аномальных» блоков, следует сгустить сеть до 250 × 250 *м* по всей залежи. Затем на площади блоков с пониженной мощностью (менее 2 *м*) внутри рабочего контура залежи придется сгустить сеть до 125 × 125 *м*.

Таким образом, к определению рациональной густоты разведочной сети необходимо подходить дифференцированно в зависимости от геологических особенностей отдельных ее блоков (блоковая система разведок).

Как же по данным предварительной разведки определить размеры «аномальных» блоков, чтобы рассчитать плотность сети, надежно их обнаруживающую. Эти размеры определяются геологической природой залежи. Они известны из опыта разведки и эксплуатации месторождений того же геолого-промышленного типа. Вот почему правильное отнесение месторождения к определенному геолого-промышленному типу имеет часто решающее значение для разведки и, в частности, для определения рациональной плотности сети. С другой стороны, минимальные размеры «аномальных» блоков (а отсюда и максимальная плотность сети) определяются также требованиями промышленности, исходя из принципа «экономической целесообразности» [Огарков, 1961].

Возвращаясь к нашему примеру, приходим к выводу, что разведку нельзя закончить при густоте сети 500 × 500 *м*. Сеть необходимо сгустить до 250 × 250 *м*, а в пределах блоков В, Д, М, Н — до 125 × 125 *м*. Запасы в приконтурной части залежи после уточнения контура по сети 250 × 250 *м* надо отнести к более низкой категории. Такая разведка (см. рис. 3) потребует 350 разведочных выработок против 1180 по сети 125 × 125 *м*.

Дифференцированный по геологическим блокам подход к определению плотности сети позволит также поставить конкретные задачи для геофизических методов разведки, которые могут облегчить выявление и оконтуривание аномальных блоков и еще более удешевить и ускорить разведку.

В результате детальной разведки необходимо выявить геологические блоки не только по мощности залежи, но и по качеству сырья (выделение сортов и типов), по условиям залегания тела и по условиям его разработки. Для всех этих геолого-промышленных параметров необходимы не средние данные, а структура распределения показателей в пространстве: по площади залежи, ее мощности, глубине залегания и т. д. Таким образом определение плотности сети детальной разведки в зависимости от геологических особенностей отдельных участков залежи или месторождения является общим и основным методом.

ВЫВОДЫ

1. Расчет плотности разведочной сети детальной разведки в зависимости от допустимой погрешности определения средних значений геолого-промышленных параметров (мощности, содержания и т. д.) может привести к серьезным ошибкам.

2. В основе расчета рациональной плотности сети детальной разведки должен лежать характер изменчивости геолого-промышленных параметров. Анализом структуры изменения выделяются геологические блоки, для которых плотность сети определяется дифференцированно в зависимости от их особенностей с учетом требований промышленности и экономической целесообразности. Максимальная плотность сети детальной разведки определяется минимальными размерами «аномальных» блоков и зон, которые должны быть выявлены и оконтурены.

3. Структура изменения геологических показателей залежи прогнозируется по материалам предварительной разведки объекта и опыта разведок и эксплуатации однотипных месторождений. Определение степени изменчивости геологических показателей при этом имеет большое, но подсобное значение для геолого-промышленной группировки месторождений (тел полезного ископаемого).

4. Как видно из приведенного примера, изучение степени изменчивости геологических показателей в процессе разведки необходимо также для своевременного определения окончания стадии предварительной разведки по достижению надежно стабильных средних значений геолого-промышленных показателей.

ЛИТЕРАТУРА

Богацкий В. В. Математический анализ разведочной сети. Госгеолтехиздат, 1963.

Казаковский Д. А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов месторождения. Углетехиздат, 1948.

Огарков В. С. Методика разведки угольных месторождений платформенного типа. Госгеолтехиздат, 1961.

Осецкий А. И. Показатель соответствия густоты разведочных точек характеру разведочной залежи. Тр. ВНИМИ, сб. XXX, 1956.

Смирнов В. И. О плотности разведочной сети. Сов. геология, № 58, 1957.

Шарапов И. П. Об определении изменчивости и выдержанности месторождений полезных ископаемых. Разведка недр, № 3, 1952.