

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ (ВИМС)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

Выпуск 2

Москва, 1975

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ (ВИМС)

519:55
550.8:519

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГЕОЛОГИИ

(Сборник научных трудов)

Выпуск 2

Москва, 1975



1536

Научный редактор *И. Д. Савинский*

Сборник содержит работы по применению математических методов и ЭВМ при выборе разведочных сетей, применению методов распознавания образов при решении геологических задач. В нем приводятся также материалы по применению алгоритма пересчета трехмерных магнитных полей в псевдогравитационное поле для оценки железорудных месторождений и аномальных участков. Помещенные в сборнике материалы иллюстрируют возможности практического применения математических методов и ЭВМ при решении ряда конкретных задач, возникающих при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Сборник предназначен для широкого круга геологов и геофизиков.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
А.Н.Еремеев, Р.Г.Пинелис, Е.П.Власов, В.В.Марченко, Г.Н.Кричевец, А.В.Канцаль. Результаты сопоставления эффективности различных алгоритмов распознавания образов при решении некоторых геологических задач	5
И.Д.Савинский, П.П.Астанин, Н.Г.Натык-Кара, Р.Г.Пинелис. Применение методов распознавания образов при оценке месторождений и рудопроявлений	20
И.Д.Савинский. Некоторые вопросы применения методов распоз- навания образов при оценке геологических объектов и выделении "информативных" признаков	34
А.П.Грудев. Использование метода моделирования при выборе сетей разведки и опробования марганцевых месторождений /на при- мере Никопольского/	42
В.В.Коротаев, А.В.Коплус. Расчет сетей горных выработок для оценки запасов на месторождениях плавикового шпата жильного типа	64
А.П.Грудев. Об оценке надежности исходной сети при исполь- зовании метода моделирования	94
И.Д.Савинский, А.Н.Авдонин, Н.Ю.Нефедова, И.Т.Курган, А.А.Петрова. Оценка железорудных месторождений на основе использо- вания псевдогравитационного поля	99

*А. Н. Еремеев, Р. Г. Пинелис, Е. П. Власов,
В. В. Марченко, Г. Н. Кричевец, А. В. Канцель*

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ РЕШЕНИИ НЕКОТОРЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В настоящее время создано довольно большое число алгоритмов и программ распознавания образов для решения задач классификации объектов. Наряду с другими областями науки, методы распознавания образов находят все большее применение и при решении ряда геологических задач. Однако наличие значительного числа различных алгоритмов распознавания создает большие методические трудности при выборе того или иного алгоритма для решения конкретной геологической задачи. Поэтому проблема сопоставления различных алгоритмов распознавания становится все более актуальной.

При этом следует иметь в виду, что нельзя говорить о сопоставлении алгоритмов распознавания вообще, без связи с конкретными типами задач. Вопрос о приоритете тех или иных алгоритмов распознавания не решается в общем случае, но для каждого класса задач требуется подбор алгоритма /или алгоритмов/, дающего наилучшее решение.

С целью сопоставления алгоритмов распознавания образов было выделено три типа геологических задач, встречающихся на различных этапах геологоразведочных работ, при решении которых уже нашли себе применение методы распознавания:

1. Оценка рудных полей по комплексу геолого-геофизических и геохимических данных /редкометальные рудные поля/;
2. Оценка масштаба месторождений по комплексу косвенных геологических данных /месторождения ртути и россыпного олова/;
3. Определение уровня эрозионного среза оруденения по геохимическим данным /редкометальное месторождение/.

Выбор конкретных задач был обусловлен прежде всего необходимостью сопоставления эффективности алгоритмов распознавания при различных типах исходной информации и разных объемах обучающих выборок. Исходная информация в выбранных задачах носила качественный /задачи оценки месторождений олова и ртути/ и количественный характер /определение уровня эрозионного среза месторождения/. При решении задачи оценки рудных полей задаваемая информация имела смешанный характер: рудные поля характеризовались как качественными /геологическими/, так и количественными /геофизическими и геохимическими/ признаками одновременно.

Обучающие выборки в решаемых задачах были как весьма небольшими по объему /на-
пример, при оценке месторождений ртути обучающая выборка включала 11 объектов/, так
и достаточно представительными /при решении задачи определения уровня эрозийного
среза месторождения обучающая выборка состояла из 60 объектов/.

Для сопоставления были взяты следующие алгоритмы:

1. "Аппроксимация плотности вероятности произведением условных вероятностей";
2. "Эста-2";
3. "Тупиковые тесты" [9];
4. "Модификация алгоритма тупиковых тестов" [36];
5. "Потенциал-2" [27];
6. "Перебор" [23];
7. "Обобщенный портрет" [4];

Выбор указанных алгоритмов распознавания обусловлен тем обстоятельством, что
эти алгоритмы уже нашли себе применение в практике работ, проводимых в ВИМСе, ИГЕМе,
а также в некоторых других организациях.

1. Краткие сведения о сопоставляемых алгоритмах

1. Алгоритм аппроксимации плотности вероятности произведением условных вероятностей /авторы - Е.П.Власов, Г.Н.Кричевец/

Как известно, оптимальное Байесовское решающее правило относит объект $\bar{X}$ к
I классу, если $\frac{P_1 \cdot P_1(\bar{X})}{P_2 \cdot P_2(\bar{X})} > \frac{C_1}{C_2}$ и ко II классу, если $\frac{P_1 \cdot P_1(\bar{X})}{P_2 \cdot P_2(\bar{X})} < \frac{C_1}{C_2}$
/здесь C_1 и C_2 - цена ошибок I и II рода, P_1 и P_2 - априорные вероятности I и
II классов, $P_1(\bar{X})$ и $P_2(\bar{X})$ - распределения вероятностей в I и II классах/. Испол-
зование байесовского решающего правила в задачах классификации большой размерности
практически невозможно, так как даже на современных ЭВМ не удается обеспечить не об-
ходимый объем памяти, требуемый для построения и запоминания распределений $P_1(\bar{X})$
и $P_2(\bar{X})$. Поэтому целесообразно использовать аппроксимации для $P_1(\bar{X})$ и $P_2(\bar{X})$, кото-
рые в предлагаемом алгоритме строятся следующим образом.

Из определения условной вероятности можно вывести следующее тождество:

$$P(\bar{X}) = P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1) \cdot P(x_2/x_1) \cdot \dots \cdot P(x_n/x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$$

Если теперь множители правой части заменить множителями более простого вида
 $P(x_k/x_p)$, то получится аппроксимация исходного распределения $P(\bar{X})$, учитывающая
парные зависимости между компонентами, для запоминания которой требуется значительно
меньший объем памяти.

Рассматриваемый алгоритм из всех возможных аппроксимаций указанного вида выби-
рает такие, для которых общая потеря информации при замене $P(\bar{X})$ их приближениями
минимальна с точки зрения некоторого критерия аппроксимации, и использует получен-
ные аппроксимации для классификации.

Оценка информативности признаков рассматриваемым алгоритмом не производится.

Алгоритм работает одновременно с качественными и количественными признаками.
Существующая программа, реализующая алгоритм аппроксимации на ЭВМ типа "Минск-22",
работает в пространстве признаков размерностью $n \leq 30$, при этом произведение
числа объектов обучения на размерность пространства не должно превышать 1000.

2. Алгоритм "Эста - 2" /авторы Е.П.Власов, Л.В.Головин, Г.Н.Кричевец/

Области значений каждого признака x_k квантуются на заданное число ℓ интерва-
лов, и каждому объекту $\bar{X}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в $n \times \ell$ -мерном пространстве ставится в
соответствие вектор $Y(y_1, \dots, y_{n\ell})$, образованный по следующему правилу: $y_{ij} = 1$,
если значение признака x_i попало в j -ый интервал квантования, в других слу-

чаях $y_{ij} = 0$. С помощью описанного преобразования размерность исходного пространства признаков искусственно увеличивается с тем, чтобы в новом пространстве стало возможным разделение гиперплоскостью объектов обучающей выборки на два класса. Методом стохастической аппроксимации находится такая разделяющая гиперплоскость, относительно которой объекты разных классов оказываются максимально удаленными друг от друга. Эта гиперплоскость и является искомой разделяющей поверхностью.

Решающее правило образуется набором чисел $a_{n1}, \dots, a_{nl}, \dots, a_{nl}, a_0$, таких, что $\sum_{ij} a_{ij}^2 = 1$ и для всех объектов обучения I класса $a_0 + \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij} > 0$, для всех объектов обучения II класса $a_0 + \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij} < 0$ и величина

$$h = \min_{a, \phi} \left\{ \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij}^{(a)} - \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij}^{(\phi)} \right\} - \text{максимальна.}$$

Здесь $\bar{y}^{(a)}$ принадлежит обучающей выборке I класса, $\bar{y}^{(\phi)}$ - обучающей выборке II класса, минимум берется по всей обучающей выборке.

Решающее правило относит неизвестный объект к I классу, если $a_0 + \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij} > Kh$,

ко II классу, если $a_0 + \sum_{ij} a_{ij} \cdot y_{ij} < -Kh$

и дает отказ в остальных случаях. /Здесь K-заранее выбранный порог $0 \leq K \leq 1$ /. В исходном n -мерном пространстве признаков построенная решающая поверхность является не гиперплоскостью, а нелинейной поверхностью весьма сложной конфигурации.

Алгоритм "Эта-2" позволяет определять относительную информативность признаков с точки зрения их вкладов в формирование решения о принадлежности объектов к тому или иному классу. Такой мерой информативности признака X_k является

$$\max_{ij} \{ |y_{ki} - y_{kj}| \}.$$

Алгоритм обрабатывает и качественные, и количественные признаки. Объем вводимой информации ограничивается соотношением $n/b \leq 6000 / b$ - число объектов обучающей выборки/. Программа реализована на ЭВМ "Минск-22" и "М-222".

3. Алгоритм тупиковых тестов [9] основан на поиске для матрицы T , являющейся описанием объектов обучения /объекты, как правило, кодируются в двоичной системе/ специальных подмножеств - так называемых тупиковых тестов.

Подмножество столбцов $i_1, i_2, \dots, i_l$ матрицы T называется тестом, если после удаления из T всех столбцов, за исключением $i_1, i_2, \dots, i_l$ получается матрица, все строки которой различаются между собой. Тест называется тупиковым, если после исключения любого столбца он перестает быть тестом.

Для каждого из признаков $X_1, X_2, \dots, X_n$, характеризующих объекты, вычисляется информационный вес признака $P(X_i) = \frac{n_i}{N}$ ($i=1, 2, \dots, n$), где n_i - число вхождений признака X_i в тупиковые тесты, N - общее число тупиковых тестов для матрицы T .

Информационный вес объекта, подлежащего классификации, определяется как сумма информационных весов тех признаков, которые присутствуют на данном объекте /принимает кодовое значение "1"/. Значения информационных весов объектов служат основой для построения классификации объектов.

Программа, реализующая алгоритм тупиковых тестов на ЭЦВМ типа БЭСМ-6, позволяет обрабатывать матрицы с числом объектов обучения $\ell \leq 14$, характеризующихся числом признаков $n \leq 48$.

4. Модификация алгоритма тупиковых тестов [36]

Авторами алгоритма предложено наряду с информационным весом признака $P(X_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) вычислять значение разделяющего веса признака X_i , соответствующего значениям, которые может принимать признак.

Пусть для определенности каждый признак может принимать два значения - "0" и "1" /признаки закодированы в двоичной системе/. Поставим в соответствие каждому объекту обучения действительное число y_j / $j = 1, 2, \dots, m$; m - число объектов обучения/ - так называемую степень j -го эталона; например, при решении задач оценки месторождений это может быть число, пропорциональное запасам эталонного месторождения. Тогда разделяющие веса i -го признака, соответствующие значениям "0" и "1", вычисляются как

$$P_i^*(0) = \frac{\sum_{j \in I_0} y_j}{\sum_{j=1}^m y_j} \cdot P(X_i); \quad P_i^*(1) = \frac{\sum_{j \in I_1} y_j}{\sum_{j=1}^m y_j} \cdot P(X_i),$$

где I_0, I_1 - подмножества, состоящие из объектов обучения, на которых признак X_i принимает соответственно значения "0" и "1".

Информационный вес объекта определяется как сумма разделяющих весов признаков, соответствующих значениям, принимаемым ими на объекте. Как и ранее, информационные веса объектов служат основой для построения классификации объектов.

5. Алгоритм "Потенциал-2" [27] основан на вычислении в n -мерном пространстве признаков для каждого из классифицируемых объектов "потенциалов"

$$V_i^S = \frac{1}{l_S} \sum_{k=1}^{l_S} \frac{\alpha_k}{\left[\sum_{j=1}^n \beta_j (X_{kj} - X'_j)^2 \right]^{1/2}} \quad / i = 1, 2, 3 /$$

/ X_{kj}, X'_j - координаты j -го признака K -ого объекта обучения и классифицируемого объекта, l_S - число объектов обучения S -ого класса, α_k, β_j - "веса" K -ого объекта обучения и j -ого признака соответственно/, обусловленных совокупностью объектов обучения разных классов; классифицируемый объект относится к тому из классов, потенциалы для которого будут большими, чем для других классов.

С целью контроля эффективности работы алгоритма на самих объектах обучения в алгоритме предусмотрена процедура поочередного исключения объектов из обучающей выборки и их контроль на основе оставшихся объектов. Число δ ошибочно классифицированных объектов обучения при этом служит одним из показателей эффективности распознавания. Для выделения информативной совокупности признаков указанная процедура повторяется, вначале, при поочередном исключении каждого из n признаков; признак, исключение которого обусловило наименьшее δ , выбрасывается из совокупности, как "наихудший". Таким же путем осуществляется выбрасывание "наихудшего" признака в оставшихся совокупностях из $n-1$, $n-2$ и т.д. признаков.

Программа, реализующая алгоритм "Потенциал-2" на ЭВМ типа БЭСМ-4, позволяет обрабатывать массивы, характеризуемые величиной $(n+1)l_S < 1886$ / l_S - число объектов обучения и контроля, n - число признаков, характеризующих объекты/.

6. Алгоритм "Перебор" [23] основан на той же идее перебора всех возможных сочетаний признаков по три /по два, по одному/, что и широко известный алгоритм "Кора-3", но работает с другим критерием отбора сочетаний признаков. Изменение критерия отбора сочетаний позволило устранить ряд особенностей алгоритма "Кора-3", создающих весьма серьезные затруднения при решении многих геологических задач.

Алгоритм "Перебор" осуществляет перебор и проверку всех возможных сочетаний признаков по одному, по два и по три; при этом в выделяемых сочетаниях проверяются все возможные значения признаков /признаки кодируются в двоичной системе/.

Проверяемое сочетание A_i /с фиксированными в нем значениями признаков/ отбирается как характеристическое, если оно удовлетворяет следующим условиям:

$$1/ \quad m_1 \geq K_1 \quad 2/ \quad \frac{P_1}{P_1 + P_2} \geq \alpha$$

или

$$1/ \quad m_2 \geq k_2$$

$$2/ \quad \frac{P_2}{P_1 + P_2} \geq \alpha,$$

где m_1, m_2 - число объектов обучения I и II классов /из общего числа l_1 и l_2 соответственно/, характеризуемых данным сочетанием A_i , $P_1 = \frac{m_1}{l_1}$, $P_2 = \frac{m_2}{l_2}$; k_1, k_2, α - выбранные пороги. Условия /2/ в критерии используются для того, чтобы отбираемые сочетания характеризовали преимущественно один из классов /были достаточно "контрастными"/.

Отнесение объектов к тому или иному классу, а также оценка информативности признаков, производится с учетом частоты вхождения признаков в отобранные характеристические сочетания.

Программа, реализующая алгоритм "Перебор" на ЭВМ типа БЭСМ-4, позволяет обрабатывать до 90 объектов обучения I и II классов, характеризуемых числом признаков $n \leq 124$.

7. Алгоритм "Обобщенный портрет" [4] предназначен для построения линейного решающего правила, разделяющего пространство E_n на 2 класса. Для построения разделяющей плоскости в том случае, когда обучающая последовательность полностью разделима линейным правилом, ищется такой единичный вектор $\bar{\varphi}$, что

$$\min_{X \in I_{kl}} (\bar{\varphi} \cdot \bar{X}) \geq k \cdot \max_{X \in II_{kl}} (\bar{\varphi} \cdot \bar{X}) \quad (k < 1)$$

и при этом достигается условный максимум $\min_{X \in I_{kl}} (\bar{\varphi} \cdot \bar{X})$

Решающее правило определяется следующим образом:

$$X \in I_{kl}, \text{ если } \bar{\varphi} \cdot \bar{X} \geq \frac{1+k}{2}; X \in II_{kl}, \text{ если } \bar{\varphi} \cdot \bar{X} < \frac{1+k}{2}.$$

Информативность i -го признака оценивается по величине $|\varphi_i|$, где φ_i - i -ая координата вектора $\bar{\varphi}$. Если материал обучения не делится гиперплоскостью, алгоритм определяет вектора, наиболее "мешающие" разделению, и исключает их из обучающей выборки. Для оставшихся объектов строится вектор $\bar{\varphi}$, как описано ранее.

Признаки для обработки по алгоритму "Обобщенный портрет" кодируются в двоичной системе. Программа, реализующая алгоритм на ЭВМ типа БЭСМ-4, позволяет обрабатывать объекты, характеризуемые числом признаков $n \leq 200$; число объектов обучения может достигать величины $\frac{40\,000}{n}$, но не более 700.

2. Геологические задачи для сопоставления алгоритмов распознавания

Сопоставление алгоритмов распознавания образов проводилось на примере решения следующих задач.

2.1. Оценка редкометальных рудных полей по комплексу геологогеофизических и геохимических данных

Для решения задачи оценки редкометальных рудных полей в пределах одного из регионов СССР было выделено 24 рудных поля. Тринадцать из них /пять промышленных и восемь непромышленных/ составили обучающую выборку. Одиннадцать рудных полей /одно промышленное и десять непромышленных/ составили независимую контрольную выборку.

Каждое из рудных полей было описано 59 признаками /таблица 1/, закодированными в двоичной системе. Этими признаками были охарактеризованы: особенности гравимагнитных полей /1-12, 43, 44/; основные элементы стратиграфии и магматизма /23 - 35, 48, 58, 59/, структурные факторы /36 - 42, 52-57/; расстояние до сопутствующих эндогенных проявлений /45 - 47/; данные анализа вод /49-50/; площадные аномалии гелия /51/.

Значение признаков редкометальных рудных полей

[illegible]

2.2. Оценка россыпных месторождений олова

Для решения задачи оценки россыпных месторождений олова методами распознавания была сформирована обучающая выборка из семи промышленных и семи непромышленных месторождений; кроме того, 12 месторождений /6 промышленных и 6 непромышленных/ были взяты в качестве независимых объектов контроля.

Каждый из объектов был представлен совокупностью 48 геологических и геоморфологических признаков /см.табл.2/ характеризующих: коренные месторождения и рудопроявления в бассейне /1-3/; принадлежность коренных источников к той или иной рудной формации /4-7/; морфологию рудных тел коренных источников /8-9/; положение россыпи относительно интрузивных массивов /10-12/; относительную величину денудационного среза /13-15/; интрузивные породы в области питания россыпи /16-19/; содержание касситерита - вольфрамита в шлиховых пробах/20-23/; комплексы шлихо-минералогических ассоциаций /24-27/; положение коренных источников относительно россыпи /28-31/; уклон долины и характер рельефа /32-36/; возрастные комплексы олоесносных рыхлых отложений /37-42/; крутизну и форму склонов долины /43-48/. Подробнее задача описана /при несколько других исходных данных/ в [25].

Значения признаков россыпных месторождений олова

[illegible]

2.3. Оценка масштабов ртутных месторождений

Для решения задачи оценки ртутных месторождений было отобрано пять крупных и шесть мелких месторождений, составивших обучающую выборку; кроме того, восемь ртутных месторождений /два крупных и шесть мелких/ были взяты в качестве независимых объектов экзамена /более подробно решение этой же задачи приведено в работе [8]/.

Каждое из отобранных месторождений принадлежит к одной /группной/ формации и описывается набором значений 70 геологических признаков, характеризующих: региональные геологические структуры /1-4/, пространственное совмещение с месторождениями других металлов /5-12/, рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры /13-30/, рудовмещающие /31-34/ и рудолокализирующие породы /35-41/, типы рудных тел /42-51/, особенности их залегания /52-55/, околорудные изменения /56-63/ и магматические породы, ассоциированные с оруденением /64-70/.

Признаки кодировались в двоичной системе. Значения признаков, характеризующих ртутные месторождения, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения признаков месторождений ртути

[illegible]

2.4. Определение уровня эрозионного среза по геохимическим данным

Для решения задачи об определении уровня эрозионного среза по геохимическим данным методами распознавания образов на одном из редкометалльных месторождений в верхней и нижней частях эталонного рудного столба было выделено два блока. В пределах выделенных блоков было отобрано 45 и 44 пробы соответственно, каждая из которых характеризовалась значениями содержаний 13 химических элементов:

Co, Mo, Pb, As, Zn, Ag, Be, Zr, Sn, Y, Yb, Mn, Ba.

С целью проверки эффективности используемых алгоритмов распознавания в зависимости от объема обучающей выборки, поставленная задача разделения верхней и нижней части рудного столба решалась в двух вариантах. В первом варианте в обучающую выборку вошли 30 проб верхней и 30 проб нижней частей рудного столба. Оставшиеся 29 проб /15 с верхней и 14 с нижней части рудного столба/ служили в качестве независимых контрольных объектов.

Во втором варианте обучающая выборка была сформирована из 20 проб /по 10 проб с верхней и нижней части рудного столба/, а оставшиеся 59 проб /35 с верхней и 34 с нижней/ составили независимую контрольную выборку.

Значения содержаний химических элементов в пробах, закодированных как в баллах, так и в двоичной системе, приведены в таблицах 4,5 /вариант I/ и таблицах 6,7 /вариант 2/.

Значения содержаний элементов в пробах (вариант I)

Таблица 4

NN проб		Co %	Mo $n \cdot 10^{-4}$	Pb $n \cdot 10^{-3}$	As $n \cdot 10^{-2}$	Zn $n \cdot 10^{-3}$	Ag $n \cdot 10^{-3}$	Be $n \cdot 10^{-4}$	Zr $n \cdot 10^{-3}$	Sn $n \cdot 10^{-4}$	Y $n \cdot 10^{-4}$	Yb $n \cdot 10^{-4}$	Mn $n \cdot 10^{-2}$	Ba $n \cdot 10^{-2}$							
ОБУЧЕНИЕ I КЛАСС																					
1	0,572	5	1000	3	100	5	25	3	1	100	3	50	3	15	2						
2	0,017	2	400	3	400	5	50	3	15	3	30	3	15	3	15	3					
3	0,004	1	10000	4	500	5	40	3	30	200	3	150	4	20	2	10	2				
4	0,004	1	400	3	250	5	25	3	10	3	15	3	10	2	10	2	10	2			
5	0,016	2	800	3	200	5	25	3	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
6	0,012	2	800	3	250	5	40	3	30	10	2	7	3	15	2	10	2	10	2		
7	0,0046	1	200	2	15	3	25	3	10	3	10	2	10	3	20	3	10	2	10	2	
8	0,026	2	70	2	60	4	25	3	30	3	10	2	20	3	15	2	40	3	80	3	
9	0,849	5	600	3	30	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
10	0,546	5	300	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
11	0,017	2	200	2	60	4	10	3	20	3	10	2	20	3	15	2	40	3	80	3	
12	0,013	2	150	2	30	4	2	2	10	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
13	0,022	2	10000	4	500	5	40	3	30	3	2	70	3	20	3	40	3	100	4	20	2
14	0,044	2	150	2	50	4	2	2	10	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
15	0,156	4	70	2	300	5	20	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
16	0,009	1	300	3	1000	5	20	3	30	3	5	2	40	3	10	2	200	4	15	2	
17	0,016	2	1000	3	1000	5	25	3	20	3	30	3	5	2	50	3	10	2	200	4	
18	0,689	5	100	2	7	2	20	3	7	2	10	2	5	2	10	2	10	2	70	3	
19	0,013	2	2500	4	1000	5	40	3	20	3	200	3	5	2	20	3	10	2	70	3	
20	0,020	2	400	3	4	1	20	3	15	3	10	2	3	2	20	3	10	2	70	3	
21	0,500	5	4000	4	10	3	40	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
22	0,538	5	200	2	4	1	15	3	7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
23	0,036	3	1000	3	7	2	6	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
24	0,018	2	70	2	7	2	15	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
25	0,292	4	4000	4	15	3	40	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
26	0,554	5	10000	4	60	4	100	3	30	3	10	2	15	3	20	3	10	2	200	4	
27	0,576	5	1500	4	20	3	40	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
28	0,012	2	300	3	70	4	25	3	15	3	20	3	3	2	15	2	10	2	50	2	
29	0,665	5	4000	4	40	4	10	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
30	0,013	2	200	2	10	3	3	2	10	3	30	3	3	2	20	3	10	2	70	3	
ОБУЧЕНИЕ II КЛАСС																					
31	0,028	2	20	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
32	0,007	1	20	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
33	0,013	2	30	1	5	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
34	0,006	1	10	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
35	0,004	1	10	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
36	0,008	1	40	2	15	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
37	0,018	2	150	2	40	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
38	0,024	2	400	3	15	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
39	0,042	3	600	3	20	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
40	0,042	2	40	2	7	2	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
41	0,049	3	200	2	10	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
42	0,011	2	70	2	15	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
43	0,152	4	1000	3	30	4	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
44	1,433	5	1500	4	50	4	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
45	0,002	1	10	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
46	0,046	2	20	1	7	2	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
47	0,292	4	300	3	60	4	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
48	0,292	3	1000	3	100	5	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
49	0,002	1	5	1	1	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
50	0,005	1	15	1	1	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
51	0,005	1	7	1	1	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
52	0,004	1	10	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
53	0,002	1	30	1	10	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
54	0,008	1	20	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
55	0,007	1	25	1	2	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
56	0,007	1	20	1	10	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
57	0,004	1	40	2	10	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
58	0,047	3	30	1	30	4	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
59	0,040	2	100	2	20	3	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
60	0,004	1	30	1	3	1	1	1	1	2	2	2	7	1	8	2	10	3	7	1	
ЭКЗАМЕН																					
61	0,006	1	500	3	175	5	15	3	20	3	20	3	15	2	10	2	70	3	15	2	
62	0,006	1	70	2	80	4	2	2	20	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
63	0,849	5	10000	4	500	5	40	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
64	0,006	1	5000	4	1000	5	40	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
65	0,016	2	100	2	300	4	3	2	7	2	10	2	7	3	15	2	40	3	15	2	
66	0,012	2	2000	4	250	5	25	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
67	0,049	3	300	3	500	5	40	3	7	2	30	3	15	3	20	3	10	2	40	3	
68	0,008	1	600	3	500	5	30	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
69	0,004	1	10000	4	1000	5	100	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
70	0,041	3	300	3	5	1	40	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
71	0,101	4	500	3	5	1	40	3	7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
72	0,230	4	300	3	6	2	15	3	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
73	0,011	2	400	3	60	4	6	2	20	3	100	3	3	2	45	2	10	2	70	3	
74	0,007	1	600	3	200	5	8	2	15	3	30	3	2	7	1	1	1	1	1	1	
75	0,023	2	150	2	4	1	20	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
76	0,016	2	30	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
77	0,008	1	50	2	15	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
78	0,026																				

Таблица 5

Значения содержаний элементов в пробах (вариант 2)

№№ проб		Ca %	Mo п. 10 ⁻⁴	Pb п. 10 ⁻³	As п. 10 ⁻³	Zn п. 10 ⁻³	Ag п. 10 ⁻³	Ba п. 10 ⁻⁴	Zr п. 10 ⁻³	Sn п. 10 ⁻⁴	Y п. 10 ⁻³	Yb п. 10 ⁻⁴	Mn п. 10 ⁻³	Ba п. 10 ⁻⁴
1	ОБЪЕКТ 1 КЛАСС	0,572	5 1000	3 100	5 25	3 —	1 100	3 50	3 15	2 <10	2 70	3 15	2 10	3 10
2		0,006	1 70	2 80	4 2	2 20	3 —	1 10	3 30	3 40	2 70	3 15	2 70	3 8
3		0,026	2 70	2 80	4 25	3 30	3 10	2 20	3 15	2 40	3 80	3 20	2 8	3 20
4		0,017	2 200	2 60	4 10	3 20	3 10	2 20	3 20	3 40	2 85	4 20	2 8	3 15
5		0,049	3 500	3 500	5 40	3 7	2 30	3 30	3 20	3 40	2 80	3 15	2 6	3 20
6		0,089	5 100	2 7	2 20	3 7	2 10	2 5	2 10	2 <10	2 70	3 20	2 10	3 10
7		0,500	5 4000	4 10	3 40	3 —	1 —	1 40	3 15	2 10	2 50	2 10	2 <1	1 6
8		0,230	4 300	3 6	2 15	3 15	3 —	1 42	1 10	2 <10	2 50	3 10	2 <1	1 10
9		0,012	2 300	3 50	4 25	3 15	3 20	3 3	2 15	2 <10	2 50	2 5	1 6	3 6
10		0,665	5 4000	4 40	4 10	3 —	1 —	1 40	3 15	2 10	2 70	3 10	2 <1	1 6
11	ОБЪЕКТ 2 КЛАСС	0,028	2 20	1 3	1 —	1 —	1 1	2 3	2 7	1 8	2 80	3 7	1 2	1 15
12		0,008	1 50	2 15	3 —	1 5	2 7	2 5	2 15	2 45	3 60	3 10	2 6	3 20
13		0,024	2 400	3 15	3 —	1 10	3 6	2 1	2 20	3 6	2 40	2 5	1 1	1 30
14		0,049	3 200	2 10	3 —	1 4	1 5	2 2	1 30	3 3	1 50	2 7	1 1	1 40
15		0,030	2 150	2 15	3 —	1 10	3 7	2 2	1 30	3 5	1 30	1 5	1 4	2 25
16		0,092	3 4000	3 400	5 —	1 20	3 45	2 5	2 40	3 20	3 50	2 15	2 6	3 25
17		0,005	1 7	1 1	1 —	1 —	1 —	1 3	2 15	2 5	1 70	3 5	1 <1	1 10
18		0,003	1 10	1 3	1 —	1 —	1 —	1 2	1 20	3 10	2 70	3 7	1 5	3 6
19		0,047	3 30	1 30	4 —	1 —	1 —	1 3	2 15	2 10	2 80	3 8	1 8	3 15
20		0,040	2 100	2 20	3 —	1 —	1 2	2 3	2 20	3 15	3 100	4 8	1 4	2 20
21	ОБЪЕКТ 3 КЛАСС	0,017	2 400	3 400	5 50	3 15	3 30	3 20	3 20	3 10	2 80	3 15	2 15	3 15
22		0,005	1 500	3 175	5 15	3 20	3 20	3 20	3 15	2 10	2 70	3 12	2 9	3 50
23		0,001	1 10000	4 500	5 40	3 30	3 200	3 80	3 20	3 20	3 150	4 20	2 5	3 10
24		0,004	1 400	3 250	5 25	3 10	3 20	3 15	3 10	2 <10	2 100	4 40	2 8	3 10
25		0,015	2 800	3 200	5 25	3 —	1 100	3 20	3 10	2 —	1 70	3 —	1 4	2 10
26		0,042	2 800	3 250	5 40	3 30	3 40	2 7	3 15	2 <10	2 70	3 15	2 6	3 —
27		0,049	5 10000	4 500	5 40	3 —	1 <10	2 8	3 20	3 40	3 80	3 20	2 6	3 8
28		0,046	1 200	2 15	3 25	3 10	3 <10	2 10	3 20	3 <10	2 100	4 20	2 8	3 10
29		0,006	1 5000	4 1000	5 —	1 —	1 400	3 15	3 15	2 30	3 50	2 10	2 10	3 —
30		0,049	5 600	3 30	4 —	1 —	1 <10	2 15	3 7	1 —	1 50	2 10	2 10	3 15
31	ОБЪЕКТ 4 КЛАСС	0,546	5 500	3 15	3 —	1 —	1 —	1 5	2 7	1 —	1 50	2 10	2 8	3 —
32		0,046	2 400	2 300	4 3	2 7	2 <10	2 7	3 15	2 10	2 110	4 15	2 4	2 15
33		0,043	2 150	2 30	4 2	2 10	3 —	1 5	2 20	3 10	2 70	3 —	1 3	2 8
34		0,012	2 2000	4 250	5 25	3 7	2 200	3 15	3 20	3 10	2 150	4 20	2 15	3 6
35		0,022	2 10000	4 500	5 40	3 30	3 10	2 70	3 20	3 10	3 100	4 20	2 —	1 —
36		0,044	2 150	2 50	4 4	2 —	1 <10	2 —	1 30	3 <10	2 100	4 10	2 10	3 15
37		0,156	4 70	2 300	5 20	3 —	1 <10	2 20	3 25	3 10	2 70	3 15	2 5	3 15
38		0,009	1 300	3 1000	5 20	3 30	3 50	3 5	2 40	3 10	2 200	4 20	2 6	3 10
39		0,008	1 800	3 500	5 30	3 —	1 30	3 15	3 30	3 <10	2 100	4 15	2 4	2 10
40		0,046	2 1000	3 1000	5 25	3 20	1 30	3 5	2 50	3 <10	2 200	4 15	2 6	3 6
41	ОБЪЕКТ 5 КЛАСС	0,004	1 10000	4 1000	5 100	3 —	1 20	3 40	3 80	3 —	1 150	4 —	1 <1	1 —
42		0,043	2 2500	4 1000	5 10	3 20	3 200	3 5	2 20	3 10	2 70	3 10	2 8	3 15
43		0,020	2 400	3 4	1 20	3 15	3 <10	2 5	2 20	3 10	2 70	3 10	2 3	2 6
44		0,041	3 300	3 5	1 40	3 15	3 —	1 —	1 40	2 <10	2 50	2 10	2 1	1 6
45		0,538	5 200	2 4	1 15	3 7	2 —	1 3	2 15	2 <10	2 40	2 10	2 3	2 8
46		0,101	4 500	3 5	1 40	3 7	2 —	1 —	1 15	2 <10	2 30	1 10	2 1	1 6
47		0,036	3 1000	3 7	2 6	2 —	1 —	1 40	3 15	2 10	2 50	2 10	2 <1	1 —
48		0,018	2 70	2 7	2 15	3 15	3 —	1 62	1 7	1 <10	2 20	1 10	2 4	2 —
49		0,292	4 4000	4 15	3 40	3 15	3 —	1 5	2 15	2 10	2 150	4 15	2 <1	1 —
50		0,554	5 10000	4 60	4 100	3 30	3 40	2 15	3 20	3 10	2 200	4 10	2 <1	1 —
51	ОБЪЕКТ 6 КЛАСС	0,014	2 400	3 60	4 6	2 20	3 100	3 5	2 15	2 <10	2 70	3 10	2 4	2 —
52		0,576	5 1500	4 20	3 40	3 15	3 —	1 10	3 20	3 <10	2 150	4 10	2 8	3 —
53		0,007	1 600	3 200	5 8	2 15	3 30	3 3	2 7	1 <10	2 20	1 10	2 8	3 8
54		0,043	2 200	2 10	3 3	2 10	3 30	3 3	2 20	3 <10	2 80	3 10	2 2	1 10
55		0,023	2 150	2 10	4 20	3 —	1 <10	2 2	1 15	2 <10	2 70	3 10	2 3	2 6
56		0,007	1 20	1 3	1 —	1 —	1 2	2 2	1 7	1 8	2 50	2 7	1 4	2 20
57		0,046	2 30	1 3	1 —	1 —	1 5	2 3	2 20	3 40	2 70	3 40	2 6	3 25
58		0,043	2 30	1 5	1 —	1 7	2 5	2 3	2 15	2 10	2 70	3 7	1 6	3 15
59		0,006	1 10	1 3	1 —	1 —	1 2	3 2	2 15	2 7	1 70	3 40	2 5	3 20
60		0,004	1 10	1 4	1 —	1 —	1 5	2 30	3 10	2 400	4 10	2 2	1 10	2
61	ОБЪЕКТ 7 КЛАСС	0,008	1 40	2 15	3 —	1 5	2 5	2 1	1 15	2 40	2 70	3 7	1 3	3 10
62		0,026	2 50	2 15	3 —	1 —	1 2	3 20	3 15	3 100	4 10	2 3	3 20	3
63		0,048	2 150	2 10	3 —	1 4	2 8	2 2	1 20	3 8	2 40	2 5	1 1	1 20
64		0,074	3 800	3 40	4 —	1 10	3 5	2 3	2 20	3 10	2 40	2 5	1 <1	1 15
65		0,042	3 500	3 20	3 —	1 4	2 5	2 2	1 15	2 40	2 40	2 7	1 <1	1 25
66		0,042	2 40	2 7	2 —	1 10	3 7	2 4	2 15	2 10	2 40	2 7	1 15	1 15
67		0,494	5 1000	3 50	4 —	1 30	3 4	2 40	3 15	3 60	3 10	2 3	2 15	3
68		0,041	2 70	2 15	3 —	1 7	2 5	2 3	2 20	3 10	2 50	2 7	1 3	2 15
69		0,014	2 100	2 7	2 —	1 7	2 2	2 3	2 20	3 7	1 50	2 7	1 3	2 20
70		0,132	4 1000	3 30	4 —	1 —	1 40	2 2	1 40	3 10	2 60	3 7	1 1	1 15
71	ОБЪЕКТ 8 КЛАСС	1,433	5 1500	4 50	4 —	1 —	1 40	2 3	2 60	3 20	3 60	3 10	2 1	1 —
72		0,002	1 10	1 4	1 —	1 —	1 4	2 20	3 7	1 60	3 10	2 2	1 —	1
73		0,046	2 10	1 7	2 —	1 5	2 3	2 15	2 5	1 40	2 7	1 15	1 10	2
74		0,024	2 150	2 30	4 —	1 10	3 10	2 4	2 20	3 10	2 50	2 7	1 3	2 30
75		0,232	4 300	3 60	4 —	1 —	1 8	2 5	2 20	3 10	2 70	3 15	2 3	2 25
76		0,044	2 50	2 2	1 —	1 —	1 2	2 15	2 7	1 50	2 7	1 2	1 10	2
77		0,002	1 5	1 4	1 —	1 —	1 4	2 7	1 5	1 40	2 5	1 3	2 10	2
78		0,005	1 15	1 1	1 —	1 —	1 4	2 20	3 5	1 70	3 7	1 2	1 15	3
79		0,006	1 5	1 <1	1 —	1 —	1 —	1 15	2 3	1 30	1 2	1 <1	1 10	2
80		0,004	1 10	1 3	1 —	1 —	1 1	2 7	3 25	3 7	1 70	3 8	1 3	2 20
81	ОБЪЕКТ 9 КЛАСС	0,004	1 10	1 3	1 —	1 7	2 1	2 5	2 20	3 10	2 50	2 7	1 6	3 10
82		0,002	1 30	1 10	3 —	1 5	2 1	2 3	2 20	3 10	2 70	3 7	1 8	3 6
83		0,008	1 20	1 3	1 —	1 —	1 2	2 10	3 10	2 70	3 8	1 3	2 15	3
84		0,007	1 25	1 2	1 —	1 —	1 1	2 10	3 5	1 70	3 7	1 2	1 15	3
85		0,007	1 20	1 10	3 —	1 7	2 4	2 1	1 20	3 10	2 70	3 8	1 5	3 10
86		0,003	1 10	1 4	1 —	1 —	1 3	2 30	3 5	1 50	2 8	1 6	3 20	3
87		0,004	1 40	2 10	3 —	1 —	1 3	2 30	3 40	2 70	3 8	1 25	3 20	3
88		0,004	1 10	1 7	2 —	1 —	1 4	2 2	1 15	2 5	1 60	3 8	1 5	3 10
89	ОБЪЕКТ 10 КЛАСС	0,004	1 30	1 5	1 —	1 —	1 2	2 3	2 20	3 8	2 80	3 8	1 2	1 10
90														

Таблица 7

ANZ
PROB

15

3. Результаты решения геологических задач различными алгоритмами

Результаты решения геологических задач различных типов, описанных в предыдущем разделе, приведены в таблице 8. Обработка материалов производилась либо с участием авторов соответствующих алгоритмов, либо лиц, имеющих значительный опыт работы с данными алгоритмами; при этом объекты контроля давались в зашифрованном виде. За меру качества решения задач разными алгоритмами распознавания был взят процент правильной классификации объектов независимых контрольных выборок, причем отказ от классификации принимался эквивалентным 0,5 ошибки.

Следует обратить внимание на то, что такой подход к оценке эффективности решения задач не учитывает различные цены ошибок I и II рода /при классификации промышленных и непромышленных месторождений, рудных полей и т.п./. Однако раздельная оценка эффективности классификации для объектов I и II классов в данном случае, видимо, нецелесообразна, ввиду малой представительности в контрольных выборках объектов I класса: например, при решении задачи оценки редкометальных рудных полей в контрольную выборку входило всего одно промышленное рудное поле.

Следует отметить, что технические возможности программы, реализующей алгоритм аппроксимации плотности вероятности произведением условных вероятностей, не позволили применить этот алгоритм для решения большинства предложенных задач. С его помощью решалось лишь два варианта задачи определения уровня эрозионного среза по геохимическим данным, так что сопоставить эффективность этого алгоритма с другими по приведенным данным не представляется возможным.

По поводу результатов решения геологических задач остальными алгоритмами распознавания можно сделать следующие замечания:

1. Оба алгоритма тупиковых тестов показали неприемлемые результаты при оценке ртутных месторождений /эффективность распознавания - 62,5% против 87% в среднем по другим алгоритмам/. Алгоритм тупиковых тестов при классификации 12 контрольных месторождений россыпного олова дал 8 отказов от классификации /эффективность распознавания 66,7%/. Модифицированный алгоритм тупиковых тестов при оценке редкометальных рудных полей показал эффективность распознавания 74% против 92-95% в среднем по остальным алгоритмам.

Однако небольшое число решаемых задач, малый объем контрольных выборок, безусловно, не позволяют сделать вывод о непригодности этих алгоритмов.

2. Алгоритм "обобщенный портрет" в целом успешно справился с решением всех геологических задач, кроме задачи оценки россыпных месторождений олова, где он показал неприемлемые результаты /эффективность распознавания - 58,3%.

3. Все предъявленные геологические задачи в целом успешно решены алгоритмами "Эста-2", "Потенциал-2" и "Перебор" / для алгоритма "Потенциал-2" показаны также результаты оценки независимых контрольных объектов с использованием выделенной сокращенной "информативной" совокупности признаков/.

Однако полученные результаты сопоставления алгоритмов не могут служить основанием для окончательных выводов, так как малый объем контрольных выборок /во всех задачах, кроме II варианта задачи оценки уровня эрозионного среза/, а также весьма ограниченное число решаемых задач, не позволяют рассматривать указанный в итоговой таблице процент правильной классификации как достаточно точную оценку качества решения задач данного типа.

Оценка "информативности" признаков. Результаты оценки информативности признаков при использовании разных алгоритмов приведены в сводной таблице 9. Следует отметить, что при оценке результатов выделения информативных совокупностей признаков по каждому алгоритму необходимо, прежде всего, учитывать эффективность решения задачи классификации контрольных объектов данным алгоритмом.

Таблица 8

Результаты решения геологических задач различными алгоритмами

ЗАДАЧИ	№№ контрольных объектов	ПРИНАДЛЕЖ- НОСТЬ К КЛАССУ	АЛГОРИТМ АПРОКСИ- МАЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОИЗВЕ- ДЕНИЕМ УСЛОВНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ	АЛГОРИТМ "ЭСТА - 2"	АЛГОРИТМ ТУПИКОВЫХ ТЕСТОВ	АЛГОРИТМ ТУ- ПИКОВЫХ ТЕС- ТОВ (МОДИФИ- ЦИРОВАННЫЙ)	АЛГОРИТМ "ПОТЕНЦИАЛ"		АЛГОРИТМ "ПЕРЕБОР"	АЛГОРИТМ "ОБООБЩЕННЫЙ ПОРТРЕТ"
							КОНТРОЛЬ ПО ВСЕМ ПРИЗНАКАМ	КОНТРОЛЬ ПО ИНФОР- М. СОВООБЩ.		
							О Т Н Е С Е Н О К К Л А С С У			
ОЦЕНКА РЕСЬНЫХ М-И ОЛОВА ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ 7-7 ОБЪЕКТОВ ОБУЧЕНИЯ, 48 ПРИЗНАКОВ	1	1	ЗАДАЧА НЕ СООТ- ВЕТСТВУЕТ ТЕХНИ- ЧЕСКИМ ВОЗМОЖНОС- ТЯМ ПРОГРАММЫ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	48 ПРИЗН.	48 ПРИЗН.	1	2 (0ш)
	2	1		2 (0ш)	ОТКАЗ	1	2 (0ш)	2 (0ш)	1	1
	3	1		1	1	1	1	1	1	2 (0ш)
	4	1		1	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	2 (0ш)	2 (0ш)	2 (0ш)
	5	1		1	ОТКАЗ	1	1	1	1	2 (0ш)
	6	1		1	ОТКАЗ	2 (0ш)	1	2 (0ш)	2 (0ш)	2 (0ш)
	7	2		2	2	2	2	2	2	2
	8	2		ОТКАЗ	2	2	2	2	2	2
	9	2		ОТКАЗ	2	2	2	2	2	2
	10	2		ОТКАЗ	2	ОТКАЗ	2	ОТКАЗ	2	2
	11	2		2	ОТКАЗ	2	2	2	2	2
	12	2		2	2	2	2	2	2	2
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ (в %)				84,3 %	66,7 %	79,1 %	87,5 %	75,0 %	79,1 %	58,3 %
ОЦЕНКА М-ИИ РЛУТА ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ 5-6 ОБЪЕКТОВ ОБУЧЕНИЯ 70 ПРИЗНАКОВ	1	2	—	2	ОТКАЗ	2	70 ПРИЗН.	9 ПРИЗН.	2	2
	2	2		ОТКАЗ	2	1 (0ш)	2	1 (0ш)	1 (0ш)	2
	3	1		1	ОТКАЗ	2 (0ш)	1	1	1	1
	4	1		1	1	1	1	1	1	1
	5	2		ОТКАЗ	1 (0ш)	2	2	2	2	2
	6	2		2	ОТКАЗ	2	2	2	2	2
	7	2		2	2	2	2	2	2	2
	8	2		2	ОТКАЗ	1 (0ш)	2	2	2	1 (0ш)
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ (в %)				87,5 %	62,5 %	62,5 %	100 %	87,5 %	87,5 %	87,5 %
ОЦЕНКА РУДНЫХ ПОЛЕЙ 5-8 ОБЪЕКТОВ ОБУЧЕНИЯ, 37 ПРИЗНАКОВ (59 ПРИЗНАКОВ В ДОПОЛНИТ. СИСТЕМЕ)	1	1	—	ОТКАЗ	2 (0ш)	1	59 ПРИЗН.	31 ПРИЗН.	1	2 (0ш)
	2	2		2	2	1 (0ш)	2 (0ш)	2 (0ш)	2	2
	3	2		2	2	2	2	2	2	2
	4	2		2	2	2	2	2	2	2
	5	2		2	2	2	2	2	2	2
	6	2		2	2	1 (0ш)	2	2	2	2
	7	2		2	2	2	2	2	2	2
	8	2		2	2	2	2	2	2	2
	9	2		2	2	1 (0ш)	2	2	2	2
	10	2		2	2	1 (0ш)	2	2	2	2
	11	2		2	2	2	2	2	2	2
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ (в %)				94,4 %	91,9 %	73,6 %	81,6 %	91,9 %	100 %	91,9 %
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВАРИАНТ I 30-30 ОБЪЕКТОВ ОБУЧЕНИЯ, 13 ПРИЗНАКОВ	1	1	2 0ш	1 ОТК.	НЕ СЧИТАЛАСЬ	НЕ СЧИТАЛАСЬ	13 ПРИЗН.	5 ПРИЗН.	1 0ш	0 0ш
	2	1					1 ОТК.	0 0ш.		
	15	1								
	16	2					0 0ш.	0 0ш.		
	29	2					0 0ш.	0 0ш.		
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ (в %)				89,6 %	94,8 %		98,2 %	100 %	96,6 %	100 %
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ ВАРИАНТ II 40-40 ОБЪЕКТОВ ОБУЧЕНИЯ, 13 ПРИЗНАКОВ	1	1	4 0ш.	3 0ш.	НЕ СЧИТАЛАСЬ	НЕ СЧИТАЛАСЬ	13 ПРИЗН.	3 ПРИЗН.	3 0ш 1 ОТК.	2 0ш.
	2	1					6 0ш 2 ОТК.	4 0ш.		
	35	1								
	36	2					7 0ш 1 ОТК.	0 0ш.		
	69	2								
ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСПОЗНАВАНИЯ (в %)				78,2 %	93,6 %		79 %	94,2 %	94,9 %	97,1 %



Таблица 9

Результаты выделения информативных совокупностей признаков

Задачи алгоритмы	Оценка рудных полей по комплексу геологических, гео- химических и геофи- зических данных	Оценка россыпных м-ний олова по геологическим данным	Оценка м-ний ртути по гео- логическим данным	Определение уров- ня эрозионного среза по геохи- мическим данным Вариант I /30+30 объектов обучения/	Определение уров- ня эрозионного среза по геохими- ческим данным Вариант II /10+10 объектов обучения/
"ЭСТА-2"	2, 51, 15, 3, 27, 44	1, 36, 47, 12, 31, 13 [39, 19]	7, 3, 39, 66, 29, 15, 49, [24, 34]	As, Be, Yb	As, Be, Ba
"Тупиковых тестов"	27, 18, 37, 49, 35, 38	28, 14, 36, 31, 1 [18, 9, 12]	19, 48, 54, 65, 2 7, 44 [13, 16]	Задача не реше- лась	Задача не реше- лась
"Тупиковых тестов модифицированный"	18, 27, 37, 35, 38, 4	1, 40, 43, 8, 45, 34 [28, 36]	19, 21, 54, 24, 55 30 [28, 3, 5]	Задача не реше- лась	Задача не реше- лась
"Потенциал-2"	51, 2, 44, 15, 49, 30	49, 47, 1, [31, 45, 22, 36, 3]	3, 7, 29, 39, [15, 34, 49, 54, 50]	As, Co, Sn	As, Co, Zn
"Перебор"	51, 2, 15, 3, 18 [44]	3, 31, 45, 1, 18, 47 43, 25	3, 39, 7, 24, 31 [29, 34, 2, 1]	As, Yb [Y]	As, Yb, [Ba]
"Обобщенный портрет"	17, 22, 38, 15, 3, 6	43, 31, 47, 18, 10, 3 19, 25	7, 5, 49, 34, 21 [39, 54, 3, 29]	As, Be, Yb	As, Be, Sn

Примечание: В таблице указаны номера выделенных признаков в порядке убывания их "информативностей"
/в порядке расширения выделенной совокупности признаков в случае алгоритма "Потенциал-2"/ В скобки []
взяты признаки, выходящие за пределы наиболее "информативной" совокупности.

Полученные данные позволяют сделать следующие замечания.

1. Алгоритмы, построенные на различных принципах классификации объектов, выделяют разные совокупности "информативных" признаков. Выделение каждым алгоритмом распознавания своей "информативной" совокупности признаков является вполне естественным, поскольку эта совокупность обуславливается его решающим правилом.

2. С ростом эффективности решения задачи наблюдается лучшее соответствие наиболее "информативных" признаков, выделяемых разными алгоритмами.

3. В число наиболее "информативных" признаков, выделенных различными алгоритмами, во многих случаях попадают одни и те же признаки. Так при решении задачи оценки рудных полей систематически выделяются признаки I5, 5I, 2; при оценке россыпных месторождений олова - I, 3I, 47; при оценке ртутных месторождений - 7, 3, 39, 29, 54, 49, 34; при определении уровня эрозионного среза в двух вариантах выделяются A_5 , а также B_6 , Y_6 . Такое совпадение в оценке "информативности" признаков, полученной отличающимися по заложенным принципам классификации алгоритмами, повидимому, может служить основой для геологической интерпретации роли этих признаков с целью использования при установлении поисковых и разведочных критериев.

—————"—————"—————

Начатую работу по сопоставлению алгоритмов распознавания следует продолжить. При этом необходимо расширить класс решаемых геологических задач, при одновременном увеличении общего числа этих задач с целью накопления достаточной статистики для получения достоверных выводов. В ходе этих работ следует:

1/ исследовать закономерности повышения устойчивости выделяемых различными алгоритмами информативных совокупностей признаков с ростом эффективности классификации контрольных объектов;

2/ проверить "качество" выделяемых информативных совокупностей признаков путем классификации контрольных объектов с использованием только этих совокупностей;

3/ отдельно исследовать эффективность разделения объектов I и II классов для разных типов геологических задач, для чего должны быть специально подобраны геологические задачи, дающие достаточную статистику для проведения такого исследования.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность Н.Г.Демидовой, Л.П.Зеликовскому, Н.Г.Патык-Каре, Г.И.Фролову, предоставившим геологические материалы, а также Р.М.Константинову, И.Д.Савинскому, С.Г.Рабинович, С.В.Сиротинской, А.Я.Червоненкису, принимавшим участие в обработке данных и обсуждении результатов.

*И. Д. Савинский, П. П. Астанин,
Н. Г. Патык-Кара, Р. Г. Пинелис*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ

1. Использование методов распознавания образов при оценке рудопроявлений по геохимическим данным

В работе [31] приведены материалы проверки с помощью методов распознавания гипотезы о том, что масштабы процессов рудообразования определенным образом отражаются на сочетании значений средних, коэффициентов вариации и корреляции ряда элементов, причем образующиеся взаимосвязи достаточно устойчиво отличают гидротермальные проявления с значительным оруденением от мелких проявлений – по крайней мере в случае принадлежности их к одной и той же рудной формации. С целью максимального подавления влияния состава вмещающих пород при проведении исследований использовались лишь такие элементы, вариации содержания которых либо практически целиком определяются рудообразующим гидротермальным процессом, либо эти вариации под воздействием гидротермального процесса можно считать заведомо превосходящими вариации за счет первичной изменчивости содержаний во вмещающих породах /элементы перечислены в табл. 1, 2/. Задача решалась в нескольких вариантах: в варианте А были взяты все исходные характеристики – парные коэффициенты корреляции, коэффициенты вариации и средние, в варианте В из числа коэффициентов корреляции были взяты лишь коэффициенты корреляции основного элемента с другими элементами.

Данные об эффективности разделения "крупных" /1 класс/ и "мелких" /2 класс/ месторождений методами распознавания образов по указанным геохимическим характеристикам частично приведены в табл. 3 /приводятся данные для алгоритмов распознавания "Потенциал-2" и "БР" [27]/. При рассмотрении этих данных следует учитывать не только результаты экзамена контрольных объектов /№ 17-20/, но и самих объектов обучения /№ 1-16/; хотя в случае алгоритма "БР" число правильных ответов на объектах обучения должно быть систематически завышенным, оно является достаточно полезной характеристикой эффективности разделения.

Высокий процент правильных ответов /табл. 3/, полученный к тому же при использовании разных алгоритмов распознавания, свидетельствует о хорошем разделении "крупных" и "мелких" месторождений по комплексу указанных статистических характеристик, а следовательно и достаточно убедительно подтверждает выдвинутую гипотезу. В работе [31] приводятся данные в пользу того, что на эффективность

Таблица I

[illegible]

τ_{M_0, P_b} - коэффициент корреляции между содержаниями M_0 и P_b ;
 M_0 - среднее содержание M_0 ;
 σ_{M_0} - коэффициент вариации M_0 ;
 M - основной рудный элемент

Таблица 2

Поправочные коэффициенты для коэффициентов вариации

Элементы Число проб n	M	Mo	Pb	Cu	Co	V	Ti	Cz	As	Mn
5	1,61	1,60	1,93	1,73	2,01	1,58	1,76	2,11	1,86	2,03
10	1,34	1,27	1,62	1,56	1,45	1,41	1,50	1,70	1,52	1,48
15	1,24	1,18	1,48	1,27	1,27	1,25	1,36	1,51	1,40	1,35
20	1,18	1,14	1,36	1,20	1,17	1,17	1,26	1,36	1,32	1,25
30	1,13	1,08	1,13	1,11	1,08	1,10	1,12	1,43	1,19	1,12
50	1,05	1,03	1,08	1,03	1,03	1,03	1,04	1,06	1,04	1,04

разделения не оказывают существенного влияния даже значительные различия в геологических особенностях месторождений, а также пространственная близость месторождений разных масштабов.

Указанные результаты получены, однако, для случая, когда месторождения представлены значительным количеством /сотни/ борздовых или керновых проб, отобранных из рудных интервалов и первичных ореолов /см. табл. 3, объекты № 1-19/. Для установления возможности разработки практической методики оценки рудопоявлений, пригодной на первоначальных этапах их изучения /при наличии лишь отдельных рудных пересечений/, необходима проверка эффективности методов распознавания в случае, когда экзаменируемый объект характеризуется достаточно малым /10-50/ числом проб. При этом, помимо обычных керновых проб, рудопоявления могут быть охарактеризованы "сколковыми" пробами /сколки керна ≈ 20 г, отобранные с интервала 2-5 м, объединяются в одну пробу/. Результаты соответствующих исследований приводятся ниже.

В качестве объектов обучения были взяты, как и ранее в [31], объекты № 1-17 таблицы 3. Объекты обучения, контроля и прогноза были охарактеризованы данными спектральных анализов проб, взятых с глубин, начиная от 50 - 100 м /чтобы избежать влияния зоны окисления/ до ≈ 300 м /глубины бурения на этапах предварительной оценки рудопоявлений/. Анализы всех проб производились в одной и той же лаборатории.

Данные анализов использовались для вычисления средних, коэффициентов вариации и коэффициентов корреляции содержания ряда элементов. После кодирования указанных характеристик в трех-четырёхбалльной системе подготавливалась таблица значений признаков для решения задачи распознавания /таблица значений признаков для объектов обучения приведена в [31], значения признаков для объектов прогноза приводятся в таблице 1/.

При подготовке исходных таблиц в случае малого числа проб возникает следующая трудность: коэффициент вариации для содержания практически всех элементов оказывается существенно зависящим от числа взятых проб. С увеличением числа проб-соответственно опробованного интервала скважины - коэффициент вариации возрастает /что следует связать с влиянием статистической неоднородности оруденения/. В связи с этим была выполнена специальная работа по нахождению указанной зависимости

Таблица 3

Результаты распознавания объектов

№ объек- тов	Принад- лежит к классу	Вмещающие породы	Число проб	Отнесено к классу			
				Алгоритм "Потенциал-2"		Алгоритм "БР"	
				вариант А	вариант В	вариант А	вариант В
<u>Объекты обучения</u>							
I	2	Песчаники, алевролиты	94 ^x	2	2	2	2
2	2	"-	120	2	2	2	2
3	2	"-	190	2	2	2	2
4	2	Порфириды, альбитофиды	135	2	2	2	2
5	2	"-	99	2	2	2	2
6	2	Кварцевые порфиры	57	2	2	2	2
7	2	Песчаники, алевролиты	112	2	2	2	2
8	2	Амфиболовые сланцы	253	отказ	2	2	2
9	2	Порфириды	129	2	2	2	2
10	I	Алевролиты, песчаники	337	I	I	I	I
11	I	"-	85	I	отказ	I	I
12	I	"-	111	I	отказ	I	I
13	I	Алевролиты, песчаники краснощ.	84	2	2	I	I
14	I	Алевролиты, песчаники	433 ^x	I	I	I	I
15	I	"-	630	I	I	I	I
16	I	Альбитофиды, порфириды	129	2	I	I	I
<u>Объекты контроля</u>							
17	I	Песчаники, алевролиты	75	I	I	I	I
18	2	"-	70 ^x	I	2	2	2
19	I	"-	157 ^x	I	I	I	отказ
20	2	Слюдяные сланцы	48	2	2	2	2
			105	2	2	отказ	2
			27 ^{xx}	2	2	2	2
			65 ^{xx}	2	2	2	2
<u>Объекты прогноза</u>							
21		Порфириды альбитизирован- ные	40	2	I	2	I
22		Песчаники, алевролиты	14	2	2	2	2
23		"-	46	2	2	2	2
24		"-	22	I	I	I	2
25		"-	8	2	2	2	2
26		"-	13	2	2	2	2
27 ₁		Граниты	36	2	2	2	2
27 ₂		Песчаники	13	отказ	отказ	2	2
28 ₁		Алевролиты, аргиллиты	16	2	2	2	2
28 ₂		Гранитоиды	72	2	2	2	2
29 ₁		Слюдистые сланцы	64	2	2	2	2
29 ₂		Граниты	67	2	2	2	2
30		Алевролиты, углистые сланцы	65	2	2	2	2
31 ₁		Алевролиты, песчаники	55	2	2	2	2
31 ₂		Граниты	60	2	2	2	2
32 ₁		Алевролиты, песчаники	63	I	I	I	I
		"-	30	I	I	I	отказ
32 ₂		Граниты	63	отказ	2	2	2
33		"-	26	2	2	2	2
34		Выветрелые сланцы	26	I	2	I	I
35		Выветрелые плагиопорфиры	29	2	2	отказ	2
36 ₁		Сланцы	44	I	I	отказ	2
36 ₂		Гранитоиды	52	2	2	2	2
37 ₁		Сланцы	15	2	I	2	I
37 ₂		Известняки	23	2	2	2	2
94 ^x	бороздовые пробы						
120	карновые пробы						
27 ^{xx}	сколковые пробы						

и определению поправочных коэффициентов для приведения величины коэффициента вариации к значению при "бесконечно" большом числе проб. Вычислялись коэффициенты вариации содержания элементов в пределах интервала, последовательно перемещающегося по скважине; нахождение коэффициентов вариации при увеличении интервала позволило исследовать искомую зависимость. Для проведения исследований было использовано 9 скважин объектов обучения № 3, 5, 15, 16, 17. В результате исследований /проводились с участием С.Г.Рабинович, Г.А.Волковой/ была получена таблица 2 поправочных коэффициентов, на которые умножались коэффициенты вариации, определенные при соответствующем числе проб, перед кодированием в баллах.

На основе использования объектов обучения № 1-17 была произведена классификация объектов контроля № 17-20 и прогноза № 21-37 /см.табл.3/. Ряд объектов прогноза был охарактеризован двумя независимыми выборками проб, взятыми из разных вмещающих пород /в этом случае при номерах соответствующих объектов проставлены разные индексы/; некоторые объекты /№ 20, 32/ были представлены несколькими выборками, различающимися числом или характером проб. Все это позволило произвести определенную оценку устойчивости и надежности получаемых результатов в реальных условиях распознавания объектов на ранних этапах разведочных работ.

В качестве объектов прогноза были взяты рудопроявления и аномальные участки, недостаточно изученные с точки зрения возможных запасов, а также и геологических особенностей; однако по предварительным геологическим оценкам большинство этих объектов относится ко 2-му классу "мелких" месторождений. Как можно видеть из табл.3, большая часть объектов прогноза отнесена обоими алгоритмами в разных вариантах подготовки исходных данных также к классу "мелких". Изменение числа исходных проб /объекты № 20, 32/, а также использование "сколковых" проб /№ 20/ вместо обычных керновых практически не повлияло на классификацию соответствующих объектов, что является подтверждением устойчивости получаемых результатов.

Следует выделить результаты классификации при отборе проб из гранитоидов и известняков. По данным геологоразведочных работ, с указанными породами ни на одном из месторождений не связано значительное по масштабам оруденение. Как можно видеть из табл.3, с этим фактом вполне согласуются и данные распознавания - все выборки проб из гранитоидов, а также известняков были отнесены ко 2-му классу "мелких" объектов.

В качестве наиболее перспективных объектов в соответствии с табл.3 /не учитывая данных по гранитоидам и известнякам/ могут быть выделены объекты № 24, 32, 36, отнесенные к 1-му классу "крупных" месторождений в большинстве вариантов решения задачи. Несколько менее уверенно могут быть оценены как перспективные объекты № 21, 37, которые при использовании статистических характеристик варианта А оказались отнесенными ко 2-му классу. Ненадежной должна быть признана классификация объектов № 34, 35 в связи с отбором проб из интенсивной зоны окисления /см.табл.3/. Все остальные объекты вполне определенно классифицируются как принадлежащие ко 2-му классу.

По геологоразведочным данным, наиболее перспективными объектами, на которых в настоящее время проводятся разведочные работы, являются объекты № 23, 24, 25, 34, 35, 36, 37 /по данным уже проведенной разведки, объекты № 36 и 37 по масштабам оруденения приближаются к объектам 1-го класса/. По геологическим предпосылкам как перспективные рассматриваются также объекты № 21, 27, 32, хотя дальнейшее их разбуривание не производится.

Сопоставляя данные геологоразведочных работ на объектах прогноза с результатами распознавания, следует отметить, прежде всего, их хорошее соответствие, что подтверждает возможность практического применения данной методики. При этом можно рассчитывать на то, что, с одной стороны, будет сокращен объем средств на разведку мелких, не представляющих интерес рудопроявлений, с другой - что не будут

пропущены, вследствие недостаточной разведанности, значительные объекты. В приведенном конкретном примере может быть обращено внимание геологов на объекты № 21, 32 и рекомендовано дополнительное их разбуривание.

Следует отметить, что предлагаемая методика, основанная на объективной обработке совокупности геохимических данных методами распознавания образов, позволяет использовать информацию, отличную от той, которая используется геологом в обычной практике оценки рудопоявлений. Это позволяет надеяться на то, что ее применение в общей системе геологоразведочных работ повысит надежность оценки объектов.

Рассмотрим теперь другой подход при оценке рудопоявлений по геохимическим данным, основанный на прогнозировании перспектив продолжения оруденения на глубину по данным определения уровня эрозионного среза.

Геохимическая зональность эндогенных месторождений, проявленная в закономерной смене ассоциаций элементов в вертикальном разрезе рудных залежей, в настоящее время широко используется в прикладной геохимии для обоснования прогнозов о продолжении оруденения на глубину. Приведенные, в частности, в [1] данные свидетельствуют о возможности успешного решения задачи с помощью методов распознавания образов в случае, когда производится прогнозирование рудных тел на глубину в пределах того же рудного поля, к которому принадлежит детально изученная рудная залежь, используемая в качестве эталона геохимической зональности. В настоящей работе излагаются результаты исследования применимости данных методов при оценке месторождений и рудопоявлений, не принадлежащих к тому же рудному полю, что и эталонный объект.

При решении задачи были обработаны материалы опробования кернa скважин из рудных пересечений и первичных ореолов по 13-ти редкометальным месторождениям и рудопоявлениям, в том числе находящимся на значительном /до 400 км/ удалении от эталонного месторождения и существенно отличающимся от него по своим геолого-геохимическим особенностям. Все пробы анализировались в одной и той же лаборатории спектральным методом. При решении задачи использовались 12 элементов, содержание которых было закодировано в многобальной системе /см. табл. 4/.

Месторождения и рудопоявления различных рудных полей /обозначаются буквами А - Н/ отличаются по характеру прерудных гидротермально - метасоматических изменений пород, среди которых выделяются два типа - зоны натрового /объекты А₁, А₂, В₁, В₂, Е, F, G, Н/ и зоны калиевого /С₁, С₂, С₃/ метасоматоза. При этом для некоторых объектов /П/ характерны черты изменений обоих типов.

Оруденение на взятых объектах локализуется в различных по составу и возрасту горных породах - от докембрийских метаморфических пород /объекты Е, F, рис. 1/ до эффузивно-осадочных пород девона /объекты В₁, В₂/. Большая часть объектов приурочена к вулканогенно-территенным отложениям ордовика.

Указанные, а также другие различия не имеют, однако, существенного значения при отнесении всех рассматриваемых объектов к единой рудной формации.

В качестве эталонного месторождения было взято то же месторождение, что и при решении задачи оценки рудных пересечений в пределах одного рудного поля, приведенной в работе [1]. С каждого из шести выделенных на эталонном месторождении горизонтов, отстоящих один от другого на 30 м, было отобрано по 45 керновых проб, достаточно представительных характеризующих этот горизонт; данные пробы образовали выборки обучения. Результаты классификации с помощью этих выборок контрольных проб с самого эталонного месторождения свидетельствуют о наличии на эталонном месторождении вертикальной геохимической зональности, выявляемой по совокупности многих элементов методами распознавания образов /процент правильных ответов при

разделении горизонтов составлял 70 - 80%; подробнее см. в [1]/.

Последующая задача заключалась в установлении с помощью методов распознавания наибольшего сходства проб, отобранных с 12-ти экзаменуемых объектов, с выборками проб с эталонных горизонтов и определении, на этой основе, относительного уровня среза для экзаменуемых выборок. В случае разнородных вмещающих пород на экзаменуемых месторождениях и рудопроявлениях выборки проб для них составлялись для каждой основной разновидности пород. Наиболее протяженные по вертикали рудные залежи были разделены, кроме того, на пространственно разобщенные блоки, охарактеризованные отдельными выборками проб; интервалы глубин для этих блоков приводятся на рис.1.

Задача решалась с помощью алгоритма распознавания "Потенциал - 2" [27]. С помощью этого алгоритма выборки проб с 12-ти экзаменуемых месторождений были классифицированы относительно 6-ти взятых горизонтов, представляющих различные гипсометрические уровни эталонного месторождения. Результаты классификации представлены на рис.1 в виде гистограмм, с указанием числа проб, "голосующих" за тот или иной горизонт эталонного месторождения. Экзаменуемым месторождениям даны буквенные обозначения, причем нижние индексы отличают месторождения данного рудного поля, а верхние - различные выборки с одного месторождения.

Рассматривая полученные гистограммы, следует прежде всего отметить, что в большинстве случаев / A_1 , A_2 , B_1^1 , B_2^2 , C_1 , C_3 , G^2 , H^1 , H^2 / при указанном голосовании не получили заметного преимущества нижние / I, II /, средние / III, IV / или верхние / V, VI / горизонты, то есть в данном случае может быть зафиксирован "отказ" от классификации.

В случае объекта C_2 "отказ" от классификации может быть зафиксирован лишь для выборок с интервалов глубин 100 - 250 м, 250 - 400 м, объекта F - выборки с интервала глубин 150 - 200 м, а объекта G^1 - выборки с интервалов глубин 150 - 210 м, 270 - 330 м. Остальные выборки с более глубоких горизонтов правильно отнесены к нижним уровням, что создает предпосылки для успешного применения метода.

Объекты B_1 , D относятся по гистограммам к нижним уровням среза и, соответственно, могут быть оценены как неперспективные, что вполне согласуется с существующими представлениями, опирающимися на большой объем геологоразведочных работ. Объект E, в соответствии с гистограммами, должен быть отнесен к верхним уровням среза, хотя по сложившимся среди геологов представлениям это рудопроявление также неперспективно. Это представление основывается, однако, на результатах изучения его на глубину относительно небольшим числом горных выработок, что не может гарантировать от пропуска глубинных рудных тел.

Необходимо отметить, что значительное число "отказов" следует связывать не с отсутствием вертикальной геохимической зональности на данном объекте вообще, а с отсутствием зональности, сходной с зональностью эталонного месторождения /так, специальными исследованиями, при которых в качестве эталонного был взят объект рудного поля C_3 , на нем была обнаружена теми же методами вполне определенно выраженная своя вертикальная геохимическая зональность/. Тот факт, что различный характер зональности на эталонном и экзаменуемом объекте влечет за собой "отказ" от классификации, а не ошибочное заключение, является весьма обнадеживающим, открывающим перспективы для практического применения метода. Следует отметить также, что более детальный анализ результатов классификации в случае "отказов" с привязкой каждой проэкзаменованной пробы к той или иной зоне, структуре, типу вмещающих пород позволяет получить важную дополнительную информацию /такой анализ для выборок A_1 приведен в работе [1]/.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Применение методики привело бы к неправильной /возможно/ оценке перспектив на глубину лишь в случае объекта E; в то же время, во многих других случаях / B_1 , C_2 , D_1 , D_2 , D_3 , F, G / ее применение позволило бы сделать достаточно правильный прогноз. Большое число "отказов" от классификации не является препятствием для применения метода, поскольку они не приводят к неверным прогнозам, а выполнение работы требует мини-

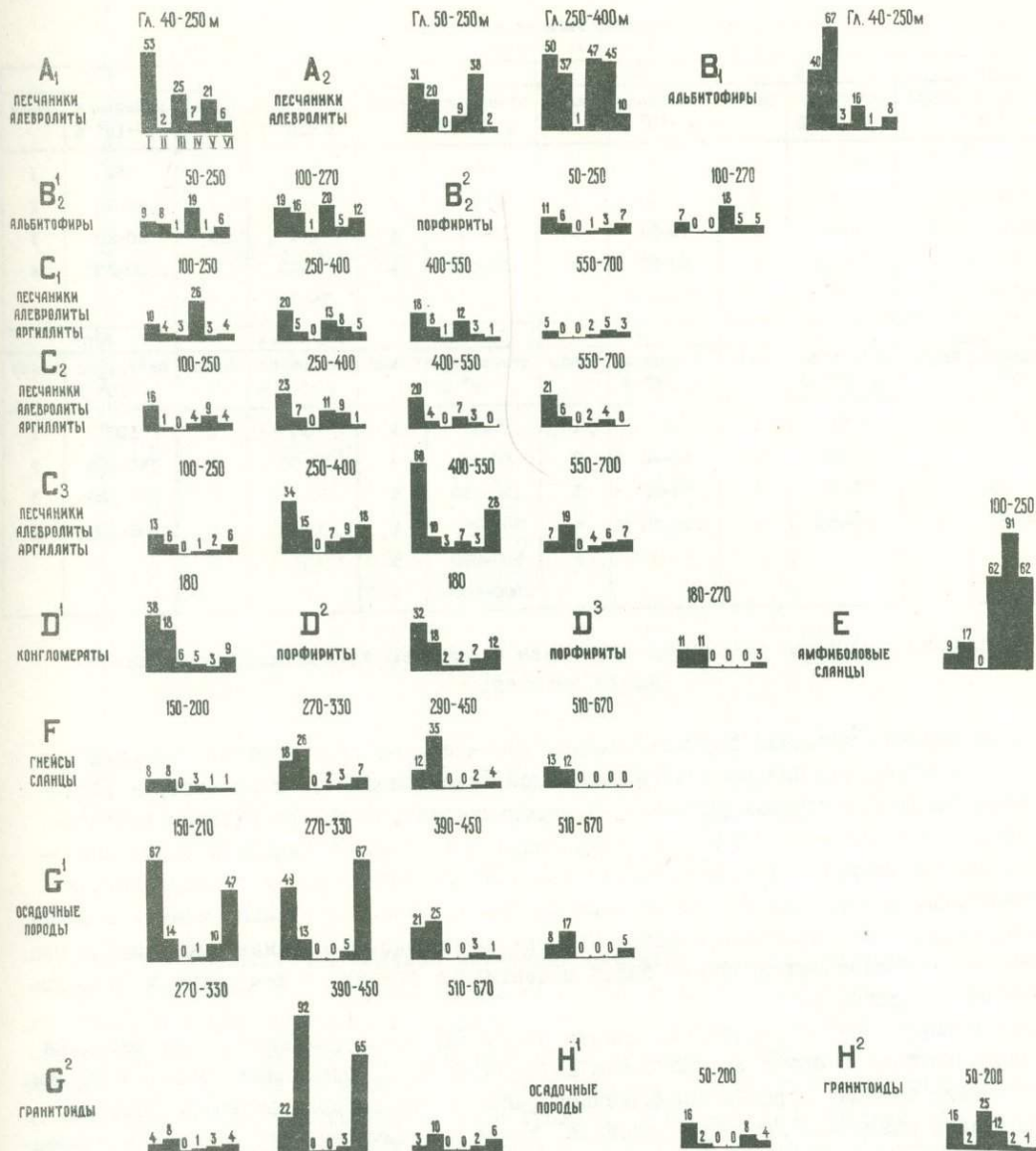


Рис. 1. Результаты классификации проб с различных горизонтов м-ний.

мальных затрат. Все это позволяет положительно оценить возможности применения указанного метода для практической оценки перспектив продолжения оруденения на глубину по разным рудным полям; дальнейшее совершенствование методики /разработка способов оптимального выбора эталонного объекта и уровней, выбора совокупности элементов, системы кодирования данных и т.д./ позволит, несомненно, повысить ее эффективность.

ТАБЛИЦА 4
кодирования содержания элементов в баллах

Mo		Pb		Cu		Ni		Co		V	
интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы
<10	1	<5	1	<15	1	<7	1	<2	1	<30	1
15-30	2	5-8	2	20-30	2	10-15	2	2-3	2	40-50	2
40-80	3	10-20	3	40-50	3	15-20	3	4-5	3	60-80	3
100-200	4	30-50	4	60-80	4	30-100	4	7-10	4	100-200	4
250-1500	5	70-500	5	100-600	5			15-30	5		
Ti		Cr		As		M		Sr		Mn	
интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы	интервалы в $\cdot 10^4$ %	баллы
<300	1	<10	1	<30	1	<40	1	<30	1	<100	1
500-700	2	10-15	2	30-40	2	50-90	2	30-50	2	150-400	2
800-1000	3	20-40	3	50-80	3	100-290	3	60-250	3	500-800	3
1500-4000	4	50-200	4	100-200	4	300-490	4	300-1500	4	1000-3000	4
				250-2000	5	500-990	5				
						1000-4000	6				

2. Оценка россыпных месторождений олова с помощью алгоритмов распознавания образов

Существующая методика прогнозирования россыпей, начиная с работ Ю.А.Билибина, основана на экстраполяции масштабов россыпной металлоносности и параметров россыпей, выявленных в изученных районах, на перспективные районы со сходным геолого-геоморфологическим строением. При несомненной практической ценности этого способа, слабым его местом является субъективный учет геологических и геоморфологических факторов, который во многом зависит от геологической интуиции, знаний и опыта геолога, проводящего прогнозирование. Применение методов распознавания образов при решении задачи позволяет получить более объективные оценки, а тем самым и повысить эффективность прогноза.

Для исследования возможностей оценки россыпных месторождений олова методами распознавания была собрана и обработана информация по 52 россыпным объектам Якутии, принадлежащим единому горно-экономическому району. Эта выборка включала объекты, уже оцененные разведкой /как промышленные, так и непромышленные/, а также не оцененные, представляющие интерес по комплексу геолого-геоморфологических данных. Каждый из объектов описывался с помощью качественных и количественных признаков, закодированных в двоичной системе "1" - "0". В ходе предварительной обработки часть признаков, встречающихся не более одного-двух раз в обоих классах /или, наоборот, встречающихся почти на всех объектах обоих классов/, была исключена из дальнейшей обработки, как мало полезная при решении задачи. В числе оставшихся присутствуют признаки, характеризующие: 1/ тип и масштабы коренного источника /признаки 1-8/ и структурно-геологическую позицию объекта /признаки 9-17, 22, 23/; 2/ особенности поверхностного шлихового фона, как одного из важнейших поисковых признаков /признаки 18-21/; 3/ структурно-геоморфологическую позицию и особенности строения прогнозируемой долины /признаки 24-39/. Наименование признаков приведено в табл.5, а их значения в табл.6.

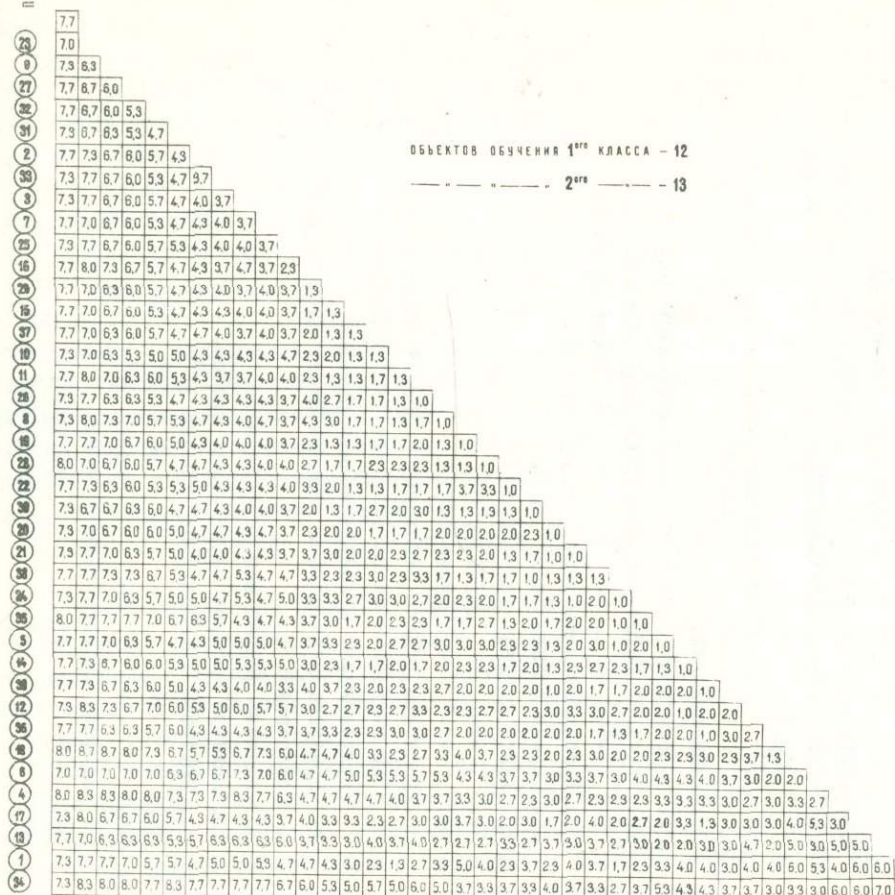


Рис. 2. Результаты исследования информативности различных совокупностей признаков с помощью алгоритма "Потенциал-2".

Из числа достаточно надежно изученных объектов была сформирована обучающая выборка, состоящая из 12 промышленных /I класс/ и 13 непромышленных /II класс/ объектов, а также контрольная выборка, в которую вошли 13 объектов - промышленных и непромышленных россыпей. Граница между указанными классами определялась прежде всего исходя из запасов металла в россыпи; однако для некоторых объектов, попадающих в область вблизи этой границы, учитывалось и среднее содержание олова /соответствующие данные приводятся на рис.3/. В качестве объектов прогноза были взяты объекты, в разной степени оцененные поисковыми работами или слабо изученные предварительной разведкой. Ряд объектов связан с долинами, расположенными в пределах рудно-россыпных узлов или ореолов, но обладающих ограниченным числом благоприятных поисковых признаков; к числу таких объектов относятся Эдер, Болотный, Зимовье, Сектаджа и др. Большую часть составляют объекты, в целом характеризующиеся набором благоприятных поисковых признаков, такие как Чурпунья, Зимовье, Джоштогун, Джоудакчан, Восток П, на которых, однако, поисковые и разведочные работы проводились в небольшом объеме или не были завершены. Наконец экзамену решено было подвергнуть россыпи, находящиеся в весьма благоприятной геолого-геоморфологической обстановке, которые, по данным предварительной разведки, были признаны непромышленными - в том случае, когда имелись сомнения в достовер-

ПРИЗНАКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОЛОВА

Таблица 5

1. Наличие в бассейне питания россыпи коренного месторождения.
2. Наличие в бассейне питания россыпи серии рудопроявлений.
3. Наличие в бассейне питания россыпи рассеянной минерализации.

Коренной источник россыпи принадлежит к рудной формации:

4. касситерито-кварцевой /жильный тип/;
5. апогранитов и грейзенов;
6. касситерито-силикатной;
7. касситерито-сульфидной.
8. Морфологический тип коренного источника россыпи - штокверки, штокверкоподобные зоны прожилкования, серии сближенных минерализованных зон дробления.
9. Россыпь расположена в пределах гранитного массива;
10. "- "- в пределах зоны роговиков.

Относительный уровень денудационного среза интрузивного массива:

11. интрузив не вскрыт;
12. присутствуют отдельные выходы гранитоидов;
13. развиты обширные поля гранитоидов.

Интрузивные породы, присутствующие в области питания россыпи:

14. гранодиориты и роговообманковые граниты;
15. биотитовые граниты;
16. дайковые породы, нерасчлененные;
17. малые интрузивные тела кислого состава.

18. Максимальные содержания касситерита /касситерита + вольфрамита/ в шлиховых пробах более 200 г/м³.
19. Длина шлихового участка с весовым содержанием касситерита /касситерита + вольфрамита/ > 1 г/м³ превышает 1000 м.

Комплексы шлихо-минералогических ассоциаций:

20. ильменитовый;
21. лимонитовый /или с наложенным лимонитом/.
22. Коренной источник расположен выше россыпи;
23. "- "- в створе россыпи.
24. Принадлежность долины к П-Ш порядку.
25. Ширина долины более 500 м.
26. Уклон долины более 0,05°;
27. "- "- 0,01° - 0,05°;
28. "- "- менее 0,01°.
29. Мощность рыхлых отложений в долине более 10 м.
30. Тип рельефа - низкогорье или денудационно-аккумулятивная и денудационная равнина.
31. Присутствие в долине плиоцен-нижнечетвертичных отложений.
32. Наличие террас или террасовала.
33. Наличие древних погребенных врезов.
34. Крутизна склонов долины более 18°;
35. "- "- 9° - 18°;
36. "- "- менее 9°.
37. Профиль склонов долины прямой;
38. "- "- выпуклый;
39. "- "- вогнутый.

ности разведочных данных /правильность расположения линий, отсутствие разведочных шурфов, методика опробования и т.д./. К числу таких россыпей могут быть отнесены Одинокая, Баки и др.

Для решения задачи был использован комплекс алгоритмов распознавания "Потенциал-2", "Перебор" и "БР" [23, 27]. Рассмотрим вначале результаты выделения информативной совокупности признаков /или отдельных информативных признаков/ с помощью этих алгоритмов.

Треугольная таблица на рис.2 показывает результаты выделения информативной совокупности признаков с помощью алгоритма "Потенциал-2". Как видно из таблицы, число ошибок распознавания δ , помещенное в клетках таблицы, уменьшается с $\delta = 7,7$ /на 25 проконтролированных объектов обучения/ при использовании всех признаков до $\delta = 1,0$ /см. диагональные значения таблицы/ после последовательного отбрасывания 17 признаков, перемещаясь сверху вниз /номера признаков проставлены слева от таблицы/. Быстрое уменьшение δ при отбраковке ряда признаков указывает на достаточно эффективное выделение "информативной" совокупности. Как следует из описания алгоритма, наиболее информативные совокупности группируются в нижней части таблицы; в данном случае в качестве такой совокупности может быть взята совокупность девяти признаков: 34, 1, 13, 17, 4, 6, 18, 36, 12, поскольку дальнейшее сокращение этой совокупности приводит к возрастанию числа ошибок δ .

В табл.6 приведены значения информативности $J = \frac{1}{\sqrt{P_i}}$ для каждого отдельного признака, определенные с помощью алгоритма "БР" / P_i - вероятность того, что появление признака носит чисто случайный характер при данном соотношении числа кодов "1" в первом и втором классе/. В качестве наиболее информативных могут быть перечислены признаки: 34, 1, 17, 38, 18.

Исследование информативности признаков с помощью алгоритма "Перебор" привело к выделению следующих информативных признаков: 1, 18, 34, 4. Хорошее соответствие признаков, выделенных тремя различными алгоритмами, при достаточно эффективном решении задачи распознавания, заставляет обратить внимание на эти признаки и попытаться проанализировать их с геологических позиций.

Среди выделенных признаков важную роль играют признаки, отражающие особенности строения коренного месторождения, условия его вскрытия и характер поступления полезного компонента в долины. Из них в пользу промышленных россыпей свидетельствуют признаки: 1 - наличие месторождения в бассейне; 4, 6 - указывающие формационную принадлежность коренного источника к касситеритово-кварцевой или касситеритово-силикатной формации; 13 - указывающий на значительную величину денудационного среза /на поверхность выведены обширные поля гранитоидов/. Интересно присутствие в совокупности признака 17 /малые интрузивные тела в области питания россыпи/, указывающего на генетическую связь оловянной минерализации с этим типом магматических образований, что дает определенное подтверждение последним представлениям об особенностях металлогении олова в данном регионе. Из числа геоморфологических признаков в группу информативных попадает признак 34, свидетельствующий в пользу непромышленного месторождения, который характеризует крутизну склона долины, то-есть условия переноса касситерита от коренного источника в россыпь.

Полученные результаты подтверждают ту точку зрения, что для россыпей ближнего сноса, в частности, россыпей олова, важнейшими поисково-оценочными критериями являются тип и масштабы коренного источника, а также факторы, определяющие условия его денудации и баланс материала в долине. В то же время, такие признаки, как 33 - наличие погребенных врезов, 31 - возраст оловоносных отложений, 32 - наличие террас, 25 - ширина долин, не вошли в число выделенных информативных признаков. Большая часть геоморфологических признаков, характеризующая

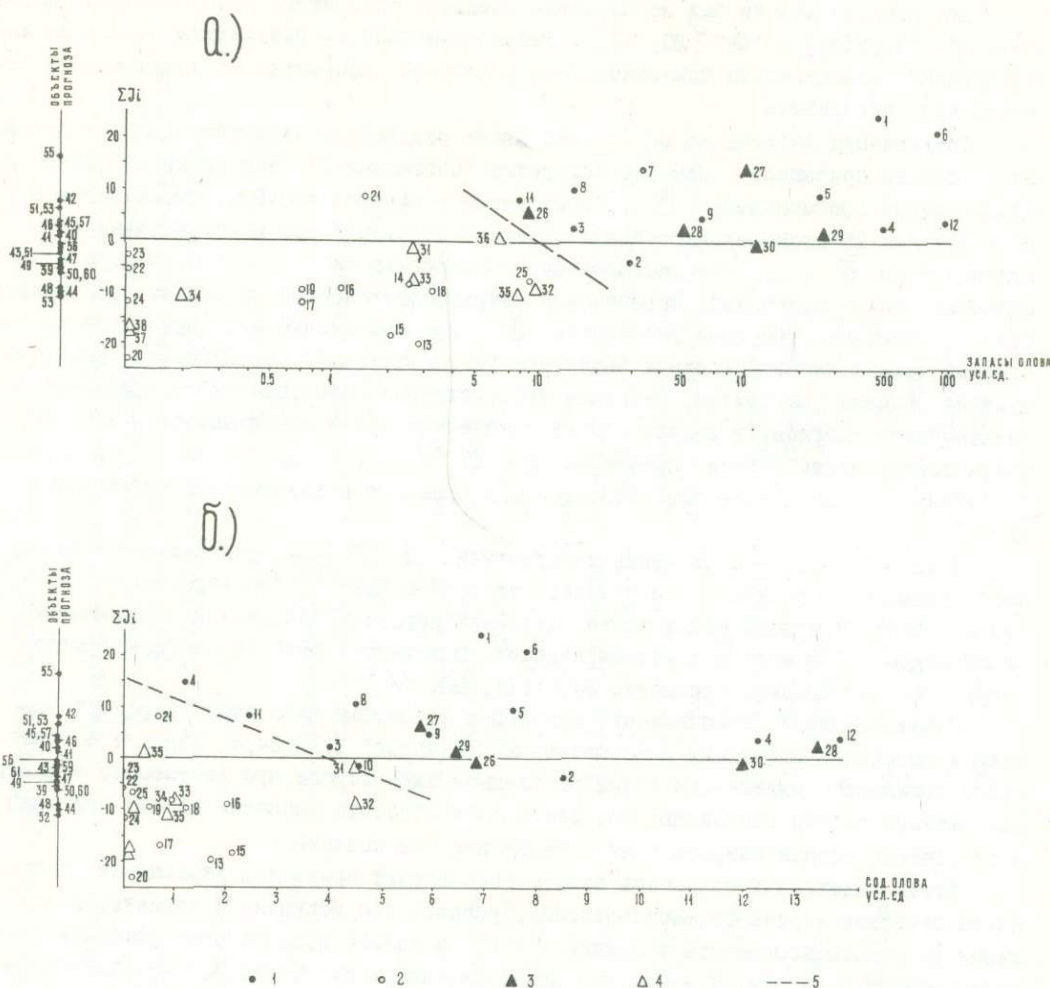


Рис. 3. Зависимость суммарной информативности признаков, выделенных с помощью алгоритма "БР", от: а) запасов россypi; б) среднего содержания олова. 1- объекты обучения 1-го класса; 2- объекты обучения 2-го класса; 3- объекты контроля 1-го класса; 4- объекты контроля 2-го класса; 5- условная граница разделения промышленных и непромышленных россypi.

ЗНАЧЕНИЯ ПРИЗНАКОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСПОЗНАВАНИЯ

ОДОВЯННЫХ РОССЫПЕР

№ п/п	ОБЪЕКТЫ	КЛАСС	ПРИЗНАКИ																																							Σ q _i	Отметки и классы			
																																											Σ q _i	6Р	Дерево-бор	по всем классам
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39					
			ОБЪЕКТЫ																			ОБЪЕЧЕНИЯ																								
1	ОПЕКАНИЕ	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	+23,37	1	1					
2	ПОРОЧНЫЙ	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-4,27	2	1					
3	КЛЕПАН	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+2,12	1	1				
4	КРАВИН	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+3,27	2	2			
5	СЛОП	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	+9,17	1	1				
6	ТЕНЕАН	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	+21,05	1	1				
7	ТРАКТОР	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	+14,87	1	1				
8	ВОЛН	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	+10,48	1	1				
9	ЖИТА-ИСТЫ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	+4,87	2	1				
10	КОРОВО	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-2,17	2	1					
11	ИСТЫ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+8,18	1	1			
12	ПРЕДСТАВЛЕНИЕ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+3,77	1	1				
13	НОРМА	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	-20,04	2	2			
14	УПАЧКАН I	2	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-8,66	2	2			
15	ЛЕВОН	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	-18,02	2	2				
16	ЗАГОСОВ	2	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	-2,16	1	2				
17	СУЗЬЯВОН	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-17,04	2	2					
18	ВЕТСЯВН	2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	-9,77	2	2					
19	ТЯ	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-9,48	2	2					
20	ТЯУ	2	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-22,75	2	1						
21	ТЕВАНТЧАК	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+8,12	1	2						
22	ЛАВОН (ТРАКТОРНЫЙ)	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	-5,39	1	2						
23	ЗЯВН	2	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	-2,46	2	2							
24	ВЕТУЧА	2	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	-12,33	2	2						
25	ГАВЧОН (ХААСТА)	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	-7,03	2	2						
			6/4	4/5	4/5	8/4	4/5	3/5	6/5	5/11	2/1	4/7	6/4	2/8	7/4	8/4	4/5	6/5	6/7	7/11	6/11	10/9	9/11	7/4	2/10	4/5	5/5	6/5	5/4	2/8	4/4	2/4	2/4	10/9												
			4/0	-1,41	-1,91	1,85	-2,74	-	2,63	-1,41	-1,86	1,41	-1,91	1,63	-1,70	-1,41	4,02	3,70	1,41	-1,41	1,91	-1,76	2,57	-1,56	-1,58	1,41	-1,41	-1,79	1,41	1,66	1,66	-1,41	1,41	-4,28	-1,41	1,91	-1,41	-4,00	1,41							
			КОНТРОЛЬНЫЕ																			ОБЪЕКТЫ																								
26	НАДН	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	+6,16	1	1					
27	ДАНТЧАН	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	+14,10	1	1					
28	ЧАЙКА-НЕРМ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	+2,57	1	1					
29	ДЕЛТАСКАЯ	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	+1,63	1	1					
30	ОЕД-ОРЕВНО	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	-1,26	2	1						
31	ЛЗА	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	-1,32	2	1						
32	РАСЧЕТ	2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	-7,44	2	2								
33	УПАЧКАН-2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	-8,66	2	2					
34	НОУОНЛА-П	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-10,23	2	2							
35	ЛАРНК	2	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	-14,20	2	2							
36	ТРАКТОРНЫЙ	2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	+0,84	1	2					
37	БУРЛАЧ	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	-17,63	2	2					
38	ДАРНА	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	-17,73	2	2						
			ПРОГНОЗНЫЕ																																											
			ОБЪЕКТЫ																																											
39	ЗЯВ (КРОВО)		0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-5,34	2	2							
40	ДЖУДАН		0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	+1,92	ОТКАЗ	1	1						
41	КАДАТЯН		0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	+1,06	ОТКАЗ	2	2					
42	ДЕВОНТЯ		0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	+7,86	1	1							
43	ВОЛОТН		0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1																												

особенности строения долины - коллектора россыпи, выступает в качестве руководящих, как можно полагать, лишь на более поздней стадии предварительной разведки.

В целом имеется достаточно хорошее соответствие выделенных формальным путем информативных признаков с основными представлениями о значении этих признаков по геологическим данным. Указанное соответствие позволяет рассчитывать на то, что выделение с помощью алгоритмов распознавания информативных совокупностей признаков может оказать существенную помощь в установлении поисково-оценочных критериев месторождений.

В табл.6 приведены результаты распознавания 13 контрольных эталонных объектов. При этом в случае алгоритма "Потенциал-2" классификация объектов была произведена как с использованием всей исходной совокупности признаков, так и выделенной с его помощью сокращенной совокупности признаков. В качестве такой совокупности была взята наиболее широкая совокупность [27], дающая минимальное число ошибок $\delta = 1$ /см.табл.на рис.2/; эта совокупность включает в себя 22 признака: 34, I, I3 ... 19,8. При распознавании контрольных объектов с использованием данной совокупности на 13 проэкзаменованных объектов было допущено лишь две ошибки. Это позволяет предполагать, что указанная совокупность содержит достаточную информацию для успешного разделения промышленных и непромышленных россыпей.

При использовании всей исходной совокупности в случае алгоритма "Потенциал-2" были неправильно распознаны те же два объекта /Луза, Тракторный/, в случае алгоритма "БР" также два объекта /Орел-Орленок, Тракторный/, в случае алгоритма "Перебор" один объект /Луза/; таким образом эффективность распознавания составила соответственно 84,6 и 92,3%.

Следует отметить, что при использовании алгоритма "БР" наблюдается определенная зависимость между масштабом месторождения и величиной $\sum \mathcal{I}_i$ /на что было указано, в частности, в работе [31]/. Эта зависимость может быть прослежена и на рис.3а. На рис.3б прослеживается аналогичная корреляция между величиной $\sum \mathcal{I}_i$ и средним содержанием металла в россыпи, что следует объяснить сходством условий, благоприятных как для накопления касситерита, так и для повышения его концентраций. Вследствие этого при прогнозной оценке объектов целесообразно учитывать также и саму величину $\sum \mathcal{I}_i$.

Положительные результаты распознавания контрольных объектов по всем трем алгоритмам позволили использовать методы распознавания для прогноза перспектив ряда недостаточно изученных объектов /табл.6/. В случае алгоритма "БР" для большей надежности оценок объектам с малым значением $\sum \mathcal{I}_i < 2$ приписывался "отказ" от классификации.

Из табл.6 видно, что большинство россыпей было отнесено ко второму классу непромышленных. Благоприятный прогноз с разной степенью надежности получен лишь для ограниченного числа объектов. Основываясь на положительной оценке в большинстве вариантов решения задачи распознавания, могут быть в первую очередь выделены следующие россыпи: Одинокий, Зимовье, Мокрый, Джоудакчан, Джоштогун. Менее надежно выделяются Баки, Чурпунья, Туора. Полученные результаты прогноза хорошо согласуются с предварительной оценкой россыпей по сумме геолого-геоморфологических данных. Поисково-разведочными работами, выполненными уже после получения приведенных в табл.6 данных, установлены значительные запасы олова в россыпях Зимовье, Джоштогун, Чурпунья; в результате разведочных работ, проведенных на коренном месторождении Одинокое, появилась возможность по-новому оценить условия питания одноименной россыпи и суммарный объем переведенного в нее металла, что существенно повысило промышленные перспективы этого объекта. Все это подтверждает возможность использования приведенных прогнозных оценок объектов № 39... 61 при дальнейшем планировании геологоразведочных работ.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ВЫДЕЛЕНИИ "ИНФОРМАТИВНЫХ" ПРИЗНАКОВ

Общей чертой всех алгоритмов распознавания, применяемых в геологоразведочной практике, является чисто формальное решение задачи — ЭВМ, реализующая тот или иной алгоритм, лишена каких-либо сведений о геологических закономерностях, накопленных геологической наукой. Эта особенность алгоритмов распознавания хорошо иллюстрируется тем, что все они могут быть применены также и в других областях науки и техники. Указанный недостаток алгоритмов компенсируется лишь счетными возможностями ЭВМ; благодаря огромной скорости выполнения логических и математических операций оказывается возможным учесть и использовать взаимосвязи между значениями многих признаков, что находится далеко за пределами мыслительных способностей человека. При этом разделение объектов разных классов производится по совокупности десятков признаков, что является важной отличительной особенностью методов распознавания образов.

Естественно возникает вопрос, компенсирует ли скорость вычислений и возможность учета связей между значениями многих признаков полную геологическую "неграмотность" ЭВМ, и можно ли доверить машине решение столь важного вопроса, как, например, оценка перспектив месторождения или некоторой территории. Ответ на этот вопрос может дать лишь практика решения задач с помощью методов распознавания, которая все снова и снова убеждает в том, что методы справляются с задачей, во многих случаях давая при классификации объектов порядка 80–100% правильных ответов.

Из всего сказанного следует, прежде всего, тот вывод, что "машинное" прогнозирование и традиционное геологическое, основанное на знании металлогении района, существа геологических процессов и т.д., базируются на совершенно различных принципах, а следовательно могут эффективно дополнять друг друга. Результаты машинного прогноза могут дать некоторую новую для геолога информацию, которая увязывается затем с существующими представлениями. В тех случаях, когда машинные оценки согласуются с геологическими, последние становятся более надежными. Расхождение оценок должно привлечь внимание геолога к данному объекту с тем, чтобы имеющиеся данные были проанализированы более внимательным образом. Таким образом, методы распознавания могут рассматриваться как некоторый новый способ исследования, позволяющий геологу извлечь дополнительную полезную информацию из имеющихся фактических данных /если последние дают возможность сформулировать задачу на распознавание/.

Необходимо сделать также и второй вывод — формальная, чисто математическая

обработка геологических материалов /таблицы значений признаков, отражающей лишь в весьма сжатом и огрубленном виде реальную геологическую картину/ должна иметь своим следствием некоторый "потолок" эффективности решения задачи, выражаемый предельным процентом правильных ответов при распознавании. Достижение такого потолка для ряда опробованных алгоритмов прослеживается на примерах решения многих задач [1, 8, 10, 22]. Можно предполагать, что дальнейшего прогресса в повышении эффективности эвристических алгоритмов распознавания можно ожидать лишь на пути создания алгоритмов иного типа, использующих при классификации объектов надежно установленные геологические закономерности и связи между признаками /автоматизированных систем обработки геологоразведочных данных/. Что касается существующих алгоритмов, то наиболее целесообразным следует считать применение при решении каждой задачи одновременно нескольких наиболее эффективно работающих алгоритмов, базирующихся на различных принципах классификации. Хотя при этом будет повышено число "отказов" /в случае разных результатов классификации для разных алгоритмов/, однако надежность распознавания остальных объектов таким путем может быть значительно повышена.

Одним из наиболее важных практических вопросов является способ оценки эффективности распознавания при решении той или иной задачи. Для получения такой оценки в принципе имеются лишь две возможности - либо использовать специально отобранные контрольные объекты, либо сами объекты обучения. Процедура использования объектов обучения /путем поочередного их исключения из обучающей выборки и экзамена/ реализована, в частности, в алгоритме "Потенциал-2" [27]; проверка способа на многих примерах показала, что получаемые результаты обычно близки результатам экзамена независимой контрольной выборки. Это дает основание рекомендовать применение способа также и в случае других алгоритмов, что даст значительный выигрыш при решении задач с малым числом эталонных объектов.

Контроль объектов независимой выборки является, тем не менее, основным и общепринятым способом оценки эффективности распознавания; в связи с этим /а также часто высказываемыми сомнениями в правомерности этого способа/ рассмотрим основные особенности оценки эффективности, имея в виду данный способ.

Оценка эффективности по проценту правильных ответов на эталонных объектах /контроля или обучения/ базируется на том предположении, что тот же процент сохранится и для объектов прогноза /постановка задачи является столь же строгой, что и в случае классификации с помощью методов многомерной математической статистики - в последнем случае вместо предположения об устойчивости процента правильных ответов выступают предположения о нормальности распределений и устойчивости их параметров/. Таким образом, данный способ оценки эффективности будет в той степени правомерен или неправомерен, в какой процент правильных ответов, полученный на эталонных объектах, будет справедлив для объектов прогноза.

Следует ожидать, очевидно, что результаты оценки будут тем лучшими, чем большим будет число объектов контроля. Однако увеличением числа этих объектов нельзя устранить влияние некоторых факторов, действие которых носит систематический характер. Особенно важно избежать влияния факторов, способствующих систематическому завышению процента правильных ответов на эталонных объектах, чего возможно достигнуть лишь при соблюдении определенных требований в процессе подготовки и обработки материалов.

I. Выбор системы признаков для решения задачи распознавания, а также их кодирование, должны производиться без учета значений признаков на объектах контроля. Выполнение этого требования лишает возможности использовать при решении задачи часть полезной информации; однако только в этом случае процент правильных ответов на эталонных объектах может рассматриваться в качестве объективной характеристики эффективности.

2. Специалисту, обрабатывающему материалы, принадлежность объектов контроля должна быть неизвестна /аналогично правилам контроля в аналитических лабораториях/.

3. Необходимо устранить влияние на таблицу значений признаков посторонних факторов, создающих ложный эффект разделения объектов. При решении задачи оценки масштаба месторождений или перспективности территории таким мешающим фактором может явиться степень изученности месторождения или территории, коррелирующаяся с перспективностью объекта. С возрастанием, например, масштаба месторождения растет, как правило, степень его изученности, а соответственно и число выявленных на объекте признаков /имеются ввиду качественные признаки, наличие которых обычно обозначается кодом "1"/. Для устранения такого влияния необходимо, прежде всего, использовать лишь такие признаки, которые могут быть в принципе выявлены на всех взятых объектах, в том числе на объектах наименьшей стадии изученности. Однако это условие еще не является достаточным – важно чтобы и вероятность выявления данного признака на объектах разной степени изученности была не слишком различной /например некоторые разности пород и структуры, выявляемые на всех этапах, могут быть легко пропущены при разбуривании месторождения единичными скважинами, в то время как при большом числе скважин и подземных горных выработок они будут обнаружены с гораздо большей вероятностью/. Эффективным средством устранения влияния фактора изученности является решение задачи распознавания по количественным геофизическим и геохимическим данным, на которые изученность объектов часто не оказывает значительного влияния.

При выполнении перечисленных требований имеются достаточные гарантии того, что полученный на эталонных объектах процент правильных ответов будет справедлив также и для объектов прогноза.

Помимо разделения объектов по классам существует и другой аспект применения методов распознавания – использование их для выделения "информативных" признаков, то есть признаков, позволяющих наиболее успешно произвести указанное разделение. Перспектива выявления таких признаков вызывает особый интерес геологов, поскольку успешное решение задачи открыло бы дорогу к установлению с помощью ЭВМ поисковых и оценочных критериев, созданию новых геологических представлений, основанных на результатах обработки обширного материала. Вопросы, связанные с выделением информативных признаков активно обсуждаются в литературе, в частности полезный обзор состояния проблемы приводится в работах [11, 35]. Следует, однако, отметить, что многие стороны этой проблемы, имеющие принципиальное значение, не получили пока достаточного освещения, в связи с чем существуют весьма противоречивые мнения о том, какой реальный смысл имеют полученные в результате обработки на ЭВМ значения информативности и какое практическое применение они могут иметь при проведении геологических исследований. Такое положение объясняется, прежде всего, тем, что проблема исследования информативности признаков наталкивается на значительные трудности.

Рассмотрим вначале вопрос о количественной мере, с помощью которой возможно измерять информативность признаков. Обычно в качестве такой меры при использовании разных алгоритмов принимаются разные, не связанные друг с другом, условные величины /число вхождений признака в "тупиковые тесты" [9], выделенные "тройки" значений [2] и т.д./, относительно которых априори предполагается, что они достаточно хорошо характеризуют "полезность" данного признака. Наиболее надежная оценка может быть получена однако лишь в результате прямого эксперимента – определения числа ошибок распознавания в случае использования данного признака и в случае исключения его из взятой для распознавания совокупности. Важно отметить, что получаемое при этом изменение числа ошибок может быть принято в качестве универсаль-

ной меры информативности признака, пригодной при использовании различных алгоритмов и решении разных задач. Реализация такого подхода затрудняется для ряда алгоритмов лишь недостаточным быстродействием имеющихся в настоящее время ЭВМ. Таким образом, проблема установления количественной меры информативности представляется, по крайней мере в перспективе, вполне разрешимой. Однако другие возникающие трудности носят более принципиальный характер.

Первая из этих трудностей состоит в том, что при любом определении понятия информативности количественная ее оценка неразрывно связана с взятым алгоритмом. Можно утверждать, что не существует абстрактной оценки информативности, оторванной от конкретного алгоритма. Проводя некоторую аналогию полезно заметить, что свой алгоритм разделения объектов на классы /например при выделении перспективных и неперспективных площадей/ существует в сознании каждого геолога. В зависимости от приобретенного опыта, понимания существа геологических процессов, особенностей "технологии" мышления один и тот же исходный материал разными специалистами будет "обработан" по различным схемам, причем в каждом случае относительная ценность признаков может быть различной - в соответствии с использованным алгоритмом. Таким образом, не имеется объективного критерия правильности оценки информативности признака, оценка будет правильной с точки зрения использования одного алгоритма и неправильной - при использовании другого.

Вторая трудность заключается в том, что информативность каждого отдельного признака зависит от совокупности признаков, используемых при решении задачи. С этим очевидным фактом постоянно приходится сталкиваться и геологу при оценке объектов традиционными способами. Так, совокупные сведения о составе и возрасте пород в некоторых случаях могут дать полное представление о перспективности участка, в то время, как при использовании признаков по отдельности сделать определенные выводы окажется невозможным. Зависимость информативности каждого из признаков от взятой совокупности можно проиллюстрировать треугольной таблицей на рис. I, где приведены результаты обработки материалов с помощью алгоритма распознавания "Потенциал-2" при разделении верхних и нижних горизонтов месторождения по геохимическим данным. В каждой строке таблицы записано некоторое усредненное число ошибок распознавания δ , полученное при исключении показанного рядом со строкой признака из разных совокупностей. В крайнем слева столбце значение δ характеризует ошибку при исключении его из совокупности тринадцати исходных признаков, во втором слева - из совокупности с заранее отброшенным содержанием P_6 , в третьем - из совокупности, в которой отсутствуют содержания P_6 и M_1 и т.д. /чем больше δ , тем относительно более информативным должен считаться признак/. Изменение значений δ по строке наглядно иллюстрирует изменение информативности соответствующего признака при вхождении его в постепенно сокращающиеся совокупности.

Таким образом, полученная при обработке материалов на ЭВМ методами распознавания образов информативность отдельных признаков неразрывно связана как с взятым конкретным алгоритмом, так и взятой совокупностью признаков. В связи с этим, использование полученных значений информативности в практике геологических исследований, как меры полезности данного признака вообще, оказывается достаточно затруднительным. Такая возможность появляется лишь в том случае, когда отдельные признаки оказываются в числе информативных при использовании различных алгоритмов и различных исходных совокупностей признаков.

Несомненный практический интерес представляет несколько иная постановка задачи - выделение сокращенной "наиболее информативной" совокупности признаков, позволяющей произвести разделение объектов на классы с наименьшим числом ошибок. К сожалению, в полной мере решить задачу обычно не удастся из-за числа технических затруднений: требуемый перебор всех возможных комбинаций признаков с проверкой эффективности распознавания при каждой из них занимает столь значительное

время, что не может быть реализовано на современных ЭВМ. В связи с этим на практике приходится решать задачу в более ограниченной постановке - находить одну из нескольких возможных совокупностей, при которых распознавание объектов производится с меньшим числом ошибок по сравнению с исходной совокупностью /или по крайней мере с тем же числом ошибок - в последнем случае решается задача лишь минимизации количества признаков/.

Следует отметить, что также и при такой постановке могут быть получены практически интересные результаты. Выделение указанной совокупности позволяет уменьшить затраты на подготовку исходных данных, а в ряде случаев повысить эффективность распознавания; геологический анализ выделенной "информативной" совокупности /как правило, значительно сокращенной по сравнению с исходной/ может дать новую для геологов информацию. При достаточной эффективности распознавания эта совокупность, несмотря на влияние специфики алгоритма, а также возможного попадания в нее отдельных случайных признаков, должна в определенной степени отражать закономерности, которые обусловили разделение объектов на классы. Задача заключается в том, чтобы разобраться в причинах появления данной совокупности и, по возможности, использовать ее анализ при установлении поисковых или оценочных критериев.

В связи со сказанным рассмотрим приведенные на рис. I результаты выделения информативной совокупности с помощью алгоритма "Потенциал-2" при разделении анализов проб с верхних и нижних горизонтов месторождения. Для решения задачи использовались данные о содержании ряда элементов в $n_1 = 45$ пробах с верхнего горизонта и $n_2 = 23$ пробах с нижнего горизонта. Значения числа ошибок δ , приведенные в клетках таблицы, получены в результате поочередного исключения из обучающей выборки каждой из 68 проб и экзамена ее с помощью оставшихся в ней объектов [27]. В прямоугольной рамке /верхняя часть таблицы/ показано значение $\delta = 5,7$, полученное при использовании всех тринадцати элементов.

	5,7									
Pb	4,0									
Mn	6,3	2,7								
V	6,7	3,7	1,7							
Mo	6,3	3,0	3,0	1,0						
Zn	5,7	4,3	3,0	2,3	1,0					
Ag	5,3	5,0	3,0	2,3	1,0	1,0				
Be	7,0	4,3	4,0	1,7	1,0	1,0	1,0			
Sn	7,3	4,0	3,3	2,3	3,0	3,0	1,3	1,0		
*Zr	6,7	4,0	4,3	4,3	4,0	3,0	2,0	2,0	1,7	
*Ba	8,0	4,3	5,0	3,0	2,7	2,3	2,7	4,0	4,3	3,0
*As	8,7	5,0	4,3	4,0	2,3	2,3	3,3	5,3	5,0	10,0
*Y	7,3	6,3	4,0	4,0	5,0	6,0	4,3	6,0	8,7	9,0
*Yb	8,7	5,7	7,7	7,3	6,3	5,7	4,0	4,3	5,0	10,7

$n_1 = 45$

$n_2 = 23$

Рис. I. Результаты выделения информативной совокупности признаков при разделении нижних и верхних горизонтов м-ний при использовании алгоритма "Потенциал-2".

Диагональные значения δ позволяют проследить изменение ошибки при постепенном сокращении совокупности признаков за счет отбрасывания /двигаясь сверху вниз/ проставленных возле каждой из строк элементов. Как можно видеть из таблицы, исключение первых четырех признаков позволяет уменьшить ошибку с $\delta = 5,7$ до $\delta = 1,0$. Дальнейшее отбрасывание признаков вначале не изменяет δ , а затем приводит вновь к ее возрастанию. Совокупность Yb, Y, As, Ba, Zr, отбрасывание которых ведет к увеличению ошибки распознавания δ , может рассматриваться в качестве "информативной" совокупности. Входящие в

Значения признаков месторождений ртути

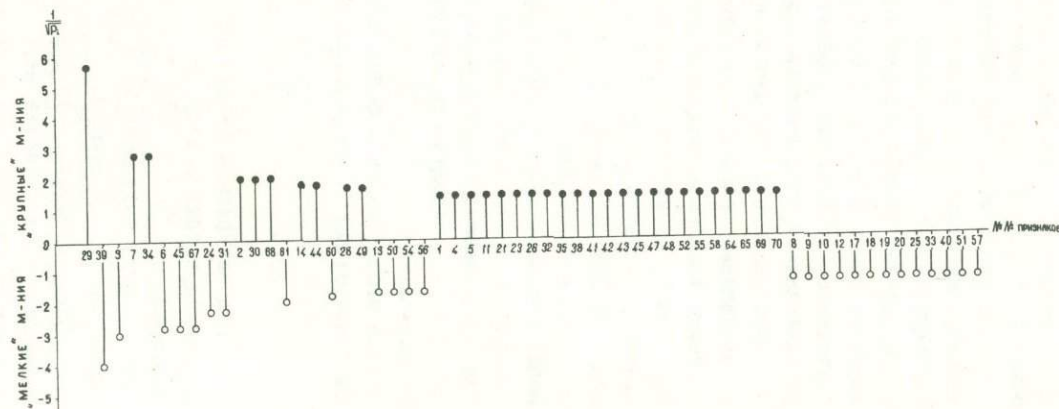
[illegible]

Рис. 2. Исследование информативности отдельных признаков с помощью алгоритма "БР".

нее As , Ba , Zr и ранее оценивались геологами как полезные индикаторы уровня среза на данных месторождениях; выделение Yb , Y заставляет обратить внимание на роль этих элементов при образовании вертикальной геохимической зональности /хотя не исключена возможность появления этих элементов в совокупности вследствие случайных факторов/.

Вторым важным направлением при исследовании информативности признаков с помощью ЭВМ является выделение для каждого класса характерных сочетаний значений признаков. Поиск характерных сочетаний троек, двоек значений производится, например, алгоритмами распознавания "Кора - 3", "Перебор" [24]. Несомненно, что некоторые из выделенных таким путем сочетаний могут получить геологическое объяснение и дать новые полезные сведения.

Как уже отмечалось, применение алгоритмов распознавания и ЭВМ для исследования информативности отдельных признаков наталкивается на сложные проблемы. Возможно, однако, дать задаче более упрощенную формулировку - попытаться произвести исследование "индивидуальной" информативности каждого из признаков, без учета взаимосвязи этого признака с остальными. Несмотря на то, что при этом допускается значительное огрубление реальной картины и потеря части полезной информации [35], решение задачи представляет безусловный практический интерес.

При указанной постановке естественно, прежде всего, рассмотреть возможность использования Байесовского метода [32]. Возьмем наиболее простой случай, когда значения признаков даются в системе кодов "0", "1". Пусть имеются классы $A_1, A_2, \dots, A_q$ /например классы месторождений, отличающихся по запасам/, по каждому из которых имеются, соответственно, $L_1, L_2, \dots, L_q$ объектов обучения /отдельных месторождений/. Введем следующие обозначения:

$P(A_j)$ - априорная вероятность появления объектов класса A_j , которая устанавливается, исходя из опыта работ;

$P_j("1")$ - вероятность встречи данного признака на объектах класса A_j / $P_j("1") = \frac{v_j}{L_j}$ /;

где v_j - число объектов класса A_j , на которых встречен данный признак/;

$P("1")$ - вероятность встречи данного признака при наличии объектов всех классов / $P("1") = \frac{\sum_{j=1}^q v_j}{\sum_{j=1}^q L_j}$ /.

В соответствии с формулой Байеса, вероятность $P_{ji}("1")$ принадлежности объекта к классу A_j при наличии данного признака /кода "1"/ равна

$$P_{ji}("1") = \frac{P_j("1") \cdot P(A_j)}{P("1")} \quad /* /$$

Под алгоритмом разделения объектов на классы понимается следующий - объект относится к тому классу A_j^* , вероятность $P_{ji}("1")$ принадлежности к которому максимальна. Те или иные функции условной вероятности $P_{ji}("1")$ в наиболее простом случае могут быть приняты в качестве характеристики информативности при выделении объектов A_j -го класса.

Важно отметить, что для успешного применения метода /функций условных вероятностей в качестве меры информативности/ необходимо иметь большое число объектов каждого из классов; в противном случае погрешности определения вероятностей $P_{ji}("1")$ могут привести к недопустимому искажению получаемых результатов. Рассмотрим в качестве иллюстративного примера таблицу I, в которой приведены значения признаков в кодах "0", "1" для "крупных" и "мелких" месторождений ртути /взята из работы [8] с некоторым сокращением числа объектов/. Достаточно, чтобы признак 3 в табл. I вследствие случайных причин /выбор объектов и др./ встретился на объектах обучения I-го класса не один, а два раза, как оценка вероятности $P_{11}("1")$ изменится, в соответствии с формулой /*/, с $\frac{1}{5} / \frac{6}{10} P(A_1) = \frac{1}{3} P(A_1)$ на $\frac{2}{5} / \frac{7}{10} P(A_1) = \frac{4}{7} P(A_1)$, то-есть почти в два раза. С другой стороны, если вычислить по указанной формуле вероятность для признаков I /соотношение между числом кодов "1" в классах $\frac{v_1}{L_1} = \frac{1}{0}$ / и $29 / \frac{v_2}{L_2} = \frac{5}{0}$ / , то в обоих случаях будет

получено одно и то же значение $2P(A_i)$, хотя интуиция подсказывает нам, что признак 29 должен рассматриваться как более информативный. Указанные ситуации возникают как раз в связи с тем, что при ограниченном числе объектов частота встречаемости $\frac{\ell_{ij}}{L_j}, \sum_{j=1}^n \frac{\ell_{ij}}{L_j} / \sum_{j=1}^n L_j$ является весьма ненадежной характеристикой вероятностей $P_{A_j}^{(1)}, P_{A_j}^{(2)}$.

Байесовский метод при решении геологических задач может быть использован, по-видимому, лишь в отдельных случаях, когда окажется возможным набрать значительное число объектов обучения для каждого из классов. При малом числе объектов обучения возникает необходимость тем или иным способом учесть случайный характер появления признаков на объектах разных классов. Для случая разделения объектов на два класса по значениям признаков, закодированных в системе "0" - "1" /табл. I/в [27] предложен способ оценки информативности отдельных признаков, основанный на использовании биномиального распределения случайных величин. Способ основан на вычислении вероятности P_i того, что при данном числе ℓ_1^i встречаемости кода "1" в первом классе и ℓ_2^i во втором классе появление i -го признака в обоих классах является равновероятным. В [27] приведена также соответствующая таблица для получения P_i .

В качестве меры информативности признака удобно брать величину $\mathcal{I}_i = \frac{1}{\sqrt{P_i}}$, которой приписывается знак плюс, если признак чаще встречается в первом классе $\ell_1^i > \ell_2^i$ / и знак минус - в противоположном случае $\ell_1^i < \ell_2^i$ /. Чем больше по абсолютной величине $\mathcal{I}_i$, тем менее вероятным можно считать случайное преобладание кода "1" в одном из классов и тем более "информативным" может считаться признак.

В таблице I приводятся значения информативности $\mathcal{I}_i$ для разных признаков, полученные с помощью таблицы из работы [27]. Построенная по этим значениям кривая рис. 2 позволяет расположить признаки по убыванию информативности в следующем порядке: 29 /наличие структур экранирования/; 39 /наличие в качестве вмещающих пород алевролитов и аргиллитов/ и т.д. Как можно видеть из рисунка, среди наиболее информативных признаков имеются признаки, свидетельствующие как в пользу крупных месторождений / 29, 7, 34; значения $\mathcal{I}_i$ отложены от оси абсцисс вверх/, так и в пользу мелких месторождений / 39, 3, 6, 45, 67; значения $\mathcal{I}_i$ отложены от оси вниз/. При этом нетрудно оценить вероятность ошибки при зачислении того или иного признака в разряд информативных - эта вероятность может быть принята равной P_i . Так, например, вероятность того, что признак № 29 в действительности не обладает какой-либо информативностью / с одинаковой вероятностью может быть встречен на объектах любого класса/ равна 0,0312, вероятность "неинформативности" признака № 3 0,109 и т.д.

Оценка "индивидуальной" информативности каждого отдельного признака с помощью значений $\mathcal{I}_i$ и P_i может принести существенную помощь при систематизации накопленного материала, представляемого таблицами, аналогичными таблице I. При этом появляется возможность выразить "контрастность" различных признаков в едином масштабе измерения, в основе которого лежит учет случайного характера появления признаков в каждом из классов.

Сказанное выше позволяет сделать следующие выводы.

1. Основанные на использовании ЭВМ алгоритмы распознавания образов целесообразно применять: а/ для сокращения исходной совокупности признаков и выделения некоторой "информативной" совокупности, позволяющей осуществить распознавание объектов с тем же или меньшим числом ошибок; б/ для выделения характерных для каждого класса сочетаний значений признаков.

2/ В случае исследования информативности отдельных признаков при малом числе объектов обучения удобно использовать метод, основанный на применении биномиального распределения /алгоритм "БР"/.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ СЕТЕЙ РАЗВЕДКИ И ОПРОБОВАНИЯ МАРГАНЦЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ НИКОПОЛЬСКОГО)

1. Цель работы и метод исследования

При проведении разведочных и эксплуатационных работ на Никопольском месторождении марганцевых руд накоплен весьма обширный материал опробования. Представляется целесообразной обработка этого материала на ЭВМ с целью максимального использования содержащейся в нем информации для выбора оптимальных сетей разведки и опробования, а также для оценки погрешностей детальной разведки, промышленной разведки и эксплуатационного опробования. В результате может быть достигнуто повышение эффективности разведки и опробования на Никопольском месторождении, и особенно - детальной и промышленной разведки Больше-Токмакского месторождения, которая предстоит в недалеком будущем.

Ниже излагаются результаты проведения указанной работы на материалах по Западной и Восточной рудоносным площадям Никопольского месторождения. Была произведена обработка данных детальной разведки Западной площади а также Грушевско-Басанского участка /предоставлены Белозерской КГРЭ/. По Западной рудоносной площади проанализированы некоторые материалы эксплуатационного опробования Богдановского участка /рис.1/. Все указанные участки являются в достаточной мере характерными представителями рудоносных площадей бассейна - преимущественно районов развития окисных и смешанных руд.

На ЭВМ М-222 были обработаны данные по 9 площадям указанных участков, которые в целом характеризуются пластообразными горизонтально залегающими рудными телами относительно небольшой мощности /чаще всего 1,4 - 2,2 м/. При этом был использован далеко не весь имеющийся на месторождении материал разведки и опробования. Однако, нет оснований считать, что оставшиеся данные по окисным и смешанным рудам существенно отличаются от обработанных. Конечно, вовлечение в обработку оставшихся и вновь накапливающихся /при эксплуатации/ материалов является весьма желательным, поскольку оно позволило бы произвести более детальную увязку получаемых результатов с конкретными геологическими ситуациями.

Вследствие небольшой глубины залегания и благоприятных экономико-географических факторов Никопольское месторождение, наряду с Чиатурским, является в настоящее время основной марганцеворудной базой черной металлургии СССР. В связи с этим внедрение способов экономичной и надежной промышленной разведки, а также эффективных эксплуатационной разведки и опробования этих месторождений представ-

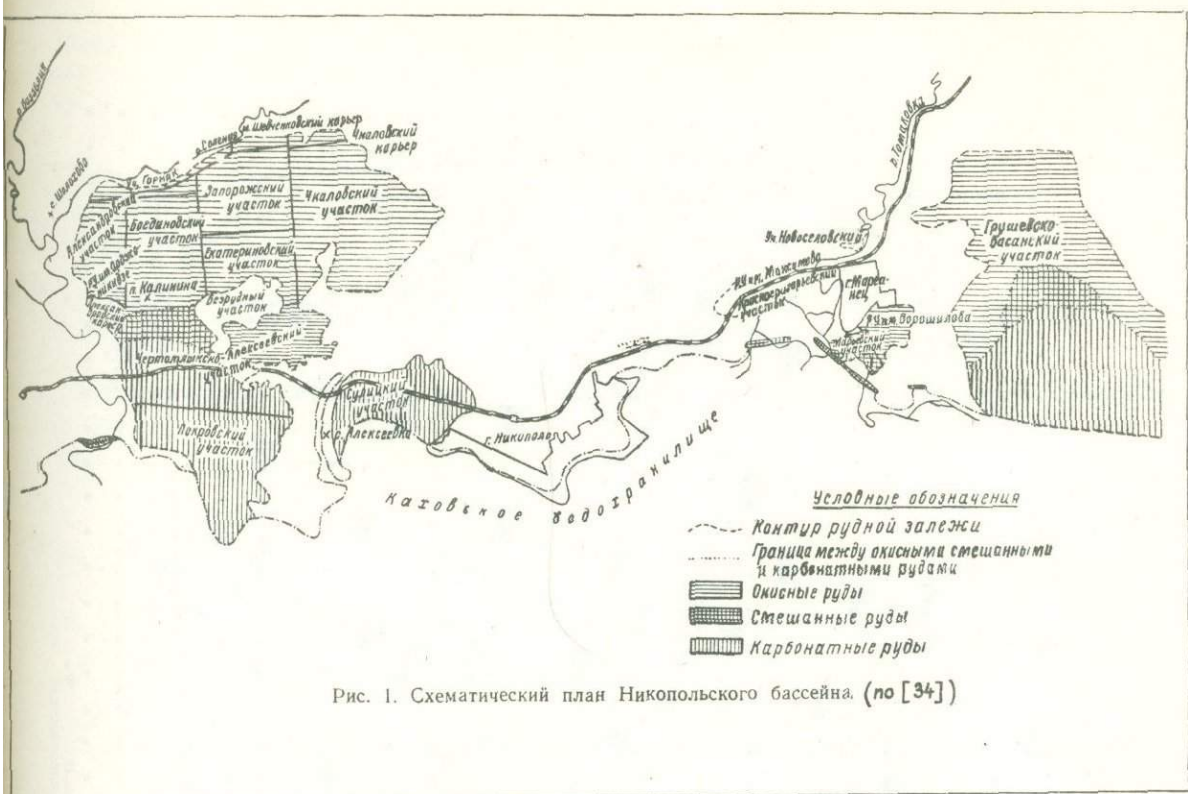


Рис. 1. Схематический план Никопольского бассейна. (по [34])

ляет собой актуальную задачу. Более того, в близкой перспективе предстоит детальная разведка Больше-Токмакского месторождения марганцевых /преимущественно карбонатных/ руд, которая должна всемерно использовать опыт разведки и эксплуатации Никопольского месторождения, относящегося к тому же бассейну рудоотложения.

Обработка материалов разведки и опробования Никопольского месторождения выполнялась на ЭВМ М-222 при помощи алгоритма моделирования сетей на специально подготовленных так называемых схематизированных планах /рис. 2, 8/. Эти планы составлялись следующим образом. Вначале копировалось расположение всех имеющихся на исследуемой площади разведочных скважин /пунктов опробования/ с указанием возле каждой мощности рудного тела и содержания марганца в целом по пласту. Затем эти пункты дополнялись некоторым количеством "фиктивных" точек, не несущих разведочной информации, таким образом, чтобы в результате образовалась правильная прямоугольная сеть, имеющая прямоугольный контур. При этом допускался несущественный сдвиг точек опробования в узлы правильной сети - схематизация.

В основе метода моделирования, разработанного и описанного И.Д.Савинским [29], лежит исследование среднеквадратичного разброса запасов Q , среднезвешенного содержания $\bar{C}$, средней мощности $\bar{m}$, общей площади рудного контура S при изменении положения на плане той или иной сети, разреженной по сравнению с сетью схематизированного плана. Анализировались сети с разрежением в $K_1 = 1, 2, \dots, 5$ раз в широтном направлении и в $K_2 = 1, 2, \dots, 5$ раз в меридиональном - всего 25 вариантов сетей с различными параметрами ячейки, определяемыми соотношениями K_1 и K_2 . Произведение $K_1 \cdot K_2$ характеризует степень разрежения взятой сети по сравнению с исходной сетью, причем отдельно показаны /рис. 3 - 7 и 9-11/ графики для случая $K_1 > K_2$ /точечная линия/, $K_1 < K_2$ /пунктирная линия/ и $K_1 = K_2$ /штрих-пунктирная линия/. Одновременно по оси абсцисс отложена соответствующая данному разрежению площадь ячейки сети S_K , приходящаяся на одну реальную скважину /пункт опробования/.

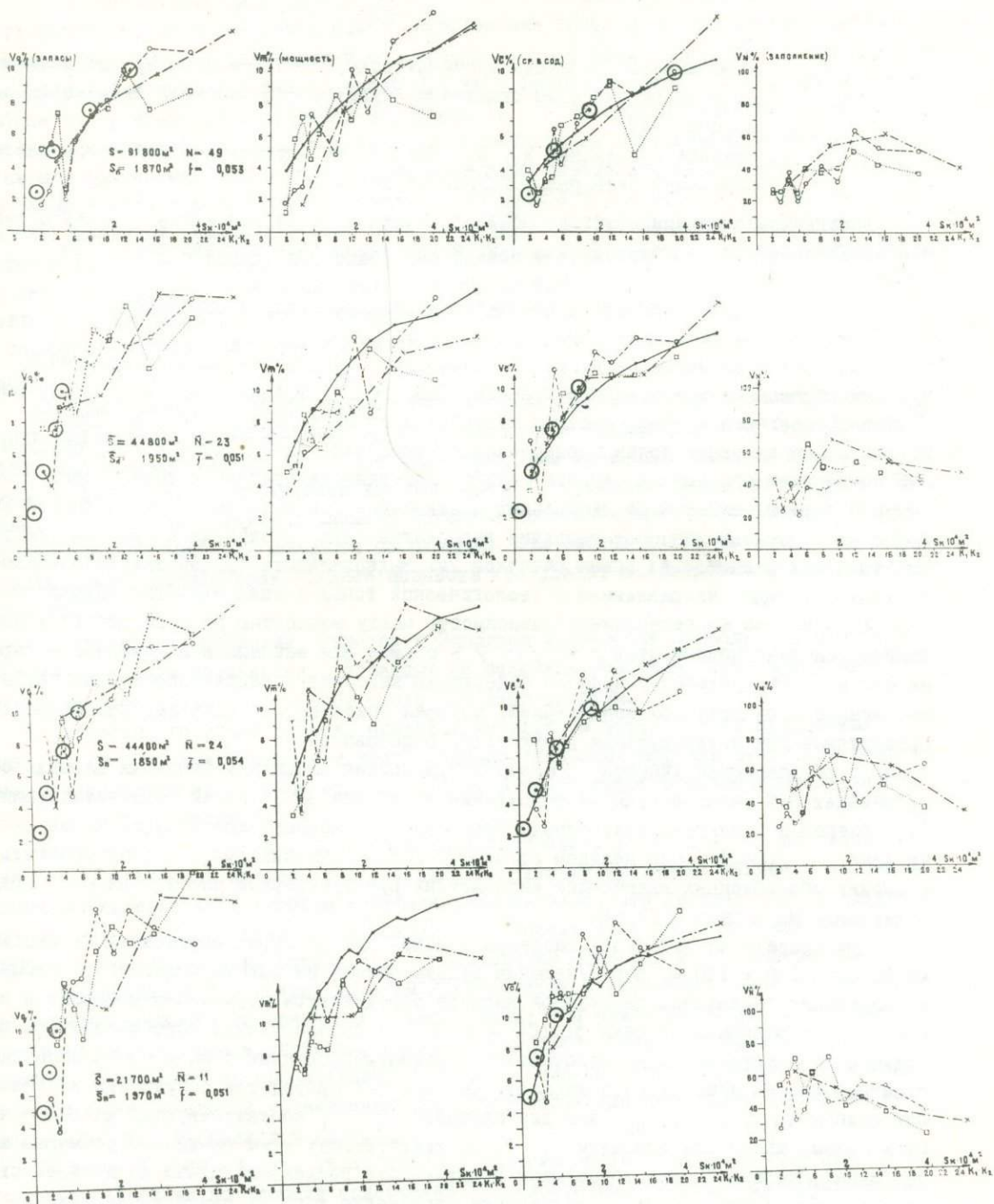


Рис. 3. Графики моделирования для Богдановского участка (площадь № I)

Для сравнения приводятся также расчетные графики ошибок определения среднего содержания и средней мощности /сплошные линии/, полученные с помощью формул

$$V'_C = \frac{V_C}{\sqrt{\bar{n}}}, \quad V'_m = \frac{V_m}{\sqrt{\bar{n}}}, \quad \text{где}$$

V_C, V_m - коэффициенты вариации значений содержания и мощности, вычисленные по всем разведочным скважинам /пунктам опробования/ схематизированного плана;

$\bar{n}$ - среднее при данных K_1, K_2 число точек опробования для совокупности положений сети разведки /опробования/.

Дальнейшие сведения о методе моделирования здесь не приведены в связи с тем, что читатель имеет возможность найти их в указанном выше руководстве [29].

П. Результаты обработки данных разведки и опробования

Месторождение марганцевых руд Никопольского района относится к осадочным морским образованиям третичного периода [13, 33]^ж. Толщина надрудной толщи пород /глубина залегания рудного пласта/ колеблется от нескольких метров до 120 м. Рудный пласт залегает почти горизонтально, имея небольшой наклон к югу, обусловленный понижением абсолютных отметок рельефа поверхности кристаллических пород. Мощность пласта изменяется от нескольких сантиметров /естественное выклинивание/ до 6,5 м на отдельных участках развития карбонатных руд, составляя в среднем для разрабатываемых в настоящее время участков 2м. Выдержанность оруденения по взаимно перпендикулярным направлениям с геологической точки зрения примерно одинакова.

Установлена корреляционная зависимость между мощностью рудного пласта и содержанием основных компонентов / Mn, P / - прямая для окисных и обратная для карбонатных руд. Распределение проб по содержанию марганца обладает достаточно четко выраженной отрицательной асимметрией, которая учитывается геологами горнорудных предприятий при интерпретации результатов опробования.

1. Богдановский участок /Западная рудоносная площадь/. Западная площадь сосредоточивает 61% запасов руды месторождения и разбита на 16 полей, соответствующих 11 карьерам и 5 шахтам. Поле отвода Богдановского карьера является одним из крупных /рис. 1/. Оно целиком относится к зоне окисных руд, если не говорить о мелких обособленных включениях карбонатных руд в северной части [34]. Среднее содержание Mn в руде - 27,3%.

При проведении детальной разведки участок был разбурен вертикальными скважинами по сети 150 x 150 м, пересекающими рудную залежь на полную мощность. В процессе эксплуатации геологической службой карьера определяются нормальная мощность и содержание Mn в основном по сети 30x(30 - 45)м. На основе данных опробования при разведке и эксплуатации были подготовлены 6 схематизированных планов по нескольким типичным частям действующего карьера. На рис. 3-7 приводятся результаты исследования ошибок V_q, V_C, V_m как для площадей S , соответствующих каждому участку в целом, так и для площадей $\bar{S}$, соответствующих трем различным размерам и форме "окна" /первые 2 окна образуются в результате деления плана по длинной стороне на половины; следующие 2 - в результате деления того же плана вдоль длинной стороны на полосы; заключительные 4 - в результате деления ранее образованных окон пополам/. При уменьшении площади и, соответственно, общего числа пунктов опробования, среднеквадратичная ошибка определения каждого из показателей постепенно возрастает - графики V_q, V_C, V_m все более приподнимаются над осью абсцисс. При разрежении же сети /увеличении площади ячейки S_k / на участке фиксированного размера про-

^ж) При геологической характеристике месторождения помимо указанной литературы были использованы любезно проведенные М.С.Мороховской многочисленные устные консультации.

исходит закономерное возрастание ошибок V_d , $V_{\bar{C}}$, $V_{\bar{m}}$, позволяющее использовать эти графики для нахождения сети, обеспечивающей заданную ошибку определения перечисленных показателей.

Можно рассмотреть в качестве примера задачу нахождения сети, обеспечивающей относительную среднеквадратичную ошибку определения запасов 5% при разведке участка, аналогичного по условиям залегания и морфологии рудного тела первой из частей Богдановского карьера и имеющего размер около $0,1 \text{ км}^2$. Выбрав на рис.3 в первом ряду сверху графики V_d , необходимо провести на уровне $V_d = 5\%$ горизонтальную прямую до пересечения с некоторой условной усредняющей кривой /точка пересечения отмечена большим кружком/. Полученная точка пересечения позволяет определить на оси абсцисс необходимую площадь ячейки сети, которая оказывается равной $S_k = 0,6 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ /то-есть на участке указанной величины должно быть $\frac{0,1 \cdot 10^6}{0,6 \cdot 10^4} \approx 17$ пунктов опробования/. Из графиков рис. 3 - 7 видно, что ошибка определения мощности $V_{\bar{m}}$ близка погрешности определения запасов. Поведение этих графиков нередко совпадает в деталях. Однако, в отличие от пластообразных месторождений железных руд КМА [29, 30], такой же порядок величины колеблемости имеет и погрешность определения средневзвешенного содержания $V_{\bar{C}}$.

Для всех площадей Богдановского участка характерно хорошее соответствие полученных при моделировании кривых $V_{\bar{m}}$ и $V_{\bar{C}}$ расчетным графикам ошибки определения мощности $V'_{\bar{m}}$ и содержания $V'_{\bar{C}}$ /показаны сплошными линиями/. Однако, кривые ошибки мощности для окон, в особенности для площади № I, проходят несколько ниже расчетных кривых $V'_{\bar{m}}$, что следует объяснить наличием "закономерной" составляющей /тренда/ в распределении значений мощности по площади. Эта составляющая не влияет на действительную ошибку определения средней мощности /результат моделирования/, но завышает расчетное $V'_{\bar{m}}$.

2. Грушевско-Басанский участок и Западная рудоносная площадь. В пределах Восточной площади выделяется 6 неравных по величине участков, причем Грушевско-Басанский сосредоточивает в себе около 60% запасов руды.

Рудоносный горизонт участка представлен пластом мощностью от нескольких сантиметров до 5 м, приуроченным к толще песчано-глинистых морских отложений олигоцен и залегающим на глубине от 2 до 110 м. В центральной и южной частях участка мощность пласта увеличена.

Результаты обработки данных опробования скважин, расположенных по сети $150 \times 150 \text{ м}$, приведены на рис. 9-II, а один из схематизированных планов - на рис.8. Залежь характеризуется высоким коэффициентом рудоносности /количество "безрудных" скважин невелико/, в связи с чем ошибки V_S определения общей площади рудного контура значительно ниже ошибок $V_{\bar{m}}$ определения мощности и $V_{\bar{C}}$ содержания.

Для площади № 7 в целом / $10,1 \text{ км}^2$ / отмечается существенно более низкий уровень ошибок мощности по сравнению с расчетными; это свидетельствует о наличии соответствующего тренда, который, однако, проявляется лишь в масштабе всего участка, а для окон не прослеживается /рис.9/. Что касается площадей № 8 и № 9, то здесь тренд мощности устанавливается практически для окон любых размеров - кроме 9 км^2 для площади № 9 /рис.11/.

Еще более ярко явления геологической выдержанности обнаруживаются при анализе распределения по площади содержаний M_n /достаточно обратиться практически к любому графику $V_{\bar{C}}$ /.

Полученные кривые моделирования /рис. 3 - 7 и 9-II / свидетельствуют о сравнительно низком уровне ошибок подсчета запасов - например, по отношению к соответствующим данным для железных руд КМА [30]. Закономерное возрастание ошибок с уменьшением плотности сети и размера объекта указывает на принципиальную возможность построения номограмм для расчета разведочных сетей по Никопольскому месторождению на основе той же системы обработки данных, что и в случае месторождений КМА [29].

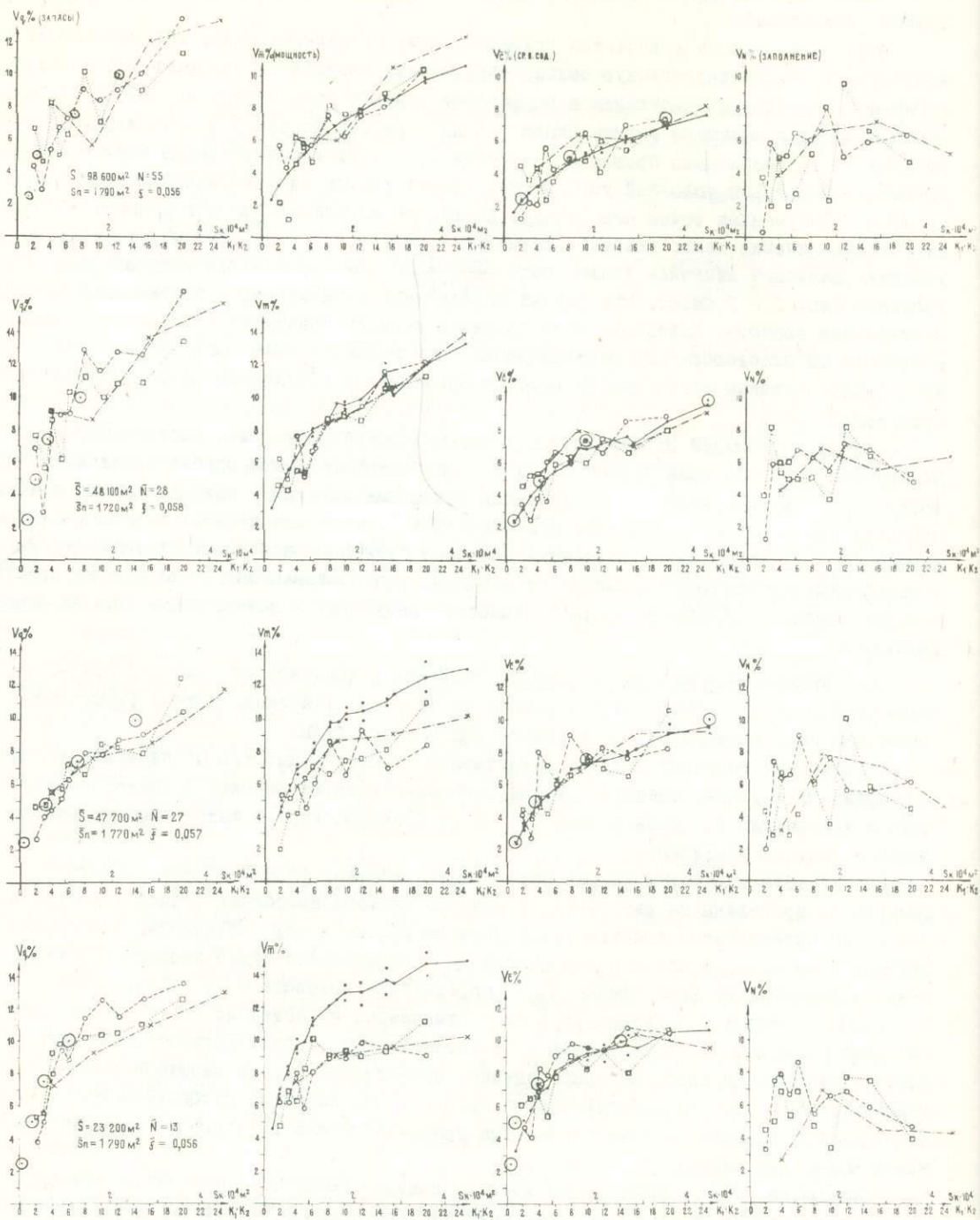


Рис. 4. Графики моделирования для Богдановского участка (площадь № 2)

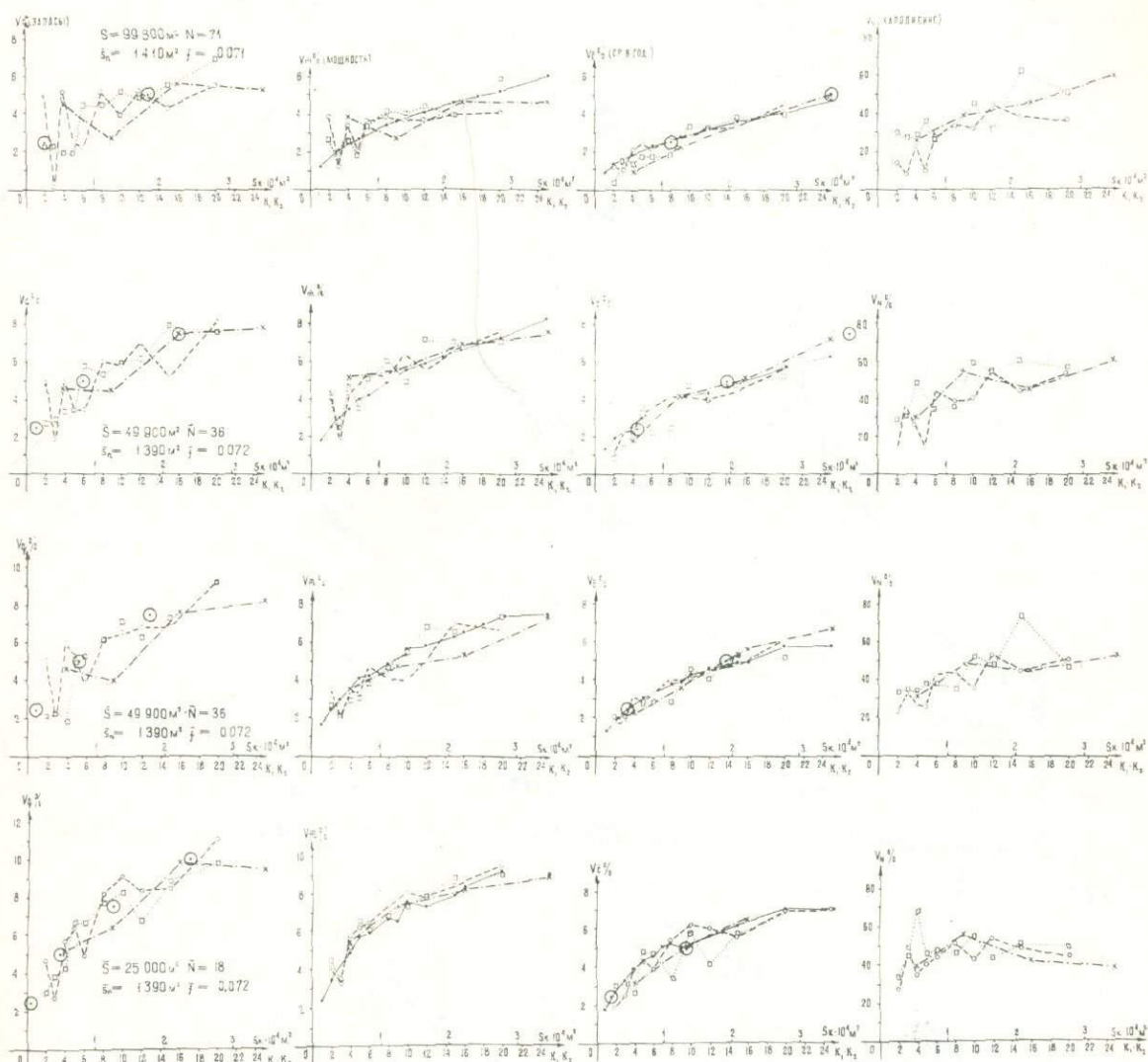


Рис. 5. Графики моделирования для Богдановского участка (площадь № 4)

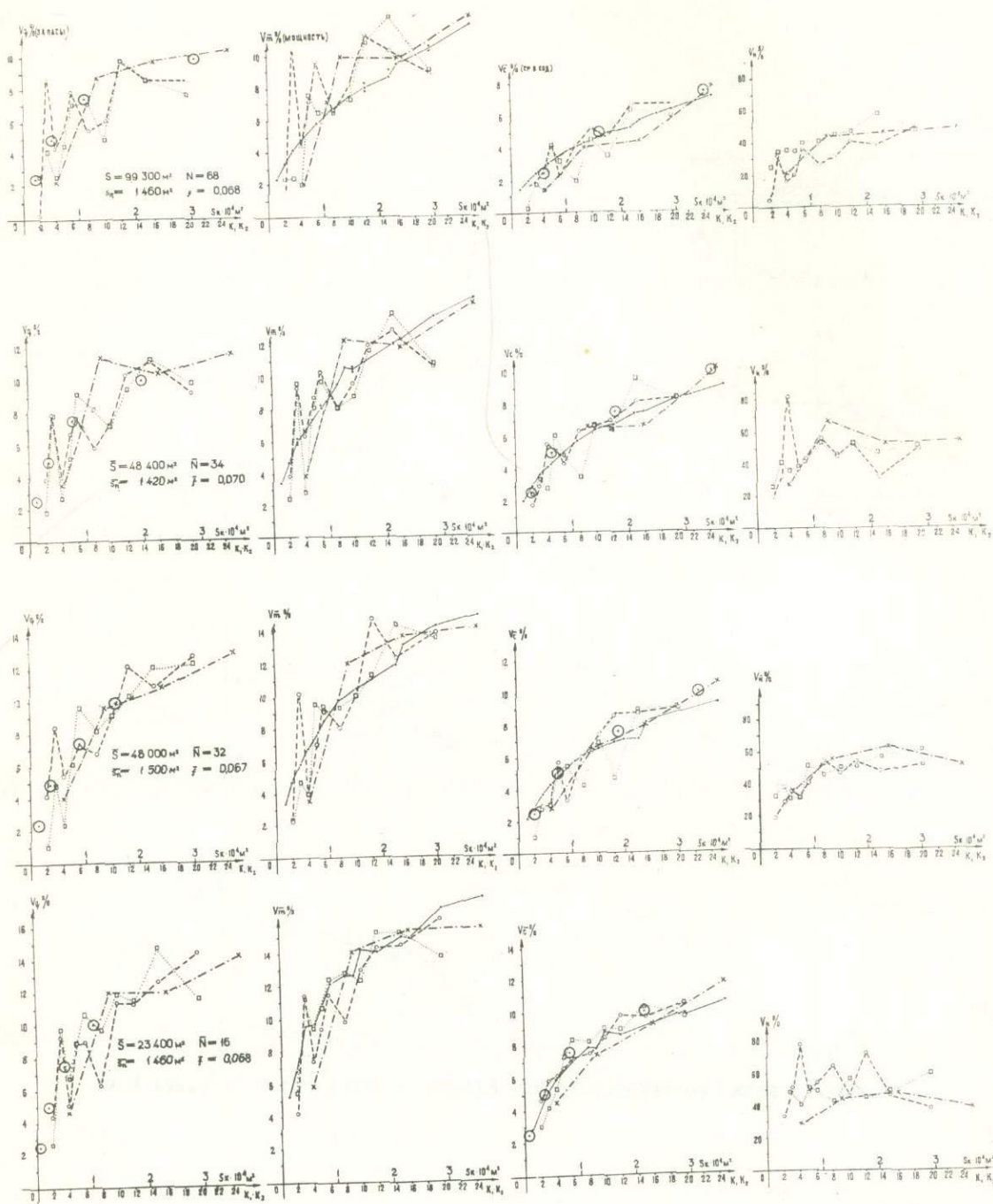


Рис. 6. Графики моделирования для Богдановского участка (площадь № 5)

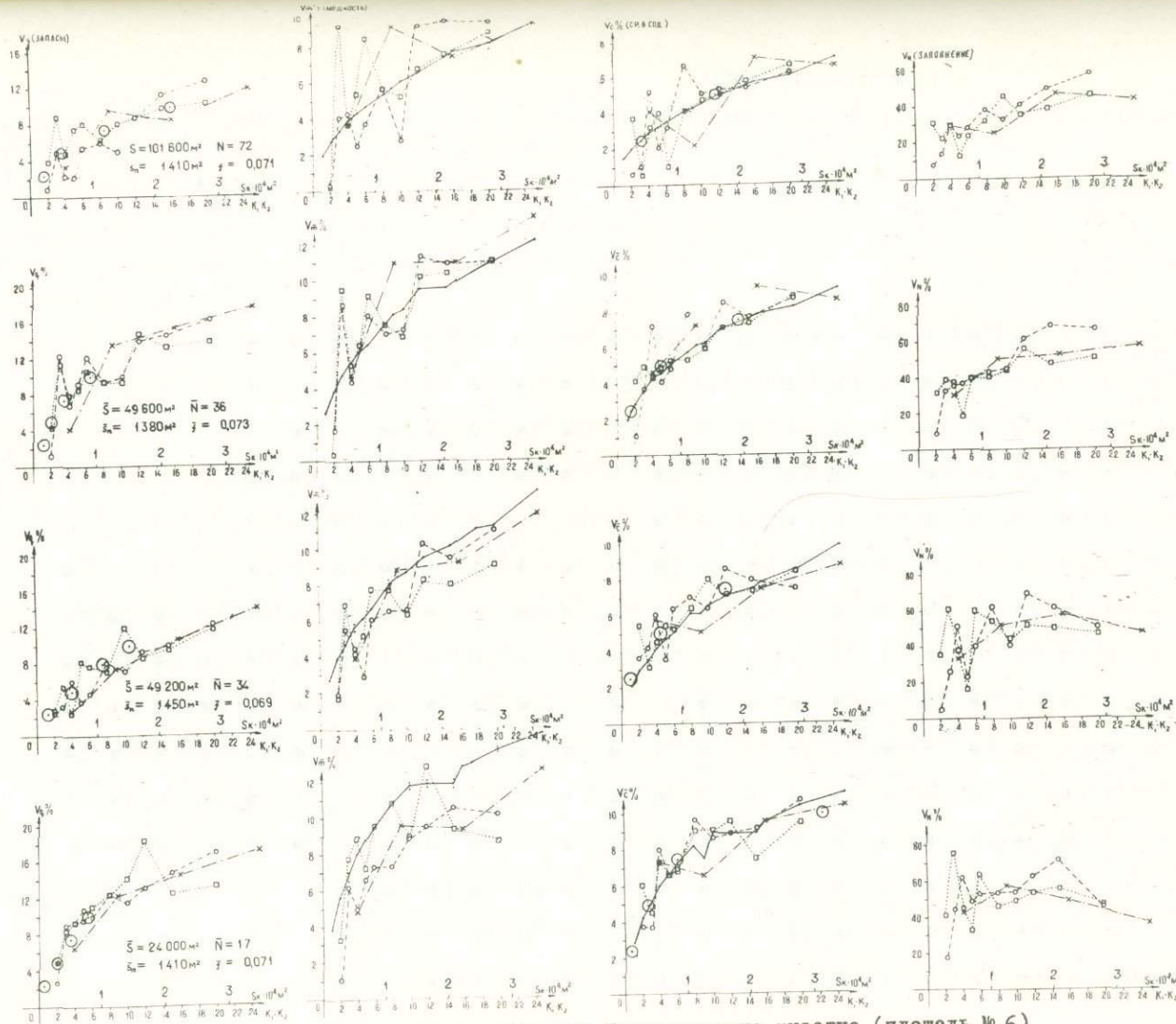
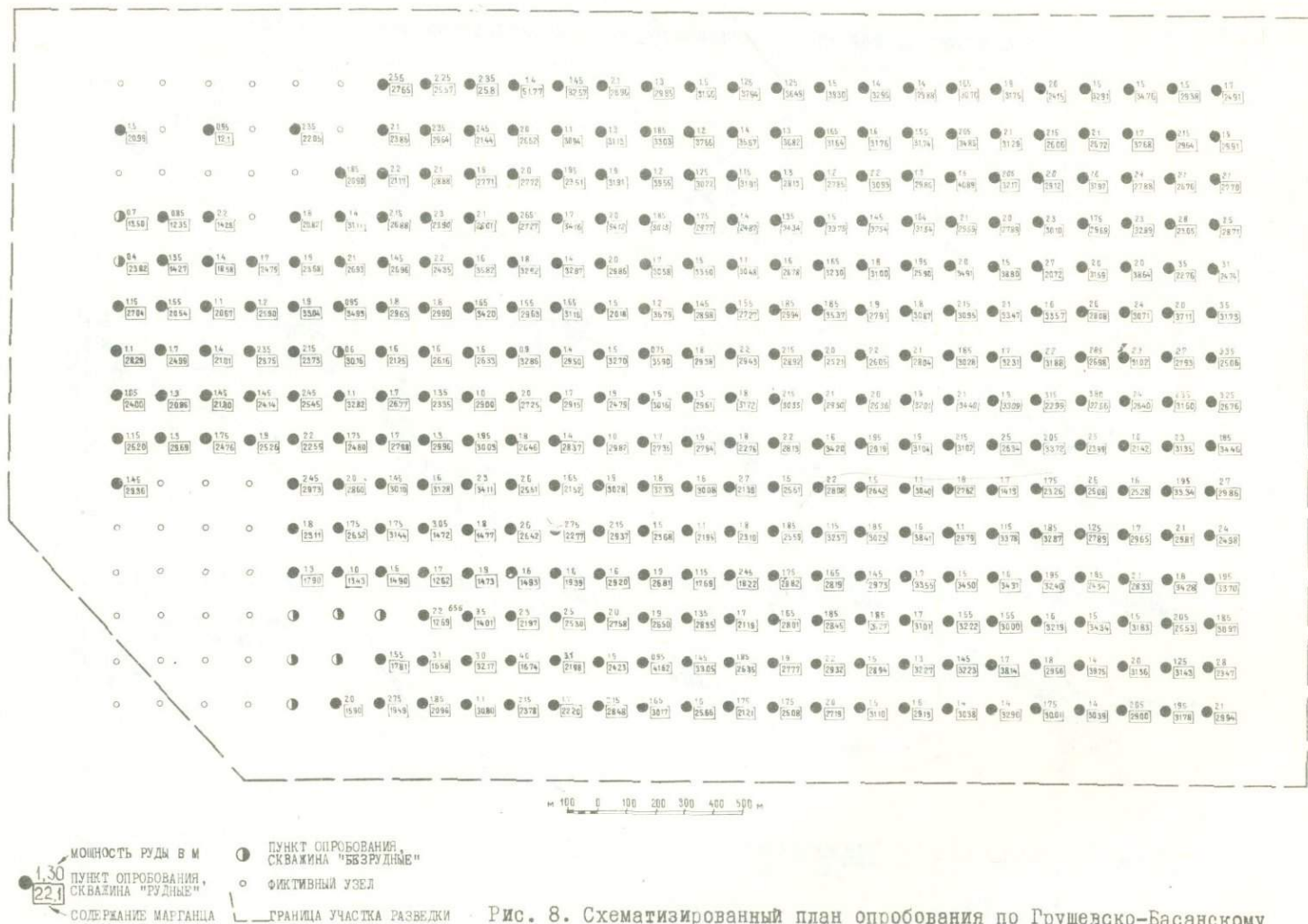


Рис. 7. Графики моделирования для Богдановского участка (площадь № 6)



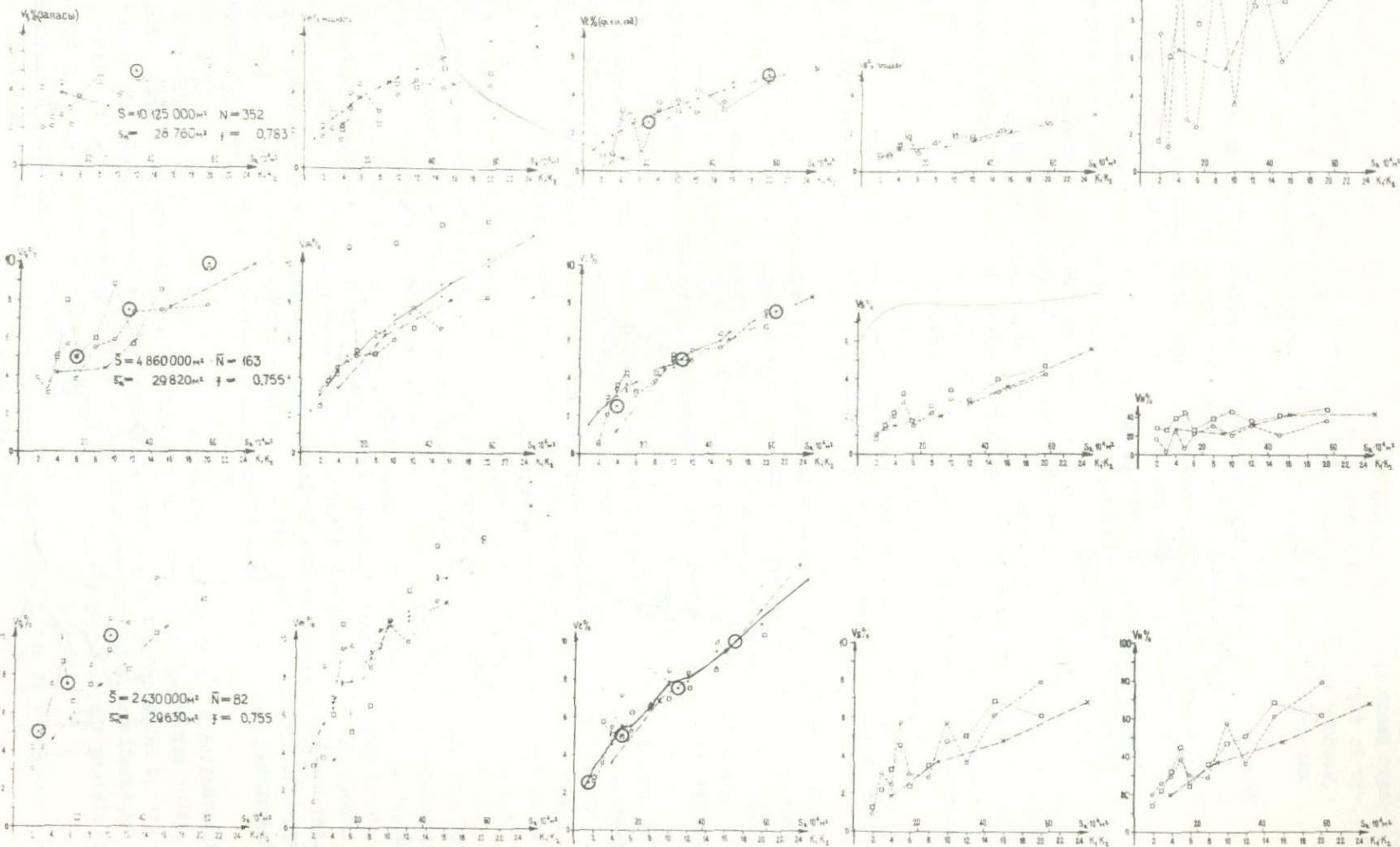


Рис. 9. Графики моделирования для Грушевско-Басанского участка (площадь № 7)

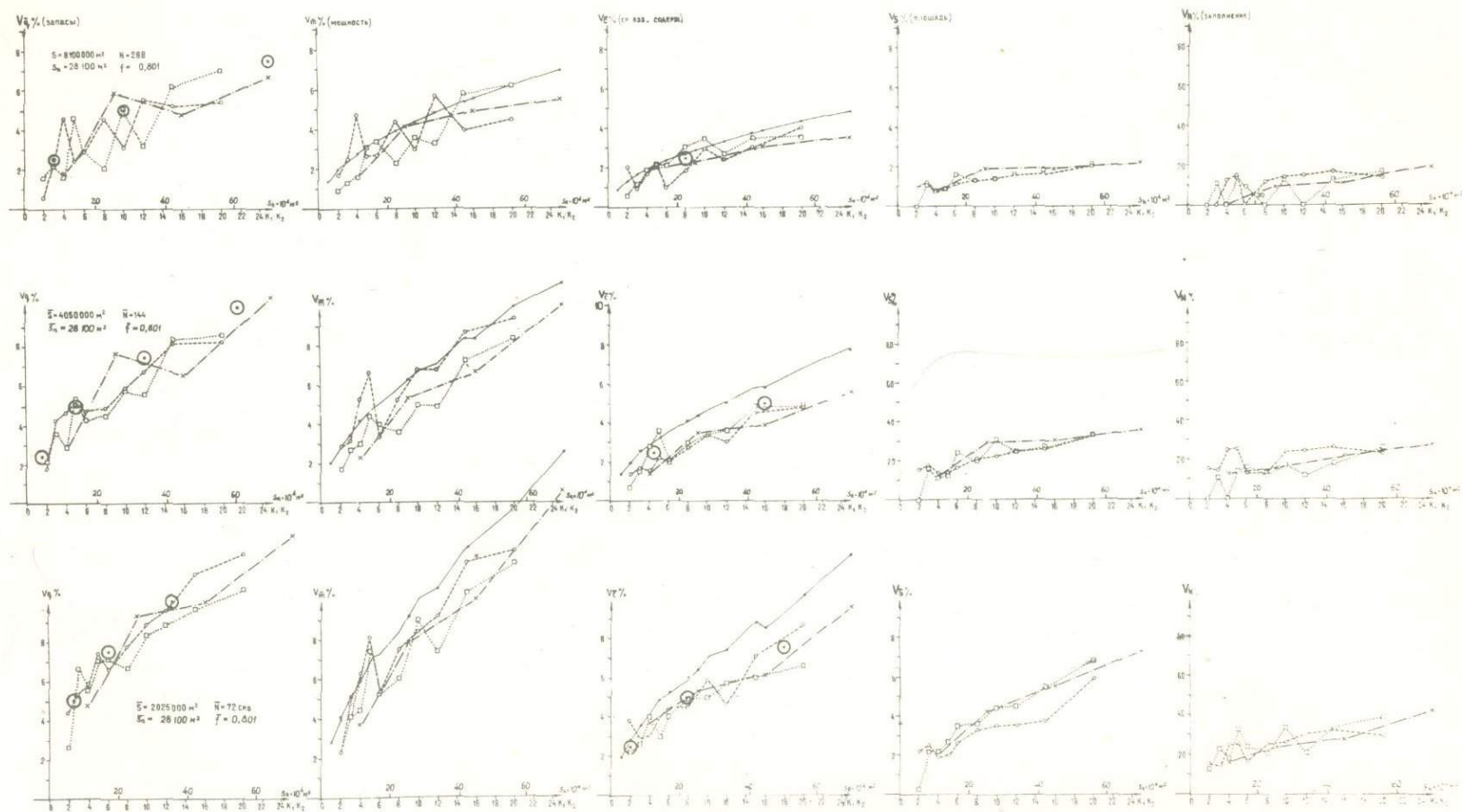


Рис. 10. Графики моделирования для части Западной рудоносной площади
(№ 8 в табл. I)

Перед тем, как обратиться к построению номограмм, целесообразно отметить, что графики ошибок подсчета запасов V_d для разной ориентировки сети тесно переплетаются друг с другом /если отвлечься от частных деталей/. Это говорит об отсутствии преобладания выдержанности по какому-либо направлению. Таким образом, выбор квадратной формы ячейки разведочной сети /150 x 150 м/ на месторождении был правильным.

В то же время заслуживает внимания, что графики ошибок определения средней мощности V_m , средневзвешенного содержания V_c и площади рудного контура V_s в ряде случаев проявляют тенденцию к увеличению ошибок при разрежении сетей преимущественно в направлении С - Ю / $K_2 > K_1$ /. Этот факт свидетельствует о сравнительно большой изменчивости в указанном направлении. Он подкрепляется известными геологическими данными о смене состава руд Восточной и Западной площадей преимущественно в меридиональном направлении [33, 34]. Особенностью исследованных участков этих площадей является более высокая ошибка определения средней мощности V_m по сравнению с ошибкой определения запасов V_d . Можно предположить, что колебания мощности в данном случае частично компенсируются имеющими обратный знак колебаниями площади рудного контура и содержания V_c . Это, вероятно, обуславливается выветриванием первоначально карбонатных руд, ранее широко распространенных в современной полосе руд окисных, и некоторым размывом здесь рудного пласта. Размыв сократил мощность пласта. Выветривание же, удалив из руды CaCO_3 , MgCO_3 и частично FeCO_3 , содействовало повышению в оставшейся части пласта содержания Mn [33].

Приведенные результаты обработки разведочных данных по обоим площадям обобщены в виде "номограмм", связывающих величину ошибок определения запасов и средневзвешенного содержания Mn с плотностью сети и размером участка опробования /рис. 12 и 13/. Для этого на рис. 3 - 7 и 9 - 11 отмечались точки /большие кружки/, соответствующие выбранным значениям среднеквадратичной ошибки определения запасов и среднего содержания - 2,5%; 5%; 7,5%; 10%. Отвечающие этим точкам значения брались в качестве абсциссы при нанесении результатов моделирования на координатные плоскости номограмм. Ординатой служило значение $\sqrt{S} (\sqrt{S})$ - площадь, соответствующая схематизированному плану или его части, для которых построены графики моделирования. Точки для различных окон одного и того же схематизированного плана соединялись на плоскости номограмм штриховыми линиями в соответствии с методикой [29]. При равной площади окон эти линии проходят между точками окон посередине.

Как можно видеть из рис. 12 и 13, для фиксированной величины ошибки точки занимают достаточно обособленные области, выявляя искомые закономерности. При этом точки для различных размеров окна располагаются в соответствии с общей закономерностью расположения точек, относящихся к различным участкам и площадям моделирования. Полученная компактность расположения точек /заметно превышает компактность точек на рис. 10 в [29]/ свидетельствует об эффективности изложенного способа обобщения результатов моделирования и о возможности использования номограмм рис. 12 и 13 как для выбора рациональных разведочных сетей, так и для оценки точности детальной, промышленной и эксплуатационной разведки подсчетных и эксплуатационных блоков.

Неправильное расположение пунктов опробования /площади № 1 - 6 Богдановского участка/, вынуждающее вводить в рассмотрение некоторую систему фиктивных точек, фактически не оказывает отрицательного влияния на результаты моделирования и, что особенно важно, на последующее построение и использование номограмм, предлагаемых в качестве одного из важных расчетных инструментов геологической службе разведочных организаций и горнорудных предприятий.

Дальнейшие детали построения и применения номограмм здесь не освещаются, поскольку они подробно изложены в руководстве [29].

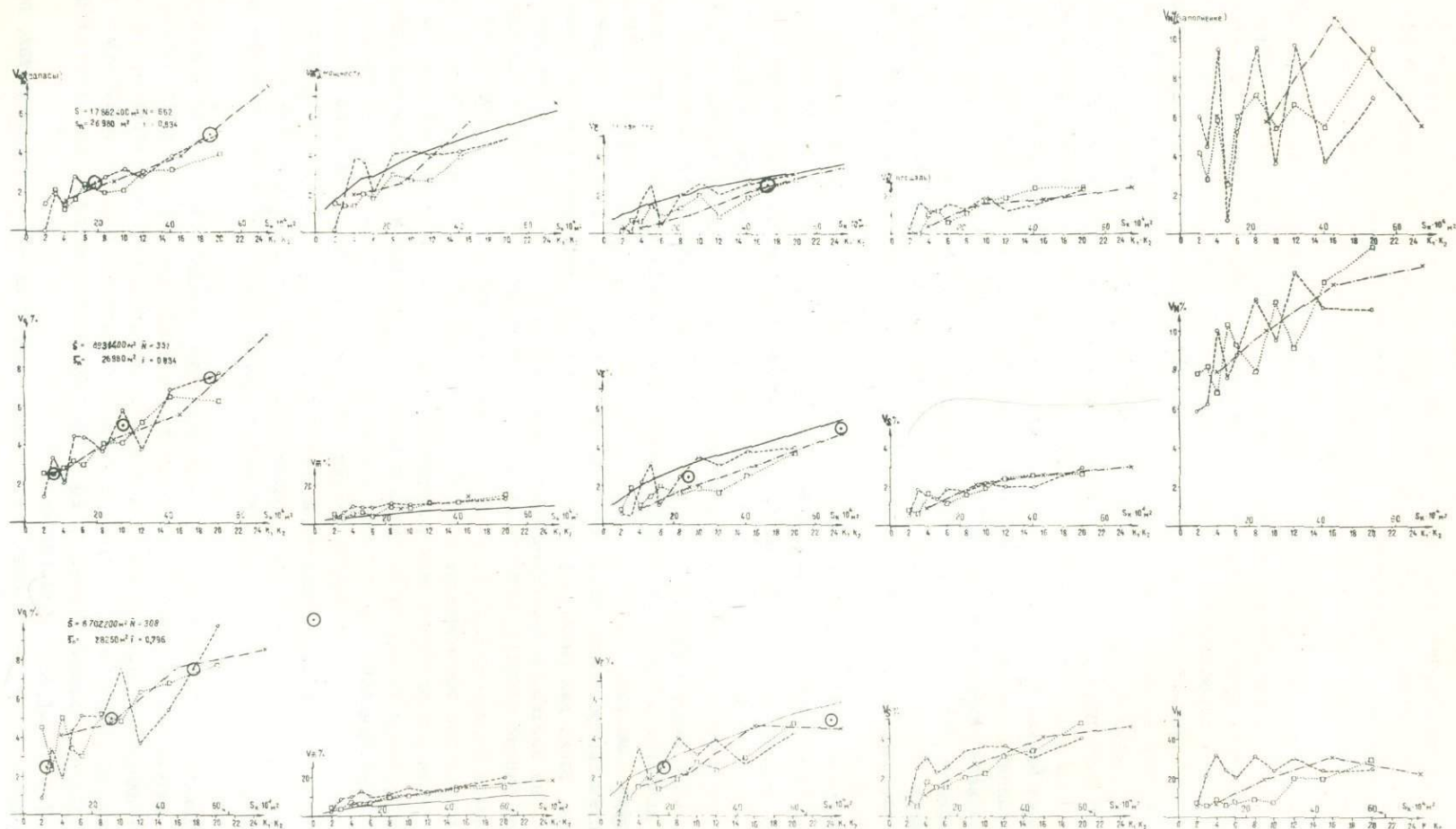


Рис. II. Графики моделирования для части Западной рудоносной площади

(№ 9 в табл. I)

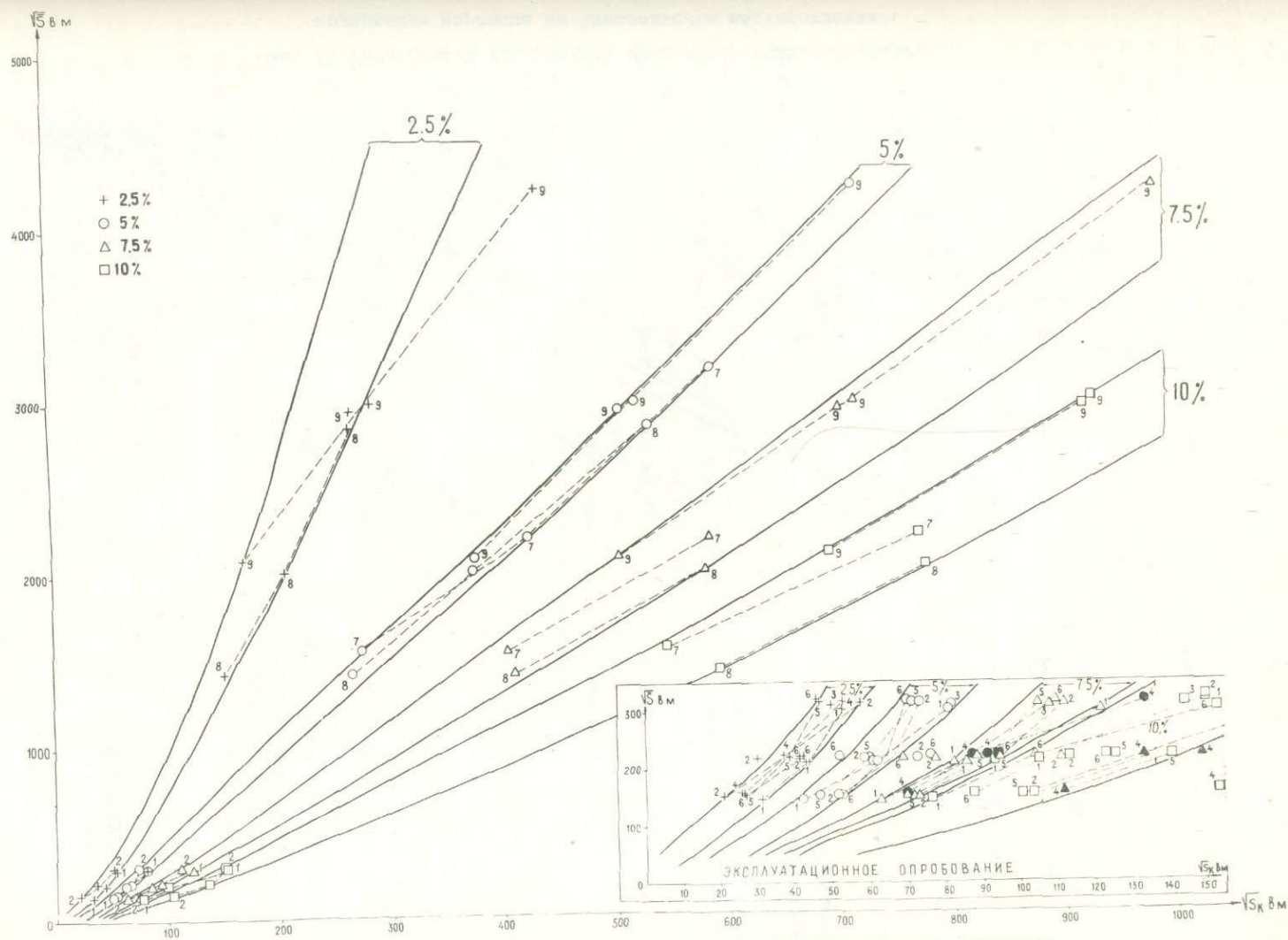


Рис. 12. Номограммы для расчета ошибок определения запасов марганца на Никопольском месторождении

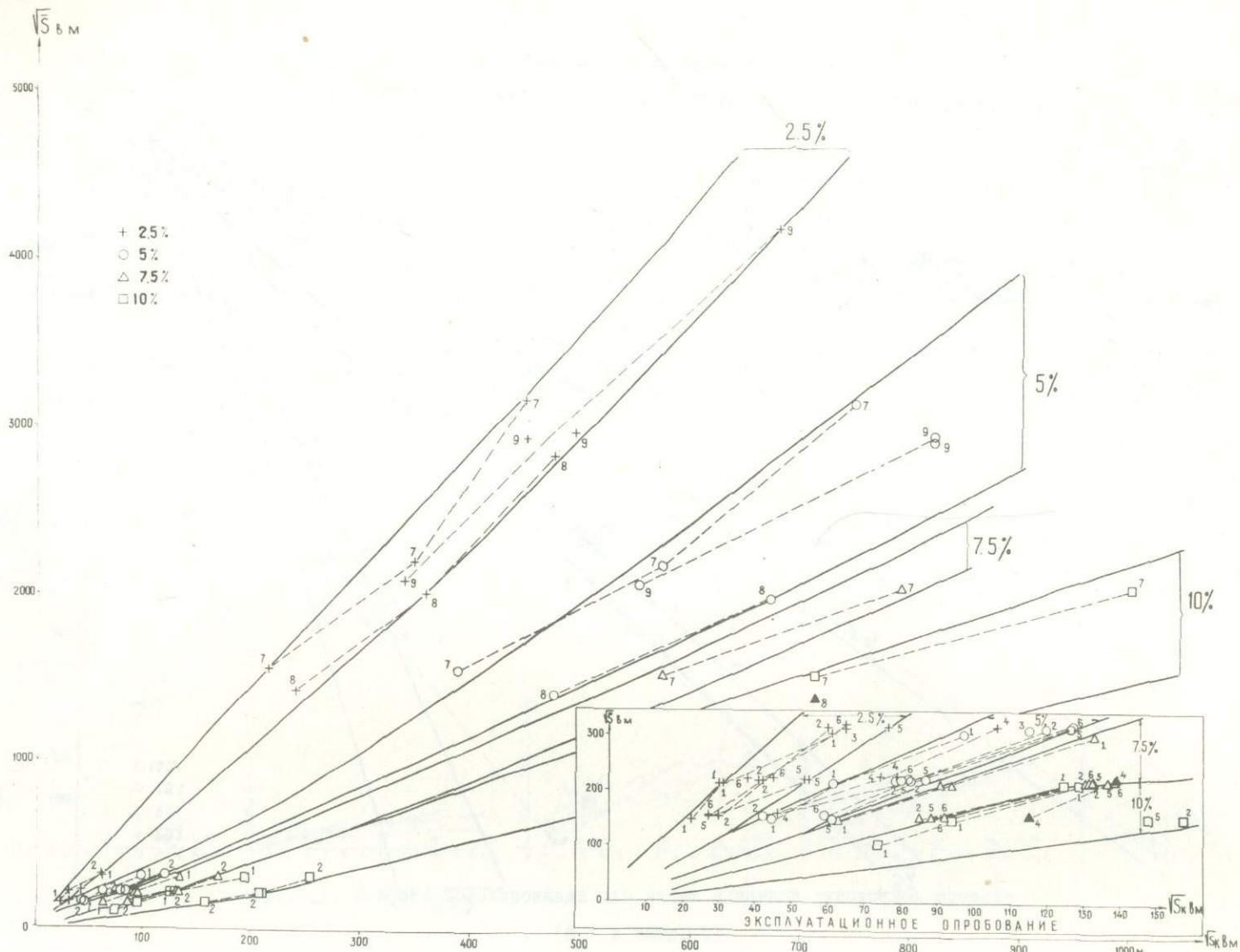


Рис. 13. Номограммы для расчета ошибок определения среднего содержания марганца на Никопольском месторождении

Случай, когда ошибка V_C определяется лишь числом пунктов опробования и не зависит от величины исследуемой площади, должны соответствовать на плоскости номограмм прямые, проходящие через начало координат. В качестве примера можно привести результаты моделирования для площади № I Богдановского участка: на рис.3 кривые V_C хорошо согласуются с расчетными кривыми V'_C , а на номограмме рис.13 отвечающие этому участку точки располагаются, как правило, как бы вдоль некоторых прямых, проходящих через начало координат. Такие прямые будут тем более наклонены к оси абсцисс, чем выше коэффициент вариации содержания M_n в пределах площади моделирования. Достаточно сравнить в этом аспекте точки площади № I, обрисовывающие для каждого фиксированного V_C относительно крутые прямые /коэффициент вариации содержания M_n $V_C = 0,19$ /, с заметно более пологими прямыми, отвечающими площади № 4 Богдановского участка, характеризуемой вдвое меньшим коэффициентом вариации $0,10$.

Вблизи прямых, проходящих через начало координат, точки могут располагаться и в тех случаях, когда графики моделирования проходят под кривой V'_C /рис.8, соответствующий площади № 7 Грушевско-Басанского участка/ и над этой кривой /площадь № 3 Богдановского участка/. Последнее будет иметь место тогда, когда значения содержания не подчиняются какому-либо устойчивому статистическому закону распределения /например, логнормальному/ [29].

Хаотичность распределения значений содержания может ожидаться для площадей, расположенных в зонах перехода от одного типа руд к другому. Этот эффект должен усиливаться при увеличении расстояния между скважинами и общего размера объекта, когда снижается вероятность сохранения устойчивости распределения, свойственной менее обширным /и, соответственно, в геологическом отношении более однородным, как правило/ объектам. Трем выделенным условиям в известной мере удовлетворяют самые большие из исследованных площадей - № 7 и № 9 /участки детальной разведки/. Очевидно, по этой причине погрешности моделирования на рис.9 и II часто располагаются выше расчетных кривых, хотя этот эффект в данном случае выражен не очень ярко. Значительно отчетливее он проявляется в отношении ошибок определения мощности /рис.11/.

Случай прохождения кривых V_C ниже расчетных V'_C можно ожидать при наличии "закономерной" изменчивости содержания M_n по площади /тренда/. Она должна проявляться в тем большей степени, чем выше общая геологическая выдержанность и чем гуще сеть пунктов опробования. Интересно отметить, что такая выдержанность устанавливается по графикам моделирования /рис.3/ даже для площади № I Богдановского участка, где коэффициент вариации содержания M_n максимален /для данного участка/ - $0,17$.

Учитывая ограниченность района влияния закономерной изменчивости, нетрудно объяснить наблюдаемую на номограмме рис.13 /так же, как и на номограммах в работе [30]/ общую тенденцию: в верхней части, где точки соответствуют более крупным объектам и более редкой сети, они располагаются в виде более круто наклоненной секторальной области фиксированных ошибок.

Достаточно отчетливо различаются на номограмме рис.13 положение точек для площадей № I и № 4, которые попадают в граничные части выделенных областей фиксированных ошибок. Точки, отвечающие площади № I, сдвинуты в сторону более густых сетей, в то время как относящиеся к площади № 4 - в сторону сетей более редких. Это соответствует данным табл.1, которая показывает, что площадь № I характеризуется наиболее изменчивым содержанием M_n / $V_C \approx 0,17$ / и мощностью пласта / $V_m = 0,19$ / среди исследованных площадей Богдановского участка. В противоположность этому площадь № 4 является отчетливо менее сложной в этом отношении /причем не только среди площадей Богдановского участка, но и всех исследованных/, что также хорошо видно из табл.1: коэффициенты вариации соответственно равны $0,08$ и

0, 10. Отмеченные факты свидетельствуют о том, что расположение точек на номограмме рис.13 достаточно тесно связано с колеблемостью содержания Mn в рудном пласте.

Следует также рассмотреть номограммы, характеризующие ошибки определения запасов /рис.12/. Обращает на себя внимание особое положение точек, отвечающих площадям № 4 и № 5. Первые, так же, как и на номограмме рис.13, отклоняются вправо, допуская более редкие сети в связи с меньшей колеблемостью мощности и содержания. В то же время точки площади № 5 /которая на Богдановском участке выделяется, наряду с площадью № 1, повышенной изменчивостью мощности и содержания Mn / сдвинуты влево, требуя сетей более густых.

В заключение следует подчеркнуть, что сопоставление положения точек с соответствующими коэффициентами вариации содержания Mn и мощности имеет характер лишь приближенной увязки, поскольку в Никопольском месторождении довольно отчетливо прослеживается влияние тренда в распределении значений мощности и содержания, а соответственно и метропроцентов [33]. Несомненно, это обстоятельство делает рискованным использование коэффициентов вариации в качестве основной меры изменчивости, определяющей рациональную густоту сети разведочных скважин и пунктов опробования.

III. Использование номограмм

Приведенные на рис.12 и 13 номограммы могут быть применены для решения двух основных задач: 1/ выбора рациональной сети при разведке и опробовании новых участков; 2/ оценки точности определения запасов руды и содержания Mn на уже разведанных участках, а также в отдельных блоках этих участков.

В качестве примера решения первой задачи можно провести расчет сети при разведке по категории В запасов окисных и смешанных руд Больше-Токмакского месторождения. В результате предварительной разведки марганцевые руды здесь подсечены 22 скважинами при сети 600×600 м/условно $S \approx 8 \text{ км}^2$. Это дало возможность оценить запасы по категории C_1 , а также приблизительно оценить площадь развития окисных и карбонатных руд в 8 км^2 при средней мощности около 2 м. Ограниченность имеющихся данных не дает возможности говорить об особой близости данной части месторождения к какой-либо площади, представленной на номограммах.

Можно полагать, что при разведке до категории В необходимо определять запасы руды и средневзвешенное содержание Mn с относительной среднеквадратичной ошибкой 5% /что соответствует [29, 32] предельной ошибке $2.5\% = 10\%$. На номограммах проводится горизонтальная прямая на высоте $\sqrt{S} = \sqrt{8\,000\,000 \text{ м}^2} = 2\,828 \text{ м}$. На этой прямой фиксируется середина отрезка, заключенного между линиями, ограничивающими область ошибок 5% на номограммах рис.12 и рис.13. Затем определяется соответствующее этой середине значение $\sqrt{S_K}$, которое в данном случае равно соответственно 507 и 785 м.

Таким образом, при разведке северных блоков Больше-Токмакского месторождения среднеквадратичной ошибке определения содержания Mn 5% соответствует сеть со средней площадью ячейки $\bar{S}_K = 0,608 \text{ км}^2$, а той же относительной ошибке определения запасов - сеть с $\bar{S}_K = 1507 \text{ м}^2 = 0,256 \text{ км}^2$. Для разведки месторождения следует выбрать сеть с $\bar{S}_K = 0,256 \text{ км}^2$. При указанной площади северных блоков потребуется пробурить $8/0,256 = 31$ скважину, что с учетом 22 уже имеющихся сведется к бурению 9 дополнительных скважин. Это обеспечит заданную точность определения как запасов руды, так и средневзвешенного содержания Mn .

На практике полученная рекомендация должна реализовываться следующим образом. Сеть предварительной разведки, как указано выше, - 600×600 м. При проведении детальной разведки практически единственный способ сгущения ее - бурение скважин, расположенных между имеющимися скважинами посередине, а также в центре квадратов; будет получена сеть 300×300 м или повернутая под углом 45° сеть 425×425 м,

Таблица I

Характеристика участков моделирования

Участки Никополь- ского м-ния	Номера схема- тизир. планов	Площадь участков моделиро- вания S , км ²	Число пунк- тов опро- бова- ния	Исходная сеть пунк- тов опр., м	Сеть схема- тиз., м	Коэф- фици- ент запол- нения f	Про- цент "руд- ных" пунк- тов, n	Средне- взвеш. содер- жание M_n , %	Средне- квадра- тич. откл. сод. M_n , %	Коэффи- циент вариаци- онности M_n	Сред- няя мощн. м	Средне - квадра- тич. отклон. мощно- сти м	Коэффи- циент вариаци- онности
Вогда- новский	1	0,092	49	30 x 30	10x10	0,05	100	22,22	3,51	0,17	1,27	0,24	0,19
"-"	2	0,099	55	30 x 30	10x10	0,06	100	26,36	3,18	0,12	1,38	0,23	0,17
"-"	3	0,097	58	30 x 30	10x10	0,06	100	31,29	3,55	0,11	1,55	0,32	0,21
"-"	4	0,100	71	30 x 30	10x10	0,07	100	30,97	2,43	0,08	2,16	0,22	0,10
"-"	5	0,099	68	30 x 30	10x10	0,07	100	30,86	3,71	0,12	2,44	0,47	0,19
"-"	6	0,102	72	30 x 30	10x10	0,07	100	23,62	2,88	0,12	1,42	0,23	0,16
Грушев- ско-Басан- ский и За- падная ру- доносная площадь	7	10,12	352	150x150	150x150	0,78	98	27,75	5,77	0,21	1,82	0,52	0,28
	8	8,10	288	150x150	150x150	0,80	99	32,2	5,3	0,16	2,2	0,5	0,24
	9	17,86	662	150x150	150x150	0,83	98	26,1	4,9	0,19	2,0	0,7	0,32

причем такие участки будут небольшими. Дополнительные 3I-22-9 скважин должны быть использованы для такого сгущения сети до 300 x 300 м и 425 x 425 м, причем на тех площадях, которые по общим геологическим данным представляются более сложными с точки зрения колеблемости содержания Mn , мощности и прерывистости рудного пласта.

В тех случаях, когда вновь разведываемая площадь близка по типу геологической ситуации к одной из площадей, представленных опорными точками на номограммах, расчет сети может быть произведен более точно. При этом значение $\bar{S}_k$ определяется уже не по середине отрезка горизонтальной прямой в пределах области фиксированной ошибки, а по точке пересечения ее с линией, соединяющей точки, относящиеся к близкой в геологическом отношении площади.

Когда в процессе разведки производится блокировка запасов, может быть аналогичным образом установлено количество скважин, обеспечивающих заданную точность определения запасов руды и содержания Mn по каждому блоку в отдельности.

Больше-Токмакское месторождение является одним из резервов для дальнейшего развития марганцеворудной промышленности. Его запасы примерно равны запасам Никопольского месторождения. По степени же разведанности оно значительно уступает последнему. Утвержденные ГКЗ запасы на 22% относятся к категории C_2 , на 67% - к категории C_1 и лишь на 11% - к категории В [34]. Понятно, что Больше-Токмакское месторождение требует доразведки с целью перевода запасов в высшие категории.

Следует иметь в виду, что основная часть Больше-Токмакского месторождения, по данным предварительной разведки, представлена карбонатными рудами, что отличает этот объект от Никопольского месторождения. Таким образом, при расчете соответствующих разведочных сетей необходимо при использовании номограмм опираться на точки площадей № 8 и № 9, отвечающих не только смешанным рудам, но и карбонатным /в значительной степени также окисным/.

Еще более очевидно, что изложенная в [29] и продемонстрированная в настоящей работе на примере отдельных площадей Никопольского месторождения методика должна быть в дальнейшем своевременно использована для обработки /с последующей корректировкой номограмм рис. I2 и I3/ данных эксплуатационного опробования карбонатных руд Западной и Восточной площадей Никопольского месторождения, отработка которых неуклонно увеличивается по мере продвижения фронта горных работ с севера на юг /что с точки зрения состава руды отвечает постепенной смене окисных руд на смешанные и далее на карбонатные/. С этой точки зрения практический интерес представляют материалы: на Западной рудоносной площади - по Сулицкому и Покровскому участкам, а также юго-западной части Чертомлыкско-Алексеевского участка; на Восточной рудоносной площади - по южной части Грушевско-Басанского участка.

В качестве примера решения второй задачи можно произвести оценку среднеквадратичной ошибки определения запасов руды и средневзвешенного содержания Mn , которая имела место после проведения предварительной разведки рассмотренной части Больше-Токмакского месторождения.

На плоскости номограмм следует провести горизонтальную прямую на высоте $\sqrt{S} = \sqrt{8\,000\,000\,m^2} = 2\,828\,m$. Далее проводится вертикальная прямая через абсциссу $\sqrt{S}_k = 600\,m$, поскольку сеть предварительной разведки, как правило, была равной 600 x 600 м. Точка пересечения горизонтальной и вертикальной прямой на номограммах рис. I2 располагается между областями, соответствующими относительным среднеквадратичным ошибкам 5% и 7,5%, а рис. I3 - между областями 2,5% и 5%. Таким образом, можно полагать, что среднеквадратичная ошибка 6,1% (соответственно, предельная 2,6,1% $\approx$ 12%) характеризует надежность разведки в отношении запасов руды, тогда как в отношении средневзвешенного содержания Mn - 3,7% (предельная $\approx$ 7%).

В связи с этим следует подчеркнуть, что номограммы рис. I2 и рис. I3, как и вообще номограммы типа [29], позволяют избежать распространенной ошибки, связан-

ной с учетом величины разведываемого объекта. Так, принято для обоснования густоты разведочной сети значительно сгущать сеть скважин на одном из участков и уже в зависимости от полученных данных решать вопрос о густоте и надежности разведочной сети на площади всего месторождения /"контрольное сгущение сети"/. При этом остается в тени то обстоятельство, наглядно демонстрируемое номограммами типа рис.12 и рис.13, что идентичная разведочная сеть обеспечивает более низкую погрешность подсчета запасов и определения качества руды для месторождения в целом по сравнению с его отдельными участками. Поэтому механический перенос количественных данных, полученных при контрольном сгущении, на всю площадь месторождения недопустим.

Что касается анализируемого примера - оценки надежности предварительной разведки окисных и смешанных руд Больше-Токмакского месторождения - то имеет смысл оценить относительно небольшой блок /1 км²/, который мог бы явиться объектом первоочередной разработки и надежность разведки которого по этой причине должна быть оценена отдельно. Обращение к номограммам рис.12 и рис.13 убедительно показывает, что в таком случае ошибка предварительной разведки существенно выше, достигая уровня 15-20% для q и 10% для $\bar{C}$ / среднеквадратичная ошибка; предельная, соответственно, в 2 раза превышает указанное значение/. Таким образом, не приходится сомневаться в том, что площади первоочередной эксплуатации должны, как правило, разбуриваться в ходе разведки /особенно детальной/ по более густой сети, нежели остальная площадь месторождения. Номограммы рис.12 и рис.13 позволяют придать этой тривиальной рекомендации вполне конкретную форму.

В целом изложенное показывает, что обработка на ЭВМ материалов разведки и опробования по Никопольскому месторождению позволила подготовить номограммы, дающие возможность практической оценки точности определения запасов руды и средневзвешенного содержания M_n на разведанных площадях, а также для выбора рациональных сетей разведки и опробования на новых участках /для окисных и смешанных руд/. Использование номограмм позволяет уже на данном этапе рассчитывать на повышение эффективности детальной и промышленной разведки, равно как и эксплуатационного опробования. Рекомендуемая дальнейшая обработка материалов опробования создаст условия для конкретизации рекомендаций применительно к отдельным минерально-морфологическим подтипам участков рудных залежей. Приведенные результаты свидетельствуют в пользу необходимости развития таких исследований, в первую очередь, в направлении обработки материалов разведки и эксплуатационного опробования карбонатных руд, с целью использования выводов для оптимизации методики детальной и промышленной разведки Больше-Токмакского месторождения.

В заключение автор считает приятным долгом поблагодарить Л.С.Гребинченко, А.И.Зарицкого, Е.И.Малютина и В.И.Цапеню - за помощь в получении геологических материалов для обработки и за консультации.

РАСЧЕТ СЕТЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПЛАВИКОВОГО ШПАТА ЖИЛЬНОГО ТИПА

I. Введение

Фонд легко открываемых месторождений плавленого шпата с каждым годом сокращается, а потребности отечественной промышленности во флюорите и продуктах его переработки быстро растут. Следует ожидать, что уже в недалеком будущем существенно возрастет интерес к месторождениям, разведка которых сопряжена с повышенными экономическими затратами. Одновременно резко увеличивается значение поисково-оценочных работ, когда решается вопрос о целесообразности дальнейшего, более детального изучения вновь обнаруженных флюоритовых рудных тел. Если раньше для их оценки, как правило, оказывалось достаточным проведение исследований только с поверхности и выяснение общей обстановки локализации рудопоявления, то теперь, учитывая переход к более сложным по геологическому строению и условиям залегания месторождениям, определение перспектив объектов при поисково-оценочных работах не может быть успешным без дополнительной проходки буровых скважин по редкой сети. Полученная таким путем информация позволяет и количественно оценить запасы рудопоявления. Они могут быть квалифицированы категорией C_2 , роль которой ныне вполне правильно предлагается повысить, одновременно увеличив геологическую обоснованность и, следовательно, надежность определения запасов для этой категории по сравнению с требованиями существующих инструкций по классификации запасов [17]. До настоящего времени, однако, какие-либо рекомендации по рациональной густоте горных выработок применительно к изучению месторождений плавленого шпата при поисково-оценочных работах полностью отсутствуют, а существующие размеры сетей для предварительной и детальной разведки требуют своего обоснования.

Следует сказать, что проблема выбора оптимальных сетей горных выработок для различных стадий разведочных работ, ввиду ее важности, служила предметом неоднократных исследований, проводившихся на примере многих видов полезных ископаемых с использованием различных методов [16, 18, 20, 24 и др.]. Из них наиболее широкое распространение получили методы разрежения; при их использовании обычно выбирают в качестве эталонного хорошо изученное месторождение, где производится последовательное увеличение интервала между выработками с вычислением ошибок определения геологоразведочных параметров рудных тел. В результате проведенных операций определяется оптимальная по размерам сеть горных выработок, при которой ошибки не превышают заданных. Несмотря, однако, на большую по срав-

нению с другими эффективность этого метода, он также не лишен недостатков - например и в данном случае не устраняются трудности в установлении аналогии между эталонным и разведваемым месторождениями; кроме того, здесь необходимо выполнение большого объема трудоемких вычислений, что до недавнего времени существенно ограничивало практические возможности метода разрежения. Появившиеся в последние годы алгоритмы моделирования разведочных сетей с использованием ЭВМ в значительной мере способствовали его развитию, а в ряде случаев придали рассматриваемому методу качественно новые особенности. В этой связи следует прежде всего отметить работу [29], где подробно рассмотрен и обоснован способ определения рациональной разведочной сети по новому алгоритму, базирующемуся на применении комплекса математических приемов обработки материала. Этот способ характеризуется прежде всего сравнительной простотой подготовки исходных данных; высокой скоростью обработки их на ЭВМ и, как следствие этого, - возможностью использования большого объема информации по многим месторождениям; значительным числом вариантов разрежения сети и расположения этих сетей на исходном плане опробования; пригодностью для изучения рудных тел с неравномерным распределением точек опробования; увеличением количества информации за счет моделирования в пределах "окон" /частей анализируемого месторождения/, что позволяет исследовать зависимость погрешностей от размеров разведочного участка; возможностью установления степени влияния некоторых геологических факторов на погрешность определения запасов и т.п. Отмеченные преимущества ярко проявились при использовании данной методики с целью анализа разведочных сетей для пологозалегающих месторождений железных руд КМА [30].

С учетом изложенного, авторами предпринята первая попытка использования алгоритма И. Д. Савинского для анализа сетей /начиная от поисково-оценочных работ и кончая детальной разведкой/ в случае крутопадающих флюоритоносных жильных тел и минерализованных зон дробления районов Забайкалья. В качестве объекта исследований месторождения жильного типа были выбраны потому, что они являются ведущими среди других структурно-морфологических образований и известны во многих металлогенических областях Советского Союза. По сходной причине основное внимание было уделено Забайкалью - традиционной в нашей стране флюоритоносной провинции, где накоплен обильный фактический материал по детальной разведке месторождений плавикового шпата, представляющий собой хорошую основу для подобного рода исследований.

2. Краткие сведения по методике подготовки и обработки материалов

Обработка исходных разведочных материалов по каждому из изучавшихся месторождений проводилась на ЭВМ М-222 с помощью алгоритма моделирования [29], в основу которого положено исследование среднеквадратичного разброса запасов V_q , взвешенного содержания V_{Σ} , средней мощности V_m , общей площади рудного контура V_S при изменении положения исследуемой разреженной сети на схематизированном плане опробования /рис.1/. Последний представляет собой проекцию рудного тела на вертикальную плоскость, где показаны все точки пересечения флюоритового оруденения горными выработками и скважинами; возле каждой из точек указаны мощность жильного тела и содержание в нем полезного ископаемого. Эти точки дополнялись некоторым количеством "фиктивных" с тем, чтобы получилась правильная прямоугольная сеть. В процессе переноса точек опробования на прямоугольную сеть допускалось некоторое смещение части из них в ближайшие узлы; обычно такие смещения не превышали 10-15м, что находится в пределах, исключающих сколь-нибудь заметные ошибки.

Изменение положений исследуемой сети, в соответствии с алгоритмом, производилось в двух взаимно перпендикулярных направлениях /горизонтальном и вертикальном/. Для каждого месторождения были рассмотрены все возможные варианты сетей

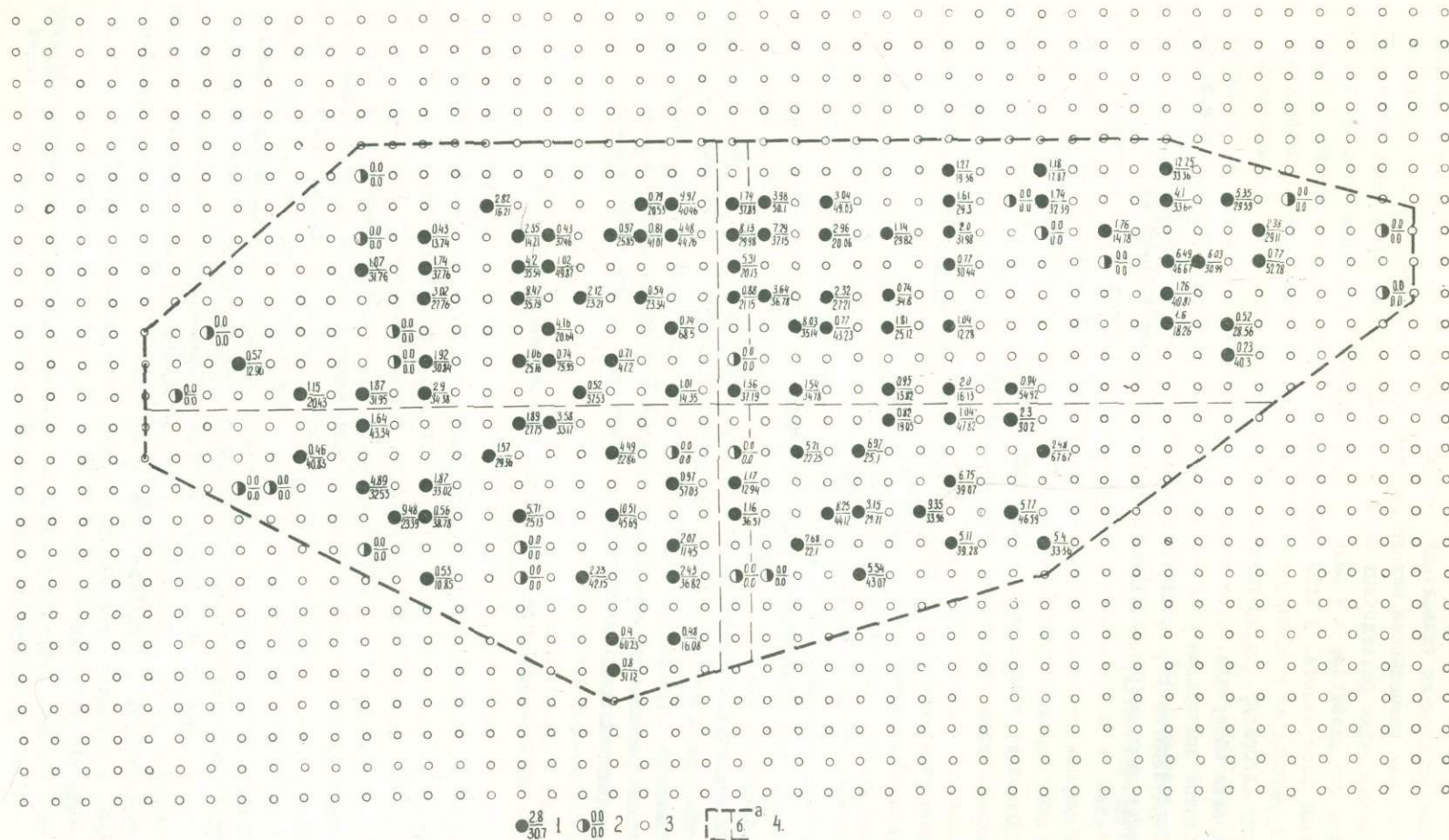


Рис. I. Схематизированный план опробования рудного тела № I Шахтерского месторождения (без данных по канавам и штольням)

с размерами ячеек, определяемыми соотношением коэффициентов разрежения K_1 и K_2 / K_1 характеризует последовательное разрежение в горизонтальном, а K_2 - в вертикальном направлениях; в каждом случае разрежение производится в 1, 2, 3, 4 и 5 раз/.

На рис.2 показаны графики зависимости среднеквадратичных ошибок $V_q, V_{\bar{c}}, V_{\bar{m}}$ и V_s от параметров ячейки сети. Произведения $K_1 \times K_2$ /нижняя шкала по оси абсцисс/ характеризует степень разрежения взятой сети по сравнению с исходной. Верхняя шкала по той же оси показывает площадь S_K ячейки сети, приходящуюся на одну реальную точку опробования. Графики для каждого соотношения сторон ячейки показаны разными линиями / $K_1 > K_2$ - точечная линия, $K_1 < K_2$ - пунктирная, $K_1 = K_2$ - штрих-пунктирная/. Сопоставление этих графиков позволяет получить информацию о влиянии ориентировки сети на ошибки определения данного показателя. Для сравнения приведен также расчетный график среднеквадратичной ошибки определения средней мощности /сплошная линия/, полученный с помощью формулы: $V_{\bar{m}} = \frac{V_m}{\sqrt{n}}$, где V_m - коэффициент вариации мощности, вычисленный по всем точкам опробования схематизированного плана, $\bar{n}$ - среднее при данных K_1, K_2 число точек опробования для различных положений сети.

Отличием использованного алгоритма моделирования разведочных сетей от традиционного метода разрежения является применение математического аппарата, позволяющего учесть различие числа точек опробования при разных положениях моделируемой сети на плане, что, в свою очередь, позволяет производить обработку всех материалов, в том числе и характеризующихся весьма неправильным расположением мест опробования. Об эффективности такой обработки можно судить, составляя и сравнивая графики ошибок $V_q, V_{\bar{c}}, V_{\bar{m}}, V_s$ с графиками V_N , характеризующими среднеквадратичный разброс числа N_K точек опробования /разведочных скважин/ при изменении положений сети. Как можно видеть из рис. 2,3, 5-8 и др., в подавляющем большинстве случаев колебания значений $V_q, V_{\bar{c}}, V_{\bar{m}}$ и V_s не имеют заметной связи с изменениями значений V_N , что свидетельствует в пользу отсутствия значительного влияния различий в числе и расположении точек опробования для различных положений сети при оценке указанных ошибок.

Исследование ошибок $V_q, V_{\bar{c}}, V_{\bar{m}}$ и V_s в зависимости от размеров участка проводится путем моделирования сетей в пределах "окон" с заданными размерами /рис.1/. Выбранное "окно" последовательно занимает на плане ряд положений, сдвигаясь заданное число раз по горизонтали и по вертикали. Смещение "окна" производилось таким образом, чтобы при его различных положениях не использовались одни и те же точки схематизированного плана /в противном случае этим точкам были бы приданы большие веса/. При каждом положении "окна" вычислялись те же величины, что и для целого плана, после чего производилось их усреднение.

На рис.2 и др. верхний ряд графиков соответствует случаю моделирования на основе схематизированного плана в целом /результаты относятся к площади S , ограниченной на каждом из планов пунктирной линией/; в расположенных ниже рядах приводятся графики для последовательно уменьшающихся площадей $\bar{S}$, отвечающих размерам "окон" / $\bar{S}$ составляют тот же процент от общей площади "окна", что S от общей площади схематизированного плана/. На координатной плоскости верхнего ряда графиков приводится значение S , число N точек опробования в пределах площади S , средняя площадь, приходящаяся на одну точку опробования $\bar{S}_n$, коэффициент заполнения $f = \frac{N}{N+F}$ /где F - общее число фиктивных точек в пределах площади S /. В последующих рядах помещены графики усредненных значений $\bar{S}$, $\bar{N}$, $\bar{S}_n$, $\bar{f}$ для размеров "окон".

Графики на рис.2 и др. могут быть непосредственно использованы для выбора сети, обеспечивающей заданную ошибку определения рассматриваемых параметров при разведке флюоритоносных тел или их частей, аналогичных по типу оруденения участкам моделирования и имеющих одинаковую с ними /или взятыми "окнами"/ площадь.

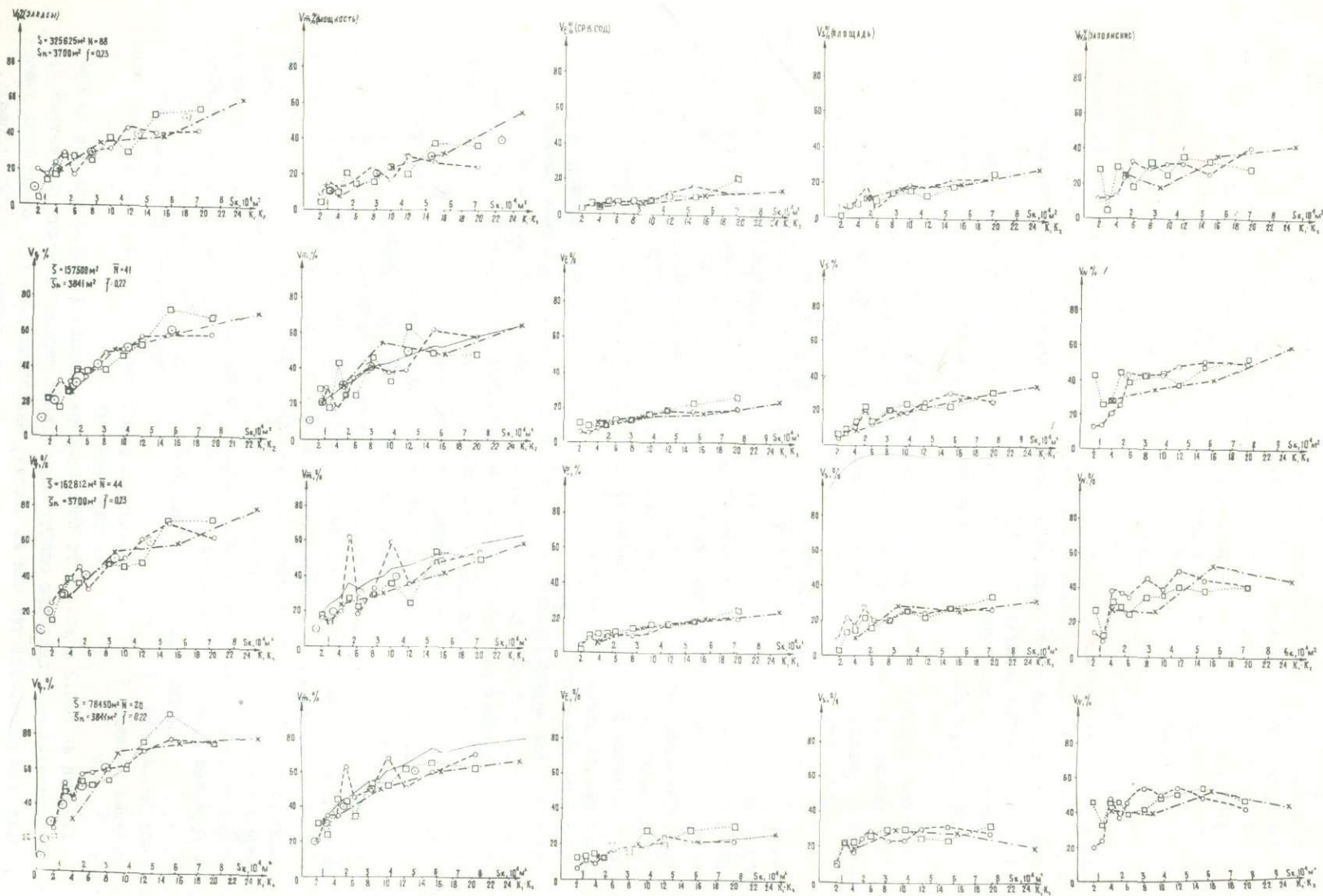


Рис.2. Графики моделирования для рудного тела №1 Шахтерского месторождения / без данных по канавам и штольням /

Однако гораздо более важным является обобщение результатов моделирования по многим флюоритоносным объектам, что дает возможность с большей уверенностью применять метод аналогии и осуществлять выбор сети для разведываемых плавиковошпатowych тел, не совпадающих по площади с исходной моделью. Для решения подобной задачи результаты моделирования сводятся в виде номограмм, о построении и использовании которых будет сказано ниже.

3. Результаты обработки разведочных данных по месторождениям плавикового шпата

В геологическом строении рассматриваемых месторождений Забайкалья принимают участие метаморфизованные карбонатные и песчано-сланцевые породы кембрия, палеозойские и более молодые гранитоиды, туфогенноосадочные и эффузивные формации верхней юры. Все эти месторождения относятся к эпитермальному типу и сформировались в нижнемеловой этап мезозойской тектоно-магматической активизации каледонского /Западное Забайкалье/ и герцинского /Восточное Забайкалье/ складчатых поясов. В региональном и локальном планах оруденение связано с разрывными структурами различного времени заложения, порядков и направлений. Месторождения проявляют тенденцию к группировке на площадях флюоритоносных узлов и представлены сериями жильных тел, среди которых обычно выделяются I-2 /реже больше/, сосредотачивающих в себе основные запасы руд плавикового шпата. Именно такие тела из наиболее представительных месторождений и послужили объектами моделирования. Типичные жилы выполнения развиты на месторождениях Усуглинское, Брикачанское и других. Иногда формирование жильных тел сопровождалось участием процессов метасоматоза /Гарсонуйское месторождение/. Остальные из моделированных объектов относятся к флюоритоносным зонам дробления, за исключением Наранского, где рудные тела характеризуются смешанным типом, с преобладанием в одних случаях жильных образований, а в других - минерализованных зон. Основное значение в составе руд имеют кварц и флюорит. Подчиненную роль играют карбонаты, барит и другие минералы.

Наряду с простыми по форме, отмечаются плавиковошпатowe тела сложного строения с пережимами, раздувами, апофизами, иногда с разветвлениями по падению и простираению. Размеры флюоритоносных жил и зон дробления изменяются в широких пределах. Наиболее изменчивым параметром у них является мощность; широко колеблются также запасы флюорита. В составе крупных жил и минерализованных зон нередко выделяются рудные столбы /месторождения Усугли, Волдинское, Шахтерское, Семилетнее и др./, разделенные слабо минерализованными участками.

Месторождение Шахтерское представлено тремя промышленными рудными телами. Основным, по которому подсчитана преобладающая часть запасов и составлен исходный схематизированный план /рис.1/, является рудное тело № I - крутопадающая зона брекчий, сцементированных кварц-флюоритовым материалом.

Оконтуривание рудного тела произведено по данным опробования. Его протяженность по простираению достигает 465 и по падению 585 м. Мощность в промышленном контуре меняется от 0,3 до 14,23 м, составляя в среднем 3,51 м. В пределах минерализованной зоны фиксируются три рудных столба, разделенных маломощными участками с низким содержанием флюорита.

При детальной разведке основная часть рудного тела была вскрыта буровыми скважинами по сети в среднем 45 x 45 м, а верхние горизонты - скважинами, канавами, шурфами и рассечками из штольни по сети, близкой 25 x 50 м. Исходя из данных опробования указанных горных выработок и был подготовлен схематизированный план. На рис. 2,3 приводятся результаты исследований ошибок V_q, V_c, V_m, V_s для площади S полного плана /верхний ряд графиков/, а также для площади $\bar{S}$ соответствующей различным размерам "окон", полученных путем деления полного плана сначала на левую и правую половины, затем на верхнюю и нижнюю и, наконец, на че-

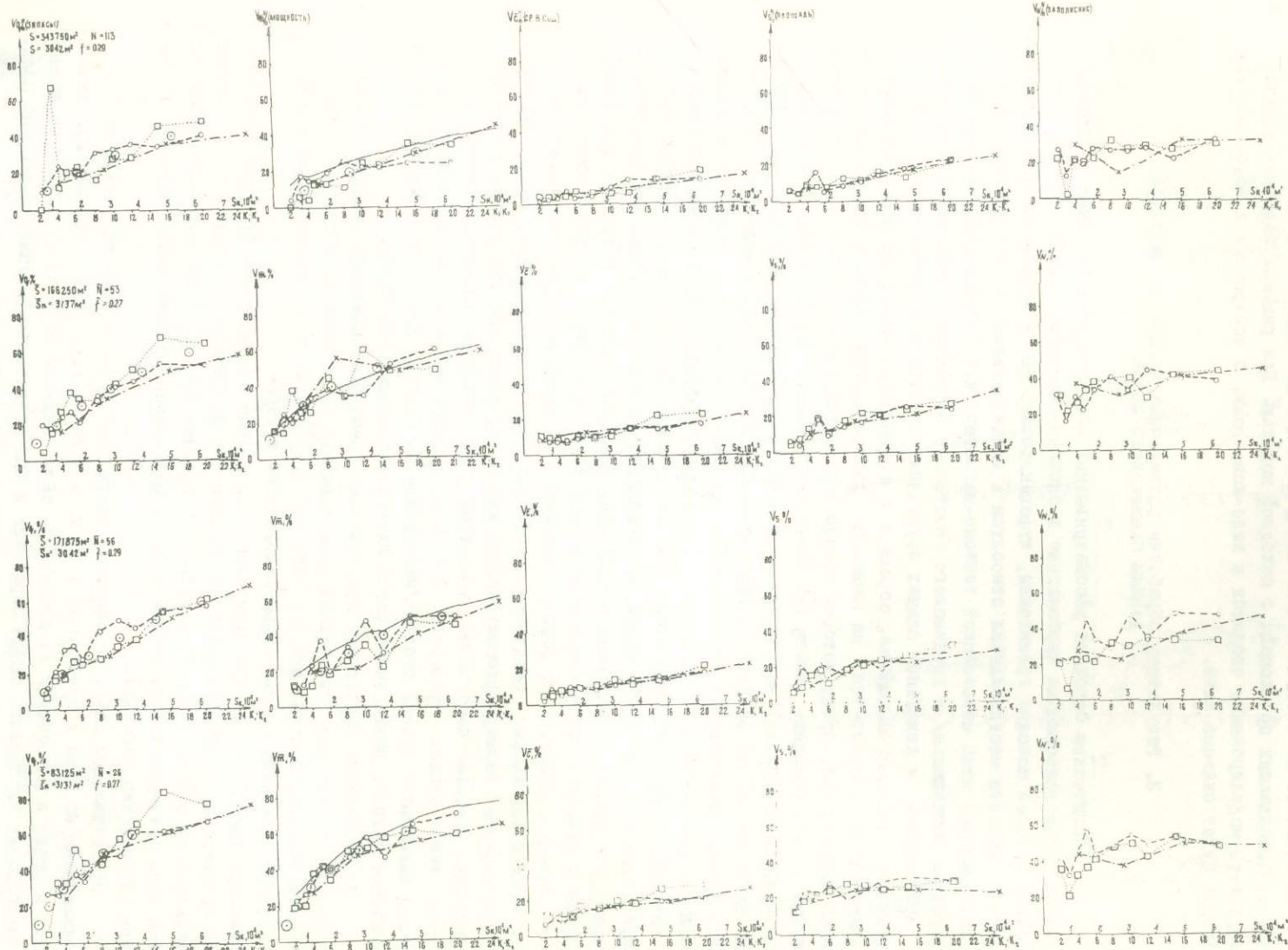


Рис. 3. Графики моделирования для рудного тела №1 Шахтерского месторождения / с учетом всех горных выработок /.

тыре части. Из рассмотрения графиков видно, что при уменьшении площади и соответственно числа разведочных скважин, среднеквадратичная ошибка определения каждого из параметров постепенно возрастает, и кривые все более поднимаются над осью абсцисс. Обращает внимание близкий характер графиков, построенных для второго и третьего "окон", имеющих примерно равные размеры площади.

Следует отметить, что моделирование на месторождении было проведено в двух вариантах: а/ с нанесением на схематизированный план опробования данных лишь по буровым скважинам и б/ с использованием дополнительного материала по поверхностным горным выработкам и штольне. Важность сравнения результатов моделирования по этим вариантам определяется тем, что, согласно требованиям инструкции ГКЗ, часть месторождения, проектируемая к первоочередной отработке, разведется сгущенной сетью канав, штольнями с рассечками и другими выработками, обеспечивающими значительно большее количество пересечений рудного тела для того, чтобы можно было бы произвести подсчет 20% запасов руд по категории В /имеются ввиду месторождения II группы, к которым принадлежит подавляющее большинство жильных месторождений плавикового шпата/.

Результаты моделирования в двух вариантах /рис. 2,3/ свидетельствуют о не-большом расхождении в ошибках определения исследуемых показателей. Из тех же графиков 2, 3 видно, что при разрежении сети на участке фиксированного размера происходит закономерное возрастание ошибок V_{q_i} , V_C , V_m , V_S , позволяющее использовать полученные кривые для нахождения сети с заранее заданной ошибкой определения перечисленных показателей.

В связи с отсутствием значительного влияния ориентировки ячейки сети /все три графика многократно пересекают друг друга/, при использовании кривых целесообразно провести усредняющую линию, при помощи которой затем может быть определена искомая площадь ячейки сети S_K .

В качестве примера рассмотрим способ нахождения параметров разведочной сети, обеспечивающей среднеквадратичную ошибку определения запасов 20% при изучении участка размером около 0,3 км², аналогичного по морфологии рудного тела и условиям его залегания месторождению Шахтерское. Выбрав на рис.2 в первом ряду сверху график V_{q_i} , проводим на уровне $V_{q_i} = 20\%$ горизонтальную прямую до пересечения с условной усредняющей кривой /точка пересечения отмечена большим кружком/. Полученная точка позволяет определить на оси абсцисс /верхняя шкала/ среднюю площадь ячейки разведочной сети $S_K = 1,8 \cdot 10^4$ м². Следовательно, участок должен быть вскрыт горными выработками, количество которых устанавливается из соотношения:

$$\frac{0,3 \cdot 10^6}{1,8 \cdot 10^4} = 17.$$

Из графиков на рисунках 2, 3 видно, что ошибка определения мощности V_m близка погрешности определения запасов V_{q_i} , т.е. последняя в основном обусловлена величиной V_m ; значительно меньший вклад вносят погрешности оценок содержания V_C и площади V_S /в сумме до 20%/.

Графики ошибок определения мощности V_m проходят несколько ниже расчетных кривых V_m , что следует объяснить наличием "закономерной" составляющей/"тренда"/ в площадном распределении значений мощностей. Эта составляющая не влияет на действительную ошибку определения средней мощности, но завышает расчетную.

Месторождение Семилетнее включает 7 рудных тел /рис.4/. Основным по запасам является рудное тело № I, выбранное для моделирования. Оно представляет собой крутопадающую зону брекчирования на кварц-флюоритовом цементе с нечеткими контактами, оконтуренными по результатам химанализов, согласно принятым кондициям. Протяженность рудного тела № I по простиранию 1120 м, по падению - до 170 м. Мощность его меняется от 0,38 до 7,17 м, составляя в среднем 3,6 м. Двумя пережимами флюоритовое тело разделено на три рудных столба.

Рудное тело № I пересечено скважинами по сети 50x50 м и на верхнем горизонте

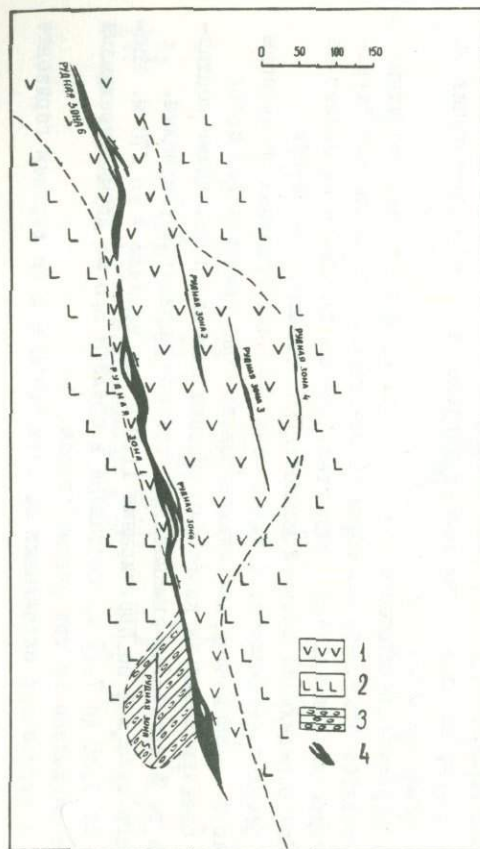


Рис. 4. Схематический геологический план месторождения Семилетнего / по материалам Читинского ГУ /
1-андезитовые порфиры; 2-андезито-базальтовые и базальтовые порфиры; 3-туфо-конгломераты, песчаники, туфы; 4-кварц-флюоритовые рудные тела.

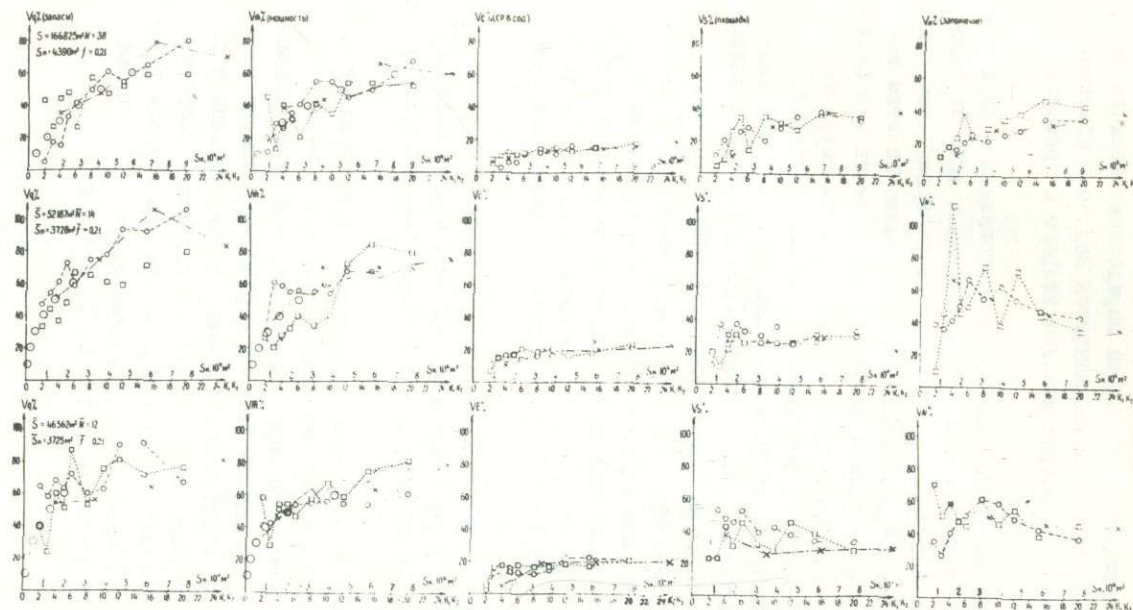


Рис. 5. Графики моделирования для рудного тела №1 Семилетнего месторождения / без данных по каналам и штольням /.

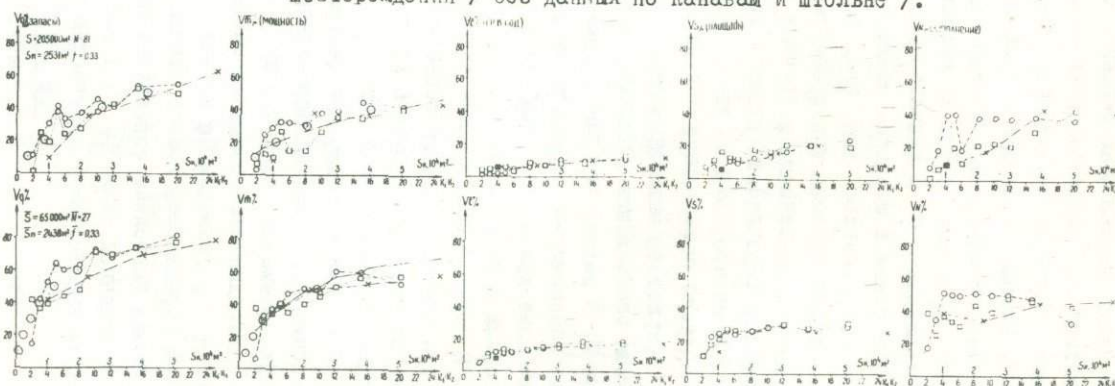


Рис. 6. Графики моделирования для рудного тела №1 Семилетнего месторождения / с учетом всех горных выработок /.

вскрыто канавами и рассечками из штольни по сети 25x25 м. Моделирование производилось на площади S полного плана /верхний ряд графиков/ и площадях $\bar{S}$ для ряда "окон", полученных от деления плана на три части. При этом усреднение результатов производилось между первым - вторым и первым - третьим положениями "окон" на плане /соответственно второй и третий ряды графиков/.

Так же как и на месторождении Шахтерском расчеты для рудного тела № I выполнены в двух вариантах со всеми горными выработками и для части, пересеченной только скважинами. Сравнение графиков по этим вариантам указывает на сравнительно небольшие увеличения ошибок /происходящие при исключении из моделируемой площади верхнего горизонта, вскрытого канавами и рассечками штольни/. Так же как на месторождении Шахтерском, и в данном случае устанавливается закономерность, согласно которой рост или уменьшение величин ошибок осуществляется пропорционально изменению размеров изучаемых площадей рудных тел и мало зависит от сгущения разведочных выработок на их отдельных участках. Таким образом, можно считать, что значительное сосредоточение горных выработок в пределах какой-либо части рудного тела не сказывается сколь-нибудь заметно на точности определения здесь запасов по сравнению с более равномерной разреженной сетью опробования, которая обеспечивается скважинами /разумеется, при достаточно полном выходе рудного керна/.

Из графиков /рис.5,6/ видно, что ошибки определения запасов V_q наиболее близки ошибкам V_m ; значительно меньше погрешности определения содержания V_c и площади V_s . Для месторождения Семилетнего характерно хорошее соответствие полученных при моделировании кривых V_m расчетным графикам ошибок определения мощности V_m .

Месторождение Гарсонуи́ское /одноименный участок/ включает 13 рудных тел. Моделирование производилось по наиболее крупному из них - рудному телу № I, представленному крутопадающей /угол 61° / зоной брекчий на кварц-флюоритовом цементе. В сравнении с другими флюоритоносными телами здесь более отчетливо проявлены процессы метасоматоза; оконтуривание рудного тела № I произведено по результатам опробования. Протяженность его по простиранию достигает 830 м /в 50 м ниже от поверхности/, а по падению - 280 м. Мощность в промышленном контуре колеблется от 0,33 до 17,84 м /средняя 3,47 м/ при некотором нарастании ее с северо-запада на юго-восток. При детальной разведке рудное тело № I было вскрыто шахтой и скважинами по сети в среднем 45 x 45.

Результаты обработки схематизированного плана опробования флюоритоносного тела выявили более значительную роль ошибки определения мощности V_m по сравнению с ошибками определения площади V_s и содержания V_c /рис.7/.

Расчетный график V_m проходит выше кривой ошибок V_m , выявленных при моделировании /устанавливается влияние "тренда" /.

Месторождение Усу́гли, участок 2 представлен крутопадающей /угол 81° / кварц-флюоритовой жилой выполнения с четкими контактами, залегающей в мигматитах, ортогнейсах и диоритах среднего и верхнего палеозоя. Это наиболее протяженная в сравнении с другими жила, прослежена по простиранию на 2300 м и на 450 м по падению. Мощность ее в промышленном контуре меняется от 0,1 до 7,5 м, составляя в среднем 1,4 м. Двумя крупными пережимами она делится на три разобщенных рудных участка, причем северо-западный и центральный в свою очередь осложнены небольшими пережимами. Таким образом, вся жила распадается на 5 изолированных флюоритоносных тел. Некоторые из них /центральный участок/ по своим параметрам вполне сопоставимы с большинством месторождений плавикового шпата Забайкалья.

Основная часть рудного тела пересечена скважинами по сети 50x100 м, а верхние горизонты, кроме того, вскрыты канавами, шурфами и рассечками из штольни - по сети, в среднем 25x25 м. Моделирование проводилось в пределах полного плана и "окон", образованных при делении этого плана на три части.

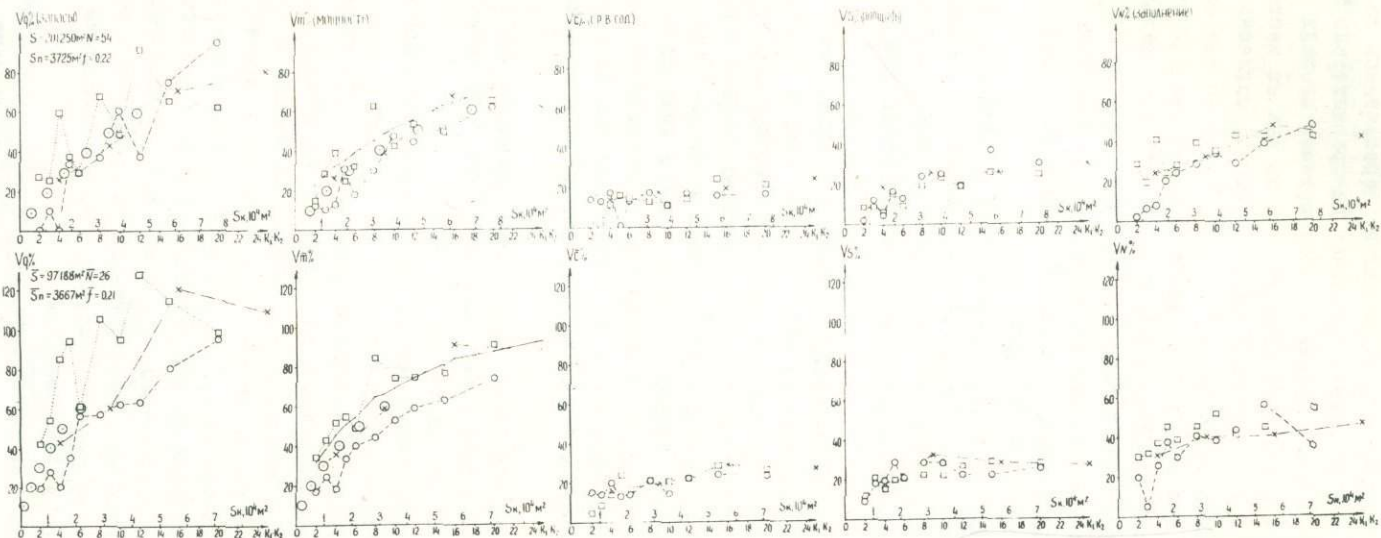


Рис. 7. Графики моделирования для рудного тела №1 Гарсунуйского участка одноименного месторождения.

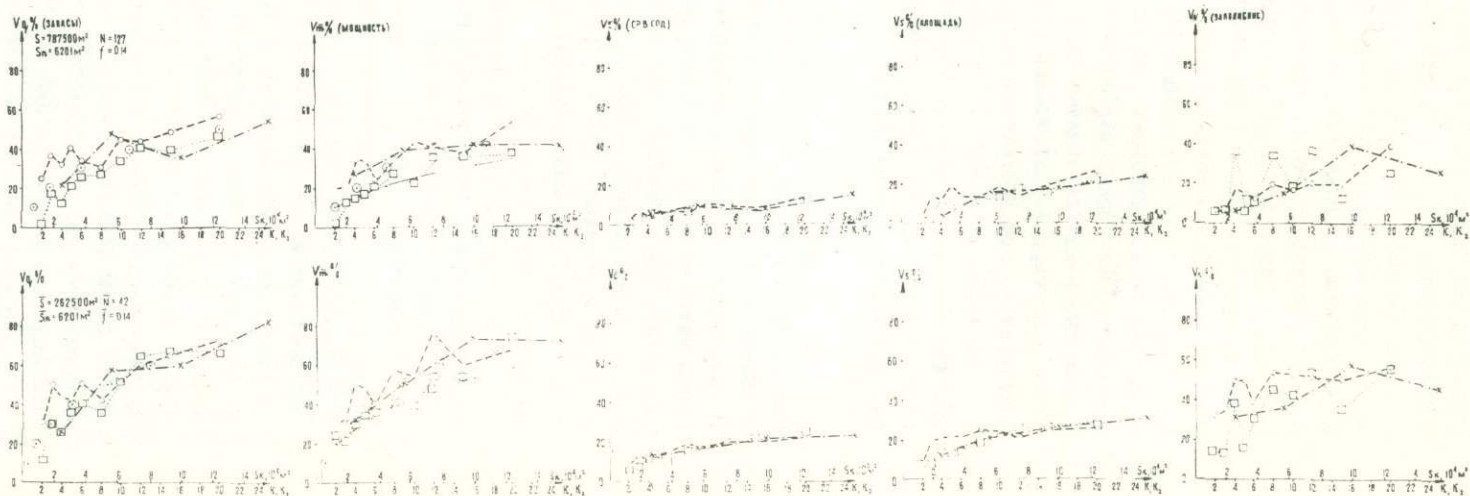


Рис. 8. Графики моделирования для участка №2 месторождения Усугли.

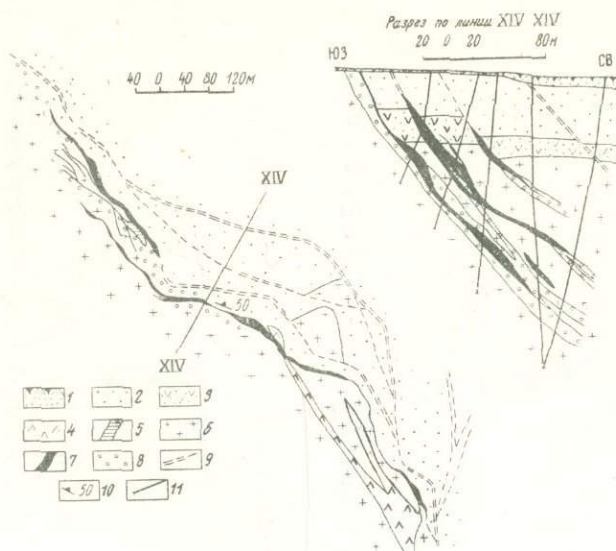


Рис.9. Схематический геологический план и профиль по XIV-XIV месторождения Ново-Бугутурское (по материалам Читинского ГУ)
 1-почвенный слой; 2-туфогенные песчаники, туфы, туфоконгломераты и др.; 3-базальный горизонт туфогенно-осадочных отложений; 4-дайки лампрофиров, диабазов, порфириров; 5-дайки аплитовидных гранитов; 6-граниты биотитовые; 7-кварц-флюоритовые тела; 8-зоны гидротермального изменения; 9-зоны дробления; 10-элементы залегания; 11-скважины.

Результаты моделирования /рис.8/, как и в остальных случаях, показывают значительную роль ошибки определения мощности V_m , почти вдвое превышающей погрешность определения площади V_s . Вклад ошибки определения содержания V_c в погрешность выявления запасов V_q незначителен. График моделирования V_m проходит несколько выше расчетной кривой V_m , что может свидетельствовать о хаотичности распределений значений этого параметра [29]. Последнее уязвывается с сильной изрезанностью контура рудного тела /наличие 5 изолированных участков/, вследствие чего не имеется, в частности, условий для проявления "закономерной" составляющей /"тренда"/ на площади месторождения.

Месторождение Ново-Бугутурское объединяет 5 рудных тел /рис.9/. Главными, включающими все подсчитанные запасы флюорита, являются тела № 2 и № 3. Оба они представлены крутопадающими /угол 54-55°/ зонами брекчий на кварц-флюоритовом цементе. Контакты их с вмещающими туфогенно-осадочными юрскими породами и каменно-угольными биотитовыми гранитами нечеткие и установлены по результатам опробования. Протяженность рудного тела № 2 составляет 340 м, а рудного тела № 3 - 740 м при длине по падению, соответственно 260 и 300 м. Мощности их меняются от 0,3 до 9,8 м, в среднем составляя 1,8 м у рудного тела № 2 и 2,9 м у тела № 3. Резкие изменения мощности особенно характерны для верхних горизонтов, где, например, в карьере № 2 на протяжении 40 м она падает от 9,8 м до 3,3 м, а на глубине 16 м составляет лишь 0,8 м.

Основная часть рудных тел пересечена скважинами по сети 45х45 м. Верхние горизонты вскрыты канавами, карьерами, шурфами и рассечками из штолен по сети в среднем 15х15 м на флюоритоносном теле № 2 и 25х25 на теле № 3.

Моделирование проводилось для полных планов и их правой и левой половин /"окон"/. Из графиков по рудному телу № 2 /рис.10/ видно, что наибольший вклад в ошибку определения запасов вносит погрешность вычисления мощности. Несколько меньшее, хотя тоже заметное значение имеет ошибка определения площади V_s . График V_m проходит несколько выше кривой расчетных ошибок V_m , что указывает на хаотичность распределения значений мощности по площади.

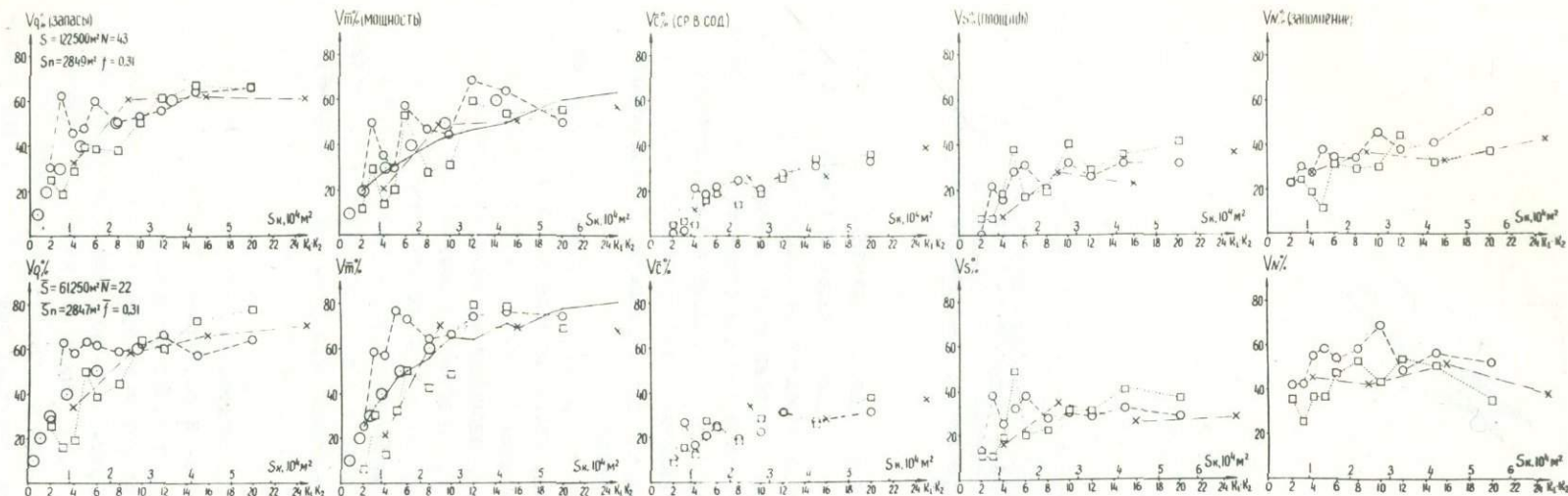


Рис.10. Графики моделирования для рудного тела №2 Ново-Бугутурского месторождения.

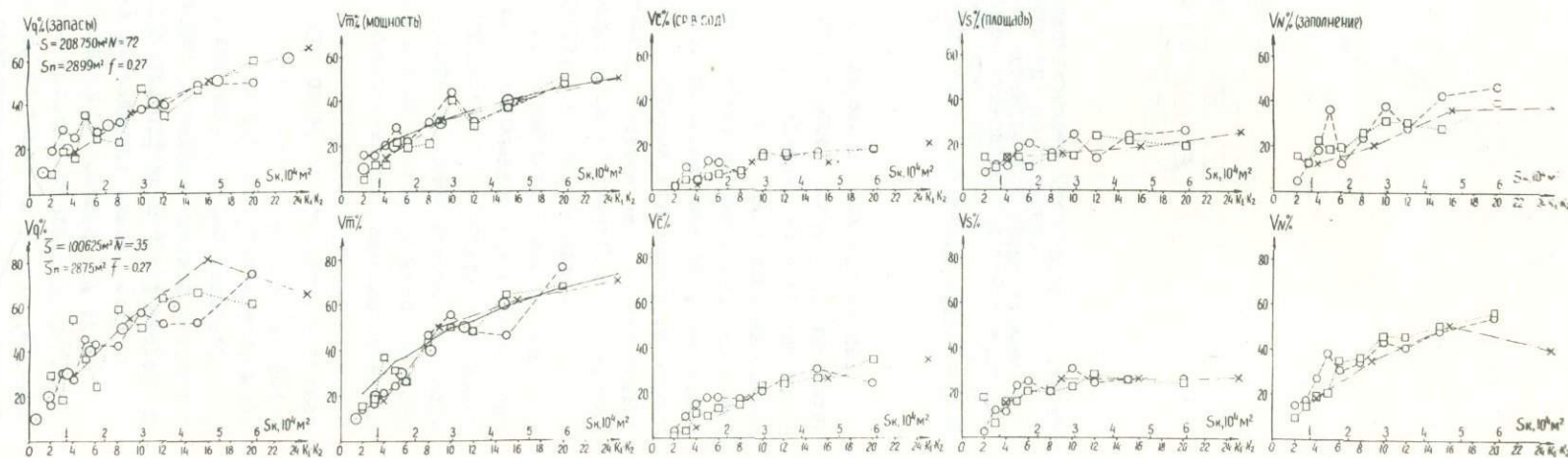


Рис.11. Графики моделирования для рудного тела №3 Ново-Бугутурского месторождения.

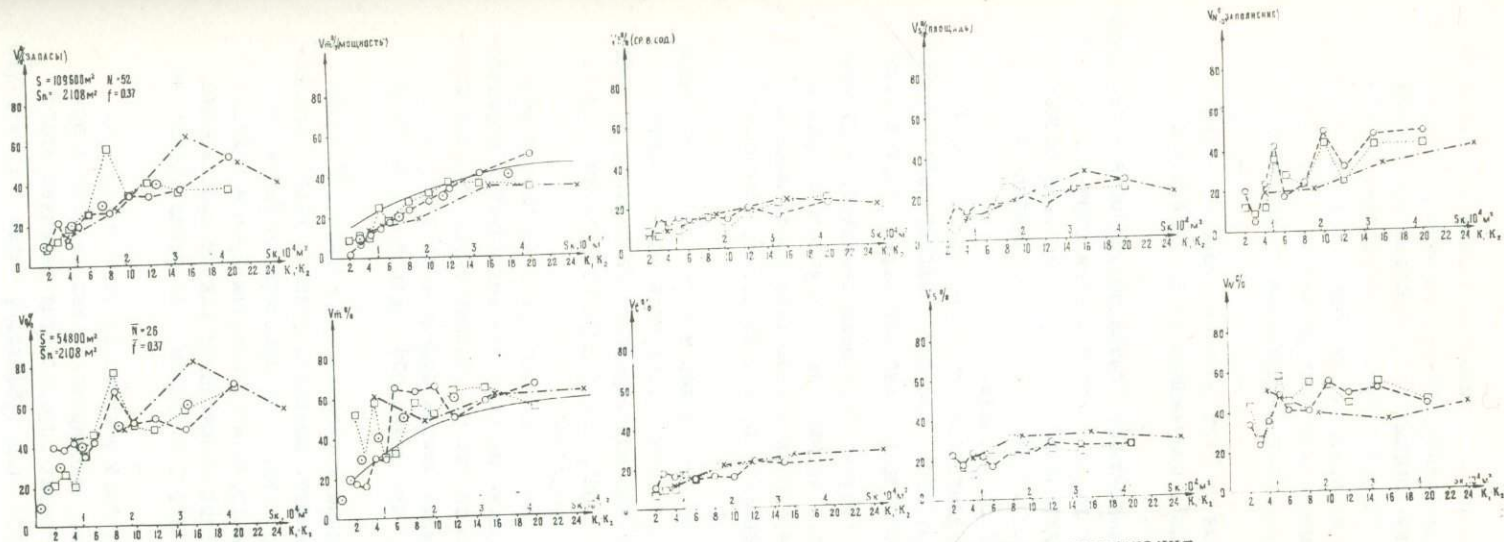


Рис. 12. Графики моделирования для I Восточной зоны Горинского месторождения.

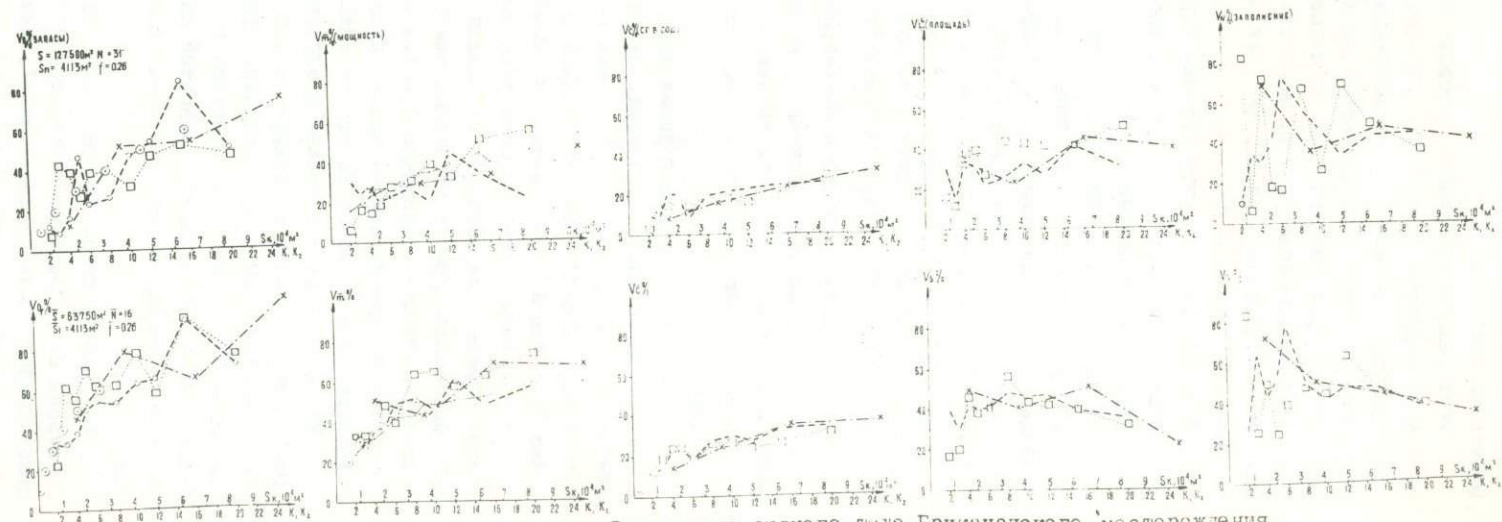


Рис. 13. Графики моделирования для Восточного рудного тела Бриканчанского месторождения.

Те же соотношения между ошибками определения запасов V_q , мощности V_m , содержания V_c и площади V_s характерны для рудного тела № 3 /рис. II/, хотя здесь они несколько меньше. Отмечается хорошее соответствие графиков V_m и расчетных значений V_m .

Месторождение Горинское состоит из 9 рудных тел. Основные запасы сосредоточены в крутопадающей /угол 66° / I Восточной зоне брекчирования, сцементированной кварц-флюоритовым материалом. Контакты ее с вмещающими верхнеюрскими эффузивами нечеткие; промышленное оруденение оконтурено по результатам опробования. Протяженность флюоритоносного тела по простиранию на поверхности составляет 460 м, а по падению достигает 170 м. Мощность в промышленном контуре меняется от 0,45 до 8,14 м /в среднем 2,4 м/, за счет резких раздувов и пережимов на коротких интервалах.

Месторождение вскрыто горными выработками по сети 50x50 м. Моделирование производилось в пределах полного плана и "окон", полученных от деления плана на правую и левую половины.

Из рис. I2 видно, что ошибка определения мощности V_m близка погрешности вычисления запасов V_q ; меньший, хотя тоже существенный вклад вносят ошибки определения площади V_s и содержания V_c . График моделирования V_m проходит ниже расчетной кривой V_m , что свидетельствует о наличии закономерной составляющей /"тренда"/ в распределении значений мощностей по площади.

Месторождение Брикачанское включает 4 рудных тела. Наиболее крупное из них - Восточное, сосредоточивающее основную часть запасов. Оно представляет собой крутопадающую /угол 80° / кварц-флюоритовую жилу выполнения, местами переходящую в зону интенсивного оплавления и брекчирования с кварц-флюоритовым цементом. Контакты жилы с вмещающими мезозойскими гранитами обычно четкие, реже, в участках брекчирования и оплавления, - постепенные. По поверхности рудное тело прослежено на 275 м, по падению - до 185 м. Мощность его меняется от 0,2 до 6,1 м, составляя в среднем 2,4 м.

Рудное тело вскрыто горными выработками по сети 40x40 м в большей своей части и 15x15 м на верхних горизонтах. На рис. I3 приводятся результаты исследования ошибок V_q , V_m , V_c , V_s для полного плана моделирования /верхний ряд графиков/ и для площади, соответствующей размеру "окон", полученных от деления полного плана на левую и правую половины /нижний ряд графиков/.

Результаты обработки схематизированного плана выявляют примерно равную роль ошибок определения мощности и площади и несколько меньшее значение ошибки определения содержания. Кривые расчетных ошибок мощности хорошо соответствуют графику моделирования. Обращает внимание пониженное значение ошибок определения запасов V_q относительно других исследованных рудных тел, что можно объяснить более высокой выдержанностью мощности Восточной жилы.

Месторождение Волдинское представлено одной крутопадающей /угол 70° / зоной брекчированных пород на кварц-флюоритовом цементе. Контакты рудного тела с вмещающими гранитами нечеткие. Протяженность его составляет по простиранию 720 м, по падению - 380 м, мощность меняется от 0,25 до 13,44 м /в среднем 2,48 м/. Характерна резкая изменчивость мощностей на небольших расстояниях как по простиранию, так и по падению. Двумя пережимами длиной 25 и 110 м рудное тело расчленяется на три участка.

В процессе детальной разведки оруденение было вскрыто по сети 50x50 м с оциклированием ее на верхних горизонтах до 25x25 м. Моделирование выполнялось в пределах полного плана и трех "окон", размеры которых определяются делением этого плана вначале на правую и левую половины /второй ряд графиков/, затем - на верхнюю и нижнюю части /третий ряд графиков/ и далее - на четверти /нижний ряд графиков/.

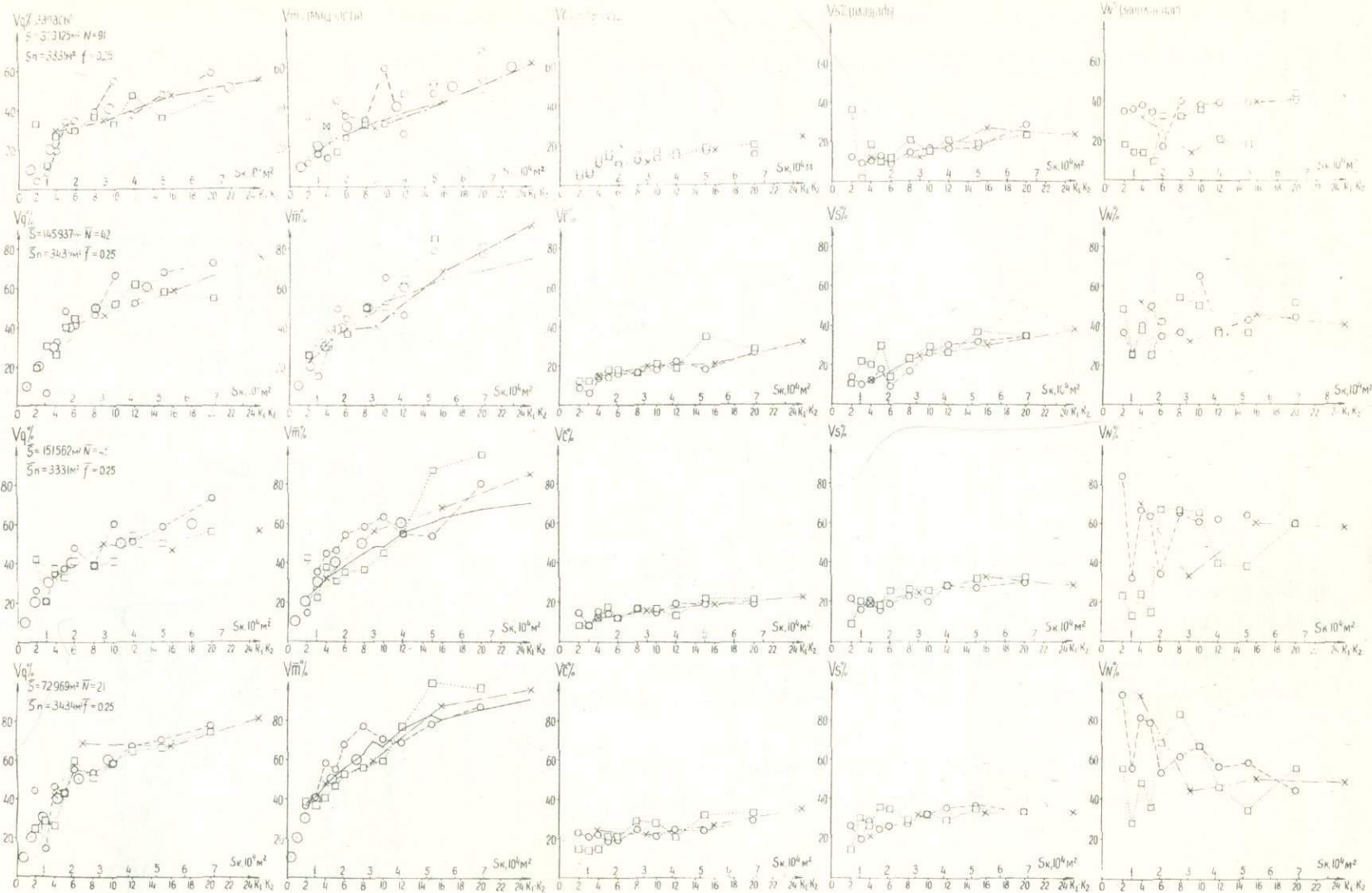


Рис. 14. Графики моделирования для Волдинского месторождения.

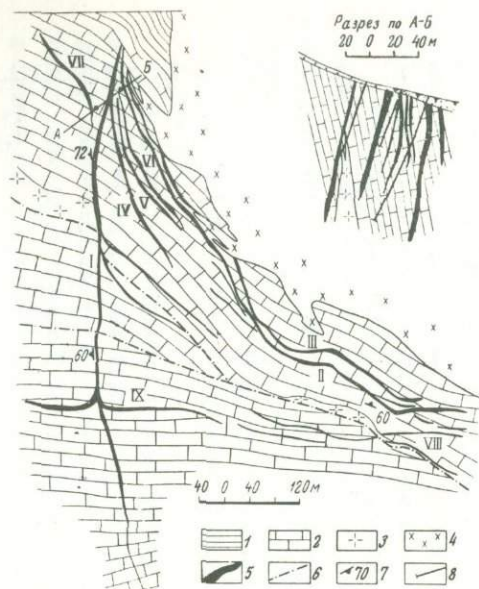


Рис. 15. Схематический геологический план и профиль по А-Б Олимпийского участка Гарсонуидского месторождения / по материалам Читинского

Г У /

1-сланцы кварц-серицитовые; 2-известняки доломитизированные; 3-граниты пегматитовые; 4-кварцевые диориты; 5 - кварц-флюоритовые жилы: I-Александровская; П-Романовская; III-рудное тело № 4; IV-рудное тело № 2; V-рудное тело № 7; VI-рудное тело № 6; VII-рудное тело № 8; VIII-рудное тело № 1; IX- Широкая жила; 6-тектонические нарушения; 7-элементы залегания; 8-скважины.

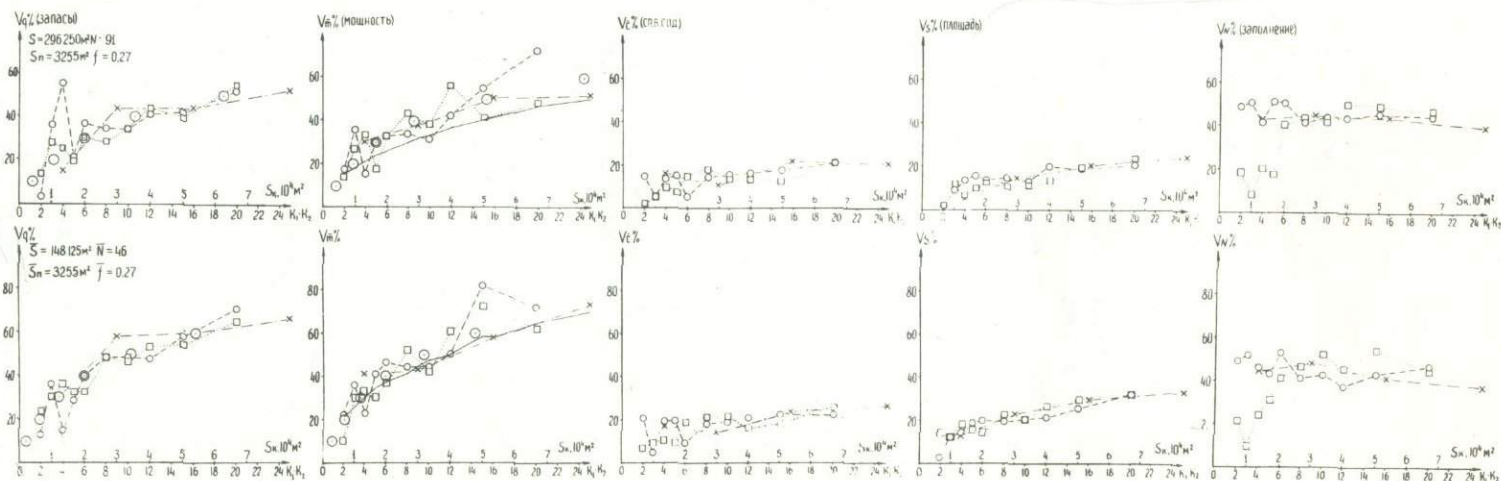


Рис. 16. Графики моделирования для Александровской жилы Олимпийского участка Гарсонуидского месторождения.

Анализ рис.14 показывает, что основной вклад в ошибку определения запасов вносят погрешности оценки мощности и значительно меньший - примерно равные ошибки определения содержания $V\bar{C}$ и площади $V\bar{S}$. Расчетная кривая ошибок определения мощности $V\bar{m}$ проходит несколько ниже графика моделирования $V\bar{m}$.

Месторождение Олимпийское /одноименный участок Гарсонуйского месторождения/ представлено 7 рудными телами /рис.15/. К числу наиболее крупных из них относится Александровская жила, представленная крутопадающей /угол 68° / зоной брекчий на кварц-флюоритовом цементе. Контакты ее с вмещающими кембрийскими известняками нечеткие; протяженность по поверхности составляет 950 м, по падению жила прослежена на 270 м. Мощность рудного тела меняется от 0,25 до 14 м, в среднем 1,66 м.

Жила вскрыта по сети 50×50 м в основной части и по сети 20×20 м на верхних горизонтах. Для моделирования использован полный план и "окна", полученные путем деления плана на правую и левую половины.

Графики на рис.16 указывают на преимущественную роль ошибки определения мощности. Погрешности в оценке площади примерно равны ошибке определения содержания. Расчетный график ошибок определения мощности проходит значительно ниже графика моделирования $V\bar{m}$, что объясняется хаотичностью распределений значений мощностей по площади.

Месторождение Наранское расположено в Западном Забайкалье и состоит из серии рудных тел, которые, хотя и распространены в едином рудном поле, все же обладают некоторыми отличиями. Для моделирования использованы 5 наиболее крупных и детально разведанных рудных тел /№ 1, 2, 7, 8 и 10/.

Рудное тело № 1 представлено крутопадающей /угол 84° / и последовательно расположенной системой кварц-флюоритовых линз протяженностью 50-200 м, чередующихся с участками брекчирования вмещающих гранитоидов повышенной щелочности на кварц-флюоритовом цементе /рис.17/. Контакты рудных линз четкие, в участках брекчирования границы постепенные и устанавливаются по результатам опробования. Общая протяженность промышленно-флюоритоносного оруденения по поверхности составляет 510 м, включая два пережима рудного тела; по падению оно прослежено до 210 м. Мощность в промышленном контуре меняется от 0,15 до 10 м, в среднем 2,15.

В ходе детальной разведки флюоритоносное тело в основной своей части вскрыто выработками по сети 35×35 м, а на верхних горизонтах - по сети 40×5 м. Моделирование выполнено в пределах полного схематизированного плана S и площади $\bar{S}$, полученной при обработке результатов исследований по левой и правой половинам плана.

Анализ построенных графиков /рис.18/ указывает на близость ошибок определения запасов $V\bar{q}$ и мощности $V\bar{m}$. В отличие от ранее описанных месторождений Восточного Забайкалья, ошибки определения содержания $V\bar{C}$ в данном случае несколько превышают ошибки определения площади $V\bar{S}$. График моделирования $V\bar{m}$ хорошо соответствует расчетному графику $V\bar{m}$.

Рудное тело № 2 представляет собой крутопадающую /угол 74° / зону дробления с кварц-флюоритовым цементом и с более редкими, чем в рудном теле № 1, кварц-флюоритовыми линзами /рис.17/. Характер контактов аналогичен рудному телу № 1. Общая протяженность рудного тела № 2 по поверхности, включая три пережима промышленного оруденения, составляет 810 м. Мощность меняется от 0,25 до 10,3 м, в среднем, 2,04 м. Длина флюоритоносного тела по падению 300 м.

Рудное тело № 2 вскрыто горными выработками по сети 45×45 м в основной своей части и сетью 45×5 м на верхних горизонтах. Моделирование выполнено в пределах полного схематизированного плана и "окон", полученных делением плана на правую и левую половины.

Построенные графики /рис.19/ свидетельствуют о близости ошибок определения запасов $V\bar{q}$ и мощности $V\bar{m}$. По сравнению с ними ошибки определения содержания и площади являются несколько меньшими, причем $V\bar{S} > V\bar{C}$. Расчетный график $V\bar{m}$

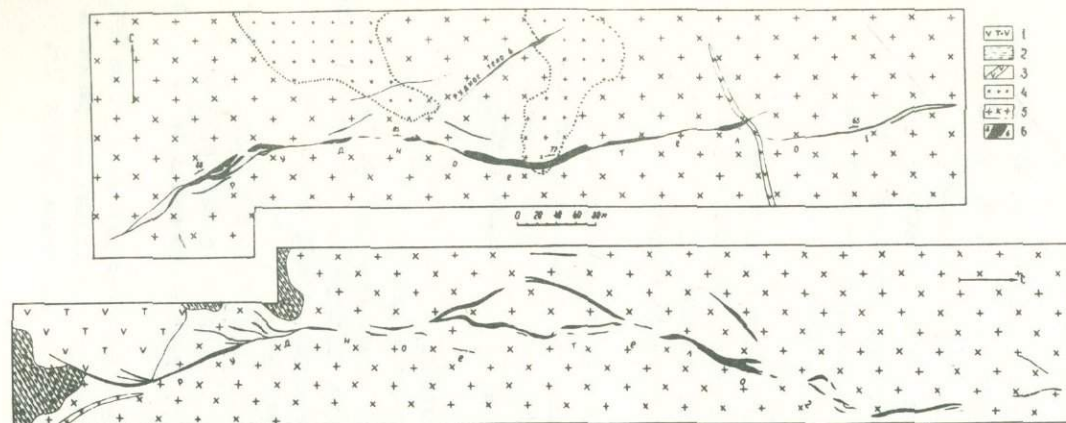


Рис. 17. Схематический геологический план рудных тел №1 и №2 Наранского месторождения (по данным Бурятского ГУ)

1- трахиты и лавобрекчии; 2- карбонатно-силикатные кристаллические сланцы и метапесчаники; 3- дайки диоритовых, андезитовых и трахиандезитовых порфиров; 4- граносиениты лейкократовые мелкозернистые; 5- граносиениты лейкократовые неравномернозернистые и порфировидные; 6- флюоритовые и кварц-флюоритовые рудные тела с содержанием CaF_2 : а) более 15% и б) от 10 до 15%.

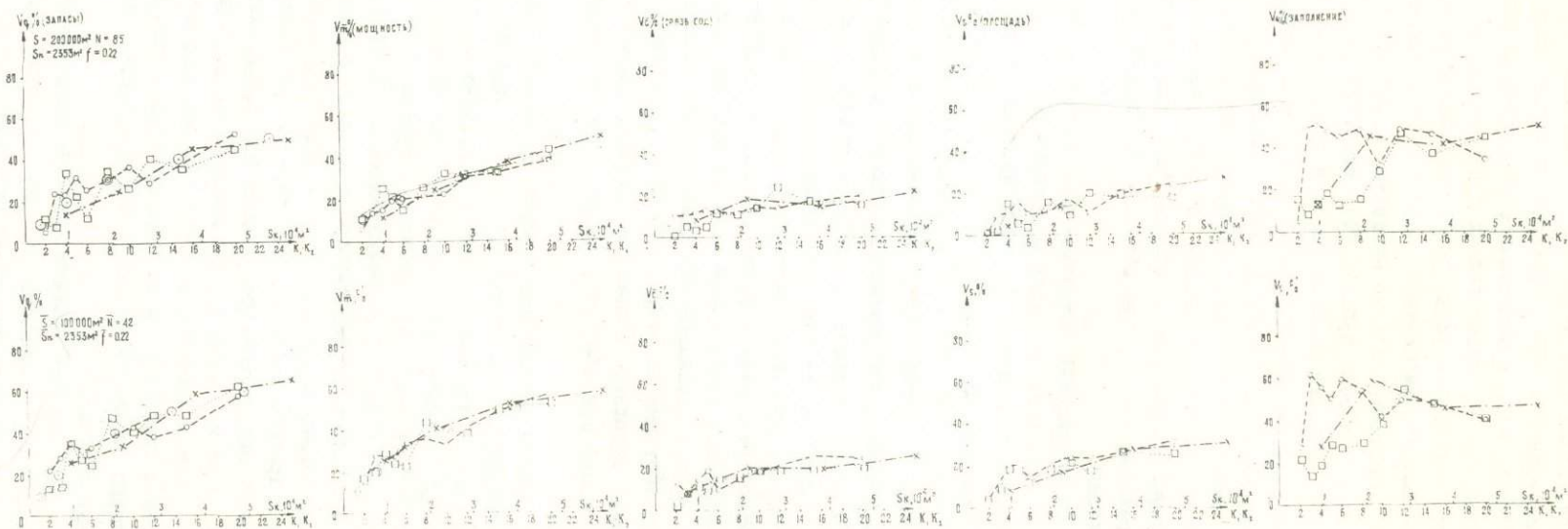


Рис. 18. Графики моделирования для рудного тела №1 Наранского месторождения.

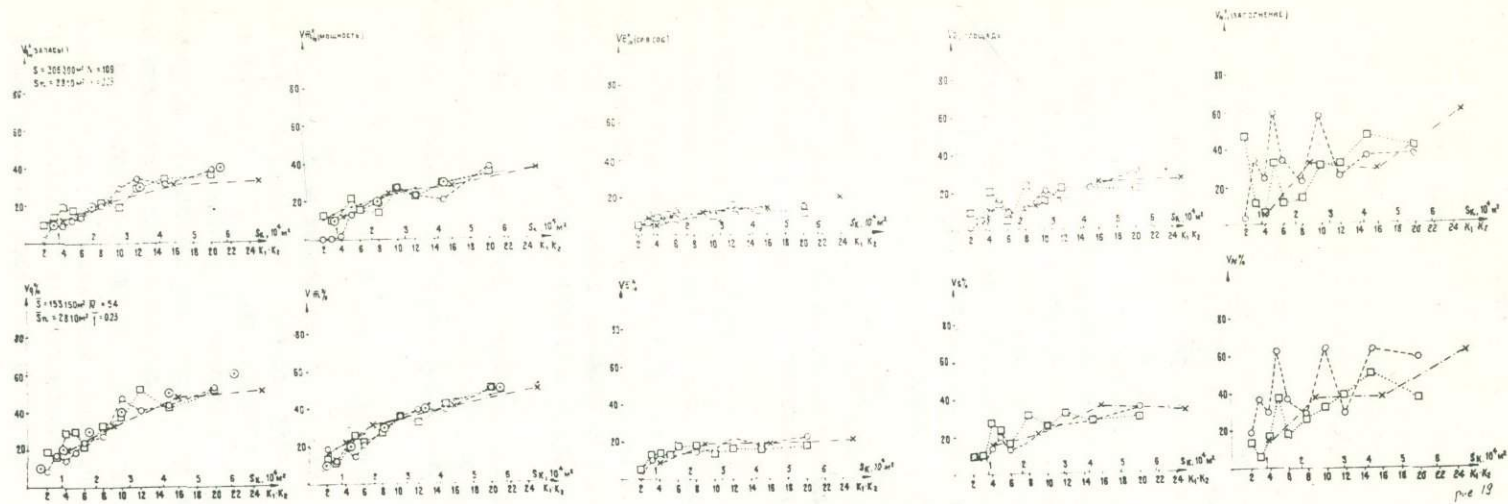


Рис. 19. Графики моделирования для рудного тела №2 Наранского месторождения.

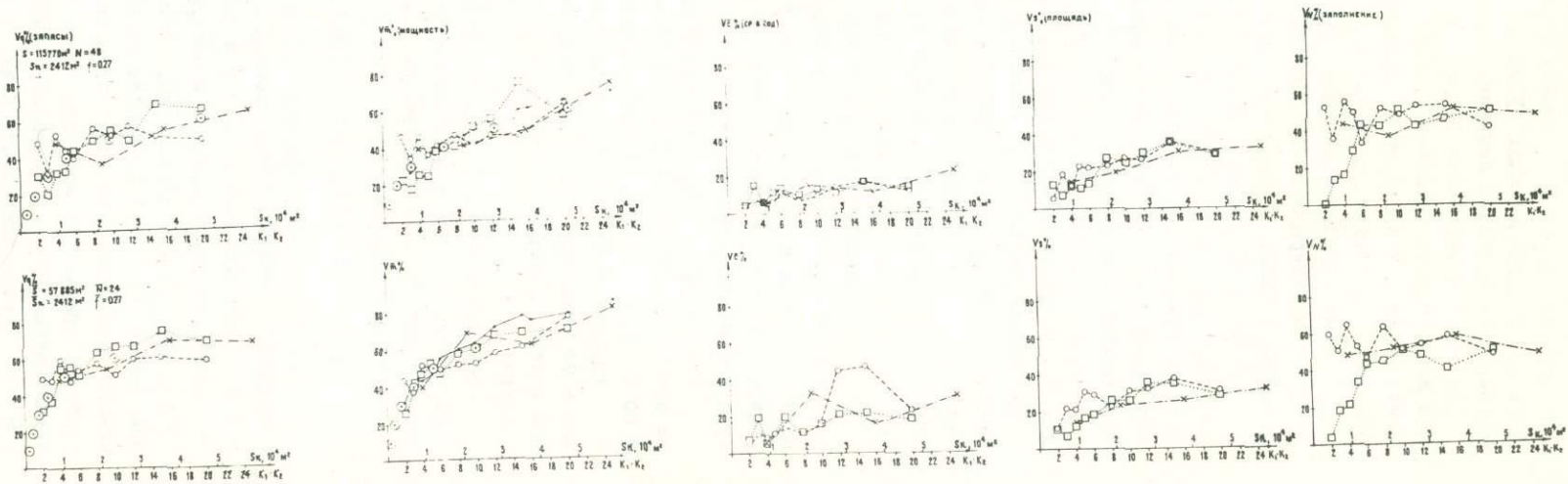


Рис.20. Графики моделирования для рудного тела №7 Наранского месторождения.

проходит несколько выше полученного при моделировании, что следует объяснить наличием "тренда" в площадном распределении значений мощностей.

Рудное тело № 7 по своему строению сходно с рудным телом № 2. Оно представляет собой крутопадающую /угол 62° / оплавленную зону дробленых грано-сиенитов с кварц-флюоритовыми линзами. Контакты рудной зоны с вмещающими породами нечеткие. Длина ее по поверхности 380 м, по падению 180 м. Для рудного тела характерны большая изменчивость мощности и содержания флюорита. Мощность в промышленном контуре меняется от 0,3 до 18,85 м, составляя в среднем 3,83 м, а значения содержаний флюорита колеблются от первых процентов до 97,4%.

Горными выработками рудное тело № 7 вскрыто по сети с размерами в среднем 25×25 м. Моделирование на схематизированном плане выполнено в пределах полной площади, а также ее правой и левой половин.

Полученные графики /рис.20/ выявляют существенную роль ошибки определения мощности V_m в общей погрешности определения запасов V_q . Вклад ошибок определения площади и содержания заметно меньше, причем значение V_s почти вдвое выше оценок V_c . Расчетный график V_m хорошо соответствует графику V_m , полученному при моделировании.

Рудное тело № 8 по морфологии и вещественному составу сходно с рудным телом № 1 и представляет собой крутопадающую /угол 65° / серию кварц-флюоритовых линз с небольшим участием оплавленных зон дробления и брекчирования. Контакты обычно четкие; реже они устанавливаются по данным опробования. Протяженность рудного тела 415 м, по падению оно прослежено на 230 м. Мощность сравнительно выдержанная и меняется от 0,2 до 4,51 м /в среднем 1,69 м/. Горными выработками рудное тело вскрыто по сети, близкой 45×45 м. Моделирование выполнено в пределах исходного схематизированного плана и его правой и левой половин.

Графики на рисунке 21 свидетельствуют о близости погрешностей определения мощности, площади и содержания, т.е. о примерно равном их вкладе в ошибку определения запасов. Расчетный график ошибок определения мощности V_m хорошо согласуется с графиком моделирования V_m .

Рудное тело № 10 - это крутопадающая /угол 56° / зона дробленых гранитоидов на кварц-флюоритовом цементе. Общая длина рудного тела по простиранию достигает 616 м, а по падению - 220 м. Мощность меняется от 0,3 до 7,0 м /в среднем 1,84 м/.

Горными выработками рудное тело вскрыто по сети 45×45 м, а на верхних горизонтах - по сети 15×15 м. Моделирование выполнено в пределах полного плана, его правой и левой /второй ряд графиков/, а также верхней и нижней /третий ряд графиков/ половин.

Вид приведенных на рис.22 графиков свидетельствует о равном вкладе ошибок определения площади и мощности в погрешность определения запасов при значительно меньшей роли ошибок определения содержания. Расчетный график V_m хорошо согласуется с графиком моделирования V_m .

4. Построение и практическое применение номограмм.

Результаты моделирования разведочных сетей на рассмотренных месторождениях Забайкалья обобщены в виде номограмм, связывающих величину ошибок определения запасов с плотностью сети и размером разведочного участка /рис. 23, 24/. Техника построения номограмм сводится к следующему [29]. Вначале на графиках ошибок проводится плавная кривая, усредняющая все три графика моделирования. На кривой отмечены точки /большие кружки на рис.2,3 и др./, соответствующие нескольким значениям среднеквадратических относительных ошибок /10, 20, 30, 40, 50%/. Для удобства применения номограмм нами при их построении использованы удвоенные значения ошибок V_q , поскольку величина $2V_q$ соответствует предельной ошибке при $\approx 5\%$ уровне значимости /лишь в одном случае на 20 испытаний возможен выход наблюдаемых ошибок за пределы $\pm 2V_q$ /.

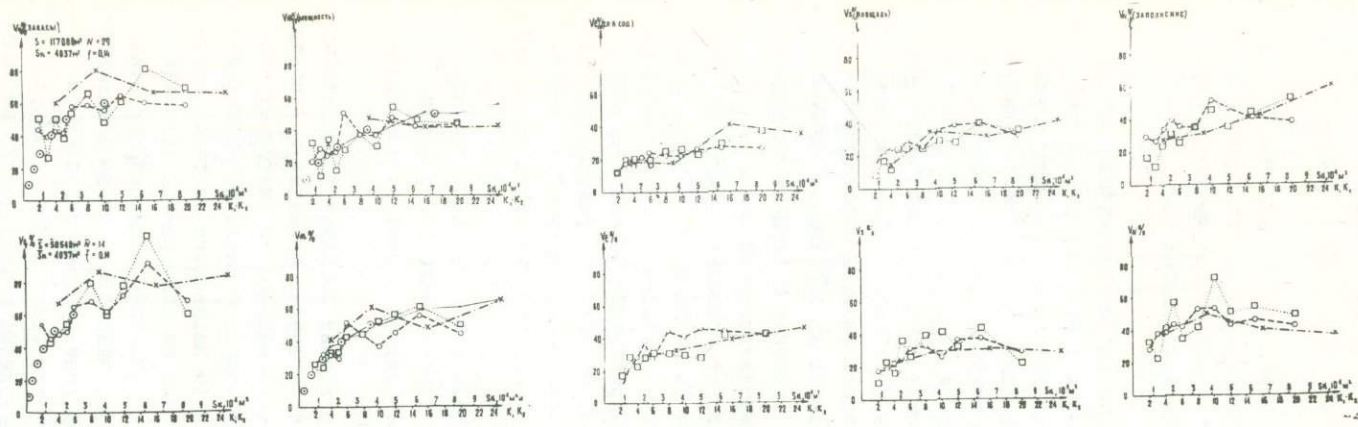


Рис.21. Графики моделирования для рудного тела № 8 Наранского месторождения.

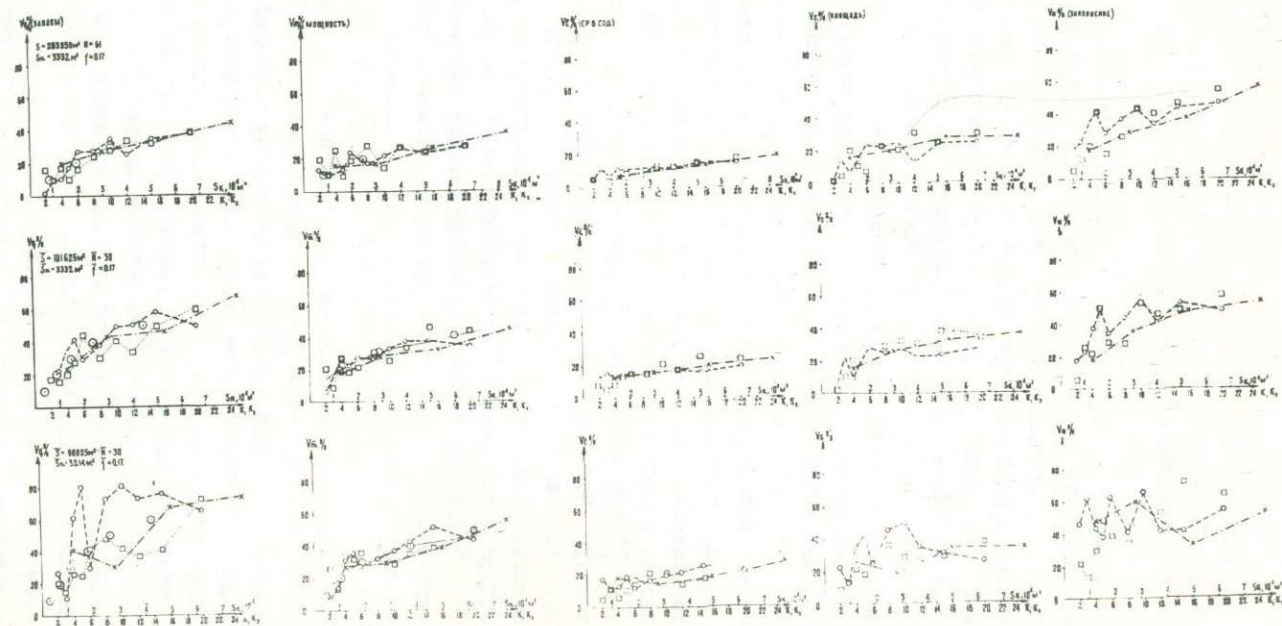


Рис. 22. Графики моделирования для рудного тела № 10 Наранского месторождения.

Величина S_k , отвечающая значению ошибок $\pm 2V_q$, откладывается в качестве абсциссы при нанесении результатов на координатную плоскость номограммы; в качестве ординаты служил параметр S — площадь месторождения или $\bar{S}$ — размер "окна", для которых получены графики моделирования /рис. 2, 3, 5-8, 10-14, 16, 18-22/. Точки для различных "окон" одного и того же плана соединяются на плоскости номограммы штриховыми линиями.

В целях удобства использования построение выполнено на двух листах: на первом вынесены величины $2V_q$, равные 20, 60 и 100% /рис. 23/, а на втором — 40, 80% /рис. 24/.

Как видно из рис. 23, 24, точки, соответствующие определенной величине $2V_q$, занимают на номограммах обособленные области, ограниченные линиями, сходящимися к началу координат. Точки для различных размеров "окон" отвечают той же закономерности, что подтверждает правомерность методики исследования ошибок при изменении размеров участков.

Важно отметить, что номограммы построены по данным для месторождений, характеризующихся значительными различиями геологоразведочных параметров рудных тел /длины по простиранию и падению, мощности, содержания, запасы /и неодинаковыми числом и расположением фиктивных точек на схематизированных планах /см. коэффициент заполнения f , табл. I/. В основу построения номограмм положены результаты моделирования 1075 вариантов сетей /43 площади рудных тел $\times$ 25 положений сетей/. С учетом ранее отмеченного, можно считать, что достоверность номограмм достаточно высока, а использование их обеспечивает эффективность и гибкость выбора рациональных размеров разведочных сетей. При расчете последних имеется определенная свобода выбора системы расположения горных выработок; она не обязательно должна быть правильной, и может быть разрежена на одних участках и сгущена на других /в той мере, в какой это имело место на исходных схематизированных планах/.

При определении положения точек на номограммах могут возникнуть некоторые погрешности. По условиям использованного метода, размеры площади S устанавливались с расчетом, чтобы в ее пределы вошли все горные выработки /рудные и безрудные/. Таким образом, допускается некоторая свобода в проведении ограничивающего контура. Однако, из-за пропорциональной связи величин S и S_k практически при всех возможных определениях площади S , общий вид номограммы значительно не изменится /соответствующая точка переместится вверх или вниз по лучу/ и на последующих расчетах сети это существенно не отразится.

Возникает в ряде случаев некоторая неопределенность и при снятии с графиков значения S_k /особенно при малых размерах "окон"/, однако такие погрешности во всех случаях не слишком влияли на положение соответствующей точки на номограммах.

Как видно из рис. 23, 24, основная группа месторождений попадает в достаточно узкие области, выделенные на номограммах, т.е. требует примерно одинаковую густоту разведочной сети для достижения равной точности подсчета запасов /с учетом их площади/. Несколько более редкая сеть может быть использована при разведке месторождений типа Горинского, Брикачанского и рудного тела № 10 Наранского месторождения — соответствующие им точки располагаются правее выделенных на номограммах областей. Подобная особенность объясняется большей устойчивостью значений мощности для этих рудных тел. Коэффициенты вариации мощности — параметра, наиболее активно влияющего на ошибку определения запасов, — для них 76, 65 и 56% /при среднем значении по всем объектам 87%/; коэффициенты вариации содержания флюорита в общем сходны, а процент рудных скважин n , близкий к величине коэффициента рудоносности, несколько выше среднего /табл. I/.

Более густая сеть для достижения той же точности подсчета запасов требуется при разведке флюоритоносных тел, сходных с телом № 1 Гарсонуйского месторождения — соответствующие ему точки отходят влево от выделенных на номограммах областей. Последнее связано с тем, что данное рудное тело обладает максимальной изменчивостью по мощности из всей анализируемой группы / $V_{\bar{m}} = 117\%$ при среднем 87%/.

Таблица I

Характеристика участков моделирования

Месторождения	Участ- ки	Площадь участка, км ² S	Число раз- ведочн. скв.	Исходная развед. сеть м	Сеть схе- матиз. плана м	Коэффи- циент запол- нения f	Процент рудных скв. h	Средне- взвешен. содерж. СаF ₂ , %	Средне- квадра- тичн. откл. со- держ. СаF ₂ , %	Коэф. вариаци- онной содерж. СаF ₂ , %	Средняя мощность м	Средне- квадра- тичн. отклон. мощно- сти, м	Коэфф. вариаци- онной мощн., %
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Шахтерское, I вариант	I	0,33	127	45x45	25x25	0,23	69	34,66	11,15	31	3,25	2,84	87
Шахтерское, II вариант	Ia	0,34	164	25x50 45x45	25x25	0,29	69	35,86	11,83	32	3,44	3,18	91
Семилетнее, I вариант	2	0,17	63	50x50	25x25	0,21	60	31,74	7,32	24	1,87	1,54	82
Семилетнее, II вариант	2a	0,20	115	25x25 50x50	25x25	0,33	70	33,78	6,77	21	2,7	2,30	86
Гарсонуйское, рудн. т. I	3	0,20	73	45x45 25x25	24x25	0,22	74	37,38	11,05	30	3,92	4,60	117
Усугли	4	0,79	174	50x100	25x25	0,14	73	63,67	18,06	30	1,5	1,33	89
Ново-Бугутурское, ж. 2	5	0,12	67	15x15 45x45	25x25	0,31	64	41,67	15,19	35	2,28	2,09	91
Ново-Бугутурское, ж. 3	6	0,21	95	25x25 45x45	25x25	0,27	76	39,56	14,75	36	2,39	2,09	87
Горинское, I Вост. зона	7	0,11	70	50x50	20x20	0,37	74	39,92	14,04	35	2,69	2,03	76
Брикачанское, рудн. т. Восточ.	8	0,13	58	15x15 40x40	25x25	0,26	54	51,31	19,40	38	2,61	1,69	65
Волдинское	9	0,30	128	25x25 50x50	25x25	0,25	71	34,83	11,40	32	2,58	2,60	101
Олимпийское, Александ- ровская жила	10	0,30	129	20x20 50x50	25x25	0,27	71	38,40	13,52	32	1,55	1,58	102
Наран, рудн. т. I	11	0,20	119	40x5 35x35	20x20	0,22	71	46,91	17,71	37	2,18	1,83	84
Наран, рудн. т. 2	12	0,31	182	45x5 45x45	20x20	0,23	60	35,32	13,47	36	2,1	1,70	81
Наран, рудн. т. 7	13	0,12	80	25x25	20x20	0,27	60	30,38	15,15	45	3,97	4,30	108
Наран, рудн. т. 8	14	0,12	43	45x45 15x15	20x20	0,14	67	41,44	19,54	47	1,71	1,17	69
Наран, рудн. т. 10	15	0,20	87	45x45	20x20	0,17	70	37,62	9,50	25	1,9	1,07	56

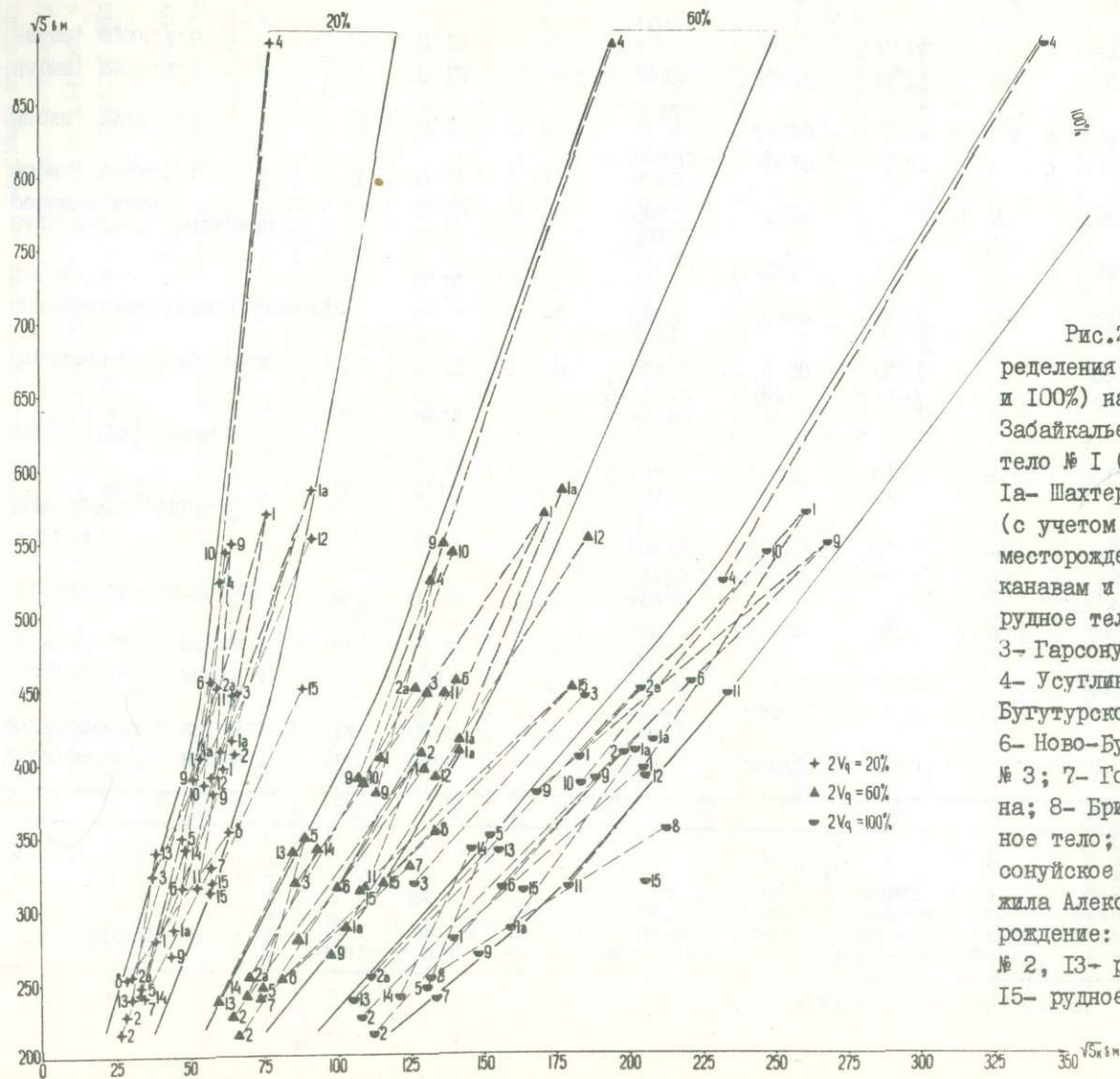


Рис.23. Номограммы для расчета ошибок определения запасов плавиково-шпатовых руд (20,60 и 100%) на жильных месторождениях флюорита в Забайкалье: I- Шахтерское месторождение, рудное тело № I (без данных по канавам и штольне); Ia- Шахтерское месторождение, рудное тело № I (с учетом всех горных выработок); 2- Семилетнее месторождение, рудное тело № I (без данных по канавам и штольне); 2a- Семилетнее месторождение, рудное тело № I (с учетом всех горных выработок); 3- Гарсонуйское месторождение, рудное тело № I; 4- Усуглинское месторождение, участок 2; 5- Ново-Бугутурское месторождение, рудное тело № 2; 6- Ново-Бугутурское месторождение, рудное тело № 3; 7- Горинское месторождение, I Восточная зона; 8- Брикачанское месторождение, Восточное рудное тело; 9- Волдинское месторождение; 10- Гарсонуйское месторождение, Олимпийский участок, жила Александровская; II- I5- Наранское месторождение: II- рудное тело № I, I2- рудное тело № 2, I3- рудное тело № 7, I4- рудное тело № 8, I5- рудное тело № 10.

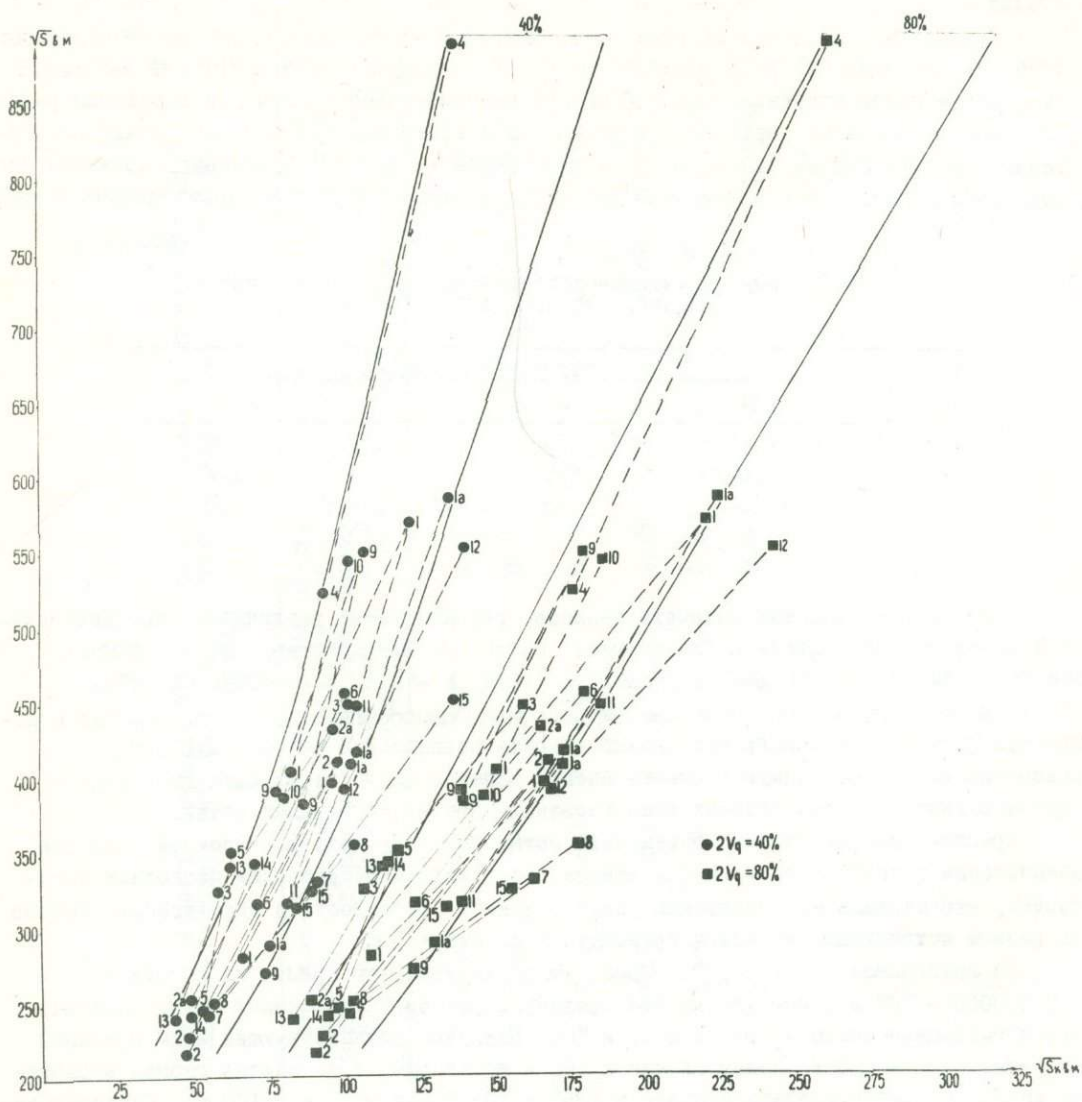


Рис. 24. Номограммы для расчета ошибок определения запасов плавиковошпатовых руд /40 и 80%/ на жильных месторождениях Забайкалья /номера точек см. рис. 23/.

Построенные номограммы позволяют решать одну из важнейших задач оптимизации геологоразведочного процесса, а именно – осуществлять выбор рациональной плотности разведочной сети, исходя из заранее заданной погрешности определения запасов руд. Следует при этом подчеркнуть, что использование номограмм позволяет определить размеры сетей, наиболее пригодные для поисково-оценочных работ и всех последующих стадий разведок.

Критерием при выборе величины погрешности является необходимость обеспечения степени разведанности месторождения по одной из существующих категорий запасов. В этой связи нужно отметить, что в СССР при классификации запасов по различным категориям нет официально принятых допустимых количественных расхождений между подсчитанными и погашенными запасами. Но в ряде стран предложены численные выражения для предельно допустимых погрешностей подсчета запасов, как например, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Некоторые допустимые погрешности в подсчете запасов различных категорий [37]

Страны	Категории запасов, %			
	A	B	C _I	C ₂
СССР	± 12	± 25	± 65	± 100
ВНР	$\pm 10-20$	± 35	± 50	± 100
БНР	$\pm 10-20$	± 30	(категория C ± 50)	

Пределы погрешностей подсчета запасов, рекомендуемые различными исследователями в нашей стране, довольно близки между собой. По В.М.Крейтеру [18], в среднем, они не должны превышать для категорий: A $\pm 17\%$, B $\pm 25\%$, C_I $\pm 45\%$ и C₂ $\pm 75\%$.

Руководствуясь теми или иными цифрами допустимых ошибок подсчета запасов и используя построенные номограммы, можно выбрать оптимальную разведочную сеть, обеспечивающую необходимую точность оценки запасов для существующих категорий в случае рудных тел, аналогичных использованным при моделировании сетей.

Предположим, необходимо определить оптимальную густоту разведочной сети для обеспечения запасов категории C_I. Данные предварительной разведки позволили установить, что площадь месторождения равна 0,5 км²; погрешность в определении запасов по разным источникам не должна превышать ± 40 или $\pm 60\%$.

На номограмме /рис. 24, 23/ проводим горизонтальную прямую на высоте $\sqrt{S} = \sqrt{500000} = 707$ и фиксируем на ней середину отрезков, заключенных между линиями, ограничивающими области ошибок в 40 и 60%. Находим соответствующие этим срединам значения $\sqrt{S_k} = 135$ в первом случае и 190 – во втором, т.е. каждая горная выработка должна охарактеризовать площадь в $135^2 = 18225$ или $190^2 = 36100$ м². Следовательно, при удвоенной среднеквадратической ошибке 40% в определении запасов, рудное тело должно быть пересечено $500000 : 18225 = 28$ выработками, а при 60% – всего $14 / 500000 : 36100$ при более или менее равномерном их распределении по площади изучаемого рудного тела. В тех случаях, когда оцениваемый объект может быть сравнен с одним из месторождений, представленных на номограммах, расчет сети производится более точно; при этом значение S_k определяется по точке пересечения горизонтальной прямой, проведенной на высоте $\sqrt{S}$, с линией, соединяющей точки месторождения – аналога.

Подобным же образом можно рассчитать разведочные сети, обеспечивающие подсчет запасов и по другим категориям, в том числе и по C₂ при поисково-оценочных работах если известна площадь рудного тела. В этих условиях она может быть предположительно установлена по аналогии, исходя из данных исследования флюоритиносного проявления, обнаруженного с поверхности.

Таблица 3

Результаты оценки точности определения запасов некоторых месторождений
плавикового шпата Забайкалья, подвергшихся предварительной и детальной
разведке

Месторождения, категория запасов	Сеть проведенной разведки /условная/ м	Количество скважин, учтенных в рудном контуре, n^*	Количество скважин в приконтурной полосе, n_o	Площадь рудного контура $S^*, \text{км}^2$	Площадь приконтурной полосы $S_o, \text{км}^2$	Сумма площадей $S^* + S_o$ км^2	Средняя площадь на 1 скв. $S_k = \frac{S^* + S_o}{n^* + n_o}$	$2\sqrt{q}$ %
Шахтерское, В+С _I	45 x 45	142	26	0,29	0,065	0,355	2113	12
Гарсонуйское, р.т. I, В+С _I	45 x 45	76	26	0,141	0,065	0,206	2020	12
Наранское, р.т. 2, В+С _I	25 x 25	250	42	0,111	0,052	0,166	568	8
Шахтерское, С _I	50 x 50	121	23	0,29	0,058	0,348	2417	14
Наранское, р.т. 2, С _I	45 x 45	68	29	0,111	0,072	0,183	1887	14
Степное, р.т. 3, С ₂	70 x 70	9	6	0,04	0,03	0,07	4666	48

Кроме расчета плотности разведочных сетей номограммы могут быть использованы и для оценки ошибки определения запасов, которая имела место после проведения поисково-оценочных работ, предварительной или детальной разведки. Оценку ошибки подсчета запасов можно производить по любому разведанному месторождению, в том числе и по рудным телам, которые обрабатывались при построении номограмм.

В качестве значения S , характеризующего площадь месторождения, принимается сумма площадей рудного контура S^* и S_0 - некоторой полосы вокруг рудного контура с шириной, определяемой расстоянием между скважинами разведочной сети [29]. Для определения S_0 производится подсчет числа разведочных скважин n_0 , отстоящих от рудного контура не более чем на шаг разведочной сети. Затем вычисляется $S_0 = n_0 \cdot S_{xy}$, где S_{xy} - площадь ячейки сети данного вида разведки /предварительной, детальной и т.д./ - графа 2, табл.3.

Необходимость учета n_0 скважин определяется тем, что они дают разведочную информацию о контуре рудного тела, хотя и не несут сведений о его мощности и содержании флюорита. Более удаленные от контура скважины не повышают точности определения запасов, поэтому при расчетах они не учитываются. После нахождения площади S определяется площадь, приходящаяся на одну разведочную скважину:

$$S_k = \frac{S^* + S_0}{n^* + n_0}$$
, где n^* - число учтенных разведочных скважин в рудном контуре. По полученным таким образом значениям $\sqrt{S}$ и $\sqrt{S_k}$ с помощью номограмм вычисляется относительная среднеквадратическая ошибка определения запасов $2Vq$, которая имеет место при разведке месторождения. Для этого на плоскости номограммы на высоте $\sqrt{S}$ над осью абсцисс проводится горизонтальная прямая, на которой фиксируется точка с координатой, равной $\sqrt{S_k}$. Искомая ошибка находится путем экстраполяции и интерполяции в зависимости от положения точки на плоскости номограммы.

В табл.3 приведены значения $2Vq$ по ряду месторождений после этапов детальной разведки. Из таблицы видно также, что ошибка определения запасов составляет 8-12% при детальной разведке /категории $B+C_I$ /, 14% - для категории C_I и 48% - для категории C_2 /рудное тело № 3, месторождение Степное/. Минимальная ошибка получена для рудного тела № 2 Наранского месторождения, что объясняется очень высокой плотностью его разведочной сети /средняя по рудному телу 25 x 25 м/.

Оценивая погрешности определения запасов в целом, необходимо отметить, что их уровень достаточно низок. Даже ошибки, полученные для разведочных работ, /48% при уровне значимости 5%/, в результате которых подсчитаны запасы по категории C_2 , близки тем, которые рекомендованы различными исследователями для категории C_I . Все это свидетельствует о том, что необходимая точность подсчета запасов нередко может быть достигнута уже на стадии предварительной разведки; это следует учитывать при освоении забайкальских промышленных источников флюорита. Если руководствоваться рекомендуемым 40-45% уровнем ошибок при подсчете запасов категории C_I , то для исследованных забайкальских плавиковошпатowych месторождений достаточна сеть 70x70 /50x100м/, используемая сейчас обычно для подсчета количества руды по категории C_2 . Запасы категории C_I обеспечиваются здесь разведочной сетью 50x50 м - 45x45 м /без тяжелых подземных горных выработок/, которая, судя по проделанным расчетам, дает ошибку, явно меньшую допустимой на данной стадии работ /табл.2/. Все это свидетельствует о необходимости существенной корректировки применяемых сетей в сторону их разрежения, используя для подобных целей построенные номограммы.

Вывождающиеся при выборе более редкой разведочной сети средства можно было бы направить для более полного установления соответствия разведанного месторождения его геологической модели, что еще значительно повысило бы результативность применения номограмм. Важность выяснения такого соответствия неоднократно подчеркивалась многими исследователями [16] и при использовании иных методических подходов к количественной оценке степени разведанности запасов. В нашем же

случае, помимо обычного привлечения доступной геологической, геофизической и геохимической информации по изучаемому флюоритоносному объекту и месторождениям - аналогам, предоставилась бы возможность получения дополнительных данных путем выборочного сгущения разведочной сети на исследуемом жильном флюоритоносном теле за счет сэкономленных средств.

Выводы

1/. Математическая обработка на ЭВМ данных разведки жильных месторождений плавленого шпата Забайкалья позволила подготовить графики и номограммы для:

- выбора оптимальных сетей, которые могут быть эффективно использованы при изучении аналогичных объектов, начиная от поисково-оценочных работ и на всех последующих разведочных стадиях;

- оценки точности определения запасов на разведанных месторождениях.

2/. Результаты анализа материалов свидетельствуют о том, что применяемые ныне для обеспечения запасов плавленого шпата категорий C_2 и C_1 разведочные сети дают ошибки значительно меньше допустимых. В связи с этим следует пересмотреть плотности сетей буровых скважин в сторону разрежения, используя для выбора их оптимальных размеров предложенные номограммы.

3/. Использование алгоритма, разработанного И.Д.Савинским [29] для расчета оптимальных размеров разведочных сетей, применительно к крутопадающим флюоритоносным жильным телам, оказалось не менее эффективным, чем для крупных пологих железорудных месторождений [30]. Тем самым показана универсальность данного метода математического моделирования, который следует рекомендовать для апробации при анализе разведочных сетей и на других месторождениях эндогенных полезных ископаемых.

Авторы выражают глубокую благодарность И.Д.Савинскому и А.П.Грудеву за консультации при выполнении работы и критическое обсуждение статьи.

ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ИСХОДНОЙ СЕТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Традиционный метод разрежения сетей позволяет подходить к оценке различных вариантов разреженных сетей, но не дает информации о надежности исходной сети, которая принимается за эталон. Ей приписывается несущественная погрешность разведки, что приемлемо далеко не всегда. Очевидно, что важной практической задачей является оценка погрешностей исходной сети, когда нет возможности воспользоваться материалами опробования по более густой сети, хотя бы на отдельных участках /так называемое контрольное сгущение/.

В [7, 29, 30] показано, что после обработки данных методом моделирования разведочных сетей по достаточному количеству объектов появляется возможность построения номограмм, позволяющих оценить погрешности определения запасов и средних содержаний. Номограммы обобщают результаты обработки по большому числу разных участков. В связи с этим усредняющие кривые на них могут использоваться для операций интерполяции и, в разумных пределах, экстраполяции. При этом на практике в большинстве случаев имеется возможность получить оценки надежности исходных сетей. Пример такого рода оценок приводится, в частности, в работах [29] /табл. 8/ и [30] /таблицы 3 и 4/.

Значительно сложнее оценивать надежность исходной сети в том случае, когда имеются разведочные данные лишь по исследуемому объекту. Тогда номограммы строятся по материалам, относящимся только к данному объекту. Поэтому на номограммах уже нет возможности провести усредняющие линии. Это снижает достоверность интерполяции, а экстраполяция во многих случаях практически исключается. Изложенное не оставляет места сомнению в желательности разработки способа такого использования результатов моделирования, который давал бы возможность оценки надежности исходных сетей и в указанной ситуации.

Оставленную задачу можно попытаться решить, используя воображаемое трехмерное пространство с прямоугольной системой координат, в которой оси абсцисс и ординат соответствуют кратностям разрежения исходной разведочной сети по двум взаимно перпендикулярным направлениям / K_1 и K_2 в соответствии с [7, 29, 30] /, а ось аппликата – величине погрешности, полученной при данных K_1 , K_2 по методу моделирования. Тогда результат моделирования для каждого варианта разведочной сети можно считать связанным взаимно однозначным соответствием с определенной точкой в указанном пространстве.

Если через такие точки провести аппроксимирующую поверхность и продолжить ее до точки с координатами $K_1 = 1$, $K_2 = 1$, то полученная для этой точки аппликата

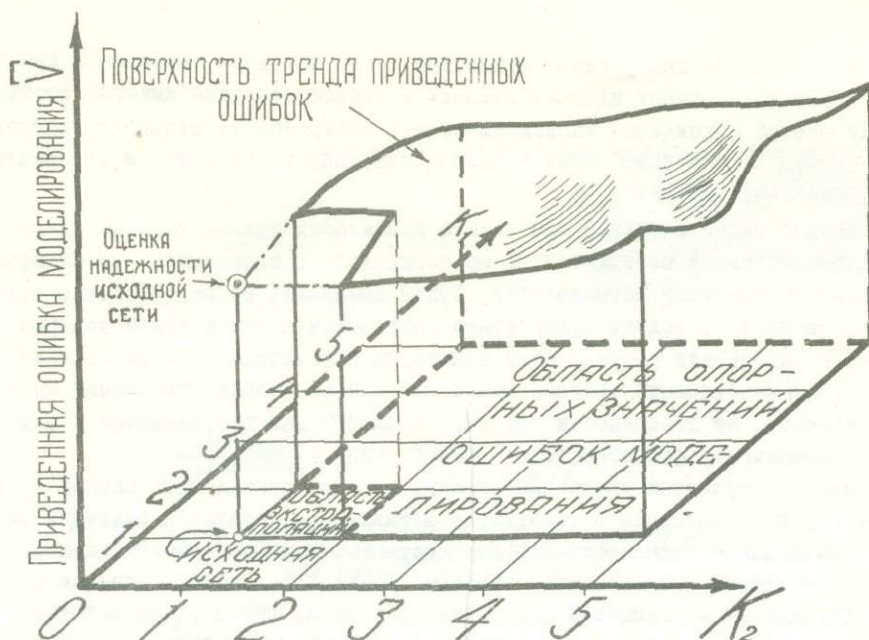


Рис. 1. Схема оценки надежности исходной сети сходящейся экстраполяцией приведенных ошибок на основе построения аппроксимирующей поверхности

будет являться оценкой искомой ошибки - в той мере, в какой указанная поверхность будет отражать зависимость величины ошибки от размера и формы ячейки сети.

Рассматривая систему точек, являющихся опорными при построении поверхности /рис. 1/, легко убедиться, что ее продолжение до $K_1 = 1$, $K_2 = 1$ представляет собой результат "сходящейся" экстраполяции, проведенной до одной и той же точки в пределах прямого угла, что значительно повышает достоверность оценки неизвестной аппликаты по сравнению с экстраполяцией по прямой.

При построении аппроксимирующей поверхности целесообразно пользоваться не непосредственно ошибками V , получаемыми при моделировании, а приведенными значениями $\bar{V}$:

$$\bar{V} = \frac{V \cdot \sqrt{N_{K_1, K_2}}}{\sqrt{N}}, \text{ где}$$

N_{K_1, K_2} - среднее количество пунктов опробования /разведки/ при данном варианте разрежения, определяемом K_1 и K_2 ;

N - количество пунктов опробования /разведки/ в исходной, не разреженной сети.

Приведение ошибок позволяет исключить из рассмотрения фактор неравенства количества наблюдений /неравноточности/.

Наглядное изображение аппроксимирующей поверхности достигается построением изолиний приведенных ошибок в системе координат K_1 , K_2 на плоскости. В литературе изолинии в координатах, хотя бы одна из которых отлична от географической, называют изоплетами. В связи с этим изолинии, демонстрирующие аппроксимирующую поверхность, целесообразно назвать изоплетами приведенных ошибок. Интерполируя между изоплетами, охватывающими точку $K_1 = 1$, $K_2 = 1$, можно получить искомое значение ошибки, присущей исходной сети. Если же имеется способ вычисления аппликаты аппроксимирующей поверхности, то можно просто рассчитать значение аппликаты в указанной точке.

Эффективность использования предлагаемого метода построения поверхности ошибок в значительной степени зависит от того, насколько рационален и автоматизирован процесс построения аппроксимирующей поверхности и, соответственно, изоплет. Если последний осуществляется вручную, то оценка надежности исходной сети становится довольно трудоемкой, а главное - в достаточной мере субъективной /хотя и может все еще оставаться целесообразной/.

Для типичных условий построения /небольшое число исходных значений с довольно резкими в некоторых случаях их колебаниями/ в настоящее время имеется достаточно эффективный способ нахождения аппроксимирующей поверхности, подробно изложенный в руководстве [29] ; в связи с этим практические вопросы подготовки материалов для расчетов здесь опускаются.

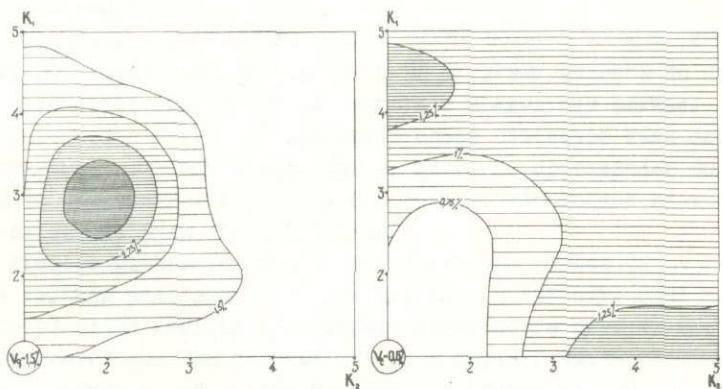
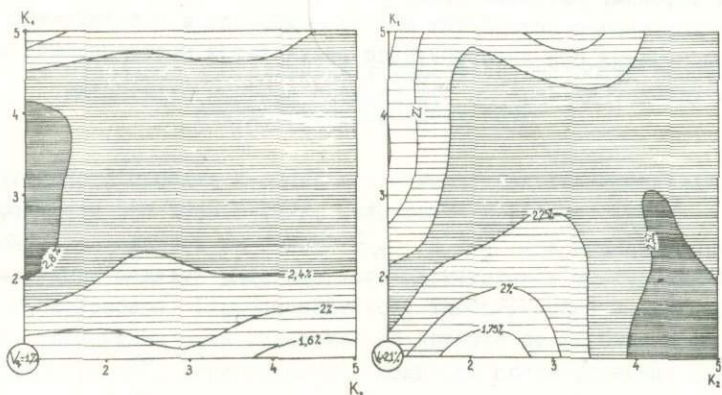
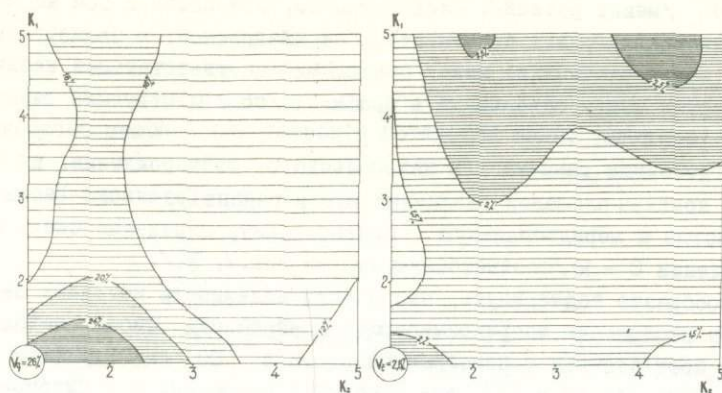
Представляется целесообразным при оценке надежности исходных сетей пользоваться не интерполяционной поверхностью, но поверхностью сглаженной /не слишком жестко/. Следуя общепринятой терминологии, будем именовать ее поверхностью тренда. Алгоритм позволяет проводить эффективное построение также и такой поверхности, причем степень сглаженности регулируется некоторым параметром P_1 /при построениях бралось $P_1 = 0,5$ /. Поверхность тренда, равно как и поверхность отклонений интерполяционной поверхности от поверхности тренда, автоматически изображаются в виде карт изоплет с помощью графопостроителя "Атлас" [22] .

Рассмотрение построенных указанным образом изоплет приведенных ошибок определения запасов и средневзвешенного содержания металла при детальной разведке Белозерского месторождения богатых железных руд /сеть 600 x 400 м; рис.2/, при эксплуатационном опробовании Богдановского участка Западной рудоносной площади Никопольского месторождения марганцевых руд /сеть 30 x 30 м; рис.3/, при детальной разведке Грушевско-Басанского участка Восточной площади Никопольского месторождения /сеть 150 x 150 м; рис.4/ позволяет сделать вывод, что полученные карты изоплет можно попытаться использовать как для оценки надежности исходных сетей, так и для выбора оптимальной формы ячеек разведочных сетей.

Например, из рис.2 следует, что среднеквадратичная ошибка подсчета запасов залежи Главной Южной участка Белозерского месторождения приблизительно равна 26% /следовательно, предельная ошибка при уровне значимости 0,05 должна иметь порядок $26\% \cdot 2 = 52\%$ /. На рис.2 видно, что в области, близкой к $K_1 = 1$, $K_2 = 1$, приведенные ошибки уменьшаются с ростом K_1 , в то время как изменение K_2 дает сравнительно небольшой эффект. Следовательно, при одном и том же количестве разведочных скважин выгоднее пользоваться не квадратной, а прямоугольной разведочной сетью, когда расстояние между профилями /соответствующее величине K_1 / превышает расстояние между подсечениями по падению рассматриваемой крутопадающей залежи /соответствующее величине K_2 /. В ходе разведочных работ геологами Белозёрской КГРЭ указанная особенность залежи, исходя из общих геологических соображений, была учтена /для разведки избрана сеть 600 x 400 м/, но, как показывает рис.2, не в достаточной степени.

Рис.3 демонстрирует, что среднеквадратичная ошибка подсчета запасов одной из площадей Богдановского участка Никопольского месторождения приблизительно равна 1,7% /следовательно, предельная ошибка при том же уровне значимости должна иметь порядок $2 \cdot 1,7\% = 3,4\%$ /. На рис.3 видно, что в области, близкой к $K_1 = 1$, $K_2 = 1$, приведенные ошибки увеличиваются с ростом K_1 , в то время как изменение K_2 практически не меняет величины приведенной ошибки. Отсюда следует, что при фиксированном числе пунктов опробования имеет смысл пользоваться не квадратной, а прямоугольной сетью опробования, когда расстояния между точками отбора проб в направлении С - Ю /соответствующем величине K_2 / больше расстояния между этими точками по направлению З - В /соответствующему величине K_1 /. Целесообразно отметить, что такой выбор прямоугольной формы ячейки сети опробования отвечает частной геологической закономерности вещественного состава Никопольского месторождения - смене минерально-морфологических типов руд не только в меридиональном направлении [34] .

Из рис.4 следует, что среднеквадратичная ошибка подсчета запасов в одном из районов Грушевско-Басанского участка Никопольского месторождения приблизительно равна 1,5% /следовательно, предельная ошибка должна иметь порядок $2 \cdot 1,5\% = 3\%$ /.



На рис.4 видно, что в области, близкой к $K_1 = 1$, $K_2 = 1$, приведенные ошибки увеличиваются с ростом K_1 , в то время как при росте K_2 наблюдается противоположный эффект /менее резкий/. Следовательно, при одном и том же количестве разведочных скважин выгоднее пользоваться не квадратной, а прямоугольной разведочной сетью, когда расстояние между профилями /соответствующее величине K_2 / превышает интервал между скважинами в профилях /соответствующий величине K_1 /. Полученный результат также находится в достаточно хорошем согласии с приведенными выше геологическими данными для Никопольского месторождения. Из рис. 1 в [7] видно, что контуры площадей различных руд в районе Грушевско-Басанского участка имеют иногда и меридиональную ориентировку, определяя смену состава руд в направлении С - Ю /соответствующем, на рис.4, K_1 /.

Целесообразно подчеркнуть, что оценки надежности исходных сетей, полученные методом построения аппроксимирующей поверхности ошибок, находятся в достаточно хорошем соответствии с номограммой рис.5 в [30] для железных руд КМА^{х)} и с номограммой рис.12 в [7] для окисных и смешанных руд Никопольского месторождения. По этим номограммам получены для объектов рис.2 - 4 следующие оценки надежности исходных сетей: 22%, 2% и 2% (среднеквадратичные).

Таким образом, проверка "работоспособности" предлагаемого метода позволяет говорить о достаточно интересных его возможностях и о желательности его практического использования при интерпретации результатов моделирования сетей.

х) Ввиду неполного сходства объектов КМА с исследуемым применяется условно.

И. Д. Савинский, А. Н. Авдонин, Н. Ю. Нефедова,
И. Т. Курган, А. А. Петрова

ОЦЕНКА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПСЕВДОГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

1. Модельное исследование точности оценки общей массы и магнитного момента сложных тел по гравитационному и псевдогравитационному полю

Расчет магнитного момента и общей массы модельных тел производился с помощью методик /программ для ЭВМ типа М-222/, изложенных в работе [28].

Исследования проводились на полях Z_a и Δg 4-х моделей, соответствующих основным типам рудных залежей ряда скарново-магнетитовых месторождений.

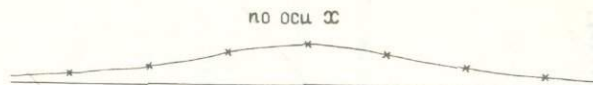
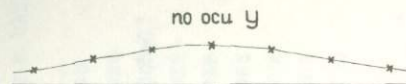
Модель 1 /Соколовское, Гороблагодатское, Таштагольское м-ния/ представлена тремя пластами, сдвинутыми один относительно другого по глубине и по простиранию.

Угол падения пластов 60° ; горизонтальная мощность соответственно 60, 25, 50 м. Длина по простиранию 1000, 600, 800 м. Намагниченность тел, так же, как и во всех последующих примерах, предполагалась вертикальной. Избыточная интенсивность намагничивания $\Delta J = 0,057$ СГС, избыточная плотность $\Delta \sigma = 1,35$ г/см³; плотность руды $\sigma = 4$ г/см³.

Модель 2 /Шерегеш/ - два согласно залегающих пологих пласта, имеющих угол падения 30° . Мощность пластов 150 и 90 м, длина пластов по простиранию 1000 и 700 м. Физические свойства те же, что и в предыдущем случае.

Модель 3 /Качарское м-ние/ представляет собой пластовое тело сложной конфигурации. Максимальная мощность пласта 500 м, длина по простиранию 800 м. Избыточная интенсивность намагничивания $\Delta J = 0,0565$ СГС; избыточная плотность $\Delta \sigma = 1,05$ г/см³; плотность руды $\sigma = 3,7$ г/см³.

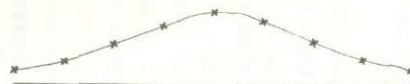
Модель 4 /Северо-Песчанское м-ние/ имитирует два рудных блока различной конфигурации и глубины залегания, примыкающих один к другому. Один из блоков представляет собой пласт /поперечное сечение показано на рис. 4, 8/, верхняя кромка которого расположена на глубине 275 м. В верхней части пласт залегает вертикально, на глубине ≈ 500 м угол падения становится равным 60° . Мощность пласта изменяется от 90 м в верхней части до 50 м в нижней. Длина по простиранию 380 м. Второй блок /на рис. 4, 8 не показан/ имеет подковообразную форму, залегает на глубине 360 м. Максимальная мощность 175 м, длина по простиранию 340 м. Избыточная интенсивность намагничивания $\Delta J = 0,075$ СГС. При расчете поля Δg модель 4 была усложнена добавлением тела околорудных скарнов, с глубиной расположения верхней границы 15 м. Избыточные плотности скарнов и руды относительно вмещающих пород равны соответственно 0,9 г/см³ и 1,4 г/см³. Общая масса руды и скарнов 253 млн.т.



1см - 0,2мг

H = 1300 м

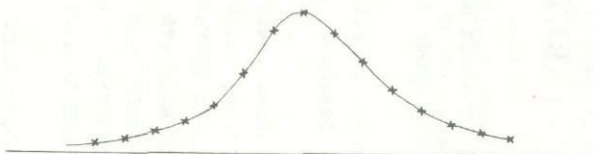
Сеть, м	П	h_0 , м	h_0/H	Расчетные зависим. мг. т	Е, %
800x600	49	800	0,62	512	- 10,5



1см - 0,2мг

H = 800 м

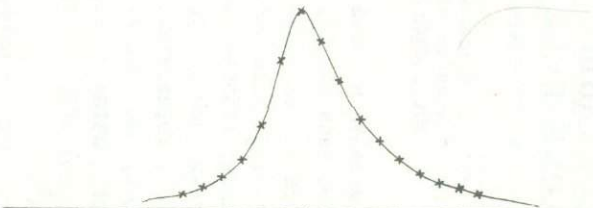
Сеть, м	П	h_0 , м	h_0/H	Расчетные зависим. мг. т	Е, %
500x500	108	600	0,75	529	- 7,5



1см - 0,2мг

H = 400 м

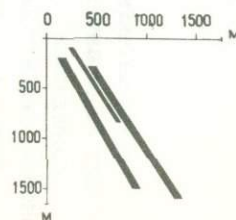
Сеть, м	П	h_0 , м	h_0/H	Расчетные зависим. мг. т	Е, %
300x300	195	300	0,75	481	- 16



1см - 0,3мг

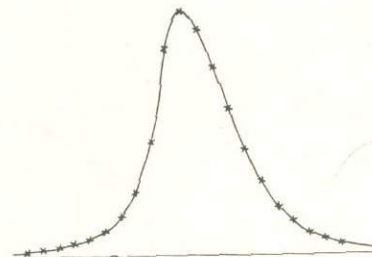
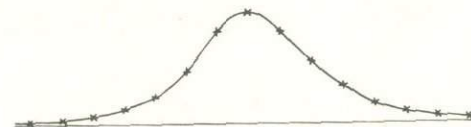
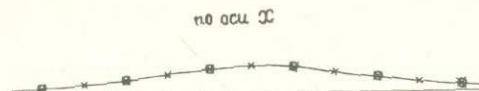
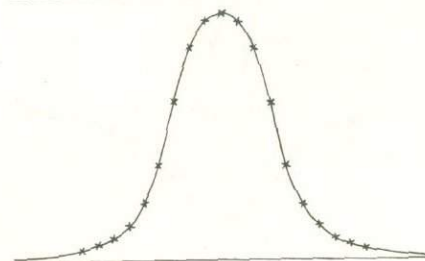
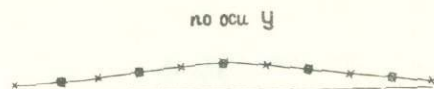
H = 100 м

Сеть, м	П	h_0 , м	h_0/H	Расчетные зависим. мг. т	Е, %
200x200	240	200	2,0	473	- 17,3



Q = 572 млн. тонн

Рис. I. Модельное поле Δq № I (Гороблагодатское м-ние).



1см - 05мгл

H=1300 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
400x400	121	600	0,46	526	- 11,7
800x800	50	800	0,61	605	+ 1,2

1см - 05мгл

H=800 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
400x400	121	400	0,5	548	- 8,0

1см - 05мгл

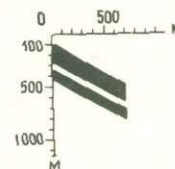
H=400 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
300x300	195	300	0,75	591	- 0,75

1см - 05мгл

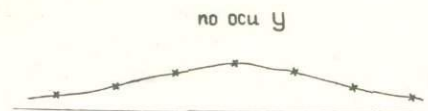
H=100 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
150x150	420	100	1,0	570	- 4,3



Q = 596 млн. тонн

Рис.2. Модельное поле ΔQ № 2 (Шереш , Сарбайское м-ния).



1см - 0,1мг

H = 1400 м

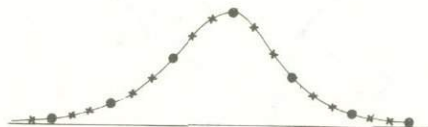
Сеть, м	n	$h_*, м$	h_*/H	Расчетные запасы млн. т	$\epsilon, \%$
800x600	49	800	0,57	257	- 1,2



1см - 0,1мг

H = 900 м

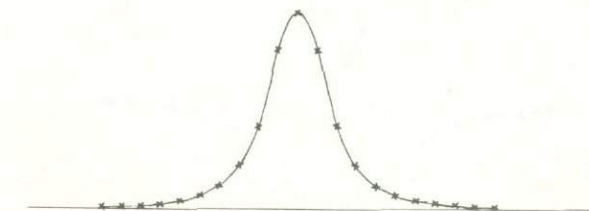
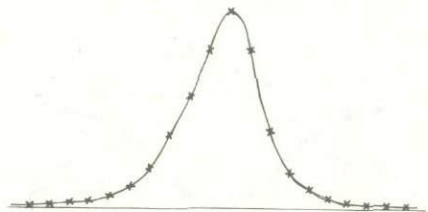
Сеть, м	n	$h_*, м$	h_*/H	Расчетные запасы млн. т	$\epsilon, \%$
600x600	49	600	0,66	275	+ 5,8
400x400	110	600	0,66	260	0



1см - 0,2мг

H = 500 м

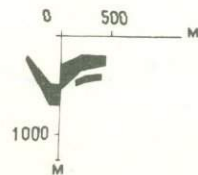
Сеть, м	n	$h_*, м$	h_*/H	Расчетные запасы млн. т	$\epsilon, \%$
600x600	49	450	0,9	282	+ 8,5
200x200	420	200	0,4	248	- 4,6



1см - 0,3мг

H = 200 м

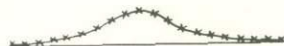
Сеть, м	n	$h_*, м$	h_*/H	Расчетные запасы млн. т	$\epsilon, \%$
200x200	420	200	1,0	280	+ 7,7



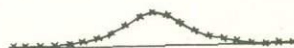
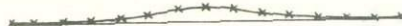
Q = 260 млн. тонн

Рис.3. Модельное поле Δq № 3 (Качарское м-ние).

по оси y



по оси x



1 см - 1 мгл

H = 815 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
400x400	225	400	0,49	255	+ 4,1

1 см - 1 мгл

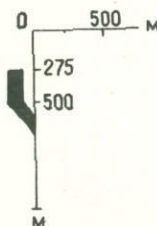
H = 415 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
200x200	420	200	0,48	250	+ 2,3

1 см - 1 мгл

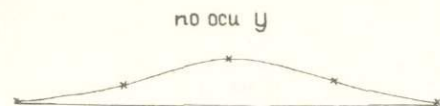
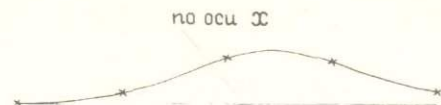
H = 15 м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. тонн	$\varepsilon\%$
100x100	420	50	3,3	232	- 5,2

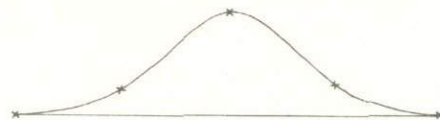
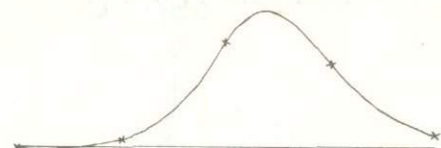


Q = 253 млн. тонн

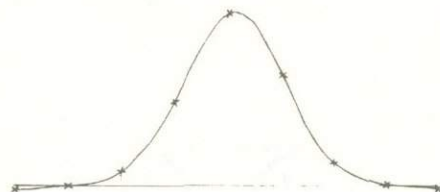
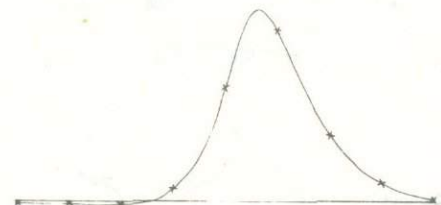
Рис.4. Модельное поле Δq № 4 (Сев.Песчанское м-ние).

1 см - 100 y 1 см - 100 y $H = 1300$ м

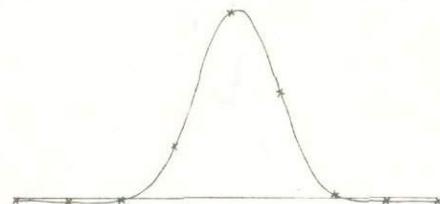
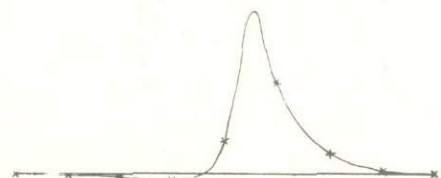
Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	$\varepsilon_{\text{с поправкой}}$ % ($\theta = 0,8$)
1000x1000	81	1000	0,77	783	+ 37,0	+ 1,4

1 см - 100 y 1 см - 100 y $H = 800$ м

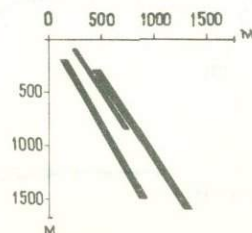
Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	$\varepsilon_{\text{с поправкой}}$ % ($\theta = 0,8$)
1000x1000	72	1000	1,25	701	+ 22,0	- 2,1

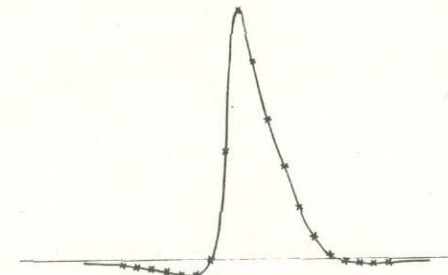
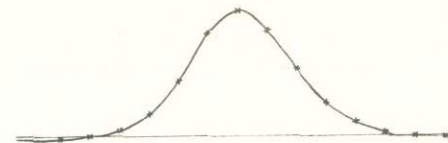
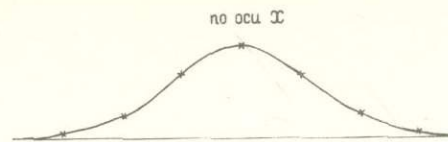
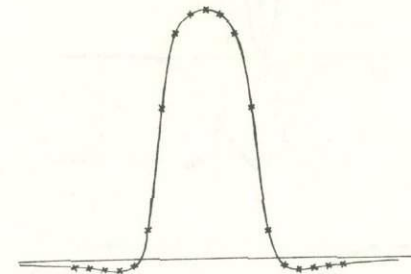
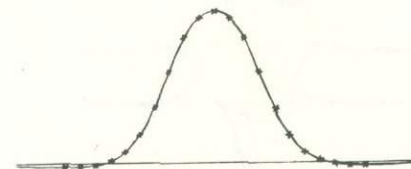
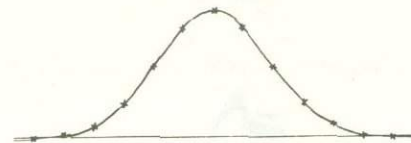
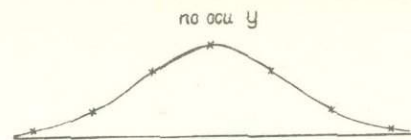
1 см - 200 y 1 см - 200 y $H = 400$ м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	$\varepsilon_{\text{с поправкой}}$ % ($\theta = 0,8$)
500x500	289	500	1,25	721	+ 38,0	+ 10,0

1 см - 400 y 1 см - 800 y $H = 100$ м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	$\varepsilon_{\text{с поправкой}}$ % ($\theta = 0,8$)
500x500	99	500	5,0	681	+ 19,0	- 4,7

 $Q = 572$ млн. тоннРис.5. Модельное поле Z_{α} № I (Гороблагодатское м-ние).



1 см - 100 γ
H = 1300 м

Сеть, м	n	h _с , м	h _с /H	Расчетные завис., млн. тонн	ε, %	ε _с , % (с поправкой θ = 0,8)
600x600	48	600	0,46	737	+ 24,0	- 1,0

1 см - 200 γ
H = 800 м

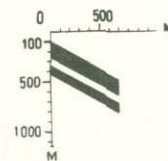
Сеть, м	n	h _с , м	h _с /H	Расчетные завис., млн. тонн	ε, %	ε _с , % (с поправкой θ = 0,8)
500x500	182	300	0,37	702	+ 18,0	- 5,7

1 см - 500 γ
H = 400 м

Сеть, м	n	h _с , м	h _с /H	Расчетные завис., млн. тонн	ε, %	ε _с , % (с поправкой θ = 0,8)
150x150	378	150	0,37	702	+ 18,0	- 5,7

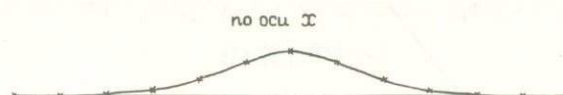
1 см - 1000 γ
H = 100 м

Сеть, м	n	h _с , м	h _с /H	Расчетные завис., млн. тонн	ε, %	ε _с , % (с поправкой θ = 0,8)
150x150	361	75	0,75	747	+ 25,0	+ 0,3



Q = 596 млн. тонн

Рис.6. Модельное поле Z_{α} № 2 (Соколовское, Сарбайское м-ния).



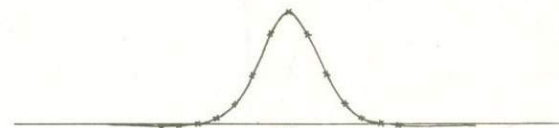
1 см = 100 г
H = 1400 м

Сеть, м	n	h_y , м	h_y/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε , % (с поправкой $\theta = 0,6$)
500x200	321	300	0,21	286	+ 10	- 12,0



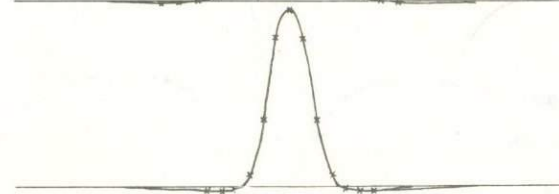
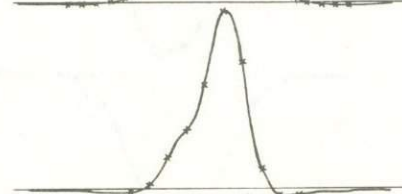
1 см = 200 г
H = 900 м

Сеть, м	n	h_y , м	h_y/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε , % (с поправкой $\theta = 0,6$)
400x200	220	250	0,28	296	+ 14	- 8,6



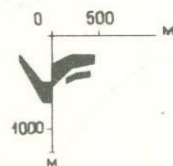
1 см = 400 г
H = 500 м

Сеть, м	n	h_y , м	h_y/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε , % (с поправкой $\theta = 0,6$)
200x150	315	200	0,40	400	+ 54	+ 25,0



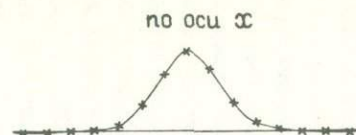
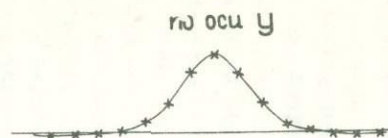
1 см = 1000 г
H = 200 м

Сеть, м	n	h_y , м	h_y/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε , % (с поправкой $\theta = 0,6$)
150x100	260	125	0,62	586	+ 48,0	+ 19,0



Q = 260 млн. тонн

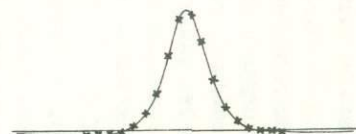
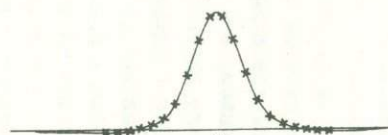
Рис.7. Модельное поле Z_Q № 3 (Качарское м-ние).



1 см - 50 y

$H = 1075$ м

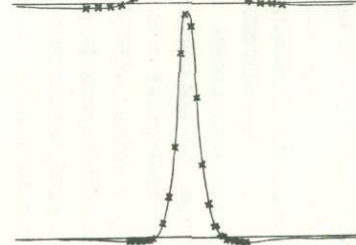
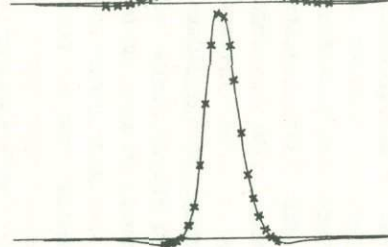
Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε_0 , % (с поправкой $\theta = 0,8$)
200x200	225	200	0,19	99,7	+ 27,0	+ 1,8



1 см - 100 y

$H = 675$ м

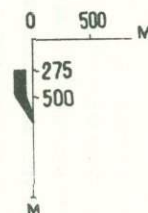
Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε_0 , % (с поправкой $\theta = 0,8$)
100x100	361	150	0,22	84,2	+ 7,4	- 14,0



1 см - 300 y

$H = 275$ м

Сеть, м	n	h_0 , м	h_0/H	Расчетные запасы, млн. т	ε , %	ε_0 , % (с поправкой $\theta = 0,8$)
50x50	420	75	0,27	85,2	+ 6,1	- 15,0



$Q = 78,4$ млн. тонн

Рис.8. Модельное поле Z_{cl} № 4 (Сев.Песчанское м-ние).

Для всех моделей был произведен расчет полей Δg и Z_a на четырех уровнях H , отсчитанных от верхней границы рудных тел; это дает возможность рассмотреть ошибку определения запасов при различной глубине расположения рудных залежей относительно уровня наблюдений. Для выполнения расчетов использовались значения полей, отмеченные на рис. 1 - 8 крестами и кружками; точность исходных значений ограничивалась их округлением до двух значащих цифр.

В помещенных на рисунках табличках приведены: параметры сети исходных значений; общее число этих значений n ; h_0 - глубина пересчета поля при определении запасов /см. [28] /. При расчете запасов брались те же значения физических свойств руд, что и при вычислении модельных полей; таким образом, полученные относительные расхождения δ расчетных и действительных запасов фактически характеризуют лишь возможные погрешности определения магнитного момента и избыточной массы залежей, но не их запасов.

При рассмотрении результатов расчета общей массы залежей по гравитационному полю Δg /рис. 1-4/ может быть отмечено следующее. Наибольшая погрешность расчетов, достигающая 16-17%, наблюдается в случае модели I, представляющей погружающимися на значительную глубину пластами. Занижение расчетных запасов в данном случае должно быть в значительной степени отнесено за счет ограниченной глубинности самого гравиметрического метода и недостаточно широкого захвата краевых участков аномалии. На это указывает как систематический характер занижения, которое прослеживается для всех уровней H , так и возрастание погрешности на более низких уровнях, где эффект от нижней части пластов должен быть потерян в большей степени.

Глубина пересчета h_0 бралась, как правило, близкой расстоянию между точками сети. При этом отношение h_0 / H в большинстве случаев варьировало в интервале 0,5-1,0, что давало вполне удовлетворительную точность расчетов. Некоторое занижение результатов наблюдается при $h_0 / H < 0,5$. Это следует объяснить тем, что поле Δg , восстановленное в соответствии с алгоритмом по заданным исходным значениям на бесконечной плоскости, в данном случае слишком быстро убывает на краевых участках аномалии. В целом погрешности расчета, не считая некоторых из отмеченных особых случаев, укладываются, как правило, в пределы $\pm 10\%$.

На рис. 5-8 приведены модельные поля и расчетные запасы, определенные в результате пересчета магнитного поля Z_a в псевдогравитационное поле Δg . Интегрирование псевдогравитационного поля Δg_{ps} на бесконечной плоскости /аналогично интегрированию поля Δg в ранее рассмотренных примерах/ дает возможность определить магнитный момент /соответственно запасы/ при произвольной форме рудных тел. Как можно видеть из приведенных данных, имеет место систематическое завышение расчетных запасов, что позволяет ввести постоянный поправочный множитель $\theta = 0,8$, повышающий точность метода.

Указанное систематическое завышение объясняется следующими особенностями методики вычисления интеграла псевдогравитационного поля на бесконечной плоскости. Этот интеграл находится путем пересчета псевдогравитационного поля с исходного уровня наблюдений на глубину h_0 по n значениям, взятым в тех же точках, что и первоначальные значения магнитного поля. Однако значения псевдогравитационного поля в указанных точках будут представлять более "подтянутую" к средней части аномалии /псевдогравитационной/ область. На практике требуется, как правило, выполнить расчеты по значениям магнитного поля, взятым в пределах наиболее заметного проявления магнитной аномалии /как это показано на рис. 5-8/. Соответствующие значения псевдогравитационного поля будут характеризовать краевые участки аномалии /псевдогравитационной/ уже в меньшей степени, что и приводит к некоторому систематическому завышению интеграла псевдогравитационного поля.

При введении поправочного множителя $\theta = 0,8$ погрешность расчетных оценок достаточно хорошо укладывается в пределы $\pm 20\%$.

Следует подчеркнуть, что как при расчете общей массы залежей по полю Δg , так и магнитного момента по полю Z_d используется стандартизованная методика, вследствие чего полученные результаты мало зависят от субъективных факторов.

2. Оценка месторождений и аномальных участков

Как показано в работе [28], пересчет магнитного поля в псевдогравитационное Δg_{ps} дает возможность оценить магнитный момент /запасы/ месторождения, глубину до верхней границы магнитных тел, а также получить картину пространственного размещения отдельных рудных тел. Оценка магнитного момента производится путем интегрирования псевдогравитационного поля на бесконечной плоскости /что позволяет выполнить расчеты для произвольных тел без введения априорных предположений об их форме/. Определение глубины h^* до верхней кромки производится по формуле: $h^* = \bar{h} - 0,5 \Delta \bar{z}$, где $\bar{h}$ — глубина появления областей отрицательных значений псевдогравитационного поля, $\Delta \bar{z}$ — среднее расстояние между точками сети исходных значений. Пространственное размещение отдельных рудных тел выявляется в результате построения псевдогравитационного поля на нижних уровнях.

Ниже мы приведем некоторые новые примеры расчетов по объектам Северного Казахстана и Урала /совместно с ранее опубликованными в [28] они будут представлять практически весь материал, полученный на первом этапе апробации метода/. В числе этих примеров приведены результаты расчетов в условиях предполагаемого влияния массивов сильно магнитных пород, а также результаты по ряду малоразведанных объектов, имеющие характер прогнозных оценок.

При вычислении запасов, как и в [28], будет в большинстве случаев условно браться примерно в два раза завышенное значение интенсивности намагничивания $J = 0,2$ СГС, что позволит рассматривать полученные расчетные запасы в качестве запасов промышленных руд.

Соколовское месторождение расположено в 40 км к юго-западу от г. Кустаная. В геологическом строении месторождения принимают участие палеозойский комплекс пород, в состав которого входят рудные залежи, и комплекс мезокайнозойских отложений, которые мощной /до 120 м / толщиной перекрывают породы и руды палеозойского комплекса^{х/}. Рудные залежи, слагающие Соколовское месторождение, вместе с окаймляющими их скарнами и другими метасоматитами образуют рудную зону, расположенную на контакте толщи нижнекарбонových известняков /заключающей прослойку эффузивов различного состава/ с сиенит-порфировым массивом. Вся совокупность многочисленных рудных тел, в связи с невозможностью надежной увязки каждого из них по простиранию^о и падению, рассматривается как одна расчлененная прослоями пустых пород скарново-рудная зона сложного строения, имеющая вертикальное падение и протягивающаяся в меридиональном направлении на 7,5 км при мощности от 35 до 400 м.

Основная рудная зона подразделяется на два участка, Южный и Северный, границей между которыми является мощная дайка сиенит-порфиров, секущая рудную зону вкрест простирания. С востока рудная зона ограничивается скарнированными сиенит-порфирами, с запада мраморизованными известняками. В пределах Южного участка рудная зона представлена единой мощной рудной залежью, разветвляющейся и выклинивающейся в нижней части. Максимальная горизонтальная мощность рудной залежи достигает 260 м, в среднем составляя 170-200 м, наибольшая глубина подсечения порядка 530 м. Рудная залежь имеет крутое падение под углом 70-80°. Северный

^{х/} При геологическом описании месторождений Северного Казахстана использовались материалы работ [19, 21].

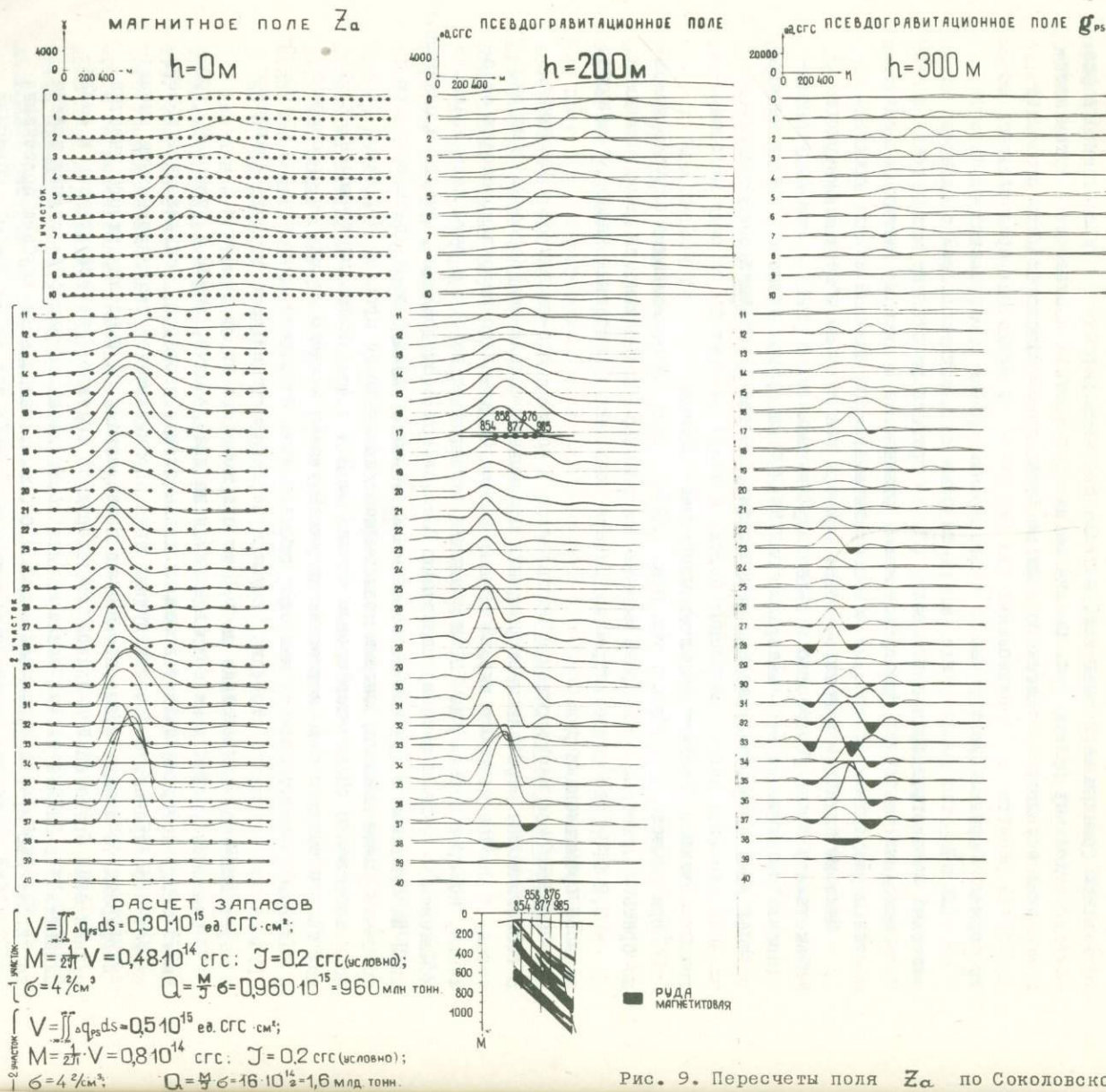


Рис. 9. Пересчеты поля Z_a по Соколовскому месторождению.

участок представлен отдельными пластообразными рудными залежами, разделенными мощными прослоями скарнов. Местами строение рудной зоны еще более осложняется наличием секущих жил различных пород. Мощность отдельных рудных залежей изменяется от 10 до 70 м, мощность разделяющих скарновых прослоев - от 5 до 50 м. Падение рудных залежей от 70-80° на юге до 45-50° на севере участка.

Расчеты производились по значениям ξ_a раздельно для участка № 1 и участка № 2 / рис. 9 /. В первом случае исходные значения магнитного поля были взяты по сети 100 x 200 м; при этом поле на уровнях 200 и 300 м находилось путем пересчета вниз поля Δg_{ps} , предварительно найденного на уровне $h = 0$ м. В случае участка № 2 исходные значения были взяты по сети 200 x 200 м, причем поле на уровнях 200 и 300 м находилось путем непосредственного пересчета из магнитного.

На участке № 1 уровень появления отрицательных значений поля Δg_{ps} может быть взят равным $\tilde{h} = 300$ м, среднее расстояние между исходными точками измерения $= \frac{1}{2} / 100 + 200 / \text{м} = 150$ м. Расчетная глубина до верхней границы рудных тел $h^* = \tilde{h} - 0,5 \Delta \tilde{z} = 300 \text{ м} - 75 \text{ м} \approx 225 \text{ м}$. На участке № 2 / в районе профилей № 37, 38 / $\tilde{h} = 200$ м, расстояние между точками исходной сети $\Delta \tilde{z} = 200$ м. Расчетная глубина до верхней границы рудных тел $h^* = 200 \text{ м} - 100 \text{ м} = 100 \text{ м}$.

Расчетное значение промышленных запасов для участка № 1 960 млн.т, для участка № 2 - 1,6 млрд.т /рис.9/. Разведанные балансовые запасы составляют $\approx 1,06$ млрд.т, прогнозные порядка 400 млн.т /в сумме ≈ 1460 млн.т/. Учитывая реальную возможность прироста запасов при продолжении разведки на глубину, сходимость расчетных запасов с данными геологоразведочных работ следует считать удовлетворительной.

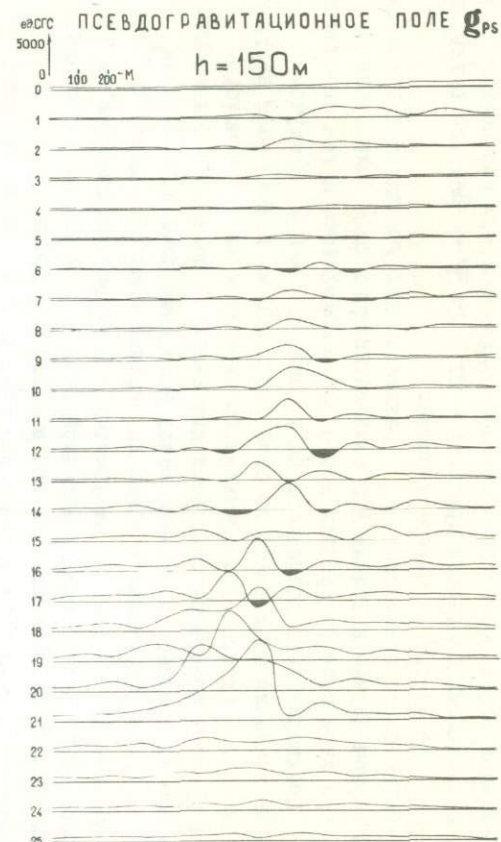
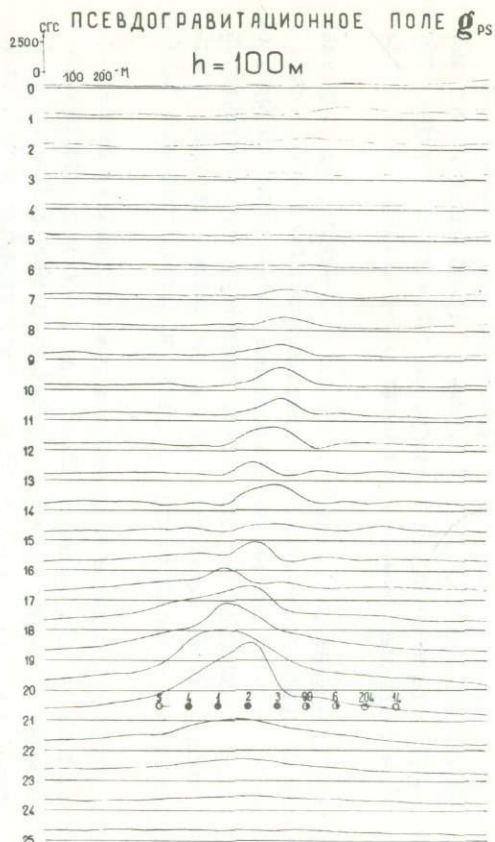
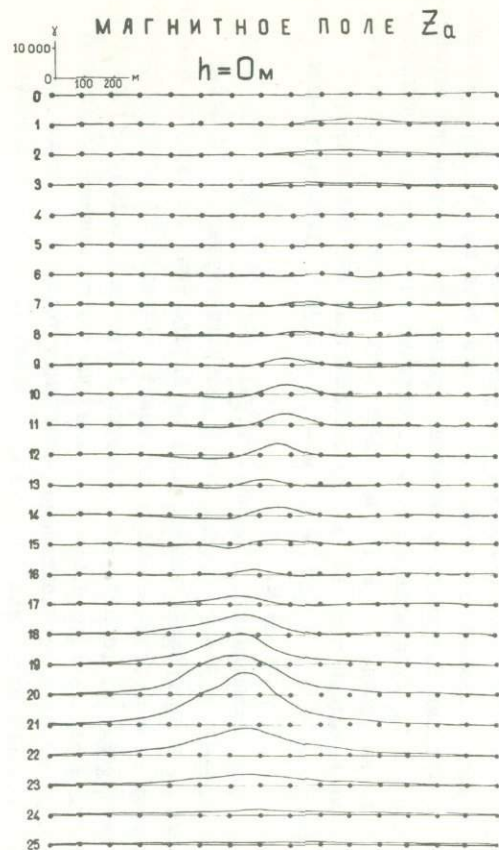
Шагиркульское месторождение расположено в 230 км к юго-западу от г.Кустаная и приурочено к западному крылу одноименной синклинали складки. В геологическом строении месторождения участвуют сильно дислоцированные палеозойские породы, слогающие фундамент, и рыхлые кайнозойские отложения, горизонтально залегающие на этом фундаменте. На месторождении выделяются три рудные залежи: верхняя, средняя и нижняя, расположенные параллельно друг к другу, в непосредственной близости одна от другой.

Залежи имеют простирание, близкое к меридиональному с падением на восток-юго-восток под углом от 30 до 50°. Размеры залежей: до 1400 м по простиранию и до 950 м по падению. Наиболее крупными являются верхняя и средняя залежи /разделенные диоритовыми порфиритами/ мощностью от 50 до 70 м. Залежи характеризуются сложной перемежаемостью руды и пустых пород. Мощность покрывающих пород порядка 50-70 м.

Для пересчетов использовались значения ξ_a при сети их задания 100x100 м /показана на рис. 10 черными точками/. В качестве уровня $\tilde{h}$ появления отрицательных значений поля Δg_{ps} /учитывая наличие достаточно интенсивных отрицательных участков аномалий на уровне $h = 150$ м/ может быть принят $\tilde{h} = 130$ м; расстояние между точками исходной сети $\Delta \tilde{z} = 100$ м. Расчетная глубина верхней границы рудных тел $h^* = \tilde{h} - 0,5 \Delta \tilde{z} = 130 \text{ м} - 50 \text{ м} = 80 \text{ м}$. Действительная глубина /см.разрез на рис. 10 / ≈ 60 м.

Расчетное значение промышленных запасов /см.рис. 10/ 150 млн.т. Разведанные запасы по категориям A + B + C_I составляют в настоящее время ≈ 79 млн.т, запасы по категории C_I и прогнозные запасы пока не определены. Сходимость расчетных запасов с данными геологоразведочных работ может считаться удовлетворительной.

Алешинское месторождение расположено примерно в 110 км к северу от Соколовского месторождения. В его геологическом строении участвуют сложный складчатый комплекс палеозойских пород и горизонтально залегающая толща в основном рыхлых мезокайнозойских отложений мощностью 100-150 м и более. Породы палеозойского комплекса /представленные осадочно-эффузивными образованиями - известняками, глинисто-карбонатными породами, песчаниками, аргиллитами, порфиритами, туфами/



РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

$$V = \iint \Delta q_{ps} ds = 0,48 \cdot 10^{14} \text{ ед. ГСГ} \cdot \text{см}^2;$$

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot V = 0,760 \cdot 10^{13} \text{ ГСГ};$$

$$\gamma = 0,2 \text{ ГСГ (условно)}; \sigma = 4 \frac{\text{ГСГ}}{\text{см}^3};$$

$$Q = \frac{M}{\gamma} \cdot \sigma = 1,52 \cdot 10^{14} \approx 150 \text{ МЛН. ТОНН}$$

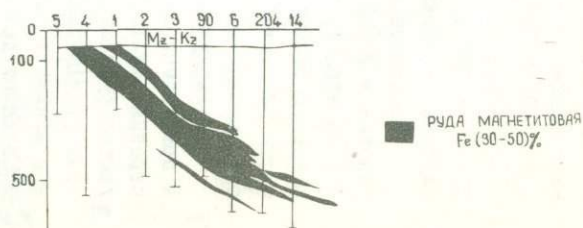
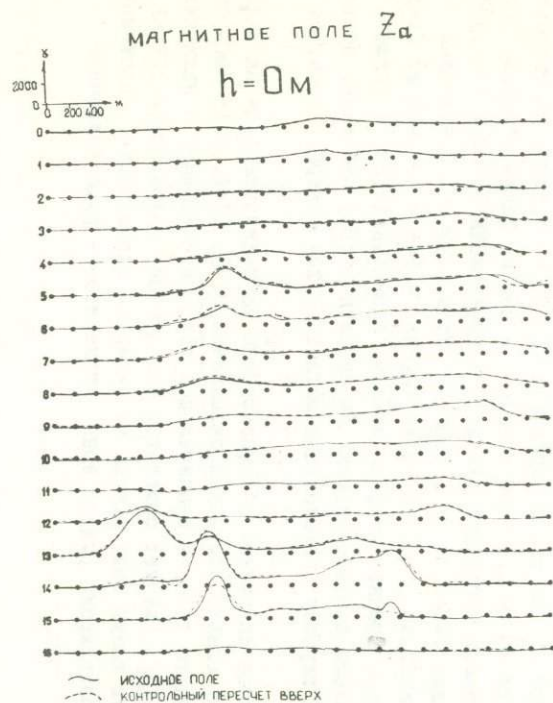


Рис. 10. Пересчеты поля Z_a по Шагыркульскому месторождению.



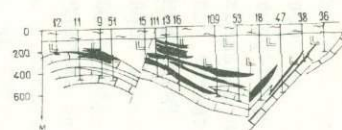
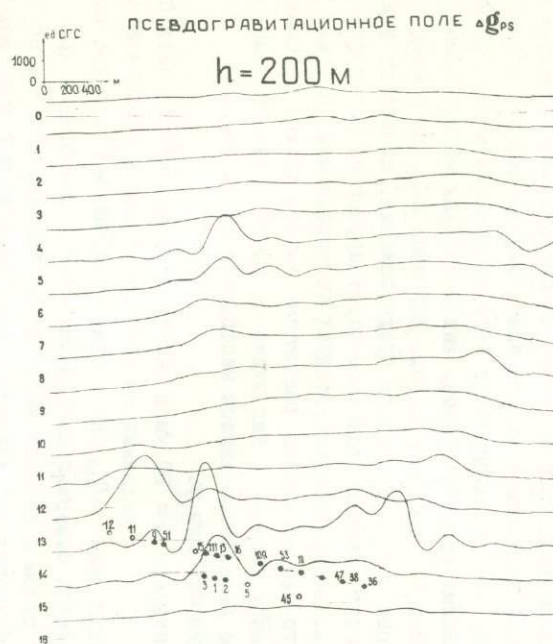
РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

$$V = \iint \Delta q_{ps} ds = 0.513 \cdot 10^{15} \text{ ед. сгс} \cdot \text{см}^2;$$

$$M = \frac{1}{2\pi} V = 0.08 \cdot 10^{15} \text{ сгс};$$

$$J = 0.2 \text{ сгс (условно)}; \sigma = 4\% \text{ см}^3;$$

$$Q = \frac{M}{J} \cdot \sigma = 1.6 \cdot 10^{15} \text{ т} = 1,6 \text{ млд тонн.}$$



- ГЛИНИСТО-КРЕМНИСТЫЕ СЛАНЦЫ
- ГАББРО-ДИОРИТЫ
- ИЗВЕСТНЯКИ
- РУДА МАГНЕТИТОВАЯ (Fe до 46%)

Рис. II. Пересчеты поля Z_a по Адешинскому месторождению.

прорваны интрузиями диоритов, габбро и др. Месторождение приурочено к контакту интрузивных пород с породами эффузивно-осадочной толщи.

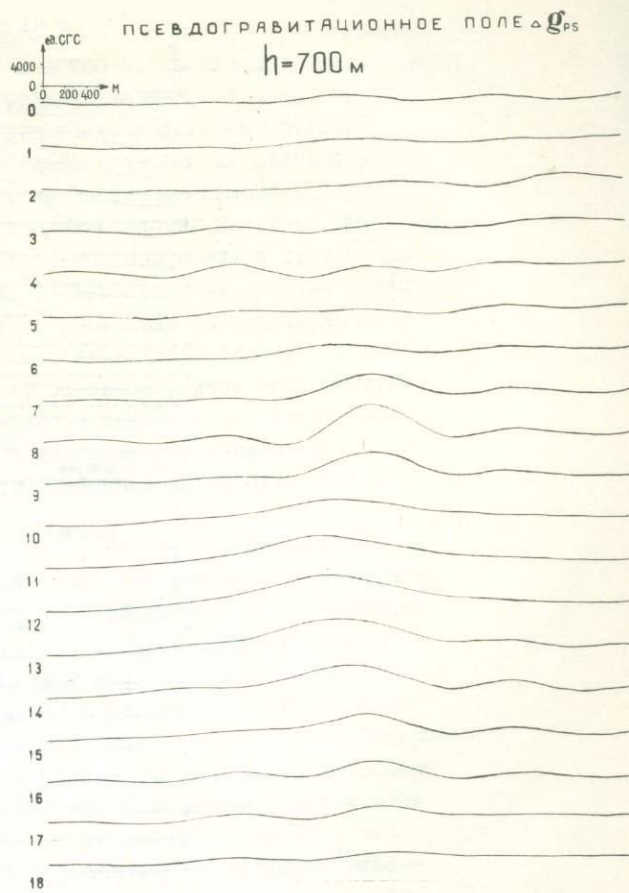
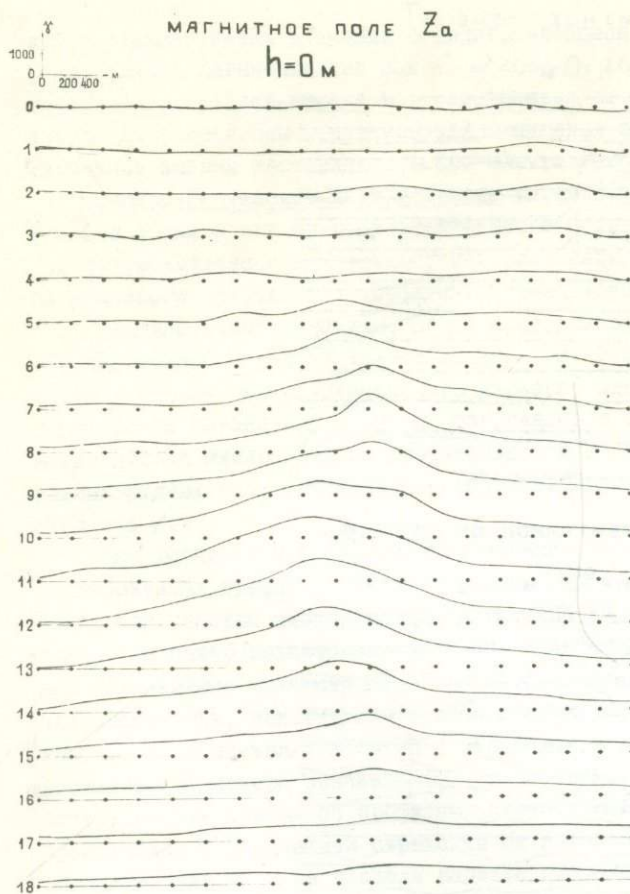
Двумя тектоническими нарушениями месторождение разделяется на три рудные зоны: Восточную, Центральную и Западную. Рудные тела этих залежей сложены перемежающимися прослоями массивных магнетитовых /богатых/ и вкрапленных магнетитовых /средних и бедных/ руд с пустыми породами. Значительное распространение имеют вкрапленные руды, составляющие $\approx 45\%$ запасов залежи. Рудными минералами являются: магнетит, пирит, пирротин; в частично окисленных рудах присутствует мартит.

Расчеты производились по значениям χ_a при сети 200x300 м /показана на рис. II черными точками/. В качестве уровня $\tilde{h}$ появления отрицательных значений Δq_{ps} для аномалий в нижней части плана может быть принят уровень $\tilde{h} = 250$ м /промежуточный между уровнями 200 и 300 м, учитывая участки интенсивных отрицательных аномалий на уровне $h = 300$ м/. Среднее расстояние $\bar{\Delta l}$ между точками исходной сети $\bar{\Delta l} = \frac{1}{2} / 200 + 300 / \text{ м} = 250$ м. Расчетная глубина верхней границы $h^* = \tilde{h} - 0,5 \bar{\Delta l} = 250 \text{ м} - 125 \text{ м} = 125 \text{ м}$. Действительная глубина, в соответствии с разрезом на рис. II, ≈ 100 м. Для аномалии в верхней части плана $\tilde{h} = 300$ м, расчетная глубина верхней границы $h^* = 300 - 125 = 175$ м.

Общий вид поля Δq_{ps} на рис. II свидетельствует о том, что помимо рудных тел, с которыми связаны хорошо выделяющиеся на участке локальные аномалии, имеются магнитные массы, образующие широкие аномалии и дающие значительный вклад в общий магнитный момент месторождения. Эти аномалии могут быть предположительно связаны как с более глубоко залегающими рудными телами, так и с крупными массивами обогащенных магнетитом /например габброидных/ пород. Вид поля Δq_{ps} на уровне $h = 300$ м свидетельствует скорее в пользу второго предположения, поскольку указанные широкие аномалии не переходят здесь в отдаленные коррелирующиеся по профилям аномальные зоны, характерные для скарново-магнетитовых месторождений. В связи с этим полученные для Алешинского месторождения расчетные запасы должны рассматриваться лишь в качестве условной величины. Как видно на рис. II, это значение равно 1,6 млрд. т. Разведанные балансовые запасы месторождения составляют ≈ 213 млн. т, прогнозные порядка 850 млн. т.

Талкульский участок расположен в ≈ 30 км к западу от г. Рудный. Расчеты производились на основе значений χ_a , заданных по сети 300 x 400 м /показана на рис. 12/. В соответствии с видом поля Δq_{ps} на уровне $h = 900$ м / а также видом поля χ_a / , на участке выделяется северная аномальная зона / скв. 3097 и др. / и крупная зона в южной части, рядом с которой могут быть отмечены еще две небольшие зоны. Глубина появления отрицательных значений поля для северной зоны может быть взята равной $\tilde{h} = 800$ м, для южной порядка $\tilde{h} \approx 1100$ м; среднее расстояние между точками исходной сети $\bar{\Delta l} = 0,5 / 300 + 400 / \text{ м} = 350$ м. Таким образом, расчетная глубина верхней границы магнитных тел для северной зоны $h^* = \tilde{h} - 0,5 \bar{\Delta l} = 800 \text{ м} - 175 \text{ м} = 625 \text{ м}$, для южной $h^* = 1100 \text{ м} - 175 \text{ м} = 925 \text{ м}$. Скважинами 3117 и 3080 рудное тело южной зоны подсечено на глубине ≈ 846 м и ≈ 900 м. Следует отметить несоответствие простирания северной и южных аномальных зон, а также различие глубины расположения соответствующих им магнитных тел; сведений, позволяющих оценить характер и глубину расположения магнитных тел северной зоны, не имеется.

При разбуривании участка скважиной 3117 подсечена магнетитовая руда на интервале протяжением ≈ 160 м, однако соседними скважинами 3142, 3148, 3116 было обнаружено выклинивание рудного тела, в значительной степени связанное с наличием сброса /см. разрез на рис. 12/. Следует отметить, что данный профиль разведочных скважин пересекает главную южную зону вблизи ее северной оконечности. Скважиной 3080, расположенной по продолжению рудной зоны, магнетитовая руда подсечена



РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

$$V = \iint \Delta g_{ps} ds = 0,233 \cdot 10^{16} \text{ ед. с.г.с. см}^2;$$

$$M = \frac{1}{2\pi} V = 0,370 \cdot 10^{15} \text{ с.г.с.};$$

$$\sigma = 4\% \text{ см}^3; \quad J = 0,2 \text{ с.г.с. (условно)};$$

$$Q = \frac{M}{J} \sigma = 7,4 \cdot 10^{15} = 7,4 \text{ МЛД. ТОНН}$$

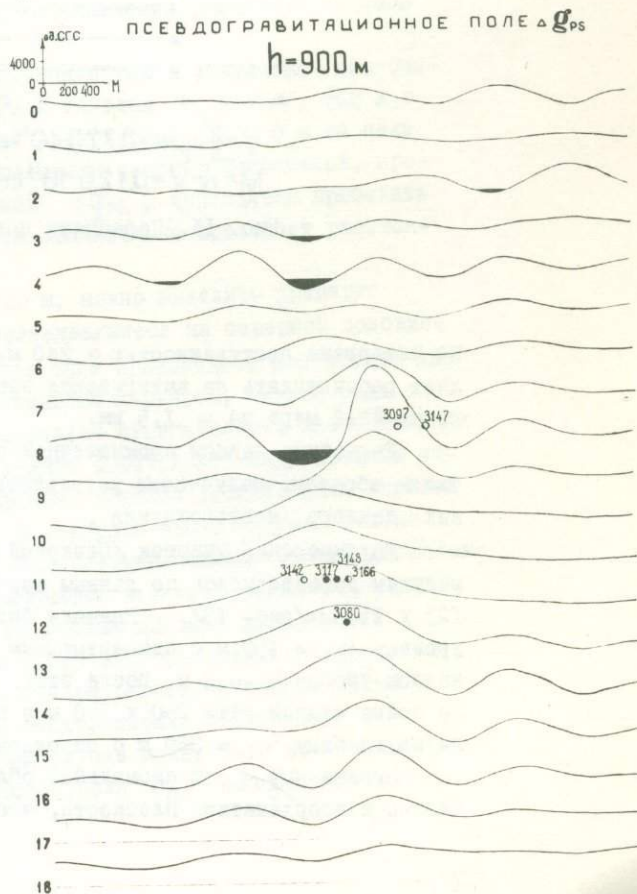
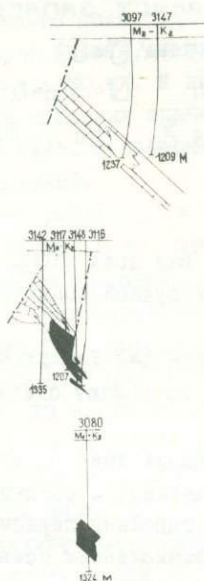
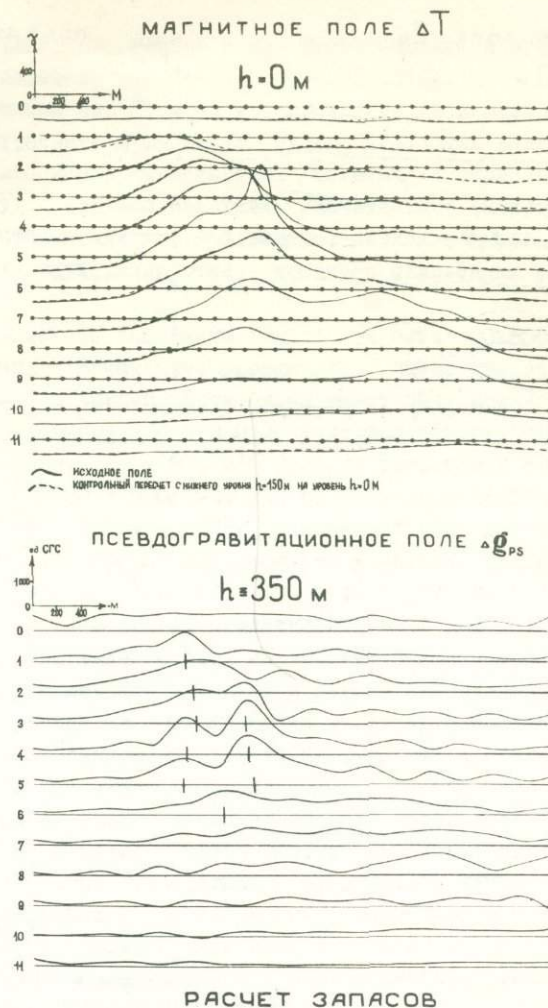


Рис. 12. Пересчеты поля Z_a по Талкульскому участку.



РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

$$V = \iint \Delta g_{ps} ds = 0,773 \cdot 10^{14} \text{ ед. сГС} \cdot \text{см}^2; \quad J = 0,2 \text{ сГС (условно)}; \quad \sigma = 4\% \text{ см}^3;$$

$$M = \frac{1}{4\pi} V = 0,125 \cdot 10^{14} \text{ сГС}; \quad Q = \frac{M}{\sigma} = 0,50 \cdot 10^4 = 250 \text{ млн. тонн}$$

Рис. 13. Пересчеты поля Z_Q по Даулысорскому участку.

на интервале протяженностью ≈ 240 м. Вид поля Δg_{ps} /см.уровень $h=900$ м/ позволяет рассчитывать на вытягивание этой рудной зоны до профилей 16-17, то есть еще по крайней мере на $\approx 1,5$ км.

Расчетные запасы промышленной руды для Талкульского участка составили 7,4 млрд.т. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать прогноз о больших перспективах данного месторождения.

Даулысорский участок /Северный Казахстан/. В отличие от предыдущих случаев расчеты производились по данным аэромагнитной съемки при сети исходных значений 125×250 м /рис. 13/. Вначале был выполнен пересчет магнитного поля ΔT на уровень $h = 150$ м с одновременным вычислением псевдогравитационного поля на исходном уровне $h = 0$ м. После этого на уровне $h = 0$ м были взяты значения Δg_{ps} по более редкой сети 250×250 м и произведен пересчет псевдогравитационного поля на глубину $h = 350$ м с нахождением магнитного момента M .

Кривые Δg_{ps} в аномальной области подходят на уровне $h = 350$ м достаточно близко к координатной плоскости, что позволяет приблизительно оценить глубину появ-

ления отрицательных значений псевдогравитационного поля как $\tilde{h} \approx 400$ м, а глубину расположения магнитных тел как $h^* \approx 400$ м - 100 м ≈ 300 м. На псевдогравитационном поле хорошо прослеживаются коррелирующиеся по профилям аномальные зоны, что является благоприятным признаком для отнесения аномалий к категории "рудных". Расчетные запасы составляют ≈ 250 млн.т. Разбуривание участка не производилось.

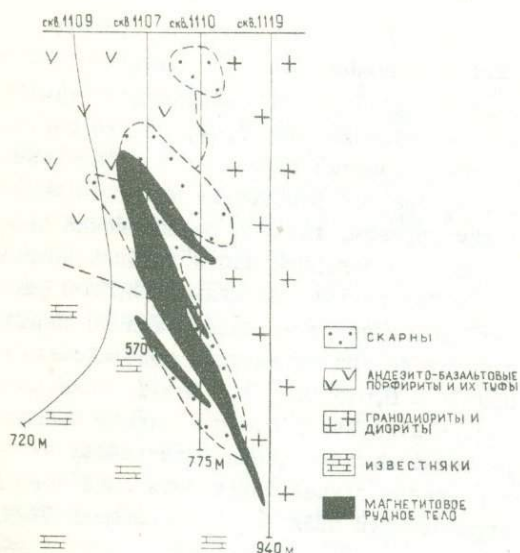
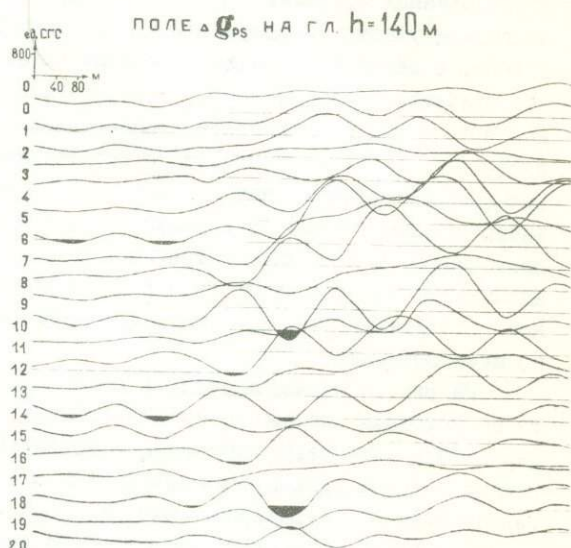
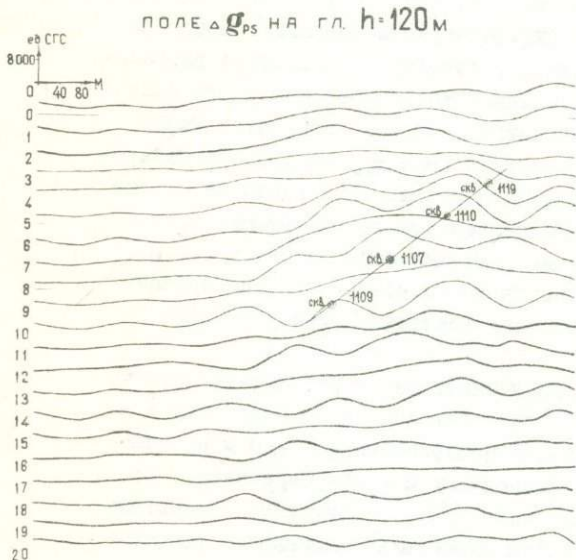
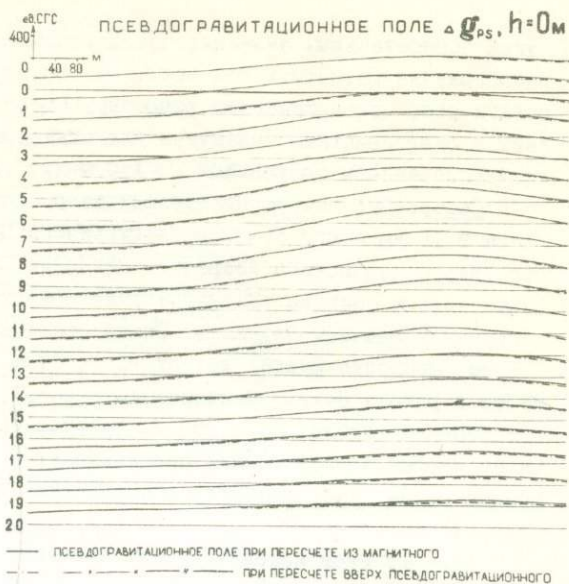
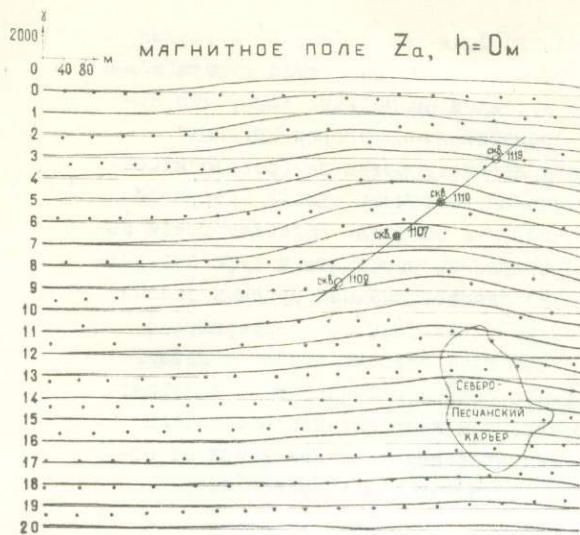
Северо-Песчанское месторождение расположено на восточном склоне Северного Урала в 10 км к югу от г.Краснотурьинска Свердловской области. Залегае среди пород силуро-девонского возраста, наиболее распространены порфириды и туфы андезит-базальтового состава. Месторождение представлено пластообразными рудными телами с крутым восточным падением. Общая протяженность рудной зоны по простиранию 1,8 км, мощность рудных тел от 20 до 170 м. Рудные тела выходят близко к поверхности в районе Северо-Песчанского карьера, однако основное рудное тело залегает в интервале глубин 230 - 900 м, погружаясь в северном направлении. Рассеянная магнетитовая минерализация прослеживается на значительном удалении вверх от основных рудных тел; значительное развитие имеют обогащенные магнетитом скарны /рис. 14 /.

Для расчетов использовались значения поля $\tilde{Z}_a$, взятые с ряда неправильно расположенных профилей таким образом, чтобы сеть значений достаточно равномерно покрывала участок месторождения /отмечена на рис.14 черными точками/. Предварительно, с целью подавления случайных колебаний, производилось некоторое визуальное сглаживание значений $\tilde{Z}_a$ по профилю /тем самым использовалась часть полезной информации, заключенная в наблюдаемых значениях поля, не вошедших в число взятых для расчетов/. В связи с отсутствием данных о поле $\tilde{Z}_a$ на площади Северо-Песчанского карьера значения $\tilde{Z}_a$ в соответствующих точках были взяты на основе экстраполяции кривых по профилям, пересекающим карьер. Экстраполирующие кривые проводились с тенденцией страховки от завышения значений поля, в связи с чем аномалия поля $\tilde{Z}_a$ на площади карьера оказалась в значительной степени срезанной. Это должно было послужить причиной некоторого занижения расчетных запасов по месторождению.

На рис.14 показаны графики поля Δg_{ps} , полученные как в результате пересчета по исходным значениям магнитного поля $\tilde{Z}_a$ /для глубины $h = 0$ м/, так и в результате пересчета поля Δg_{ps} с уровня дневной поверхности $h = 0$ м на нижележащие уровни /для глубин 120 м, 140 м/. К последнему способу пересчетов, производящихся по разреженной сети исходных значений Δg_{ps} , приходится прибегать в тех случаях, когда требуемая глубина пересчета значительно превышает расстояние между взятыми точками наблюдений.

Рассматривая поле Δg_{ps} на уровне $h = 120$ м, можно выделить примерно четыре зоны северо-восточного простирания, прослеживающиеся на северной половине участка. Показательно, что на южной половине, где была произведена достаточно произвольная реконструкция поля $\tilde{Z}_a$ над Северо-Песчанским карьером, такого рода зоны не наблюдаются. Как видно из рис.14, уровень появления отрицательных значений поля Δg_{ps} на южной половине участка $\tilde{h} \approx 140$ м; среднее расстояние между точками исходной сети может быть взято ≈ 70 м. Таким образом, глубина расположения верхней границы рудных тел $h^* \approx 140$ м - 35 м = 105 м. В северной части глубина должна быть взята несколько большей. Полученная расчетная глубина меньше глубины расположения основных рудных тел месторождения, что объясняется влиянием бедного вкрапленного оруденения, которое прослеживается почти до уровня дневной поверхности.

Расчетное значение общих запасов при $J = 0,075$ СГС 104 млн.т. Умножив на коэффициент "промышленных запасов" $\eta_0 = 0,5$ получаем расчетные запасы промышленных руд ≈ 52 млн.т. Запасы по данным разведки месторождения оцениваются в ≈ 90 млн.т. Занижение расчетных запасов в данном случае может быть объяснено /по крайней мере частично/ произвольной экстраполяцией поля $\tilde{Z}_a$ на площади Северо-Песчанского карьера.



РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

$$V = \iint \Delta q_{ps} ds = 0,123 \cdot 10^{14} \text{ ед. сгс} \cdot \text{см}^2;$$

$$b = 4 \frac{2}{3} \text{ см}^3; \quad M = \frac{1}{2\pi} V = 0,195 \cdot 10^{13} \text{ сгс};$$

$$J = 0,075 \text{ сгс};$$

$$Q = \frac{M}{b} = 10,4 \cdot 10^{13} z = 104 \text{ млн. тонн}$$

$$Q = \eta_0 \cdot Q_{\text{общ}} = 52 \text{ млн. тонн}$$

Рис. 14. Пересчеты поля Z_a по Северо-Песчанскому месторождению.

Светлоозерский участок расположен на восточном склоне Северного Урала восточнее г.Ивдель. На участке имеется несколько магнитных аномалий /рис. 15/, из которых разбурена юго-восточная /Светлоозерское месторождение/, а также аномалия в северной части /скв.816/. Месторождение связано с осадочно-вулканогенной толщей нижнего и среднего девона. Рудовмещающие породы представлены в основном лито- и ксенотуфами, а также песчаниками, гравелитами и мраморизованными известняками. Эффузивно-осадочный комплекс залегает на мощной интрузии гранодиоритового состава.

В связи с неправильным расположением профилей магнитной съемки, а также значительными колебаниями значений $\tilde{z}_a$ в соседних точках, перед проведением расчетов производилась подготовка исходных материалов по той же схеме, что и в случае Северо-Песчанского месторождения /сглаживание значений по отдельным профилям, выбор значений $\tilde{z}_a$ для расчетов таким образом, чтобы образовалась наиболее равномерно покрывающая площадь участка сеть/.

Поле Δg_{ps} на нижних уровнях вычислялось как непосредственным пересчетом из магнитного поля /для глубины $h = 300$ м/, так и путем продолжения полученного на исходном уровне $h = 0$ м псевдогравитационного поля на нижележащие уровни /для глубин 300, 400, 500 и 600 м/. В последнем случае пересчеты вниз производились по значениям поля Δg_{ps} , взятым по сети 400м x 400 м. Сопоставление двух вариантов пересчетов на уровне $h = 300$ м показывает, что во втором случае, как и следовало ожидать, получено более сглаженное поле /в связи с более редкой сетью исходных значений/, однако общая картина поля остается без существенных изменений. Наблюдаемый эффект сглаживания следует рассматривать, скорее, как положительный фактор, уменьшающий влияние случайных колебаний исходных значений $\tilde{z}_a$, не связанных с воздействием основных возмущающих масс.

Из рассмотрения рис.15 следует сделать вывод, что магнитные тела в северной половине участка располагаются наиболее близко к поверхности: уровень $\tilde{h}$ может быть принят равным ≈ 400 м, среднее расстояние между точками исходной сети ≈ 250 м; расчетная глубина верхней границы рудных тел $\tilde{h}^* = 400 \text{ м} - 125 \text{ м} = 275 \text{ м}$. Основные магнитные тела западной аномалии в южной половине располагаются несколько глубже: $\tilde{h} = 500$ м, расчетная глубина $\tilde{h} = 500 \text{ м} - 125 \text{ м} = 375 \text{ м}$. Наиболее глубоко располагаются, как следует из расчетов, рудные тела разбуренной аномалии Светлоозерского месторождения: $\tilde{h} = 600$ м, расчетная глубина $\tilde{h}^* = 600 \text{ м} - 125 \text{ м} = 475 \text{ м}$.

Скважиной 816, пробуренной в северной части участка, встречены: до глубины 85 м - рыхлые отложения, с 85 до 182 м - выветрелые диориты, далее до забоя скважины на глубине 530 м - диориты с вкрапленной магнетитовой минерализацией, объясняющие данную аномалию.

Результаты разбуривания Светлоозерского месторождения частично приведены на рис.15. Проведенных буровых работ недостаточно для получения четкого представления о структуре месторождения; построение геологического разреза произведено главным образом по данным скважинной геофизики. Верхняя рудная зона, расположенная на глубине 150 - 280 м, несет лишь незначительное оруденение, представленное полумартитовыми и мартитовыми рудами. Основная рудная залежь /магнетитовая/ залегает в интервале глубин 600 - 1215 м и имеет сложную форму.

Общие расчетные запасы для Светлоозерского месторождения при $J = 0,06$ СГС составили 480 млн.т, расчетные запасы промышленных руд при $h_0 = 0,5$ составляют $480 \times 0,5 = 240$ млн.т. Условные расчетные запасы для всех аномалий участка /если бы все они оказались "рудными"/составили /см.рис.15/ при $h_0 = 0,5 \approx 900$ млн.т.

Помимо оценки собственно железорудных месторождений в процессе выполнения работ намечалось и другое направление использования псевдогравитационных полей - для решения чрезвычайно важной задачи разделения "рудных" /связанных с месторождениями железа/ и "безрудных" /связанных с обогащенными магнетитом породами/

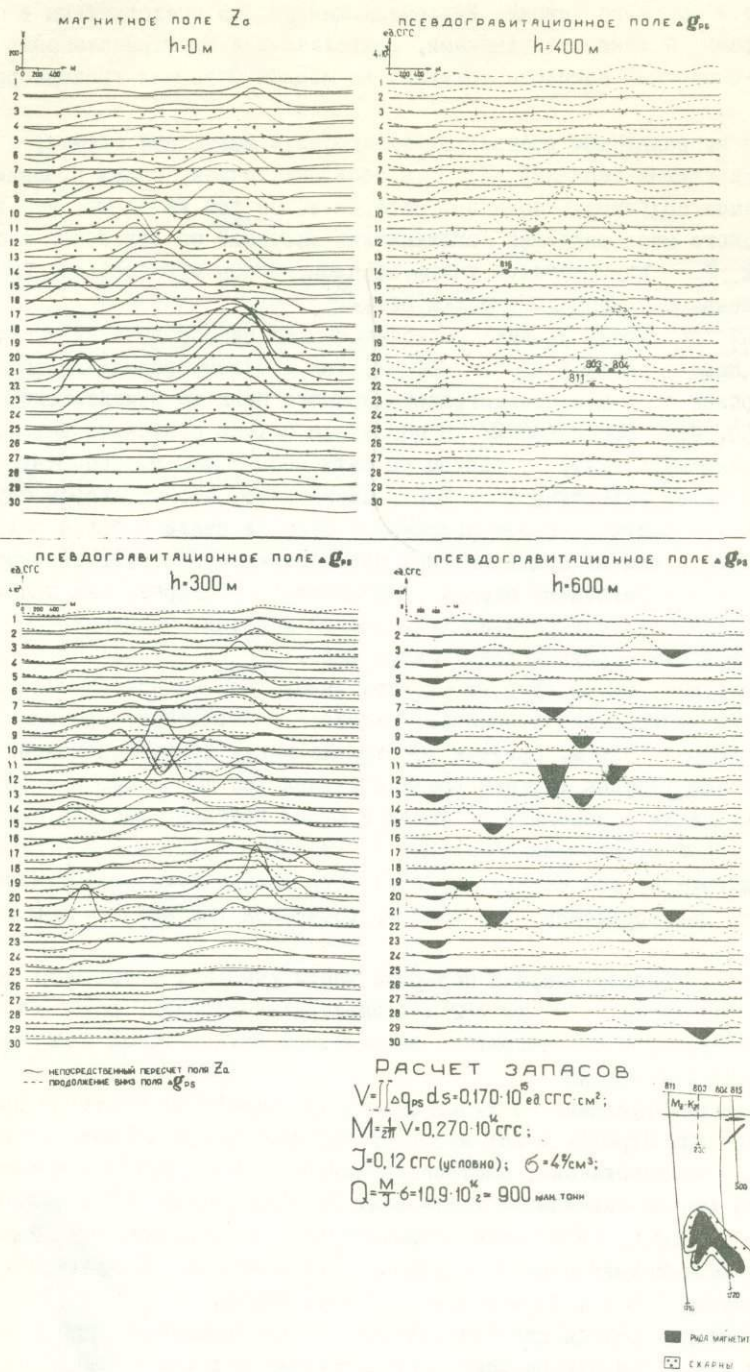


Рис.15. Пересчеты поля Z_a по Светлоозерскому участку.

магнитных аномалий. Вся практика расчетов псевдогравитационного поля на скварно-во-магнетитовых месторождениях железа свидетельствует о том, что рудные тела этих месторождений всегда обуславливают появление на нижних уровнях пересчета специфической картины поля - вытянутых аномальных зон, коррелированных по нескольким профилям /см. рис. 9-15, а также [28] /. Псевдогравитационное поле на "безрудных" аномалиях обнаружило в ряде случаев совершенно иную специфику, проявляющуюся в "хаотичности" поля, отсутствии указанных коррелирующихся по многим профилям аномальных зон. Такое поле соответствует общему характеру распределения магнетита в "безрудном" магнитном массиве, когда вместо компактных магнетитовых тел наблюдается лишь вкрапленность магнетита, обогащенные магнетитом пятна в массиве пород, иногда небольшие скопления бедных руд. Ниже мы приведем в качестве иллюстрации данные пересчетов по трем участкам, разбуривание которых позволяет отнести их к указанному типу.

Северо-Талдыкульский участок приурочен к южному окончанию Главной железорудной зоны Тургай. Для пересчетов использовались значения ξ_a при сети 200x200 м /показана на рис.16 черными точками/. Интенсивные отрицательные аномалии поля Δg_{ps} по краям участка при глубине пересчета $h = 300$ м свидетельствует о том, что верхняя граница соответствующих магнитных тел располагается выше этого уровня. Принимая в качестве уровня появления отрицательных значений поля $\tilde{h} = 250$ м получаем расчетную глубину этой границы $h^* = \tilde{h} - 0,5\Delta\tilde{\xi} = 250 \text{ м} - 100 \text{ м} = 150 \text{ м}$.

Все пробуренные на участке скважины /рис. 16/ оказались "безрудными". Обращает на себя внимание резко отличный от всех ранее рассмотренных примеров вид псевдогравитационного поля на глубине $h = 300$ м, представляющий собой совершенно хаотическую картину /в то же время, вид исходного магнитного поля не имеет видимых отличий/.

Полученная расчетная глубина до верхней границы магнитных тел позволяет сделать предположение о том, что в качестве указанного "безрудного" массива могут служить хлорито-эпидотовые породы с зонами метасоматитов и скарнирования /см. разрез на рис.16/.

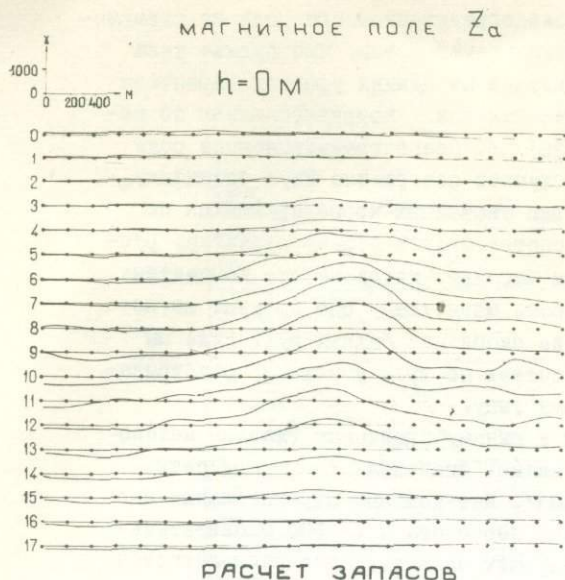
Северо-Степная аномалия расположена в южной части Тургайского прогиба. Расчеты производились по значениям поля ξ_a при сети 100x100 м /рис.17/. По своему характеру поле Δg_{ps} на этом участке напоминает псевдогравитационное поле на Северо-Талдыкульском участке /хаотичность кривых, отсутствие коррелирующихся по профилям аномальных зон/. Наиболее близко к поверхности возмущающие массы подходят в северо-восточной части участка, где расчетная глубина может быть определена как $h^* = 150 - 50 = 100 \text{ м}$.

Скважиной, пробуренной в центральной части участка, на глубине $h = 300$ м подсечены диоритовые и андезитовые порфиры, обогащенные вкрапленностью магнетита. На гл.400 м имеется интервал /4 м/ бедных магнетитовых руд, а на гл. 560,6 - 562,7м и 758 м - 759 м маломощные пропластки руды с более высоким содержанием железа.

Таким образом, на участке можно предполагать лишь незначительное магнетитовое оруденение, находящееся на достаточной глубине. Магнитное поле в данном случае в основном определяется массивом порфиритов, в связи с чем расчетные запасы / ≈ 200 млн.т/ должны рассматриваться лишь как чисто условные .

Гавриловский участок расположен в Курганской области /Валерьяновская железорудная зона/. Пересчеты поля произведены при сети исходных значений поля ξ_0 500x500 м. Как можно видеть на рис.18, по мере понижения уровня пересчета псевдогравитационного поля корреляция аномалий по профилям становится все менее четкой, поле все в большей степени приобретает черты хаотического поля.

Северо-восточный эпицентр разбурен двумя скважинами /рис. 18/, которые вскрыли массив магнитных горных пород, измененных гидротермально-метасоматическими про-



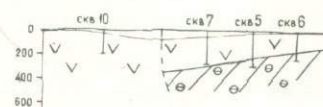
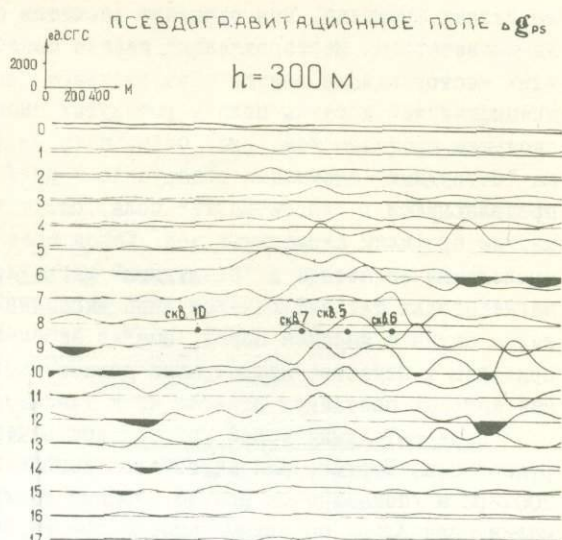
$$V = \iint \Delta q_{ps} ds = 0,106 \cdot 10^{15} \text{ ед.сгс} \cdot \text{см}^2;$$

$$M = \frac{1}{2\pi} V = 0,168 \cdot 10^{14} \text{ сгс};$$

$$\mathcal{J} = 0,2 \text{ сгс (условно)}; \sigma = 4\% \text{ см}^3$$

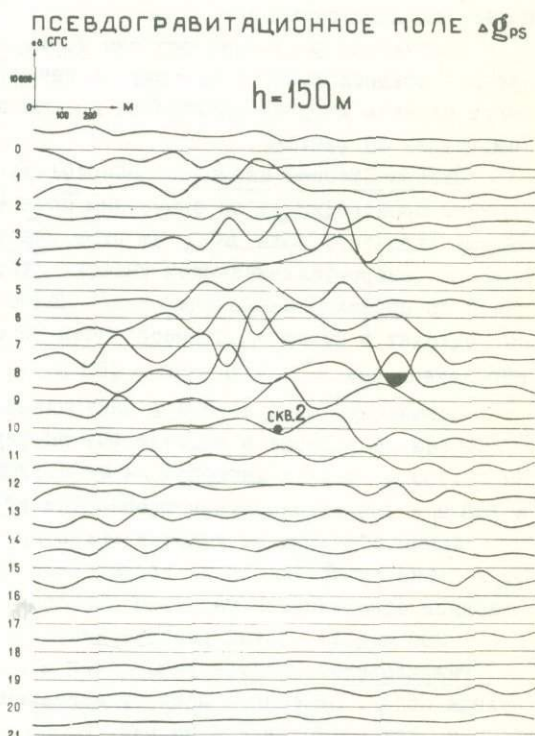
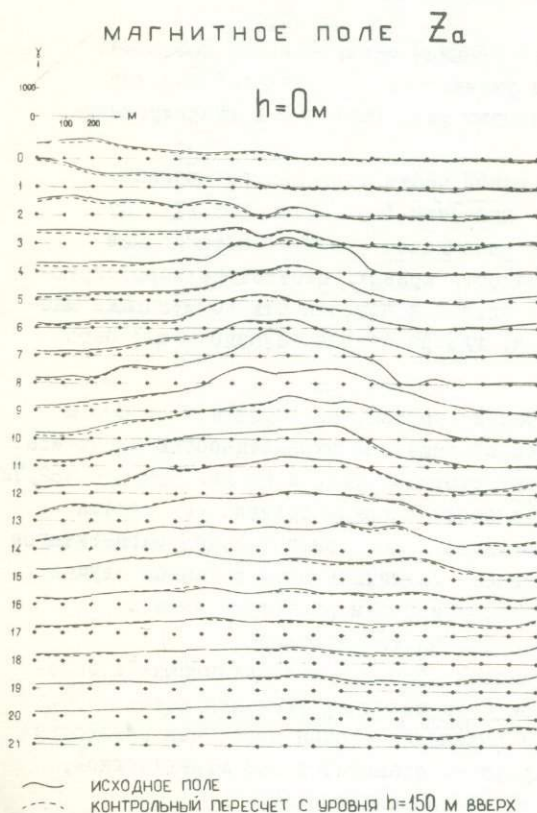
$$Q = \frac{M}{\sigma} = 3,36 \cdot 10^{14} \text{ г} \approx 340 \text{ млн. тонн}$$

Рис. 16. Пересчеты поля Z_a по Северо-Талдыкульскому участку.



✓ АНДЕЗИТОВЫЕ И АНДЕЗИТО-БАЗАЛЬТОВЫЕ ПОРОДИТЫ И ИХ ТУФЫ

⊗ КЛОЕИТО-ЭПИДОТОВЫЕ ПОРОДЫ



РАСЧЕТ ЗАПАСОВ

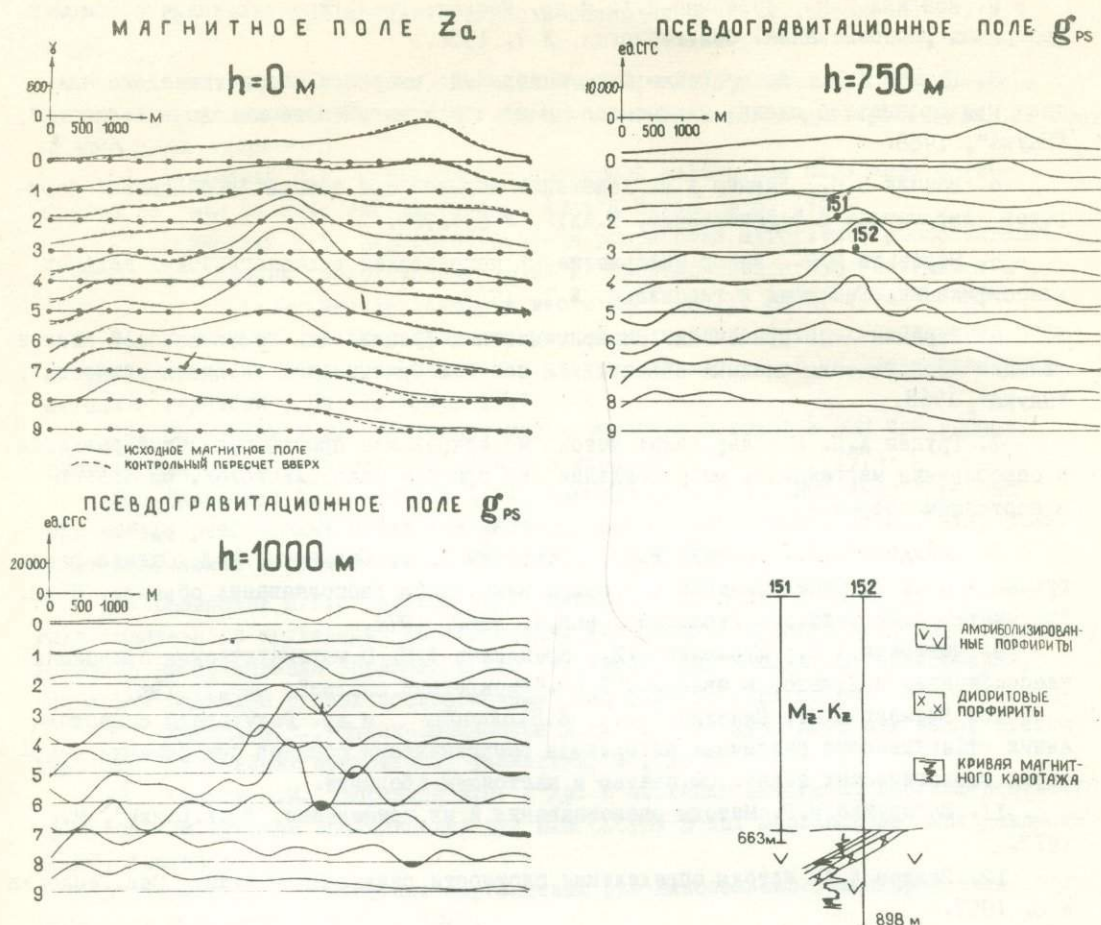
$$V = \iint \Delta q_{ps} ds = 0,661 \cdot 10^{14} \text{ ед.сгс} \cdot \text{см}^2;$$

$$M = \frac{1}{2\pi} V = 0,104 \cdot 10^{14} \text{ сгс};$$

$$\mathcal{J} = 0,2 \text{ сгс (условно)}; \sigma = 4\% \text{ см}^3;$$

$$Q = \frac{M}{\sigma} = 208 \cdot 10^{14} \text{ г} \approx 200 \text{ млн. тонн}$$

Рис. 17. Пересчеты поля Z_a по Северо-Степной аномалии.



$$h^* = \tilde{h} - 0,5 \Delta \tau = 1000 \text{ м} - 250 \text{ м} = 750 \text{ м}$$

Рис. 18. Пересчеты поля Z_a по Гавриловскому участку.

цессами и обогащенных вторичным магнетитом. Породы представлены андезитобазальтовыми порфиритами, магнитная восприимчивость которых достигает $20\,000 \times 10^{-6}$ СГС, составляя в среднем $12\,000 \times 10^{-6}$ СГС. Магнитные измерения, выполненные по скважине 152, однозначно свидетельствует о том, что северо-восточная аномалия Гавриловского участка вызвана массивом этих пород.

В заключение авторы выражают благодарность Т.В.Тычковой за предоставление материалов для пересчета полей, а также Н.Г.Шмидту за весьма полезное обсуждение различных аспектов работы.

Литература

1. Астанин П.П., Пинелис Р.Г., Рабинович С.Г., Савинский И.Д. Опыт применения методов распознавания образов при определении уровня эрозийного среза и оценке перспектив оруденения по геохимическим данным. В кн. "Геологические методы прогнозирования, поисков и разведки рудных месторождений" под ред. С.В.Григоряна, ИМГРЭ, 1975.

2. Бонгард М.М., Губерман Ш.А. и др. Решение геологических задач с помощью программы распознавания. Сов.геология, № 7, 1966.
3. Бугаец А.Н., Дворниченко Г.К. Методы многомерного статистического анализа при прогнозной оценке пегматитов. В сб. "Математические методы в геологии", "Наука", 1968.
4. Вапник В.Н., Лернер А.Я. Узнавание образов при помощи "обобщенных" портретов. Автоматика и телемеханика, т.ХХIV, № 6, 1968.
5. Воробьев В.Я. Выбор информативных показателей в геологических задачах классификаций. Геология и геофизика, № 7, 1969.
6. Гаранин А.В. Применение дискриминантных функций для геохимической классификации геологически сходных объектов. В сб. "Математические методы в геологии", "Наука", 1968.
7. Грудев А.И. Использование метода моделирования при выборе сетей разведки и опробования марганцевых месторождений /на примере Никопольского/. См.статью в настоящем сборнике.
8. Демидова Н.Г., Пинелис Р.Г., Рабинович С.Г., Савинский И.Д. Оценка оловорудных и ртутных месторождений с помощью алгоритмов распознавания образов. В кн. "Математические методы в геологии", вып. I, ВИМС, 1974.
9. Дмитриев А.Н., Журавлев Ю.И., Кренделев Ф.П. О математических принципах классификации предметов и явлений. В сб. "Дискретный анализ", вып. 7, 1967.
10. Еремеев А.Н., Пинелис Р.Г., Е.П.Власов и др. Результаты сопоставления эффективности различных алгоритмов распознавания образов при решении некоторых геологических задач. См.статью в настоящем сборнике.
11. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. "Сов.радио", М., 1972.
12. Зенков Д.А. Методы определения плотности разведочной сети. Сов.Геология № 6, 1957.
13. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям марганцевых руд. Госгеолтехиздат, 1961.
14. Каждан А.Б. Количественная оценка разведанности запасов твердых полезных ископаемых. Разведка и охрана недр, № 1, 1971.
15. Каждан А.Б. Пути совершенствования методики геологоразведочных работ и повышения их экономической эффективности. Сов.геология, № 2, 1973.
16. Каждан А.Б., Щумилин М.В., Викентьев В.А. Методические основы количественной оценки разведанности запасов твердых полезных ископаемых. Сов.геология, № II, 1974.
17. Кибец А.В., Чеботарев М.В. О соотношении категорий запасов цветных металлов. Разведка и охрана недр, № 2, 1975.
18. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. "Недра", 1964.
19. Магнетитовые руды Кустанайской области и пути их использования. Отв. ред. И.П.Бардин. Изд-во АН СССР, 1958.
20. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. "Мир", 1968.
21. Оценка железорудных месторождений при поисках и разведке. "Недра", 1970.
22. Черфильев Л.Г., Крамак В.С. Вычерчивание карт на ЭВМ с помощью графопостроителя "Атлас". Экспресс-информация. Серия: Региональная, разведочная и промысловая геофизика, № 47, ВИЭСМ, 1970.
23. Пинелис Р.Г. Алгоритм распознавания образов "Перебор". Кн. "Математические методы в геологии", вып. I, ВИМС, 1974.

24. Родченко Ю.М. Анализ плотности разведочной сети. Сов.геология, № 7, 1964.
25. Савинский И.Д., Астанин П.П., Патык-Кара Н.Г., Пинелис Р.Г. Применение методов распознавания образов при оценке месторождений и рудопроявлений. См. статью в настоящем сборнике.
26. Савинский И.Д. О решении некорректной задачи при пересчете потенциального поля на нижележащие уровни. Физика Земли, № 6, 1967.
27. Савинский И.Д. Некоторые вопросы разработки алгоритмов распознавания образов при решении геологических задач и описание алгоритмов "Потенциал-2", "БР". В кн. "Математические методы в геологии", вып. I, ВИМС, 1974.
28. Савинский И.Д. Пересчет трехмерных магнитных полей с нахождением псевдогравитационного поля и практические применения метода. В кн. "Математические методы в геологии", вып. I, ВИМС, 1974.
29. Савинский И.Д. Применение математических методов и ЭВМ при выборе разведочных сетей и построении планов в изолиниях. "Недра", 1974.
30. Савинский И.Д., Грудев А.П., Калинин И.П. и др. Использование ЭВМ при выборе разведочных сетей для месторождений богатых железных руд КМА. В кн. "Математические методы в геологии", вып. I, ВИМС, 1974.
31. Савинский И.Д., Астанин П.П., Пинелис Р.Г. и др. Опыт оценки масштаба гидротермального оруденения по статистическим характеристикам комплекса элементов методами распознавания образов. В кн. "Геохимические методы прогнозирования, поисков и разведки рудных месторождений" под ред. С.В. Григоряна, ИМГРЭ, 1975.
32. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. Физматгиз, М., 1959.
33. Страхов Н.М., Варенцов И.М. и др. К познанию механизма марганцеворудного процесса /на примере олигоценовых руд юга СССР/. В кн. "Марганцевые месторождения СССР", "Наука", 1967.
34. Фомин Я.И. Обогащение марганцевых руд Никопольского месторождения. Труды института Механобр, вып. 132, 1963.
35. Шурыгин А.М. Задачи статистической классификации в геологии. Сов. геология, № 4, 1972.
36. Яблонский С.В., Демидова Н.Г., Константинов Р.М. и др. Тестовый подход к количественной оценке геолого-структурных факторов и масштабов оруденения. Геология рудных месторождений, № 2, 1971.
37. Оценка месторождений при поисках и разведках. Плавиковый шпат. М., "Недра", 1972.

Технический редактор Ц.С.Левитан

Сдано в печать 12/ХП 1975 г.

Подписано к печати 1/ХП 1975 г.

Л-27689

Тираж 500 экз.

Формат 84х108/16

Уч.-изд.л. 10,2 Цена 82 коп.

Заказ 1677

Центральное специализированное
производственное хозрасчетное предприятие
Всесоюзного геологического фонда

58

Цена 82 коп.

1536