

Ю. Р. ВАСИЛЬЕВ, А. Н. ДМИТРИЕВ, В. В. ЗОЛОТУХИН

**РАСПОЗНАВАНИЕ И ОЦЕНКА
НИКЕЛЕНОСНЫХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ
ТРАПОВЫХ ИНТРУЗИИ
СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

На севере Сибирской платформы известно несколько десятков дифференцированных траптовых интрузий, имеющих как черты сходства, так и определенное различие в строении, минеральном и петрохимическом составе и т. д. А самое главное — все они различаются масштабами сульфидного медно-никелевого оруденения — от промышленных концентраций до полного отсутствия признаков руды.

Многие из указанных интрузий представляют собой пологозалегающие пластинчатые (хонолитоподобные) тела, имеющие раздувы и пережимы и выклинивающиеся в бортовых и головных частях. Средняя мощность интрузий не превышает 150—170 м при ширине тел до 1,5 км. По падению некоторые массивы прослежены на 10—15 км, причем угол падения тел увеличивается по мере погружения. Для внутреннего строения многих интрузий характерно трехчленное деление (сверху вниз) на безоливиновые, оливинсодержащие и обогащенные оливином троктолитовые или пикритовые габбро-долериты, связанные постепенными переходами. В том же направлении происходит закономерное изменение химических составов пород и минералов: повышается магнезиальность оливины, основность плагиоклаза и т. д.

Строение большинства интрузий осложняется присутствием грубозернистых такситовых (пегматондных) тел габбро-долеритов, располагающихся, как правило, в эндоконтактных зонах массивов параллельно контактам. Мощность тел такситовых габбро-долеритов колеблется в очень широких пределах, редко превышая первые метры. Проявление сульфидных руд в своей основной массе приурочено к нижним горизонтам интрузий — к пикритовым (троктолитовым) и нижним такситовым габбро-долеритам, изредка встречаясь в верхних горизонтах и зонах экзоконтакта. Воздействие интрузий на вмещающие породы проявляется в их ороговковании и метасоматическом преобразовании, иногда значительно. Вопросы петрологии и рудоносности дифференцированных траптовых интрузий рассматриваются в многочисленных статьях и монографиях [3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 и мн. др.].

Эмпирически давно уже установлена связь сульфидного оруденения с дифференцированными трапковыми интрузиями. Исследователи неоднократно пытались выявить поисковые (геохимические, минералого-петрохимические, геологоструктурные и т. п.) признаки рудоносных интрузий и тем самым найти признаки отличия от подобных нерудоносных тел. Так как степень исследованности интрузий этого типа далеко не одинакова, то многие поисковые признаки, выявленные на хорошо изученных объектах, оказались неприемлемыми для менее изученных массивов

из-за отсутствия необходимой информации. Кроме того, степень существенности (важности) любого из предлагаемых критериев оставалась неопределенной.

В связи с этим поставленная нами задача оценки рудоносности и разбраковки дифференцированных интрузий методом дискретной математической обработки информации сводилась на первых этапах исследования к отбору и классификации имеющейся информации и выявлению меры существенности признаков и их упорядочиванию по этой мере.

Трудность отбора и классификации признаков связана, как уже отмечалось выше, с неравномерной изученностью объектов. Поэтому необходим выбор таких признаков, которые были бы выполнимы, т. е. являлись общими для всех исследуемых объектов — как хорошо, так и слабо изученных и вновь открываемых. В какой-то мере это ограничивает количество признаков, участвующих в решении задачи, но не исключает их увеличения при получении дополнительной информации по всем исследуемым объектам.

Нами была собрана информация одного уровня для 27 дифференцированных интрузий из различных районов севера Сибирской платформы, список которых приведен в табл. 1. Исследуемые объекты были охарактеризованы одной и той же последовательностью признаков, количество которых равно 31. Все признаки были разделены на четыре группы (I — петрохимические, II — минералогические, III — признаки строения интрузии, IV — геолого-тектонические), каждая из которых обладает содержательной общностью в рамках геологического описания. Согласно требованиям метода [8] и выработанному коду, все признаки дискретны по значимости и могут принимать значения: «1» — признак выполнен, «0» — признак не выполнен, прочерк — информация отсутствует.

Общий код характеристических признаков исследуемых объектов [7]

I. Петрохимические признаки:

X_1 — магnezность предполагаемого исходного расплава: $0 > 9,0$ вес. % $MgO > 1^*$;

X_2 — магnezность горизонта пикритовых или троктолитовых габбро-долеритов: $0 > 16,5$ вес. % $MgO > 1$;

X_7 — содержание щелочей в «исходном расплаве»: $0 > 2,9$ вес. % $(Na_2O + K_2O) > 1$;

X_8 — содержание щелочей в пикритовых или троктолитовых габбро-долеритах: $0 > 1,9$ вес. % $(Na_2O + K_2O) > 1$;

X_{16} — степень дифференциации интрузий $0 > 21$ К. Ф. > 1 ; К. Ф. = $\frac{(FeO + Fe_2O_3) \times 100}{FeO + Fe_2O_3 + MgO}$.

II. Минералогические признаки:

X_3 — железность оливинов нижних горизонтов интрузий: $0 > 25\%$ $\Phi_a > 1$;

X_4 — железность оливинов верхних горизонтов: $0 > 35\%$ $\Phi_a > 1$;

X_5 — присутствие ортопироксена в нижних дифференциатах интрузий;

X_6 — основность плагиоклаза нижних горизонтов: $0 > 76\%$ $\Delta n > 1$;

X_9 — наличие ботрита; $0 > (\sim 1\%) > 1$;

X_{10} — наличие хромита;

X_{11} — присутствие неправильных выделений магнетита и титано-магнетита;

X_{12} — наличие сульфидной вкрапленности в нижних горизонтах интрузий: $0 > (\sim 1\%) > 1$.

X_{13} — наличие сульфидной вкрапленности в верхних горизонтах интрузий;

X_{14} — проявление жильного оруденения.

III. Строение интрузий:

X_{15} — дифференцированность;

X_{17} — наличие нижних такситовых габбро-долеритов;

X_{18} — наличие верхних такситовых габбро-долеритов;

X_{19} — наличие пикритовых габбро-долеритов;

X_{20} — присутствие кислых гибридных пород в кровле интрузий;

X_{22} — форма интрузий: хонолит — 1, нет — 0.

IV. Геолого-тектоническая обстановка:

- X_{21} — интенсивность метаморфизма пород в экзо- и эндоконтактах;
 X_{29} — присутствие дифференцированных лав во вмещающих толщах;
 X_{30} — наличие ангидрид-гипсовых слоев в подстилающих породах;
 X_{31} — связь интрузий с зонами глубинных разломов.

1. Характер пород кровли:

- X_{23} — туфогенно-лавовая толща и интрузивные породы базальтоидного состава;
 X_{24} — конгломераты, песчаники, сланцы;
 X_{25} — карбонатно-глинистые породы, ангидрид, гипс.

2. Характер пород подошвы:

- X_{26} — туфогенно-лавовая толща и интрузивные породы базальтоидного состава;
 X_{27} — конгломераты, песчаники, сланцы;
 X_{28} — карбонатно-глинистые породы, ангидрид, гипс.

Примечания. Для признаков X_{1-4} , X_{6-8} цифровые данные получены делением сумм средневзвешенных или усредненных значений для каждого объекта на их число в табл. 1 [7].

Для X_{16} число Ш. Ф. получено от деления суммированных разностей крайних значений К. Ф. для каждого объекта на их число [7].

Информация по всем исследуемым объектам группируется в виде основной таблицы решения (см. табл. 1). Напомним, что признаки, образующие в таблицах решения столбцы, заполненные только единицами и нулями, называются сквозными, или отождествляющими. Остальные признаки называются различающими. Дальнейшая обработка полученных таблиц велась путем построения всех тупиковых тестов с помощью ЭВМ.

На первом этапе исследования [7] сравнивалось 18 дифференцированных интрузий, обладающих сходными характеристическими признаками, но различающихся масштабами оруденения. Согласно заданию признаков, подлежащих математической обработке и не содержащих прямых указаний на масштабы и генезис оруденения, по результатам решения основной и вспомогательных таблиц объекты были подразделены на две группы: группа «А» — наиболее значимые и представительные объекты (эталоны, «месторождения») и группа «Б» — менее значимые и представительные («рудопроявления»). Затем была организована новая группа объектов под названием «пробы», в которую вошли потенциально рудоносные дифференцированные трапповые интрузии восточного борта Тунгусской синеклизы (см. табл. 1, строки 23—30), охарактеризованные тем же пространством признаков, что и объекты групп «А» и «Б». Проведенное [2, 6] сравнение объектов группы «пробы» с объектами группы «А» и их упорядочивание по информационным весам выявило в целом малую перспективность дифференцированных интрузий восточного борта Тунгусской синеклизы на оруденение норильского типа.

Каждая из выделенных групп (как и тип в целом) характеризуется вполне определенным комплектом признаков, представляющим собой последовательность признаков, установленную по убыванию значений информемкости.

Разведочными буровыми работами последних лет, проведенными Норильской геологоразведочной экспедицией, было выявлено, что Талнахская (Верхнеталнахская) интрузия, вошедшая в наши первые таблицы решения как самостоятельный объект (что вполне соответствовало уровню информации по данному объекту для того времени), на самом деле состоит из нескольких крупных ветвей, объединенных общим подводящим каналом. Кроме того, была обнаружена Нижнеталнахская интрузия, обладающая целым рядом сходных черт с другими дифференцированными массивами района.

Нижнеталнахская и четыре ветви Верхнеталнахской интрузий были охарактеризованы ранее принятым списком (пространством) при-

Таблица 1

Общая таблица решений

№ строк	Объекты $A_1, B_1, П_1$ (интрузии)	Индекс	Группа	Признаки, $X_n, n=31$																															J (S)				
				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					
				1	Верхне- талнах- ская	Юго-западная Северо-восточная Северо-западная Хараеллахская Нижнеталнахская	«Месторождения»	Г ₁	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0		0	1	1	1
2	Г ₂	1	1	0				0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	3,850		
3	Г ₃	1	1	0				0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	3,508	
4	Г ₄	1	1	0				0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	3,508
5	Г ₅	1	1	0				0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	2,192
6	Норильск-1 Норильск-1а г. Черная Имангда Накохоз	A ₁ A ₂ A ₄ A ₅ A ₆	«Месторождения»	A ₁	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	2,290		
7				A ₂	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	2,777	
8				A ₄	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	2,850
9				A ₅	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	2,460
10				A ₆	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	2,289
11				Хюкта г. Зуб Второй порог г. Озерная г. Подкова Рудничный камень Нижняя-I Нижняя-II Кулюмбинская Галельская Мороговская Нижнефокинская	B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅ B ₆ B ₇ B ₈ B ₉ B ₁₀ B ₁₁ B ₁₂	«Рудопроявления»	B ₁	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
12	B ₂	1	1				0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1		
13	B ₃	1	1				1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1		
14	B ₄	1	0				1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1		
15	B ₅	0	0				1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1		
16	B ₆	0	0				1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0		
17	B ₇	1	0				1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1			
18	B ₈	1	1				1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1		
19	B ₉	0	0				0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	
20	B ₁₀	0	0				1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1		
21	B ₁₁	1	1				0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1		
22	B ₁₂	1	1				0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1		
23	П ₁ П ₂ П ₃ П ₄ П ₅ П ₆ П ₇ П ₈	«Пробы»	P ₁	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1					
24			P ₂	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1				
25			P ₃	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1				
26			P ₄	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1				
27			P ₅	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1			
28			P ₆	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1			
29			P ₇	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1			
30			P ₈	0	0	1	1	1	0	1	1	1	—	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1			

Примечание. Верхнеталнахская интрузия состоит из нескольких крупных ветвей, четыре из которых рассматриваются как самостоятельные объекты.

знаков и включены в качестве самостоятельных объектов исследования в группу «месторождения» (см. табл. 1, объекты T_{1-5}). Тестовый анализ признаков этой группы показал, что в упорядоченной последовательности объектов по значениям информационных весов $[J(S)]$ ветви Верхнеталнахской интрузии занимают первые места, а Нижнеталнахская — одно из последних (см. табл. 1).

На данном этапе решения задачи увеличение числа объектов позволяет осуществить их межтабличное изучение. С этой целью для сравнительного изучения двух или нескольких таблиц предложено понятие тестор. Набор (i_1, i_2, \dots, i_t) столбцов, состоящих из алфавита $\{0, 1\}$ таблицы M , называется *тестором* для таблиц M_1 и M_2 , если после удаления из M столбцов, не вошедших в набор (i_1, i_2, \dots, i_t) , в таблицах M_1 и M_2 не будет совпадающих строк. Согласно этому определению, тестор допускает избыточность, «перерасход» столбцов на построение одного тестора.

Для того чтобы повысить экономичность тестора, вводится понятие тупиковый тестор. Тестор M_1 и M_2 из M называются *тупиковым* тестором t^* , если после удаления из него какого-либо столбца он перестает быть тестором для M_1 и M_2 .

Подчеркнем, что в определении тупикового тестора косвенно содержится указание на качество столбцов, организованных в данный тестор t^* . Чем меньше столбцов затрачивается на построение тупикового тестора, тем выше различающая способность столбцов. В пределе две таблицы могут различаться одним столбцом, который отображает специфику таблиц противоположным значением.

Пример 1. Пусть M разбита на M_1 и M_2 таким образом

$$M = \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}; \quad \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ M_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \end{matrix}$$

Очевидно, что набор столбцов X_2, X_3 является тупиковым тестором для M_1 и M_2 . Удалив из M столбцы X_1, X_4, X_5 и перейдя к таблицам M_1 и M_2 , получим:

$$M'_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M'_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Все строки M'_1 отличны от строк M'_2 .

Чтобы выделить группу признаков (столбцов), характеризующую исследуемые объекты (строки таблиц) по их свойству максимально разделять строки таблиц M_1, M_2, \dots , воспользуемся следующей величиной. Пусть K^* — число всех тупиковых тесторов таблицы M , скомпонованной из M_1 и M_2 , а K_i^* — число тупиковых тесторов, в который вошел столбец за номером X_i .

Число $P^* = \frac{K_i^*}{K^*}$, $i=1, 2, \dots, n$ называется тесторным информационным весом признака X_i .

Пример 2. Пусть имеются M_1 и M_2

$$M_1 = \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}; \quad \begin{matrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Тупиковые тесторные наборы для них следующие:

$$M_1' = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_4 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_1'' = \begin{bmatrix} X_2 & X_3 & X_4 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_2' = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_4 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad M_2'' = \begin{bmatrix} X_2 & X_3 & X_4 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Отсюда вычисляются: $P_1^* = P_3 = \frac{1}{2}$; $P_2^* = P_4^* = 1$; $P_5^* = 0$, поскольку X_5 не входит ни в один из тупиковых наборов.

На базе указанных понятий и процедур возможно выделить группы признаков, наиболее полезные в изучении различий таблиц, и построить схему распознавания объектов.

Расознавание с использованием тупиковых тесторов в данном случае производилось по алгоритму «голосование по тесторам» [1].

Нам задано два класса объектов («месторождения» и рудопроявления) для процедуры обучения и один класс объектов (пробы) для процедуры экзамена в виде таблиц бинарных символов. Пусть таблицы M_1 («месторождения») и M_2 (рудопроявления), состоящие из m_1 и m_2 строк, называются таблицами эталонов, а таблица M_3 (пробы), состоящая из m_3 строк, называется таблицей экзамена:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_{m_1} \end{bmatrix} \\ M_2 \\ \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_{m_2} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \text{ и } M_3 = \begin{bmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \vdots \\ \gamma_{m_3} \end{bmatrix}$$

Для отнесения γ_i , $i=1, 2, \dots, m_3$ к классам M_1 и M_2 поступаем таким путем. Отстраняются все тупиковые тесторы в таблицах M_{1ik} , $k=1, 2, \dots, m_1$; M_{2ij} , $j=1, 2, \dots, m_2$, получаемые из M_{2ij} выбрасыванием всех столбцов, по которым строки γ_i и α_k не совпадают.

Пусть $\tau(s)$ — число тупиковых тесторов в таблице S , тогда сравниваем величины:

$$A_{i_1} = m_1 \sum_{j=1}^{m_2} \tau(M_{2ij}) \text{ и } A_{i_2} = m_2 \sum_{k=1}^{m_1} \tau(M_{1ik}). \quad (1)$$

Из соотношения (1) можно выявить принадлежность данной пробы γ_i к заранее выделенным классам по неравенствам:

если $A_{i_2} > A_{i_1}$, то γ_i принадлежит к классу M_2 ;

» $A_{i_2} < A_{i_1}$, то γ_i принадлежит к классу M_1 ;

» $A_{i_2} = A_{i_1}$, то γ_i на заданных классах не сортируется.

В реальных задачах выбирается некий порог ϵ -сортировки; чаще всего решение отнести к данному классу пробу γ_i принимается, если $A_{i_2} > A_{i_1}$ не менее чем на 10%.

В случае необходимости распознавания проб по одной таблице эталонов употребляется процедура «голосования по тестам». Пусть задана M_{mn} таблица, такая, что $M_{mn} = \{a_{ij}\}$, где $a_{ij} \in \{0, 1\}$, а $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$, составленная из m -эталонов и n -признаков. Имеется подлежащая распознаванию проба $S_\gamma = \{a_{1\gamma}, a_{2\gamma}, \dots, a_{n\gamma}\}$, которую следует отнести к одному из эталонов класса.

Построим $\{a'_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, l$ — некоторый тупиковый тест таблиц M_{mn} ; далее в таблице M выделим подмножество столбцов X_i с номерами $(1, 2, \dots, l)$. Тогда если для данного S_j ($j = 1, 2, \dots, m$) выполняется

$$a'_{ij} = a_{ij}, \quad (2)$$

то принимается, что выбранный тест «подает голос» за отнесение данной пробы к j -му эталону. Если хотя бы для одного из l нарушается равенство (2), то данный тест от голосования воздерживается.

Естественно относить экзаменуемую пробу к эталону S_j , если для него выявлено, что $K_j = \max_{1 \leq i \leq m} \{K_{ij}\}$. При равномерном распределении

голосов принятие решения о принадлежности данной пробы к данному эталону не производится. Как и в случае тесторного голосования, здесь применяется порог ϵ -сортировки.

Предлагаемая схема диагностики в основе своей базируется на логических положениях и ее работа предпочтительна для массивов информации с преимуществом логических переменных.

Полученные результаты сведены в табл. 2 и 3. С этой целью основная таблица решения (табл. 1) была подразделена на три подтаблицы («месторождения», рудопроявления, пробы), которые затем решались.

В табл. 2 сведены результаты определения существенности каждого признака, включенного в ту или иную подтаблицу, а также средние значения существенности этих признаков по видам операций, проведенных над этими подтаблицами (тестовые или тесторные определения). Обобщенную интерпретацию результатов затрудняет то, что число характеристических признаков для таблиц «месторождения» и рудопроявления различно. Кроме того, эти результаты свидетельствуют об одинаковой значимости существенности средних значений P_i и P_i^* для большинства признаков независимо от тестовой или тесторной обработки. При этом наиболее важными для различения «месторождений» и рудопроявлений внутри каждой таблицы являются признаки: X_3 (железистость оливинов верхних горизонтов); X_{23} , X_{24} , X_{25} , отвечающие характеру пород кровли и терригенным отложениям подошвы интрузий (X_{27}). К ним близка группа признаков X_{13} , X_{14} , X_{18} , определяющих наличие сульфидной вкрапленности или жильного оруденения, а также верхних такситовых габбро-долеритов. Одновременно признаки X_{20} (присутствие кислых гибридных пород в кровле интрузий) и X_{28} (наличие карбонатно-глинистых пород, ангидритов и гипсов в подошве интрузий) выступают как контрастные признаки, т. е. эти признаки хороши как показатели различий объектов внутри таблицы и малоэффективны для изучения межтабличных различий.

В процедурах межтабличного изучения, т. е. исследования обобщенных различий «месторождений», рудопроявлений и проб, взятых как отдельные классы в тесторном подходе, обнаружилось, что основная нагрузка («ответственность») различий между собой этих классов ложится на такие признаки, как X_2 , X_8 , X_{19} , X_{21} , X_{22} , X_{29} . Эти признаки характеризуют присутствие в интрузиях горизонтов пикритовых габбро-долеритов (X_{19}), их магнезиальность (X_2) и щелочность (X_8), интенсивность метаморфизма пород экзо- и эндоконтакта (X_{21}), форму ин-

Таблица существенности

Вид операции	P_i, P_i^*	Признаки (X) Виды таблиц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
			Определение различающей существенности столбцов	Тестовые параметры (P_i) столбцов	«Месторождения» (строки A_{1-6})	0,18	—	—	0,25	—	0,18	0,18	—	—
«Месторождения» (строки T_{1-5}, A_{1-6})	0,10	—			—	0,19	—	0,10	0,10	—	0,10	0,10	—	
Рудопроявления (строки B_{1-12})	0,19	0,18			0,23	0,09	0,18	0,12	0,17	0,13	0,17	0,15	—	
«Месторождения», рудопроявления (строки A_{1-6}, B_{1-12})	0,18	0,09			0,13	0,36	0,07	0,08	0,21	0,06	0,18	0,09	—	
Пробы (строки Π_{1-8})	0,16	—			1,00	—	0,22	0,16	0,20	—	0,30	—	—	
Рудопроявления, пробы (строки B_{1-12}, Π_{1-8})	0,42	0,52			0,14	0,21	0,25	0,29	0,27	0,32	0,11	0,12	—	
«Месторождения», рудопроявления (строки A_{1-6}, B_{1-6})	0,18	0,06			0,08	0,22	0,13	0,14	0,33	0,16	—	0,08	—	
Среднее P_i (без проб)	0,20	0,21			0,42	0,22	0,16	0,15	0,21	0,17	0,16	0,11	—	
Определение принадлежности пробы к классу (группе)	Тестовые параметры (P_i^*) столбцов	«Месторождения»-пробы (строки $T_{1-5}, A_{1-6} - \Pi_{1-8}$)			0,08	1,00	1,00	0,24	0,18	0,15	0,15	1,00	0,12	0,12
		Рудопроявления-пробы (строки $B_{1-12} - \Pi_{1-8}$)			0,12	0,16	0,07	0,03	0,38	0,23	0,27	0,10	0,24	0,09
		«Месторождения»-рудопроявления-пробы (строки $A_{1-6}, B_{1-12} - \Pi_{1-8}$)	0,55	0,09	0,11	0,35	0,11	0,41	0,19	0,14	0,20	0,12	—	
		Среднее P_i^*	0,25	0,41	0,39	0,21	0,22	0,26	0,20	0,41	0,15	0,11	—	

Примечание. Индексация строк в графе «виды таблиц» соответствует индексации

трузий (X_{22}), а также присутствие толщ дифференцированных лав во вмещающих породах (X_{29}). Следует отметить, что указанные признаки ранее [6,7] были отнесены нами к числу наиболее важных. Наглядно выявленные различия в существенности признаков для разных видов операций с таблицами решений изображены на рисунке.

В табл. 4 приведены результаты межтабличного сравнения объектов группы «пробы» с объектами других групп с помощью тесторных построений. Для этого были вычислены различающие тесторные веса признаков для табличных пар: «месторождения»-пробы, рудопроявления-пробы. Затем с помощью алгоритма «тесторное голосование» вычислялась мера принадлежности проб (Π_{1-8}) к «месторождениям» и рудопроявлениям, а с помощью тестов методом «тестовое голосование» была выявлена мера «сродства» каждого объекта группы пробы с объектами других групп.

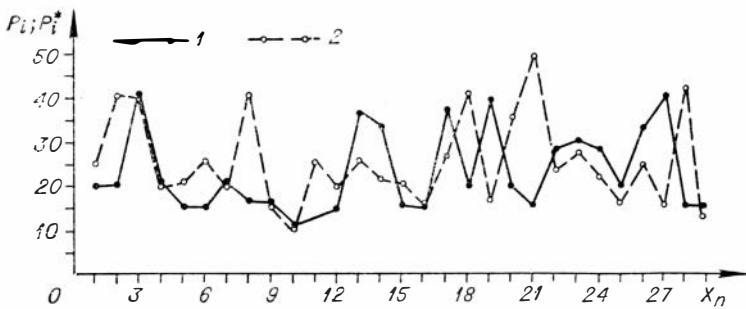
признаков

11	12	13	14	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
—	—	0,26	0,40	—	—	0,26	—	0,23	0,25	0,22	—	—	0,27	0,22	0,32	0,57	—	—
—	—	—	0,32	—	—	1,00	—	0,73	0,12	—	0,20	0,68	0,34	0,19	0,19	0,61	—	—
—	0,17	0,16	0,10	0,21	0,16	0,23	0,26	—	0,15	0,15	0,23	0,15	0,11	0,17	0,44	0,15	0,18	0,18
—	0,18	0,24	0,40	0,09	0,15	0,28	0,05	0,41	0,24	0,21	0,29	0,15	0,39	0,13	0,39	0,41	0,13	0,13
0,20	0,20	0,21	—	0,30	0,29	0,28	—	—	0,21	0,31	0,20	0,35	0,33	—	0,35	0,23	—	—
—	0,25	0,47	0,27	0,34	0,23	0,27	0,33	0,13	0,22	0,12	0,23	0,28	0,27	0,27	0,35	0,23	0,20	0,20
—	—	0,34	0,48	0,09	—	0,27	0,13	0,64	0,23	0,08	0,34	0,26	0,32	0,17	0,28	0,43	0,11	0,11
—	0,14	0,37	0,33	0,16	0,16	0,38	0,19	0,42	0,20	0,15	0,28	0,30	0,28	0,19	0,33	0,40	0,15	0,15
0,18	0,18	0,19	0,14	0,07	0,07	0,19	1,00	0,26	0,46	0,47	0,17	0,25	0,25	0,16	0,22	0,06	1,00	—
0,32	0,27	0,28	0,26	0,42	0,27	0,31	0,14	0,09	0,29	0,79	0,35	0,38	0,20	0,13	0,23	0,24	0,10	0,20
—	0,12	0,31	0,27	0,13	0,16	0,32	0,11	0,17	0,29	0,18	0,16	0,18	0,21	0,21	0,27	0,16	0,16	0,16
0,25	0,19	0,26	0,22	0,20	0,16	0,27	0,41	0,17	0,35	0,48	0,23	0,27	0,22	0,16	0,24	0,15	0,42	0,12

В табл. 1; признаки X_{15} и X_{31} являются отождествляющими.

Из табл. 3 следует, что среди проб только одна (Π_1 — Нинимская интрузия) должна быть отнесена к группе «месторождения». Ее ближайшим аналогом в этой группе является интрузия Норильск-II, в то время как другие пробы (Π_{2-8}) с объектами группы «месторождения» сходства не имеют. Все остальные пробы принадлежат к группе рудопроявлений, но степень их приближения к объектам этой группы далеко не одинакова. Большинство проб (Π_{2-5}) наиболее близко по характеристикам к Галельской интрузии, Π_6 (Верхне-Томбинская) к Кулюмбинский, Π_{7-8} к интрузии Рудничный камень.

Необходимо подчеркнуть, что при групповом сравнении проб с «месторождениями» [6] признаки Нинимской интрузии сглаживались, терялись среди признаков других интрузий этой группы. И только при сравнении объектов различных групп между собой (на базе построения всех тупиковых тесторов) было установлено, что Нинимская интрузия



Сравнение средних значений P_i и P_i^* признаков, выявленных при тестовой (1) и тесторной (2) обработке таблиц решения (см. табл. 1).

выделяется среди других проб и стоит ближе к «месторождениям», чем к рудопроявлениям.

Таким образом, проведенные нами исследования применительно к дифференцированным трапновым интрузиям севера Сибирской платформы позволяют при минимальном объеме информации дать предварительную оценку любому объекту этого типа, выявив не только его принадлежность к одной из выделенных групп, но и степень принадлежности (глубину «сродства») вновь открываемых или потенциально рудоносных объектов к интрузиям норильского типа, несущим промышленное оруденение. В этом смысле вполне определенный интерес вызывает Нинимская интрузия.

Выводы и положения, изложенные в настоящей работе, получены в фиксированном пространстве признаков табл. I. Учитывая, что для сбора информации в указанном объеме потребуются лишь незначительные дополнительные средства, мы считаем, что подобную информацию необходимо собрать по всем открытым и вновь открываемым дифференцированным трапновым интрузиям Сибирской платформы, чтобы объективно оценить их перспективность на оруденение норильского типа.

Таблица 3

Таблица существенности проб

№ п.п.	Индекс пробы	Наименование интрузий (пробы)	Тесторы		Тесты		Отнесение к классу (группе)	Ближайший аналог по классу
			месторождения	рудопроявления	месторождения	рудопроявления		
1	П ₁	Нинимская	0,999	0,810	0,825	0,680	Месторожде- ние	Норильск-II
2	П ₂	Нижне-Томбин- ская	0,000	0,955	0,000	0,910	Рудопроявле- ние	Галельская
3	П ₃	Улакан-Вавицкая	0,000	0,986	0,000	0,975	»	»
4	П ₄	Лево-Нижне-Ви- люканская	0,000	0,962	0,000	0,965	»	»
5	П ₅	Вавуканская	0,000	0,962	0,000	0,965	»	»
6	П ₆	Верхне-Томбин- ская	0,000	0,950	0,000	0,990	»	Куломбинская
7	П ₇	Хукочар	0,000	0,860	0,000	0,822	»	Рудничный ка- мень
8	П ₈	Велнига	0,000	0,855	0,000	0,805	»	»

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаец Н. А., Дворниченко Г. К. и др. Алгоритмы и программы решения геологических задач на ЭЦВМ «Минск-2» и «БЭСМ-3М». Вып. 3. Алма-Ата, 1970
2. Васильев Ю. Р., Дмитриев А. Н., Золотухин В. В. Диагностическая роль петрохимических признаков дифференцированных интрузий севера Сибирской платформы, выявленная математическим путем. Матер. совещ. по петрохимии. Л., 1969.
3. Виленский А. М. Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. «Наука», 1967.
4. Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. Госгеолыздат, 1959.
5. Годлевский М. Н. Магматические месторождения. В кн. «Генезис эндоген. руд. месторожд. «Наука», 1968.
6. Дмитриев А. Н., Васильев Ю. Р., Золотухин В. В. Логико-математическая обработка информации при выявлении перспективности сульфидного оруденения в некоторых трапповых интрузиях севера Сибирской платформы. Геол. и геофиз., 1968, № 11.
7. Дмитриев А. Н., Золотухин В. В., Васильев Ю. Р. Опыт применения дискретной математической обработки информации по дифференцированным рудоносным трапповым интрузиям северо-запада Сибирской платформы. Сов. геол., 1968, № 12.
8. Дмитриев А. Н., Кренделев Ф. П., Журавлев Ю. И. О математических принципах классификации предметов и явлений. Дискретный анализ, сб. 7. Новосибирск, 1966.
9. Золотухин В. В. Основные закономерности прототектоники и вопросы формирования рудоносных трапповых интрузий. «Наука», 1964.
10. Золотухин В. В., Васильев Ю. Р. Особенности механизма образования рудоносных трапповых интрузий северо-запада Сибирской платформы. «Наука», 1967.
11. Коровяков И. А., Нелюбин А. Е. и др. Происхождение норильских трапповых интрузий, несущих сульфидные медно-никелевые руды. Тр. ВИМС, нов. серия, вып. 9, 1963.
12. Смирнов М. Ф. Строение норильских никеленосных интрузий в их сульфидные руды. «Недра», 1966.

*ИГиГ СО АН СССР,
Новосибирск*

*Поступила в редакцию
17 августа 1972 г.*
