

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

Опыт применения дискретной математической обработки информации по дифференцированным рудоносным трапповым интрузиям северо-запада Сибирской платформы

Вопрос о связи сульфидного оруденения с траповыми интрузиями на Сибирской платформе слабо освещен в литературе. Эмпирически давно установлена (Урванцев, 1960) связь подобного оруденения с дифференцированными интрузиями траппов. Дальнейшие исследования (Годлевский, 1959; Лурье и др., 1962; Коровяков и др., 1963; Золотухин, 1964; Виленский и др., 1964) лишь уточнили эту связь.

Интрузии с сульфидным оруденением на Сибирской платформе дифференцированы, как правило, по норильскому типу. Масштабы оруденения могут сильно колебаться внутри группы интрузий этого типа. Более того, в результате геологопоисковых работ установлено, что не все дифференцированные интрузии данного типа рудоносны. Выяснение причин разномасштабности оруденения вплоть до полного его отсутствия в однотипных интрузиях представляет большой теоретический и практический интерес. Первые шаги в этом направлении были сделаны раньше (Золотухин, 1964).

Опираясь на всестороннюю геологическую изученность большого числа интересующих нас объектов, попытаемся оценить значимость признаков, которыми характеризуется тот или иной объект, и подойти к содержательной систематике объектов с целью разбраковки их по грубому экономическому критерию (месторождение, не месторождение). Для этого используем метод дискретного анализа массовой логической информации.

Учитывая различную генетическую трактовку оруденения (Годлевский, 1959; Елисеев, 1950; Золотухин, 1964), имеющийся фактический материал не будем ограничивать рамками какой-либо одной концепции. Для характеристики типа рудоносных объектов (тех, которые связаны с оруденением, понимаемым под ликвационным типом) разделим все изучавшиеся объекты на два подтипа: А — более представительные и значимые, Б — менее представительные и значимые*. Объем признаков, вошедших в исходную таблицу, определялся полностью имеющейся информацией. При сборе исходной информации мы использовали как собственный, так и литературный материал.

Кодирование геологических сведений, составление общей таблицы признаков и ее обработка

В соответствии с принятым методом исследуемые геологические объекты объединены в некоторый формальный тип, согласно поставленной цели. Информация об исследуемых объектах приведена к од-

* Можно грубо называть объекты первого подтипа месторождениями, а второго — рудопроявлениями.

ному уровню. Все 18 объектов охарактеризованы одной и той же последовательностью признаков (31 признак). Признаки могут иметь значения: 0 — признак не выполнен, 1 — признак выполнен. Если признак представлен столбцом, состоящим только из значений 1 или 0, то он называется сквозным. Информация представлена перечнем характеристических признаков (табл. 1). Формально тип задан общей таблицей признаков (табл. 2) размером 18 на 31 (18 строк и 31 столбец), заполненный нулями и единицами; признаки цели исследования ($x_{\text{ц}}$) в данную таблицу не входят.

Требуется по формальному заданию признаков, не содержащих прямых указаний на масштаб оруденения, разнести исследуемые объекты по соответствующим классам на основании множества логических операций над списком косвенных признаков, заданных в виде таблицы.

Список характеристических признаков не является исчерпывающим. Кроме того, признаки формировались в пределах одного региона, и естественно, что в целом список имеет региональную специфику. Несомненно, что при межрегиональном исследовании объектов список признаков должен быть содержательно преобразован (операция приведения к цели) и количественно расширен. Признаки в общем списке, приведенном в табл. 1, разделены на четыре группы; каждая группа признаков обладает содержательной общностью в рамках геологического описания. Группы признаков следующие: I) петрохимическая — $x_1, x_2, x_7, x_8, x_{16}$; II) минералогическая — $x_3, x_4, x_5, x_6, x_{9-14}$; III) признаки строения интрузий $x_{15}, x_{17-20}, x_{22}$; IV) геолого-тектоническая $x_{21}, x_{23}, x_{24}, x_{25-31}$.

Количество признаков в каждой группе определяется наличной информацией, но в целом выдерживается сравнимое представительство признаков в группах. Каждый признак, вошедший в таблицу решения, имеет равновероятное априорное значение, т. е. в таблице все признаки равны по значимости. Этот «содержательный изоморфизм» признаков представляется необходимым с точки зрения как метода в целом, так и способа задания значений признаков.

Задача в отношении разбраковки признаков по значимости сводится к тому, чтобы на основании конфигурации вхождений каждого признака в табл. 2 обнаружить наиболее значительные признаки. Последовательность упорядоченных по значимости признаков позволит выбрать небольшую их группу, имеющую высокую диагностическую роль в распознании исследуемых интрузий.

Последовательность строк в общей таблице признаков (см. табл. 2) задана произвольно. Отношение значений 0 и 1 составляет около 0,45. Наименьшее число признаков со значением 0 установлено для строки A_3 (Талнах) — 5, максимальное — для строк B_{16} (Галельская) — 19 и B_{18} (Нижне-Фокинская) — 19. Таким образом, близость к инварианту типа (строка, представленная признаками со значениями только «1», является инвариантом типа) для $A_3 = 1 - \frac{5}{31} = 0,84$; для $B_{16}, B_{18} = 1 - \frac{19}{31} = 0,39$. Родство исследуемых объектов, объединенных в формальный тип, $\Theta = \frac{0,39}{0,84} = 0,465$; родство подтипа А $\Theta_A = 0,768$, а подтипа Б $\Theta_B = 0,548$. Вполне естественно, что подтип А, как организующий подтип исследуемого формального типа, обладает более высоким сродством с инвариантом. Это вызвано содержательным родством объектов подтипа А. Помимо не входящих в таблицу сквозных признаков по цели ($x_{\text{ц}}=3$), в общей таблице обнаружено еще три сквозных признака: x_{11} — наличие неправильных выделений магнетита и титаномагнетита (группа II); x_{15} — наличие дифференцированности интру-

Таблица 1

Общий код характеристических признаков объектов подтипов и их информационные веса

Информационные веса P_i

T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
				<i>I. Петрохимические признаки</i>
0,181	0,183	0,193	0,182	x ₁ — магнезиальность исходного расплава: 0>9 вес. % MgO>1*;
0,092	0,065	0,184	—	x ₂ — магнезиальность горизонта пикритовых или троктолитовых габбро-долеритов: 0>16,5 вес. % MgO>1;
0,208	0,327	0,168	0,182	x ₇ — содержание щелочей в исходном расплаве: 0>2,9 вес. % (Na ₂ O+K ₂ O)>1;
0,062	0,164	0,128	—	x ₈ — содержание щелочей в пикритовых или троктолитовых габбро-долеритах: 0>1,9 вес. % (Na ₂ O+K ₂ O)>1;
0,095	0,092	0,206	—	x ₁₆ — степень дифференциации интрузий: 0>21 к. ф.>1 $\left(\text{к. ф.} = \frac{(Fe_2O_3 + FeO) \cdot 100}{Fe_2O_3 + FeO + MgO} \right)$
				<i>II. Минералогические признаки</i>
0,127	0,079	0,228	—	x ₃ — железистость оливинов нижних горизонтов интрузий: 0>25% Fa>1;
0,357	0,323	0,085	0,253	x ₄ — железистость оливинов верхних горизонтов: 0>35% Fa>1;
0,071	0,134	0,183	—	x ₅ — присутствие ортопироксена в нижних дифференциатах интрузий;
0,079	0,139	0,122	0,182	x ₆ — основность плагиоклаза пород нижних горизонтов: 0>76% An>1;
0,279	—	0,169	—	x ₉ — наличие биотита: 0>(~1%)>1;
0,088	0,079	0,150	—	x ₁₀ — наличие хромита;
—	—	—	—	x ₁₁ — присутствие неправильных выделений магнетита и титаномагнетита;
0,179	—	0,169	—	x ₁₂ — наличие сульфидной вкрапленности в нижних горизонтах интрузий: 0>(~1%)>1;
0,243	0,336	0,156	0,257	x ₁₃ — наличие сульфидной вкрапленности в верхних горизонтах интрузий;
0,399	0,481	0,096	0,396	x ₁₄ — проявление жильного оруденения
				<i>III. Строение интрузий</i>
—	—	—	—	x ₁₅ — дифференцированность;
0,148	—	0,161	—	x ₁₇ — наличие нижних такситовых габбро-долеритов;
0,277	0,274	0,233	0,257	x ₁₈ — наличие верхних такситовых габбро-долеритов;
0,051	0,132	0,260	—	x ₁₉ — наличие пикритовых габбро-долеритов;
0,405	0,639	—	0,225	x ₂₀ — присутствие кислых гибридных пород в кровле интрузий;
0,213	0,079	0,150	—	x ₂₂ — форма интрузий: хонолит — 1, нет — 0
				<i>IV. Геолого-тектоническая обстановка</i>
0,405	0,227	0,153	0,225	x ₂₁ — интенсивность метаморфизма пород в экзо- и эндоконтактах;
0,126	0,114	0,182	—	x ₂₉ — присутствие дифференцированных лав во вмещающих толщах;
0,126	0,114	0,182	—	x ₃₀ — наличие ангидрит-гипсовых слоев в подстилающих породах;
—	—	—	—	x ₃₁ — связь интрузий с зонами глубинных разломов
				<i>1. Характер пород кровли</i>
0,288	0,329	0,231	0,316	x ₂₃ — туфогенно-лавовая толща и интрузивные породы базальтоидного состава;
0,151	0,258	0,153	0,246	x ₂₄ — конгломераты, песчаники, сланцы;
0,391	0,321	0,108	0,273	x ₂₅ — карбонатно-глинистые породы, ангидрит, гипс
				<i>2. Характер пород подошвы</i>
0,130	0,174	0,175	0,225	x ₂₆ — туфогенно-лавовая толща и интрузивные породы базальтоидного состава;
0,387	0,282	0,438	0,316	x ₂₇ — конгломераты, песчаники, сланцы;
0,412	0,433	0,151	0,572	x ₂₈ — карбонатно-глинистые породы, ангидрит, гипс

* Для признаков x₁₋₄, x₆₋₈ цифровые данные получены путем деления сумм средневзвешенных или усредненных значений для каждого объекта на их число в табл. 2. Для x₁₆ число 21. Значение к. ф. получено от деления суммированных разностей крайних его значений для каждого объекта на их число.

Таблица 2

Общая таблица признаков

Признаки x_i , $n = 31$ Объекты
 A_i, B_i Информационная
емкость, $\tilde{I}(S)$

Объекты A_i, B_i	Индекс	Признаки x_i , $n = 31$																														T_3	T_4	T_5	T_6
		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			
Норильск I	A_1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	3,352	3,015	3,637	2,131						
Норильск II	A_2	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	3,722	3,290	3,784	2,56							
Таллах	A_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	4,828	4,719	4,034	3,45						
Гора Черная	A_4	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	3,239	3,177	2,874	2,03						
Имангда	A_5	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	3,198	2,730	3,106	1,956						
Находка	A_6	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	3,388	3,087	2,660	1,730						
Хюкта	B_7	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	3,112	2,632	2,393	1,944						
Гора Зуб	B_8	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	3,305	2,934	3,113	1,869						
Второй порог	B_9	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1,806	1,519	2,244	0,976						
Гора Озерная	B_{10}	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2,650	2,370	2,527	1,827					
Гора Подкова	B_{11}	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2,277	1,983	2,438	1,388					
Рудничный камень	B_{12}	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	2,555	2,379	2,162	1,778					
Нижняя I	B_{13}	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2,098	1,644	2,292	1,292					
Нижняя II	B_{14}	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2,074	1,842	1,934	1,280						
Куломбинская	B_{15}	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	2,053	2,990	2,353	2,447						
Галельская	B_{16}	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	2,003	1,997	1,752	1,538						
Моронто	B_{17}	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1,597	1,484	2,254	0,905						
Нижне-Фокинская	B_{18}	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1,280	1,357	1,981	0,744						

зий (группа III); x_{31} — связь интрузий с зонами глубинных разломов (группа IV). Вышеприведенные признаки, для которых не существует понятия теста, были выведены из таблиц решения.

Таблицы решения

В соответствии с поставленной задачей решение ее осуществлено по этапам, для чего общая таблица разделена на четыре таблицы (T_3 , T_4 , T_5 , T_6). Выделение этих таблиц было произведено по перекрывающимся последовательностям признаков, что дало возможность сравнить результаты решений.

Таблица 3 (см. рис. 1, T_3) образована из табл. 2 путем удаления сквозных признаков x_1 , x_{15} и x_{31} . Таблица 4 включает одинаковое число объектов подтипов А и Б (по 6 объектов каждого подтипа). Для этого в табл. 2 были убраны строки с B_{13} по B_{18} и образовавшиеся сквозные признаки. Таблица 5 получена из табл. 2 путем исключения всех объектов подтипа А. Для составления табл. 6 потребовалось убрать все сквозные для нее столбцы и все строки, начиная с B_7 .

Данные каждой таблицы обрабатывались по алгоритму (Дмитриев, Журавлев, Кренделев, 1966). Геологическая интерпретация производилась с учетом суммы полученных результатов по всем таблицам.

Таблица 3 (T_3) размером 18×28 называется таблицей общего решения и включает все исследуемые объекты типа с отношением нулей к единицам, равным 0,478. Первые шесть строк таблицы образуют объекты подтипа А, остальные — объекты подтипа Б. Столбцы (признаки) заполнены в соответствии с кодом содержательных признаков и значениями признаков для каждого объекта.

Наиболее высокий различающий информационный вес имеют признаки x_{28} , x_{20} и x_{14} , типичными объектами являются A_3 и A_2 . Наименее информационные признаки — x_{10} , x_8 и x_6 , наименее типичные объекты — B_{18} и B_{17} . Среднее значение $\bar{I}(S)$ для объектов подтипа А составляет 3,621, для объектов подтипа Б — 2,318. Коэффициент разделения исследуемого типа на подтипы $\delta = 1 - \frac{2,318}{3,621} = 0,357$. Значения информационных весов признаков $P_{(i)}$ и информационных весов строк $\bar{I}(S)$ приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 4 (T_4) размером 12×25 называется таблицей пропорционального решения и включает по шесть объектов каждого подтипа с отношением нулей к единицам, равным 0,461. Самыми информационно емкими являются признаки x_{20} , x_{14} и x_{28} , т. е. те же, что и для T_3 ; объекты с наибольшим информационным весом — A_3 и A_2 . Наименее информационно емкие признаки — x_2 , x_3 , x_{10} , x_{12} ; объекты с наименьшим информационным весом — B_{18} и B_{17} . Коэффициент разделения типа на подтипы (δ) имеет значение 0,342.

Таблица 5 (T_5) называется таблицей решения далеких вариантов и состоит из значений 0 и 1, ее размер 12×27 . Самыми информационно емкими являются признаки x_{27} , x_{19} и x_{23} ; объекты с наибольшим информационным весом — A_3 , A_2 и A_1 . Наименее информационно емкие признаки — x_4 , x_{14} , x_{25} ; наименьший информационный вес установлен для объектов B_{16} , B_{14} и B_{18} . Коэффициент разделения объектов на классы для T_5 равен 0,360, т. е. он значительно меньше, чем для T_3 и T_4 . Это объясняется тем, что формальный тип характеризовался далекими вариантами образующих его объектов (рис. 1).

Таблица 6 (T_6) без прочерков размером 6×15 составлена из объектов подтипа А. Из 31 признака, характеризующего тип, для подтипа А

имеется 16 сквозных признаков. Самыми информационно емкими являются признаки x_{28} , x_{14} и x_{23} , наибольшим информационным весом обладают объекты A_3 , A_2 и A_1 . Коэффициент разделения типа на подтипы равен 0,360. Принимая вес сквозного признака (со значением 1) $P_{(i)} = 1$, получим значения условных информационных весов строк $\tilde{I}(S)$. Коэффициент разделения типа на подтипы по условным весам составляет 0,647.

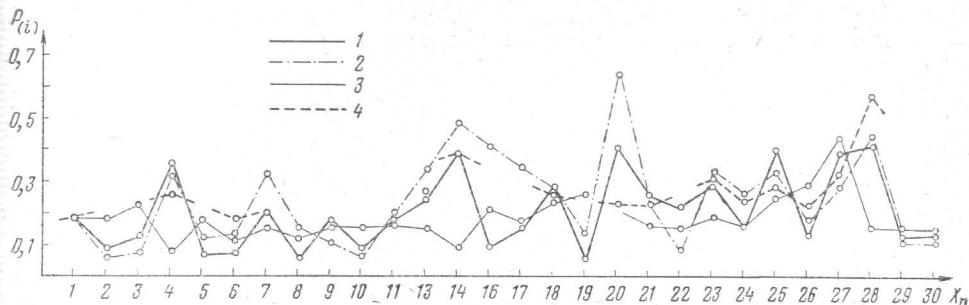


Рис. 1. Сравнение $P_{(i)}$ признаков для таблиц T_3 (1), T_4 (2), T_5 (3), T_6 (4)

Обсуждение результатов решения по признакам

Информационные веса признаков $P_{(i)}$, найденные для каждой таблицы, отражены на рис. 1. Поскольку таблицы решения составлялись таким образом, чтобы исследовать отдельные качества изучаемых объектов, общее сравнение проводится с рядом оговорок. Проведем сопоставление результатов, полученных для таблиц T_5 и T_6 . Таблица T_6 составлена с целью получения компактной характеристики объектов подтипа А в исследуемом типе, а таблица T_5 — для объектов подтипа Б (см. табл. 1). Естественно, что сочетания признаков, существенных для характеристики объектов подтипа А, будут иными для характеристики объектов подтипа Б, т. е. должна быть некоторая спецификация групп признаков, контролирующих объекты А и Б. Это положение подтверждается решением таблиц T_5 и T_6 . Действительно, наряду с общими признаками (одинаково существенными для объектов А и Б), такими как x_1 , x_7 и x_{18} , имеются специфические признаки — x_4 , x_{14} , x_{25} и x_{28} , характерные только для объектов А (с высокими значениями $P_{(i)}$) или для объектов Б — x_{27} (см. рис. 1).

Сопоставление данных таблиц T_3 и T_4 (последние две таблицы составлены для характеристики формального типа в целом) показывает, что значения $P_{(i)}$ для каждого признака почти полностью совпадают (см. рис. 1). Путем сопоставления данных T_5 с данными T_3 и T_4 , а также T_6 , устанавливается сдвиг максимумов $P_{(i)}$. При этом выявляется специфика признаков для объектов подтипа Б. Таким образом, из сопоставлений результатов решений для таблиц T_3 , T_4 , T_5 , T_6 можно образовать три группы признаков, характеризующих тип в целом и каждый подтип.

Совокупность характеристических признаков, подразделяемых на три группы, представляет собой последовательность признаков, установленную по убыванию значений информационной емкости:

I. Группа «общая для типа» x_{23} , x_{18} , x_7 , x_{24} , x_1 , x_{29} , x_{30} , x_{26} , x_9 , x_{12} , x_{17} , x_{22} , x_6 , x_8 ;

II. Группа «подтип А» x_{14} , x_{20} , x_{28} , x_{25} , x_4 , x_{13} , x_{21} ;

III. Группа «подтип Б» x_{27} , x_{19} , x_3 , x_{16} , x_2 , x_5 , x_{10} .

Среднее значение $P_{(i)}$ для первой группы составляет 0,185, для второй — 0,345, для третьей — 0,236. Образование типа (совокупность объектов, объединенных целью) проведено с намерением получить характеристику путем отбраковки признаков. Такие характеристики можно получить отсечением малосущественных признаков, составляющих группу.

Приведем данные по упорядочению содержательных групп признаков I, II, III и IV. Все значения $P_{(i)}$ для каждого признака и содержание признаков иллюстрирует табл. 1. По сумме данных таблиц T_3 , T_4 , T_5 и T_6 устанавливается такой порядок групп: петрохимические

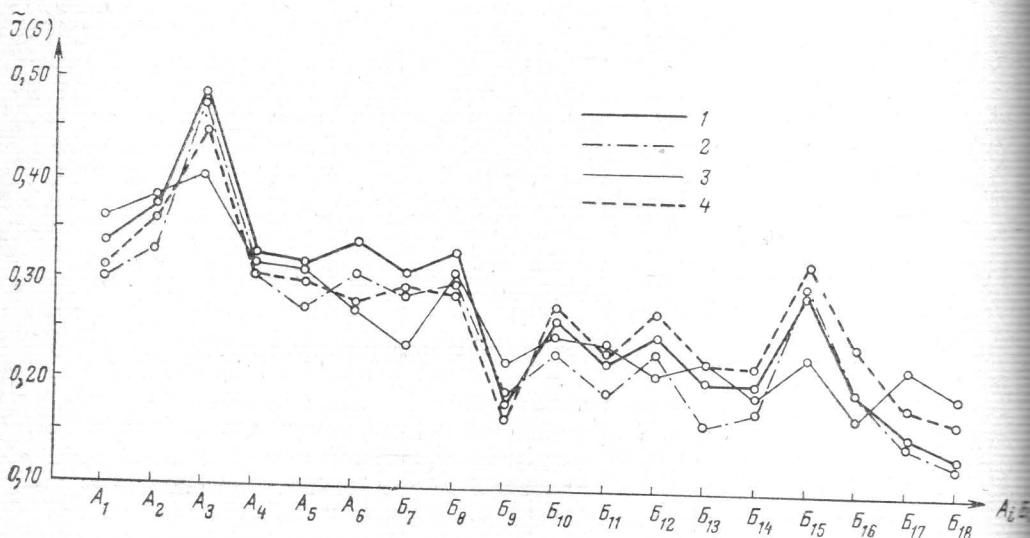


Рис. 2. Сравнение $\bar{I}(S)$ объектов для таблиц T_3 (1), T_4 (2), T_5 (3), T_6 (4)

признаки, минералогические признаки, строение интрузий, геолого-текtonическая обстановка. Следует отметить, что точность упорядочивания содержательных групп признаков не превышает точности разноса признаков по группам.

Сравнение на значимость было проведено для групп магнезиальных и щелочных признаков (см. табл. 1). Как видно, общий информационный вес признаков магнезиальной группы на 11% выше, чем информационный вес признаков щелочной группы, т. е. в компактно характеризуемом формальном типе существенны обе группы признаков с небольшим преимуществом магнезиальности $R = \frac{\sum P_i \text{ щелоч.}}{\sum P_i \text{ магнез.}} = 0,89$. В соответствии со значением $\bar{I}(S)$ проведено упорядочивание объектов, заданных формальным типом. Для всех таблиц, подвергнутых решению, получена приблизительно одна и та же последовательность объектов в типе, построенная по убыванию их информационного веса (рис. 2). Отклонения в порядке следования объектов и попадание объектов одного подтипа в другой вызваны двумя причинами: нечеткостью разницы между «плохим» объектом подтипа А и «хорошим» объектом подтипа Б на границе выделенных подтипов объектов в типе; различием специфики таблиц, подвергнутых решению, что обусловлено неполнотой списка характеристических признаков.

Колебание в неточности разделения объектов по подтипам составило 5—10%, т. е. максимальное число объектов, «ошибочно» отнесен-

ных к другому подтипу, равно 2 (из 18), минимальное равно 1. Безошибочное* разделение объектов по условным информационным весам проведено по таблице Т₆. Для табл. Т₄ в класс А_i попали строки Б₈, Б₁₅; для табл. Т₅ — строка Б₈, для табл. Т₃ — строка Б₈.

Таким образом, независимо от размера таблицы и ее назначения, объект Б₈ (гора Зуб) систематически классифицируется как объект подтипа А, занимая 4, 5 и 6 места в последовательности объектов этого подтипа. Дважды «неправильно» отнесен объект Б₁₅ (Кулюмбинская), один раз — объект Б₇ (Хюкта). Как следует из первой причины, ближайшими по подтипам (относительно первоначального задания подтипов А_i и Б_i) являются «приконтактные» объекты Б₇ и Б₈. Поэтому мы формально выделяем в типе третий подтип объектов — «переходный», объединяющий объекты А₅, Б₈, А₆, Б₁₅ и Б₇.

Колебание мест и перестановка объектов внутри каждого подтипа могут быть значительными, но фактически маловажными, поскольку значения информационных весов объектов одного подтипа очень близки. Да и знаний об объекте, если для него установлен подтип, практически вполне достаточно, так как задача заключается в том, чтобы произвести грубую разбраковку объектов в типе по заданной цели.

Для всех таблиц, подвергнутых расчету, первым назван объект А₃ (Талнах), который содержательно является наиболее представительным и значимым объектом исследуемого формального типа. Упорядоченность в подтипе Б имеет довольно устойчивую конфигурацию и очень близкие информационные веса (рис. 2).

Геологическая интерпретация

Переходя к геологической интерпретации полученных результатов, отметим наиболее важные моменты, исходящие из найденных групп характеристических признаков, приведенных выше. При этом прежде всего будем указывать сквозные признаки, которые не вошли в группы, но играют большую роль как типообразующие.

I. Тип в целом характеризуется дифференцированным строением интрузий (x_{15}), связью этих интрузий с зонами разломов, по-видимому, глубинных (x_{31}), наличием сульфидной (x_{12}) и магнетитовой (x_{11}) вкрапленности, присутствием биотита (x_9). Для типа существенные следующие признаки:

присутствие в кровле и подошве туфогенно-лавовой базальтоидной толщи с силлами того же состава (x_{29} , x_{26}) либо песчано-сланцевой толщи в кровле (x_{24} , x_{27});

наличие верхних такситовых габбро-долеритов (x_{18}) с большей существенностью признака для объектов группы А и меньшей — для объектов группы Б;

содержание щелочей в исходном расплаве (x_7) меньше 2,9% суммы щелочей (для объектов группы А этот признак выражен резче);

магнезиальность исходного расплава (x_1), как правило, более 9 вес. % MgO;

наличие дифференцированных лав (x_{29}) и ангидрит-гипсовых слоев (x_{30}) во вмещающей толще;

наличие нижних такситовых габбро-долеритов (признак, особо важный для объектов подтипа А и существенный — для объектов подтипа Б);

* Как оказалось, интрузия Зуб была умышленно введена в подтип Б авторами при объединении объектов в тип.

форма интрузивных тел (x_{22}): хонолит для объектов подтипа А; основность плагиоклаза в породах нижних горизонтов интрузий (x_6);

содержание щелочей в породах нижних горизонтов (x_8).

II. При детализации признаков внутри типа выясняется, что для подтипа А характерны:

наличие пикретовых габбро-долеритов (x_{19});

наличие нижних такситовых габбро-долеритов (x_{17});

магнезиальность пикретового горизонта (x_2) интрузий (содержание не менее 16,5 вес. % MgO);

железистость оливинов нижних горизонтов интрузий (x_3), не более 25% Fa;

наличие хромита (x_{10});

наличие ортопироксена (x_5);

основность плагиоклаза (76% An-компоненты и выше) в породах нижних горизонтов (x_6);

содержание щелочей в нижних горизонтах (x_8) меньше 1,9 вес. %;

магнезиальность исходного расплава (не менее 9 вес. % MgO) — почти сквозной признак (x_1);

содержание щелочей в исходном расплаве (x_7) не более 2,9 вес. % суммы щелочей — почти сквозной признак;

степень дифференцированности интрузий (x_{16}) с разностью крайних значений коэффициентов фракционирования не менее 21%;

форма интрузивного тела (x_{22}) — хонолит;

наличие во вмещающей толще серии дифференцированных лав (x_{29}) и ангидрит-гипсовых слоев (x_{30}).

Для подтипа А существенны:

проявления жильного оруденения (x_{14});

наличие кислых гибридных пород в кровле интрузии (x_{20}).

Это сильный различающий внутргрупповой признак, по которому группа А должна распадаться на две подгруппы, что требует дополнительных исследований (на уменьшение значимости объекта в случае присутствия признака x_{20});

наличие карбонатно-мергелистых и глинистых пород в подошве (x_{28}) и кровле (x_{25}) интрузий;

железистость оливина пород верхних горизонтов интрузий (x_4) не более 35% Fa-компонента;

наличие сульфидной вкрапленности в верхних горизонтах интрузий (x_{13}) — сильный различающий признак;

интенсивность метаморфизма пород в экзо- и эндоконтактах (x_{21}).

III. Для подтипа Б достаточно характерны (являются почти сквозными) следующие признаки:

железистость оливина верхних горизонтов интрузий (x_4) не менее 35% Fa-компонента;

отсутствие жильного сульфидного оруденения (x_{14}), а также вкрапленности в верхних горизонтах интрузий (x_{13});

по форме интрузии не являются хонолитами (x_{22}).

Для подтипа Б существенны:

наличие грубообломочных и песчано-сланцевых пород в подошве интрузии (x_{27});

наличие пикретовых габбро-долеритов (x_{19});

железистость оливина нижних горизонтов интрузий (x_3) не менее 25% Fa-компонента;

степень дифференциации интрузий (x_{16}) с разностью крайних значений коэффициентов фракционирования не более 21%;

магнезиальность горизонта пикритовых габбро-долеритов (x_2) не более 16,5 вес. % MgO;

наличие ортопироксена (x_5);

отсутствие хромита (x_{10});

основность плагиоклаза в породах нижних горизонтов (x_6) интрузий, как правило, не выше 76% Ап-компонентента;

содержание щелочей в нижних горизонтах (x_8), как правило, выше 1,9 вес. % (в сумме).

Для всех охарактеризованных выше групп следует заметить, что признаки вмещающих толщ (x_{23-28}) отражают геологическую специфику данного региона. Межрегиональное сравнение в дальнейшем позволит выявить объективный вес этих признаков для образования интрузий подтипов А и Б.

Из анализа значимости признаков, характеризующих объекты подтипа А, вытекает, что последние с сульфидными жилами и вкрапленностью образуются в случае хорошо дифференцированной трапповой интрузии, имеющей форму хонолита. Она должна содержать горизонты пикритовых и такситовых габбро-долеритов. Максимальная магнезиальность и минимальная щелочность исходного расплава, максимальная магнезиальность пикритовых габбро-долеритов, минимальная железистость оливинов (как в нижних, так и в верхних горизонтах интрузии), максимальная основность плагиоклаза в породах нижних горизонтов, наличие хромита — явные признаки перспективной интрузии подтипа А.

Залегание дифференцированной трапповой интрузии в карбонатно-мергелистых породах, а также среди туфоловатой толщи базальтоидного состава может расцениваться как благоприятный фактор, каким-то образом способствующий образованию интрузий подтипа А. Подобным же фактором является наличие ангидрит-гипсовых слоев во вмещающей толще, по-видимому, в связи с некоторым обогащением расплава серой за счет этих слоев, как уже указывалось ранее (Годлевский, Гриненко, 1963; Виноградов, Гриненко, 1964).

В качестве признака, так или иначе генетически взаимосвязанного с образованием дифференцированных интрузий (и, следовательно, с наличием близких очагов дифференцирующейся базальтовой магмы), можно рассматривать присутствие во вмещающих породах серий дифференцированных трапповых лав. Наличие кислых гибридных пород в составе интрузий, по-видимому, связано с хорошей дифференциацией интрузий подтипа А и не является признаком, обусловливающим возможновение оруденения, скорее даже наоборот (Золотухин, 1964). Этот вопрос, однако, требует дальнейших исследований.

Интересно отметить, что наибольшим информационным весом в пределах заданной суммы признаков, характеризующих тот или иной тип, обладают такие значимые интрузии, как Талнахская, Норильск I, Норильск II и др. На таблицах и рис. 2, характеризующих интрузии подтипов А и Б по их информационному весу, видно, что распределение объектов по значимости (по подтипам) в исходной табл. 2 было в целом правильным. Близки к подтипу А, как установлено, интрузии Кулюмбинская и Хюкта (они составляют переходную группу от подтипа А к подтипу Б). Кулюмбинская интрузия является перспективным объектом для дальнейшего изучения, хотя на значительную никеленосность сульфидов в ней расчитывать не приходится (недостаточная магнезиальность пород — x_2 и повышенная железистость оливина — x_3).

Из сказанного выше следует, что формирование интрузий подтипа А обусловлено многими факторами. Очевидно, для формирования инт-

рузий этого подтипа необходимо присутствие горизонта пикритовых габбро-долеритов, что не обязательно для интрузий подтипа Б. При отсутствии пикритов наличие такситовых горизонтов является недостаточным условием для того, чтобы интрузия подтипа Б могла стать значимой и попала в подтип А. Сульфиды будут присутствовать в ней и в этом случае, но они будут бедны никелем, как это показано для интрузий подтипа Б (Виленский и др., 1964). Для того чтобы в сульфидах появился никель и, следовательно, интрузия стала значимой, она должна иметь в своем составе горизонт пикритовых габбро-долеритов с условием, что в них будет содержаться не менее 16,5 вес. % MgO, а железистость оливина не будет превышать 25% Fa-компоненты. При таком составе оливина в породах заметную роль играет силикатный никель (Годлевский, 1957; Генкин и др., 1963), который в процессе образования такситовых горизонтов интрузий может переводиться в сульфидную форму (Золотухин, 1964; 1965).

ЛИТЕРАТУРА

Виленский А. М., Кавардин Г. И., Кравцова Л. И., Старицина Г. Н. Петрология трапповых интрузий правобережья нижнего течения Енисея. Изд-во «Наука», 1964.

Виноградов А. П., Гриненко Л. Н. О влиянии вмещающих пород на изотопный состав серы рудных сульфидов. Геохимия, № 6, 1964.

Генкин А. Д., Телешева Р. Л., Алексеева О. Л. О содержании никеля в породообразующих минералах рудоносных габбро-диабазов Норильского месторождения. Геохимия, № 11, 1963.

Годлевский М. Н. О содержании силикатного никеля в сульфидных медно-никелевых рудах Норильского района. Бюлл. техн. информ. Норильского комбината, № 3, 1957.

Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. Госгеолтехиздат, 1959.

Годлевский М. Н., Гриненко Л. Н. Некоторые данные об изотопном составе серы сульфидов Норильского месторождения. Геохимия, № 1, 1963.

Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. О математических принципах классификации предметов и явлений. В сб. «Дискретный анализ», № 7. Новосибирск, 1966.

Дмитриев А. Н. Основные табличные числа. В сб. «Дискретный анализ», № 11. Новосибирск, 1967.

Елисеев Э. Н. Геохимия главнейших сульфидных медно-никелевых провинций СССР. В сб. «Проблемы геохимии», вып. 1. Изд. Львовского ун-та, 1959.

Золотухин В. В. Вопросы механизма образования трапповой дифференцированной интрузии Норильск I (в связи с изучением ее магматических текстур). Геология и геофизика, № 12, 1963.

Золотухин В. В. Основные закономерности прототектоники и вопросы формирования рудоносных трапповых интрузий. Изд-во «Наука», 1964.

Золотухин В. В. Об особенностях распределения никеля в интрузии Норильск I. Докл. АН СССР, т. 162, № 6, 1965.

Кренделев Ф. П., Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И. Сравнение геологического строения зарубежных месторождений докембрийских конгломератов с помощью дискретной математики. Докл. АН СССР, т. 173, № 5, 1966.

Коровяков И. А., Нелюбин А. Е., Райкова З. А., Хортова Л. К. Происхождение норильских трапповых интрузий, несущих сульфидные медно-никелевые руды. Госгеолтехиздат, 1963.

Лурье М. Л., Масайтис В. Л., Полунина Л. А. Интрузивные траппы западной окраины Сибирской платформы. В сб. «Петрография Восточной Сибири», т. 1. Изд. АН СССР, 1962.

Урванцев Н. Н. Енисейское рудное поле. В сб. статей по геологии Советской Арктики. Тр. НИИГА, т. 80, вып. 5, 1958.

Урванцев Н. Н. Черты магматизма северо-западной части Сибирской платформы. Информ. бюлл. НИИГА, вып. 20, 1960.