

Р. М. КОНСТАНТИНОВ, А. Н. ДМИТРИЕВ

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ КАЧЕСТВЕННОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМАЦИОННОГО ТИПА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При металлогенических исследованиях нередко возникает необходимость сравнения геологических условий образования нескольких месторождений для выбора наиболее близких аналогов. Такая же необходимость может возникнуть при определении формационного типа какого-либо месторождения, особенно в тех случаях, когда минеральный состав руд этого месторождения изучен недостаточно, или сравнение минерального состава его руд со средним минеральным составом соответствующих формаций не даст достаточно определенного ответа о формационном типе месторождения.

Некоторые, разработанные в самое последнее время информационно-логические методы «распознавания образов» с успехом могут быть использованы для этих целей при формационном анализе рудных месторождений.

Первым, наиболее простым методом является сравнение месторождений по совпадающим признакам. Рассмотрим этот метод на примере некоторых оловянных месторождений Чукотки, представленных в табл. 1, где для удобства обработки имеющихся данных, геологические признаки этих месторождений представлены в виде ответов на вопрос, присутствует ли данный признак, что в таблице отображается единицей, или его нет. Из этой таблицы трудно решить, какие месторождения ближе между собой по геологическим признакам. Для того, чтобы это выяснить, подсчитаем количество совпадающих признаков у каждой пары объектов и полученные данные сведем в таблицу (табл. 2). Установленные количества совпадений уже объективнее отражают близость геологических условий образования той или иной пары месторождений. Существенное влияние может здесь оказать различие в количестве признаков, установленных на отдельных месторождениях. Для того, чтобы устранить влияние этого фактора, разделим каждую строчку табл. 2 на количество признаков соответствующего объекта, а затем для каждой пары объектов вычислим среднее значение результатов деления. Полученные цифры приведены в табл. 3.

При этом не следует, однако, забывать, что полученные данные достаточно условны, поскольку влияние различных геологических факторов на прочие особенности месторождений может сильно изменяться.

Табл. 3 может быть получена и непосредственно из табл. 2 путем расчетов по формуле:

$$K = \frac{n}{2} \left(\frac{N_a + N_b}{N_a N_b} \right)$$

где n — количество совпадений признаков в объектах a и b , N_a — коли-

Геологические признаки кварц-касситеритовых месторождений Чукотки (по С. Ф. Лугову, 1965)

Признаки и их номера по порядку	Группы признаков																						
	Скрытые в гранитах	Группы признаков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Месторождения и их номера по порядку																							
1. Первоначальное	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2. Светлое	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3. Незаметное	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4. Нагорное	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
5. Северное	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
6. Куэйвунское																							
7. Грейзеновое																							

чество признаков в объекте *a* и *N_b* — количество признаков в объекте *b*. Из табл. 3 можно заключить, что по геологическим признакам рассматриваемые месторождения делятся на 2 группы. В первую группу попадают месторождения Первоначальное, Незаметное и Нагорное, во вторую — Светлое, Северное, Грейзеновое. Промежуточным между обеими группами является месторождение Куэйвунское.

Вернувшись к табл. 1, где показаны признаки месторождений, легко убедиться, что это разделение на 2 группы имеет определенный геологический смысл. Для месторождений первой группы характерно присутствие скрытой на глубине интрузии гранитоидов, в качестве вмещающих пород присутствуют только песчаники и глинистые сланцы, очень близок комплекс околорудных изменений (серицитизация, окварцевание, турмалинизация, хлоритизация).

Для второй группы, напротив, гранитоиды являются вмещающими породами и подвергаются грейзенизации, а осадочные породы — ороговикованию.

Этот же метод может быть использован и для выяснения наиболее часто сочетающихся групп признаков. Для этого нужно составить по тому же принципу таблицу, где подсчитать количество совпадений единиц, но не по строчкам, а по столбцам. Однако, чтобы получить достаточно объективные результаты, нужно иметь в исходной таблице большее количество строк, чем в рассмотренном случае.

В табл. 4 показаны геологические признаки некоторых оловорудных месторождений, приналежащих различным рудным формациям.

Таблица 2

Количество совпадений геологических признаков у кварцево-касситеритовых месторождений Чукотки

Месторождения	Первоначальное	Светлое	Незаметное	Нагорное	Северное	Куэйвуньское	Грейзеновое
Первоначальное	10*	3	7	8	2	4	0
Светлое	3	9	5	3	6	5	3
Незаметное	7	5	10	5	4	4	1
Нагорное	8	3	5	9	1	4	0
Северное	2	6	4	1	9	2	3
Куэйвуньское	4	5	4	4	2	7	3
Грейзеновое	0	3	1	0	3	3	4

* По большой диагонали таблицы курсивом указаны количества признаков в каждом месторождении.

Таблица 3

Коэффициенты близости кварцево-касситеритовых месторождений Чукотки по геологическим признакам

Месторождения	Первоначальное	Светлое	Незаметное	Нагорное	Северное	Куэйвуньское	Грейзеновое
Первоначальное	1	0,81	0,7	0,85	0,21	0,48	0
Светлое	0,31	1	0,53	0,33	0,67	0,64	0,54
Незаметное	0,7	0,53	1	0,53	0,42	0,46	0,17
Нагорное	0,85	0,33	0,53	1	0,11	0,52	0
Северное	0,21	0,67	0,42	0,11	1	0,25	0,54
Куэйвуньское	0,48	0,64	0,46	0,52	0,25	1	0,59
Грейзеновое	0	0,54	0,17	0	0,54	0,59	1

Эта таблица составлена по литературным материалам и на основании личных наблюдений одного из авторов. Из представленных в ней объектов было выбрано десять месторождений, результаты сравнения которых представлены в следующей табл. 5 и использованы для выявления классов способом, описанным ранее (Константинов и др., 1968). Рассматривая таблицу, легко убедиться, что предлагаемый метод позволяет дать такую классификацию месторождений по геологическим признакам, которая оказывается близкой к их формационной классификации. Действительно, в первый класс попадают касситерит-сульфидные месторождения Эге-Хая, Лифудзинское, Хрустальненское; во второй — Хинганское, Начальное, Верхне-Бастойское; в третий — Этыка I, Ингодинское и Иультинское. Исключение составляет попадающее в третий класс месторождение Дальнее, где главные рудные тела принадлежат касситерит-сульфидной формации, хотя отмечается и кварц-касситеритовый штокверк. Этот случай, вероятно, связан с несовершенством предлагаемого метода, который при сравнении отдельных объектов может быть принят лишь как вспомогательный. К такому заключению приводит и сопоставление полученных парных коэффициентов сходства объектов с данными об их минеральном составе и геологическим анализам их особенностей.

Так, в результате подсчетов получается, что Лифудзинское и Начальное месторождения очень близки по геологическим признакам. В действительности же геологическая обстановка их образования представляется весьма различной.

Большой коэффициент совпадения признаков у этих месторождений связан с тем, что они имеют много сходных второстепенных признаков, в то время как главные признаки, определяющие облик руд, у них раз-

Геологические характеристики

№№ признаков Месторождения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	T_4^0 Депутатское	1				1	1			1				1		1		1
T_1^0 Эге-Хая	1				1	1		1	1	1		1					1	
T_1^0 Лифудзинское	1				1	1	1					1				1	1	
T_1^0 Хрустальненское	1				1	1		1		1		1		1			1	
T_1^0 Смирновское (Пр.)	1				1	1						1					1	
T_4^0 Дальнее	1				1	1								1	1			
T_2^0 Ингодинское		1		1		1					1			1			1	
T_2^0 Базовское	1					1						1		1				
T_2^0 Иультинское	1			1		1						1		1			1	
T_2^0 Этыка II	1			1		1			1		1			1				
T_4^0 Кукнейское	1		1			1					1			1				
T_3^0 Индустриальное	1		1			1	1					1					1	
T_3^0 Хинганское	1		1			1	1	1			1			1				
T_4^0 Курултейское		1				1	1					1					1	
T_3^0 Начальное	1		1			1											1	
T_4^0 Караколес		1				1								1				
T_3^0 Невское	1		1			1	1						1				1	
T_4^0 Этыка I	1			1		?		1			1						1	

Номера геологических признаков оловянных месторождений

Региональные геологические структуры: 1 — терригенные геосинклинали; 2 — срединные массивы, поднятия внутри антиклинорий; 5 — синклинории; 6 — глубинные разломы, в том числе скрытые разломы фундамента; 7 — пересечения скрытых разломов. *Локальные рудовмещающие структуры:* 9 — линейные складки; 10 — поперечные перегибы складок, флексуобразные изгибы; 11 — ядра и шарниры антиклиналей; 12 — крылья антиклиналей; 13 — крылья синклиналей; 14 — трещины отрыва; 15 — трещины односистемного скола и субпараллельные нарушения неясного генезиса; 16 — трещины двухсистемного скола и перескакивающие трещины неясного генезиса; 17 — кольцевая система трещин; 18 — межпластовые срывы; 19 — пересечения трещин; 20 — вулканические жерла; 21 — зоны расланцевания и трещиноватости. *Морфология рудных тел:* 22 — штокверки; 23 — отдельные жилы; 24 — жильные зоны (преимущественно выполнение открытых трещин); 25 — зоны дробления и минерализации (полностью или частично метасоматические); 27 — угол падения до 50°; 28 — угол падения от 50 до 75°; 29 — угол падения свыше 75°. *Особенности размещения оруденения:* 30 — ртутные проявления на флავгах; 31 — свинцово-цинковые проявления; 31 — присутствие прожилков аксинита; 34 — рудный интервал больше 200 м; 36 — зональность внутри рудных тел; 37 — зональность внутри рудного поля; 38 — столбовое распределение минерализации; 39 — равномерное распределение. *Магматические породы, ассоциированные с оруденением:* 41 — алякитовые порфиридные и другие граниты, штоки и небольшие массивы, в удалении до 3-х км; 42 — алякитовые граниты под рудными телами; 43 — гранодиориты и кварцевые диориты, вмещающие оруденение; 41 — гранодиориты и

некоторых оловянных месторождений

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
		1	1		1		1	1	1		1	1					1	1				1	1		
					1		1	1	1			1						1				1	1		
	1		1	1	1			1	1	1	1						1	1							
	1		1	1	1			1	1	1							1	1	1						
				1	1			1	1		1						1								
	1	1			1			1	1				?												
1				1	1	1		1		1			1	1									1		
			1	1				1	1	1													1		
		1	1	1				1	1	1		1	1										1	1	1
				1				1															1		
		1											1											1	
				1					1					1		1				1					
	1	1								1				1			1								
					1					1															
1					1					1				1			1								
			1	1											1				1						1
				1						1									1	1					1
				1										1											

кварцевые диориты в удалении до 3-х км; 45—гранодиориты и кварцевые диориты под рудными телами; 46—кислые субвулканические тела, вмещающие оруденение и в удалении до 3-х км; 47—основные и средние субвулканические тела, вмещающие оруденение и в удалении до 3-х км; 48—отдельные дайки порфириров, гранодиорит-порфириров, андезит-базальтов, спессартитов, диоритовых порфириров, андезитов, диабазовых порфириров; 49—дайковые поля порфириров; 50—отдельные дайки кварцевых порфириров, гранит-порфириров, фельзитов, лиаритов; 51—дайковые поля кварцевых порфириров; 52—внутрирудные порфириды; 53—внутрирудные кварцевые порфиры; 54—лавобрекчии и эффузивы порфириров, андезитов вблизи рудных тел; 55—лавобрекчии и игнимбриты кварцевых порфириров вблизи рудных тел. *Вмещающие породы:* 54—песчаники; 55—сланцы углистые и глинистые, алевролиты; 56—переслаивание песчаников и углистых глин, сланцев; 57—переслаивание песчаников и сланцев в тектонической зоне «тектониты»; 58—прослой конгломератов и граувакк в песчано-сланцевой толще; 59—известняки; 60—линзы известняков и известковистых пород в песчано-сланцевой толще; 61—биотитовые и другие роговики; 62—кислые эффузивы и их туфы; 63—средние и основные эффузивы, туфы; 64—дайки кислого состава; 65—дайки основного и среднего состава; 66—гранитные массивы и штоки; 67—кристаллические сланцы, филлиты; 68—кремнистые сланцы; 69—грейзенизация; 70—серцитизация; 71—окварцевание; 72—турмалинизация; 73—карбонатизация (сидеритизация, кальцитизация); 74—биотитизация; 75—сульфидизация; 76—хлоритизация; 77—каолинизация; 78—альбитизация; 79—пирофиллитизация. *Возрастные соотношения:* 79—стадий минерализации больше трех; 80—стадий минерализации меньше трех и три.

№№ признаков	Месторождения																				
	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61			
T ₄ ⁰ Депутатское					1			1			1	1				1	1				
T ₁ ⁰ Эге-Хая					1		1				1		1				1				
T ₁ ⁰ Лифудзинское	1	1	1		1		1			1	1	1						1			
T ₁ ⁰ Хрустальненское	1					1			1		1	1	1								
T ₁ ⁰ Смирновское (Пр.)	1				1						1	1	1		1	1					
T ₄ ⁰ Дальнее						1		1	1		1	1	1					1			
T ₂ ⁰ Ингодинское					1		?				1	1				1	1				
T ₂ ⁰ Базовское	1						1		1		1	1						1			
T ₂ ⁰ Иультинское							1										1	1			
T ₂ ⁰ Этыка II							1				1	1						1			
T ₄ ⁰ Кукнейское		1									1							1			
T ₃ ⁰ Индустриальное					1		1														
T ₃ ⁰ Хинганское			1			1												1			
T ₄ ⁰ Курултейское					1		1					1						1			
T ₃ ⁰ Начальное					1		1		1												
T ₄ ⁰ Караколес																					
T ₃ ⁰ Невское			1										1			1	1				
T ₄ ⁰ Этыка I							1														

личны. Таким образом метод не учитывает различной роли отдельных признаков и потому может приводить к неточным результатам.

Предлагаемый метод более пригоден для классификации большого количества месторождений на основании всей совокупности их геологических особенностей. Для сравнения отдельных месторождений он может быть использован лишь как дополнительный, одновременно с сопоставлением их минерального состава.

В то же время нельзя не подчеркнуть, что проведенное исследование геологических признаков оловянных месторождений, принадлежащих различным рудным формациям, доказывает объективное существование этих формаций как группы месторождений, характеризующихся функционально связанными особенностями руд и геологических условий образо-

Таблица 4 (окончание)

62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	85	86
						1	1	1	1	1	1		1	1			1		1				
	1						1		1		1			1			1						
							1	1	1	1			1	1			1		1	1			
							1	1	1	1			1	1		1	1				1		
					1	1	1	1		1			1	1			1				1	1	
							1	1		1			1				1		1				1
		1	1			1											1						
						1		1	1				1				1						
1						1			1				1	1			1						
						1											1		1				
								1	1												1		
		1					1	1	1		1			1	1			1					
															1								
		1					1	1	1					1	1		1						
		1					1		1					1									
						1	1	1	1				1	1	1		1					?	1
		1				1												1					

вания. Это следует из того, что аналогичное разделение месторождений было получено и при обработке данных об их минеральном составе по описанному ранее методу (Константинов и др., 1968).

Второй метод применим после того, как на основании данных о минеральном составе и по геологическим признакам выделены классы месторождений, отвечающие рудным формациям. Определение формационной принадлежности какого-либо нового месторождения может быть сделано более точно с помощью этого метода, который называется логическим контролем сортировки объектов по описаниям.

Например, известны три оловорудные формации: касситерит-сульфидная, касситерит-кварцевая и касситерит-силикатная, отдельные

Коэффициенты близости по геологическим признакам оловорудных месторождений различных формаций*

Месторождения и их №№	№№ объектов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Эге-Хая	27	0,5	0,57	0,41	0,25	0,42	0,55	0,29	0,42	0,54
2. Лифудзинское	15	33	0,73	0,48	0,30	0,55	0,45	0,27	0,38	0,49
3. Хрустальнен- ское	17	24	33	0,58	0,83	0,47	0,26	0,22	0,36	0,40
4. Дальнее	11	15	18	29	0,32	0,33	0,33	0,22	0,38	0,42
5. Хинганское	6	8	11	8	22	0,50	0,29	0,48	0,26	0,28
6. Начальное	9	13	11	9	10	18	0,54	0,40	0,39	0,23
7. Верхне-Бастой- ское	8	7	4	5	4	7	10	0,35	0,28	0,34
8. Этыка I	5	5	4	4	5	6	4	13	0,43	0,29
9. Ингодинское	11	11	10	10	6	8	4	7	24	0,50
10. Иультинское	15	15	12	12	7	5	5	7	13	28

* В левой нижней части таблицы курсивом показаны количества совпадений признаков, в правой — коэффициенты близости.

представители которых помечены в табл. 4 соответственно значками T_1^0 , T_2^0 , T_3^0 .

На основании приведенных в табл. 4 данных из нее выделяются таблицы T_1 ; T_2 и T_3 (табл. 6), содержащие лишь отождествляющие признаки, общие для каждой формации.

Таблица T_1 содержит 4 строки и 11 столбцов ($S_1(11)$)
 — » — T_2 — » — 4 — » — 8 — » — ($S_2(8)$)
 — » — T_3 — » — 4 — » — 7 — » — ($S_3(7)$)

Производится взаимное отображение таблиц друг на друга. Для этого каждая строка из табл. 4 со значком T_1^0 сравнивается по номерам признаков в табл. T_2 и T_3 и количество совпадений записывается, то-есть, строки со значком T_1^0 отображаются на табл. T_2 и T_3 . Таким образом, получаем для объектов со значком T_1^0 :

$$S_1(11) = \begin{cases} T_2 \{ S_2^1(3); S_2^2(5); S_2^3(4); S_2^4(3) \} \\ T_3 \{ S_3^1(4); S_3^2(5); S_3^3(5); S_3^4(5) \} \end{cases}$$

где $S_1(11)$ — количество столбцов в табл. T_1 , $\{ \dots \}$ $T_2 \{ \dots \}$ и $T_3 \{ \dots \}$ отображения на табл. T_2 и T_3 строк со значком T_1^0 из табл. 4, $S_2^1(3)$ — количество совпадающих признаков для первой строки T_1^0 табл. 4 с отождествляющими признаками табл. T_2 равно трем; $S_2^2(5)$ — количество совпадающих признаков для второй строки T_1^0 табл. 4 с отождествляющими признаками табл. T_2 равно пяти, $S_3^1(4)$ — количество совпадающих признаков для первой строки T_1^0 табл. 4 с отождествляющими признаками T_3 равно 4 и т. д.

$$S_2(8) = \{ T_1 \{ S_1^1(5); S_1^2(7); S_1^3(3); S_1^4(5) \} \}$$

$$S_3(7) = \begin{cases} T_1 \{ S_1^1(5); S_1^2(4); S_1^3(7); S_1^4(7) \} \\ T_2 \{ S_2^1(3); S_2^2(2); S_2^3(2); S_2^4(4) \} \end{cases}$$

Таблица 6

Отождествляющие признаки для месторождений касситерит-сульфидной (T_1^0), касситерит-кварцевой (T_2^0), касситерит-силикатной (T_3^0) рудных формаций (составлена на основании данных, приведенных в табл. 4; номера признаков те же, что и в табл. 4)

 T_1

Месторождения	Номера признаков										
	1	5	6	12	16	25	28	54	69	76	79
Эге-Хая	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Лифудзинское	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Хрустальненское	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Смирновское (Приморское)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

 T_2

Месторождения	Номера признаков							
	6	14	23	41	50	55	60	68
Ингодинское	1	1	1	1	1	1	1	1
Иультинское	1	1	1	1	1	1	1	1
Этыка II	1	1	1	1	1	1	1	1
Базовское	1	1	1	1	1	1	1	1

 T_3

Месторождения	Номера признаков						
	1	3	6	69	70	76	77
Индустриально-Хатаренское	1	1	1	1	1	1	1
Хинганское	1	1	1	1	1	1	1
Начальное	1	1	1	1	1	1	1
Невское	1	1	1	1	1	1	1

Для каждого отображения подсчитывается общее количество совпадений q^i (выполнимость инварианта)

$$\begin{aligned}
 q_2^1 &= S_2^1 + S_2^2 + \dots + S_2^4 = 3 + 5 + 4 + 3 = 15 \\
 q_3^1 &= 4 + 5 + 5 + 5 = 19 \\
 q_1^2 &= 5 + 7 + 3 + 5 = 20 \\
 q_3^2 &= 1 + 3 + 2 + 2 = 8 \\
 q_1^3 &= 5 + 4 + 7 + 7 = 23 \\
 q_2^3 &= 3 + 2 + 2 + 4 = 11
 \end{aligned}$$

Вычисляется мощность инварианта $\rho_{ij}^{(i)} = \bar{m} \cdot n$, где \bar{m} — число строк в интервале таблицы (i), n — число столбцов в интервале таблицы j

$$\rho_1^1 = 4 \times 11 = 44; \quad \rho_2^1 = 4 \times 8 = 32; \quad \rho_3^1 = 4 \times 7 = 28$$

Поскольку число строк во всех таблицах одинаково, остальные будут иметь те же значения.

Получаются коэффициенты взвешивания $R = \frac{q^i}{\rho^i}$ для месторождений со значком T_1^0 : $R_1^I = 1$; $R_2^I = \frac{15}{32} = 0,469$; $R_3^I = \frac{19}{28} = 0,679$.

Для месторождений со значком T_2^0 : $R_1^{II} = 0,455$; $R_2^{II} = 1$; $R_3^{II} = 0,286$, для месторождений со значком T_3^0 : $R_1^{III} = 0,523$; $R_2^{III} = 0,344$; $R_3^{III} = 1$.

Из полученных коэффициентов взвешивания составляется матрица взвешивания (табл. 7).

Таблица 7

Матрица взвешивания

	11	8	7	Σj	x
I	1	0,469	0,679	2,148	4,249
II	0,455	1	0,286	1,741	3,156
III	0,523	0,344	1	1,867	3,669
Σj	1,978	1,813	1,965		

$x = \Sigma j \cdot \Sigma i$ произведение сортировки.

$$x^I = 2,148 \cdot 1,978 = 4,249$$

$$x^{II} = 1,741 \cdot 1,813 = 3,156$$

$$x^{III} = 1,965 \cdot 1,867 = 3,669$$

Далее матрица взвешивания преобразуется в матрицу отображения путем деления каждого столбца табл. 7 на соответствующее количество столбцов инварианта (табл. 8).

Матрица отображения

Таблица 8

	1/11	1/8	1/7	Σ	$x^{(k)}$
I	1	2,132	1,473	4,605	23,541
II	2,198	1	3,496	6,694	40,425
III	1,912	2,907	1	5,819	34,736
Σ	5,112	6,039	5,969		

Допустим, нужно определить по геологическим признакам формационный тип месторождений Депутатское (S_4^1), Дальнее (S_4^2), Этька I (S_4^3), Курултейское (S_4^4), Кукнейское (S_4^5), Караколес (S_4^6), свойства которых охарактеризованы в табл. 4. Относим эти объекты к четвертому классу (класс экзамена, T_4) и сравниваем каждый из них с инвариантами T_1, T_2, T_3 .

$$S_4 \begin{cases} T_1 \{S_4^1(9); S_4^2(8); S_4^3(2); S_4^4(4); S_4^5(3); S_4^6(4)\} \\ T_2 \{S_4^1(6); S_4^2(5); S_4^3(4); S_4^4(3); S_4^5(3); S_4^6(4)\} \\ T_3 \{S_4^1(5); S_4^2(4); S_4^3(2); S_4^4(2); S_4^5(4); S_4^6(3)\} \end{cases}$$

Подсчитываем величины мер сходства l_i , которые для T_1 равны следующему:

$$l_4^1 = \frac{9}{11} = 0,818; l_4^2 = 0,727; l_4^3 = 0,182$$

$$l_4^4 = 0,364; l_4^5 = 0,273; l_4^6 = 0,364.$$

$$\text{Для } T_2: l_4^1 = 0,750; l_4^2 = 0,625; l_4^3 = 0,500; l_4^4 = 0,375$$

$$l_4^5 = 0,375; l_4^6 = 0,375$$

$$\text{Для } T_3: l_4^1 = 0,714; l_4^2 = 0,571; l_4^3 = 0,286; l_4^4 = 0,286$$

$$l_4^5 = 0,571; l_4^6 = 0,429.$$

Депутатское

	0,818	0,750	0,714	Σ	x
I	0,818:1	$\frac{0,750}{0,469}=1,599$	$\frac{0,714}{0,679}=1,052$	3,469	14,500
II	0,818=1,798	0,750:1	$\frac{0,714}{0,286}=2,496$	5,044	22,844
III	$\frac{0,818}{0,525}=1,564$	$\frac{0,750}{0,344}=2,180$	0,714:1	4,458	18,000
Σ	4,188	4,529	4,262		

Таблица 10

Коэффициенты принадлежности месторождений к классам

Классы	Объекты и их номера					
	Депутатское	Дальнее	Этыка I	Курултейское	Кукнейское	Караколес
	1	2	3	4	5	6
I	0,616	0,458	0,066	0,125	0,113	0,142
II	0,565	0,396	0,142	0,122	0,166	0,150
III	0,518	0,353	0,103	0,103	0,214	0,163
Σ	1,799	1,107	0,311	0,350	0,593	0,455
$\bar{\alpha}_j = \frac{\sum_k \alpha_j^k}{k}$	0,669	0,370	0,104	0,116	0,197	0,151

Для каждого объекта из T_4 вычисляются элементы матрицы отображения данного объекта на три класса путем частного от деления «1» данного объекта на все элементы матрицы взвешивания, как показано в табл. 9.

Таким образом получаем матрицы отображения для остальных пяти объектов. На основании матриц отображения каждого объекта получаем коэффициент принадлежности этого объекта к классу α^j , который равен следующему:

$$\alpha_j = \frac{x_j}{x^{(k)}}$$

где x_j — произведение сортировки j -той матрицы i -го объекта четвертого класса, а $x^{(k)}$ — произведение сортировки эталонных классов (из табл. 8).

Например,

$$\alpha_1^1 = \frac{14,500}{23,541} = 0,616.$$

Таким образом получаем следующие коэффициенты принадлежности для исследуемых месторождений (табл. 10).

Далее определяем удельный коэффициент принадлежности к классу

$$\delta = \frac{\alpha_i^j}{\bar{\alpha}_j}$$

где $\bar{\alpha}_j = \frac{\sum_k \alpha_j^k}{k}$, k — число классов.

Полученные значения δ приведены в табл. 11.

Удельные коэффициенты принадлежности объектов к классам

Классы	Номера объектов					
	1	2	3	4	5	6
I	0,925	1,240	0,660	1,075	0,575	0,941
II	0,848	1,070	1,420	1,051	0,884	0,996
III	0,777	0,954	1,030	0,878	1,085	1,080

Месторождения Депутатское, Дальнее, Курултейское попадают в касситерит-сульфидную формацию, Этыка I — в касситерит-кварцевую, Кукнейское и Караколес — в касситерит-силикатную формацию.

Полученные результаты полностью совпадают с существующим определением формационного типа этих месторождений на основании данных о вещественном составе их руд и геологической оценки их особенностей.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемые методы обработки качественной геологической информации могут помочь сравнению рудных месторождений друг с другом при выборе наиболее близких аналогий.

2. Первый метод позволяет получать коэффициенты близости месторождений по геологическим признакам. При наличии данных о большом количестве объектов этот метод может быть использован для классификации месторождений по их геологическим признакам. При ее сравнении с классификацией этих же объектов по минеральному составу могут быть получены группы месторождений, сходные по минеральному составу руд и геологическим условиям формирования, то есть рудные формации.

При этом были получены данные, подтверждающие возможность функциональной связи между минеральным составом рудных формаций и геологическими условиями их образования. Доказательством такой связи является совпадение классификации оловорудных месторождений, основанной на геологических данных об условиях образования, с полученной ранее классификацией, вытекающей из обработки данных о минеральном составе.

3. Второй метод позволяет путем логической обработки определить по геологическим признакам формационный тип месторождения на основании сравнения его признаков с особенностями месторождений, для которых принадлежность к определенным рудным формациям установлена ранее. Этот метод, в совокупности с обработкой данных о минеральном составе руд, делает определение формационного типа месторождения значительно более точным.

Следует отметить, что точность получаемых результатов в значительной степени определяется исследуемыми признаками. Поэтому, для характеристики сравниваемых месторождений должны быть использованы такие признаки, которые однозначно устанавливаются в процессе полевых и камеральных исследований, без какой-либо их генетической интерпретации. Недостатком обоих методов является предполагаемая равнозначность всех геологических признаков, а также отсутствие критериев оценки точности отнесения объекта к классу. Последнее обстоятельство не позволяет оценить возможную ошибку.

Рассмотренные методы позволяют получать лишь приближенные решения. Значительно более точные результаты могут быть получены путем применения методов математической статистики. Но последние тре-

буют соблюдения ряда ограничений и, как правило, сложных вычислительных операций.

Тем не менее, поскольку проверка применения описанных методов показывает, что они позволяют получить результаты, хорошо соответствующие выводам, вытекающим из геологических исследований, эти методы можно использовать для ориентировочных подсчетов, подкрепляющих или ставящих под сомнение выводы, полученные обычным геологическим путем.

Предложенные относительно простые методы обработки геологических данных увеличивают возможность необходимого при металлогенических исследованиях правильного определения формационного типа месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

- Константинов Р. М., Джабар-Задэ Р. М., Сиротинская С. В. О применении электронно-вычислительных машин для классификации рудных месторождений по минеральному составу. Изв. АН СССР, сер. геол., № 9, 1968.
Лугов С. Ф. Геологические особенности оловянно-вольфрамового оруденения Чукотки и вопросы поисков. «Недра», 1965.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии
и геохимии АН СССР
Москва

Статья поступила в редакцию
28 марта 1969 г.