

- Петюевич С. М. Обогащение руд. М., Металлургиядат, 1953. 516 с.
- Allen I. R. A Review of the origin and characteristics of Recent alluvial sediments.— «Sedimentology», 1965, № 2, v. 5, p. 91—191.
- Cobb E. H. Placer Deposits of Alaska. Washington, 1973, (U. S. Geology survey, B. 1374). 213 p.
- Hopkins D. M., MacNeil F. S., Leopold E. B. The Coastal Plain at Nome, Alaska: A Late Kinosioic Type Section for the Bering Strait Region.— «Internat. Geol. Congr., 24 st., «Kopenhagen, 1960, p. IV, p. 6—57.
- Mertie J. B. Notes on the geography and geology of Lituya Bay. In: Mineral Resources of Alaska, U. S. Depart. of the Interior. b. 836, 1933, p. 117—135.
- Moffit F. H. Geology of Nome and Grand Central quadragles, Alaska. Washington, 1913, 140 p. (U. S. Geol. Survey, B. 533).
- Nelson C. H., Hopkins D. M. Sedimentary Processes and Distribution of Particulate Gold in the Notern Bering Sea. Washington, 1972, (Geol. Survey Profess. paper 689).

Г. В. НЕСТЕРЕНКО, А. Н. ДМИТРИЕВ, А. А. БИШАЕВ,
Т. И. ШТАТНОВА

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛОТОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

В статье излагаются некоторые результаты изучения геологической информации по россыпям одного из золотоносных районов Сибири, проведенного с помощью логико-дискретного анализа. Подобный анализ использовался ранее при решении ряда геологических задач и, в частности, при сравнительном изучении древних металлоносных конгломератов (Дмитриев и др., 1968₁), сульфидного оруденения в трапповых интрузиях (Дмитриев и др., 1968₂) и месторождений нефти (Трофимук и др., 1969).

Цель настоящей работы — получить количественные оценки важности различных геологических признаков на имеющемся описательном материале, выделить из них существенные и несущественные в генетическом и диагностическом плане и тем самым попытаться установить основные факторы формирования россыпей конкретного района. В методическом отношении работа преследовала цель выявить возможность применения некоторых математических машинных приемов обработки геологической информации о россыпях, содержащейся в картографических и текстовых материалах, для решения генетических задач.

Информация, используемая в работе, собрана по 38 золотоносным россыпям месторождениям и проявлениям трех золотоносных узлов изученного района. Последний характеризуется широким развитием разновозрастных магматических пород, развитием допалеозойских метаморфических комплексов и наложенных мезозойских впадин, наличием островной многолетней мерзлоты, омоложенным среднегорным рельефом. Соотношение различных типов россыпей (генетических, морфологических и возрастных) в выборке соответствует реально существующему. Большинство россыпей района принадлежит к типу аллювиальных, долинных, неглубоко залегающих, верхнелейстоцен-голоценового возраста. Меньшая часть их относится к террасовым, глубокозалегающим, верхнелейстоцен-нижнелейстоценового возраста и к делювиально-аллювиальным (ложковым) россыпям мелких притоков и истоков.

Геоморфологическая характеристика объектов получена путем морфометрического анализа. При сборе остальной геологической информации мы пользовались данными многих исследований, а также помощью и консультацией ряда специалистов-россыпщиков: В. Н. Березкина, Ю. А. Семькина, В. Л. Финшера, Е. В. Черемсына и др. Всем им авторы приносят искреннюю благодарность.

Авторы надеются, что знакомство широкого круга геологов-россыпщиков с изложенными в данной статье результатами применения логико-

Структура классов россыпей и групп признаков

Классы россыпей	Группы признаков				Число строк
	пространственно-временные I	геолого-эталогогические II	геоморфологические III	существенные IV	
Крупные («а»)	Ia	IIa	IIIa	IVa	8
Средние («б»)	Iб	IIб	IIIб	IVб	9
Мелкие («в»)	Iв	IIв	IIIв	IVв	11
Мелкие россыпные проявления («г»)	Iг	IIг	IIIг	IVг	10
Число столбцов	43	45	40	53	181/38

дискретного анализа будет полезно для изучения россыпей, так как поможет улучшить методику и ускорит внедрение приемов математической обработки информации в повседневную практику.

Применение логико-дискретного анализа позволяет в одной схеме решения производить описание объектов на двух уровнях: доалгоритмическом — путем логического понимания их особенностей — и алгоритмическом (вычислительном). Такой подход обеспечивает по возможности объективную работу на этапе постановки задачи и позволяет получить количественные оценки на существенном описательном материале.

В соответствии с поставленной задачей описания россыпей, включенные в анализ, были разбиты на 4 класса в зависимости от размеров россыпей: «а», «б», «в», «г» — в порядке их уменьшения (табл. 1). Все выделенные классы охарактеризованы четырьмя группами геологических признаков, объединяющими 51 геологический признак (табл. 2). При заполнении исходных матриц была принята бинарная система записи значений признаков, когда наличие признаков фиксируется единицей, его отсутствие — нулем. Поэтому потребовалось разбить геологические признаки на более дробные (характеристические) признаки. Например, геологический признак «приуроченность россыпи по течению» разбит на 4 характеристических признака: X_4 — приуроченность россыпи к верхнему (и среднему) течению, X_5 — к среднему течению, X_6 — к нижнему (и среднему) течению, X_7 — россыпь приурочена ко всей длине долины (см. табл. 2). Общее количество таких характеристических признаков в нашем случае оказалось равным 181 (табл. 3—6). Вся информация, таким образом, была представлена 16 таблицами по числу групп признаков для каждого класса россыпей, заполненными нулями и единицами, строки в которых соответствуют россыпям (объектам), а столбцы — характеристическим признакам. В последующем изложении мы характеристические признаки для краткости будем называть просто признаками.

При табличном описании объектов признаки отчетливо разделяются на две категории: отождествляющие и различающие. К отождествляющим относятся те, которые для всех строк конкретной таблицы имеют одинаковое значение. Различающими являются такие признаки, для которых хотя бы в одной строке таблицы имеется отличный от других строк символ.

Поставленная задача сводится главным образом к сравнительному изучению классов, к определению возможности с помощью отдельных признаков и их совокупностей различать выделенные классы. Это, в свою очередь, требует вычисления ряда тестовых параметров, характеристика которых дана в ранее опубликованных работах (Дмитриев и др., 1968, 1969). Способность групп признаков различать классы объектов между собой определена путем вычисления суммарного коэффициента межклассового различия K .

Прежде чем говорить о результатах обработки, заметим, что уже на этапе сбора информации в процессе заполнения исходных таблиц от-

Таблица 2

Группировка признаков

Группа признаков	Геологические признаки	Характеристические признаки (индексы)*	Группа признаков		Геологические признаки	Характеристические признаки (индексы)*	
			Индекс	Наименование			
I	Геологические признаки	1. Морфо-генетические и возрастные типы россыпей 2. Приуроченность россыпей по течению 3. Приуроченность по разрезу 4. Противленность россыпей 5. Мощность аллювия 6. Ширина россыпей 7. Соотношение длин россыпей и долины 8. Соответствие мощности песков и торфов 9. Характер выклинивания вверх по течению 10. Характер перехода вниз по течению 11. Золотосность притоков 12. Золотосность более крупной реки 13. Соотношение россыпей и золотосного узла 14. Соотношение эндогенного и россыпного орудеполюса 15. Золотосность рыхлых отложений в районе россыпей	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, 40 41, 43	III	Геоморфологическая	1. Азимут простирания долины 2. Направление течения реки 3. Продольный уклон долины 4. Порядок долины 5. Длина долины 6. Отклонение от «средней» длины долины 7. Отклонение от «среднего» продольного уклона 8. Врез долины 9. Асимметричность долины 10. Соотношение порядков долины 11. Густота речной сети 12. Симметричность бассейнов	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 30, 31, 32 33, 35 34 36, 37, 38 39, 40

Геолого-металлогенезис		Природная	
1. Петрографический состав пегматитов	1, 2, 3, 4	1. Продуктивность по литийным запасам отложений	1, 2, 3
2. Геотектоническое положение россыпи	5, 6, 7	2. Степень концентрации металла в россыпи	4, 5
3. Геологическое положение россыпи	8, 9, 10, 11, 12	3. Чистота золота	6, 7, 8
4. Возраст интрузивных комплексов	13, 14, 15, 16, 17	4. Крупность золота	9, 10, 11, 42
5. Характер пегматика (разрушенность)	18, 19, 20, 21, 22	5. Окатанность золота	13, 44
6. Масштабы эндогенного оруденения	23, 24, 25, 26, 27	6. Гранулометрический состав аллювиан	15, 16, 17, 18, 19
7. Минеральный тип золотого оруденения	28, 29	7. Петрографический состав аллювиан	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26
8. Генезис эндогенного оруденения	30	8. Окатанность обломочного материала	27, 28, 29, 30, 31
9. Развитие жил выщелачивания и замещения	31, 32	9. Минералогический состав шликеров	32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42
10. Тип оруденения по количеству сульфидов	33, 34	10. Степень обрабатанности россыпей	43, 44, 45, 46, 47
11. Типы предрудных процессов	35, 36, 37, 38	11. Наличие сростков золота	48, 49, 50, 51, 52, 53
12. Местоположение коренного оруденения в рельефе	39, 40, 41, 42, 43, 44		
13. Размеры выделений золота в рудах	45		

* Расшифровка характеристических признаков (индексов) дана в табл. 3—4.

Ранжированные по величине межклассовых различий (R_i) ряды характеристических (X) признаков пространственно-временной (I) группы

Индекс признака	Характеристический признак	Значение R_i	Ранг
1	2	3	4
41	В районе долины россыпи установлены увальные и террасовые россыпи	1,80	I
13	Ширина россыпи более 100 м	1,60	
34	Россыпь составляет существенную часть (более 10%) золотоносного «района или узла»	1,50	
26	Существенная часть притоков золотоносности	1,32	
30	Золотоносность более крупной «принимающей» долины ниже, чем долины с россыпью	1,27	
19	Россыпь продолжается до самой вершины	1,22	
29	Золотоносность притоков высокая	1,05	
9	Длина россыпей более 5 км	0,90	
33	Золотоносность притоков выше, чем долины с россыпью	0,89	
11	Длина россыпей более 15 км	0,66	
31	Золотоносность более крупной «принимающей» долины значительно выше	0,59	
38	Район высоко насытен россыпями	0,53	
40	В пределах золоторудного узла известны месторождения золота	0,48	
4	Россыпь приурочена к верхнему и среднему течению	0,46	
14	Ширина россыпи более 50 м	0,44	
20	Россыпь резко выклинивается вверх по течению	0,43	
21	Россыпь продолжается в россыпь притоков или истоков	0,39	
37	Россыпь или ее часть удалена более чем на 10 км от фиксированного золотоносного узла	0,38	
36	Россыпь расположена в пределах или вблизи фиксированного золотоносного узла	0,34	
6	Россыпь приурочена к нижнему и среднему течению	0,33	
27	Золотоносная несущественная (меньшая) часть притоков	0,32	
12	Мощность россыпей менее 3 м	0,32	
7	Россыпь приурочена ко всей длине долины	0,31	
15	Отношение длины долины к длине россыпи больше 2	0,31	
43	В районе россыпи установлена золотоносность дочетвертичных рыхлых отложений	0,31	
24	Россыпь продолжается до устья	0,31	
25	Содержание продолжается в долину, принимающую долину с россыпью	0,30	
39	Площадь россыпной золотоносности значительно больше площади эндогенной золотоносности	0,30	
2	Долинный или террасовый морфологический тип	0,29	
3	Возрастной тип россыпей (Q_{3-4} или $N_2^2 - Q_1$)	0,28	
8	Мелко или глубоко залегающие россыпи	0,27	
35	Россыпь приурочена к крупному золотоносному району (узлу)	0,27	
1	Аллювиальный или локвовый тип россыпей	0,26	
10	Длина россыпей лежит в интервале 5—16 км	0,25	
17	Отношение мощности торфов к мощности песков больше 2	0,25	
18	Отношение мощности торфов к мощности песков больше 5	0,25	
22	Вниз по течению четко наблюдается снижение содержания	0,24	
32	Золотоносность более крупной «принимающей» долины примерно того же порядка		
23	По простиранию россыпи наблюдаются обогащенные участки и не-режисмы	0,19	III
16	Отношение длины долины к длине россыпи около 1	0,13	
5	Россыпь не приурочена к среднему течению	0,11	
28	Золотоносны притоки верхней (по течению) части россыпи и выше россыпи	0,11	

четливо выявляются качество и сопоставимость анализируемых материалов. Четко, например, устанавливается неодинаковая охарактеризованность различных объектов и различных групп признаков. Особенно слабо изученными оказались многие вещественные признаки в классе «г» мелких россыпных проявлений, такие как состав обломочного материала,

Газкированные по величине межклассовых различий (R_i) ряды характеристических (X) признаков геолого-металлогенической (II) группы

Индекс признака	Характеристический признак	Значение R_i	Ранг
1	2	3	4
34	Развитие в районе существование сульфидной минерализации	1,70	I
23	Развитие позднемезозойского магматизма	1,20	
42	Развитие золотого оруденения в притоках и (или) истоках	1,17	
21	Развитие в плотиках зон пиритизации, лимонитизации, дробления	1,02	
15	Развитие в районе мезозойского магматизма	0,92	
1	» в плотиках метаморфических пород	0,92	
9	» в районе метаморфических пород	0,90	II
39	» в долине с россышью и (или) ее бортах золотого оруденения	0,79	
44	Развитие золотого оруденения в разных частях течения	0,74	
18	» в плотиках свежих вулканических пород	0,71	
4	» в плотиках осадочных пород (мезозойского возраста)	0,70	
14	Распространение в районе осадочных пород (мезозойского возраста)	0,69	
28	Развитие эпitherмального ртутно-сурьмяного золоторудного комплекса	0,65	
40	Развитие в районе эффузивных (мезозойских) образований	0,61	
22	Развитие глинистых плотиков	0,61	
24	» в районе россыпей эндогенных рудопроявлений золота	0,59	
26	» антимонитовой рудной минерализации	0,56	
7	Приуроченность к мульдам и вывалам	0,52	
19	Развитие элювия плотика	0,50	
25	» в районе россыпи молибденового оруденения	0,49	
3	» в плотиках эффузивов	0,48	
41	» в верхних и на вершинных водоразделах золотого оруденения	0,46	
27	Развитие в районе эндогенного оруденения других типов	0,40	
36	» в районе россыпи золото-турмалинового оруденения	0,38	
40	» эндогенного оруденения на водоразделах	0,30	III
29	» в плотиках слаболигнитированных осадочных пород	0,30	
29	» в районе россыпи золото-молибденового комплекса	0,30	
8	» в районе изверженных пород	0,30	
43	Локализация эндогенного оруденения в верхних частях россыпей и выше их	0,29	
37	Развитие магнетитовых пород с наложенной золотой минерализацией	0,26	
16	Развитие протерозойского магматизма	0,26	
23	» в районе россыпей эндогенных месторождений золота	0,26	
45	Присутствие в эндогенных рудах видимого золота	0,24	
32	Развитие метасоматических и вкрапленных руд золота	0,24	
2	» в плотиках гранитоидов	0,19	
33	» в районе россыпи мало- и умеренно сульфидных руд	0,19	
13	» раннемезозойского интрузивного комплекса	0,15	
38	» наложенной золотой минерализации на породы другого состава	0,11	
30	Развитие гидротермального оруденения	0,11	
6	Приуроченность россыпей к климатическому складчатому поясу	0,11	
35	Развитие скарпов с наложенной золотой минерализацией	0,10	
31	» жил выполения	0,05	
5	Приуроченность к террическому складчатому поясу	0,00	
42	Развитие молодого дайкового комплекса	0,00	
17	» архейского интрузивного комплекса	0,00	

состав и морфология россыпного золота и др. Совершенно очевидно, что подобная неравномерность делает материал плохо сопоставимым, что отрицательно сказывается на результатах любых исследований.

На рис. 1 показаны значения суммарных коэффициентов различия R между каждым из четырех классов россыпей и соответствующие этим значениям различия в размерах сравниваемых классов. Суммарный коэффициент по всем четырем группам признаков для разных пар классов

Ранжированные по величине межклассовых различий (R_i) ряды характеристических признаков (X) геоморфологической III группы

Индекс признака	Характеристический признак	Значение R_i	Ранг
15	Продольный уклон меньше (больше) 0,020	1,5	I
19	Длина долины больше (меньше) 10 км	1,4	
14	Приуроченность россыпей к долинам со средним (0,005—0,0020) продольным уклоном	1,2	
16	Приуроченность россыпей к долинам I—II порядка	1,2	
35	» » » с правой асимметрией	0,3	
24	» » » длиной от 30 до 90 км	0,8	
17	» » » III—IV порядка	0,7	
27	Продольный уклон долины с россыпью близок к среднему уклону	0,6	
33	Асимметричность долин $K > 1,5$	0,5	
28	Продольный уклон долины аномально пологий	0,5	
3	Приуроченность россыпей к долинам ЮЗ—СВ простирания	0,49	
9	» » » с ЮЗ течением рек	0,49	
24	» » » близким по длине к средней	0,48	
18	» » » V—VI порядка	0,47	
36	Густота речной сети не очень высокая ($K < 0,7$)	0,43	
30	Асимметричность речных бассейнов	0,42	
8	Приуроченность россыпей к долинам с ЮЗ течением рек	0,41	
10	» » » с ЮВ течением рек	0,41	
2	» » » в субитропных долинах	0,40	
25	» » » к аномально коротким долинам	0,40	
34	Принимающая долина и долина с россыпью близкого порядка	0,38	
40	Приуроченность золотоносной долины к бассейну с правой асимметрией	0,35	
26	Приуроченность россыпей к аномально крутым долинам	0,32	
38	Густота речной сети средняя (0,5—0,7)	0,30	
30	Приуроченность россыпей к долинам со средним (150—250 м) врезом	0,30	
31	» » к существенно (более 250 м) врезанным долинам	0,30	
32	Приуроченность россыпей к глубоко (более 400 м) врезанным долинам	0,29	
4	Приуроченность россыпей к долинам СЗ—ЮВ простирания	0,29	
12	Приуроченность к долинам с СВ течением рек	0,29	
20	» россыпей к средним (10—30 км) по длине долинам	0,28	
7	» к долинам с восточным течением	0,27	
1	» россыпей к субмеридиональным долинам	0,26	
13	Продольный уклон долины менее 0,005	0,24	
5	Приуроченность к долинам с южным течением	0,20	III
23	» к аномально длинным долинам	0,15	
22	» к очень длинным долинам	0,15	
37	Густота речной сети низкая ($K < 0,5$)	0,15	
6	Приуроченность к долинам с северным течением	0,14	
11	» к долинам с СЗ течением	0,12	

неодинаков. Важно, что величина коэффициента межклассового различия соответствует разнице в размерах сравниваемых классов. В частности, суммарный коэффициент различия между классами «а» и «г» в 2,5 раза больше, чем между классами «в» и «г». Различия между классами «б» и «в» по вычисленным параметрам оказались незначительными, что свидетельствует о том, что классы «б» и «в» целесообразней было бы объединить в один класс, а общее количество классов ограничить тремя (а не четырьмя).

Рассматривая значения коэффициентов различия между разными классами, вычисленных отдельно по каждой из четырех групп признаков (см. рис. 1), можно видеть, что здесь соответствие их разнице в размерах

Таблица 6

Ранжированные по величине межклассовых различий (R_i) ряды характеристических признаков (X) вещественной (IV) группы

Индекс признака	Характеристический признак	Значение R_i	Ранг
1	2	3	4
3	Продуктивность аллювиальных отложений более 300 ед. на 1 пог. км	2,0	I
4	Относительно богатые россыши	1,6	
6	Наличие очень высокопробного золота в россыпи (900)	1,5	
15	Наличие в основании галечников просоя глины и (или) глинисто-щебнистых отложений	1,4	
43	Сильная степень отработанности россыпей	1,4	
7	Наличие высокопробного золота (800—900) в россыпях	1,3	
2	Продуктивность аллювиальных отложений от 300 до 600 ед. на 1 пог. км долины	1,0	
47	Возможность и степень обработки драгами	1,0	
33	Присутствие в аллювии гальки и гравия магнетитов	0,8	
37	Присутствие в шлихах сульфидов, часто лимонитизированных	0,7	
1	Продуктивность аллювиальных отложений очень высокая (более 600 кг на 1 пог. км долины)	0,7	
14	Наличие окатанного и пластинчатого золота в россыпях	0,69	II
11	Присутствие мелкого золота	0,6	
40	Присутствие небольших самородков	0,55	
5	В россыпях часто встречаются богатые пески	0,5	
16	Глинистость галечников повышенная	0,5	
42	Развитие мерзлоты в россыпи	0,5	
29	Хорошая степень окатанности обломочного материала	0,4	
40	Присутствие в шлихах киновари	0,4	
27	Слабая (неслабая) степень окатанности обломочного материала	0,39	
22	Присутствие в аллювии гальки и гравия лимонитов	0,39	
30	Присутствие в россыпях хорошо окатанной экзотической гальки	0,35	
33	Присутствие среды основных тяжелых минералов аллювиальных шлихов амфибола	0,35	
44	Средняя степень отработанности россыпей	0,33	
18	Валунистость (каменистость) россыпей сильная	0,33	
24	Присутствие в россыпях обломков и галек метасоматитов, халцедоновидного кварца, кварцитов	0,30	
38	Присутствие в шлихах лимонитов	0,30	
19	Возрастание валунистости по разрезу россыпи	0,28	
9	Присутствие крупных самородков	0,27	
12	Присутствие в россыпях крупного и среднего по крупности золота	0,27	
28	Средняя степень окатанности обломочного материала	0,26	
13	Присутствие в россыпях неокатанного и слабоокатанного золота	0,26	
53	Присутствие в средних и нижних по течению частях россыпей слабоизмененного золота	0,26	
45	Слабая степень отработанности россыпей (и не затронутые обработкой россыпи)	0,25	
8	Присутствие в россыпях низкопробного золота (менее 700)	0,24	
25	Присутствие в россыпях обломков и галек рудных пород с видимым золотом	0,22	
31	Равномерность окатанности обломочного материала	0,21	
21	Присутствие в россыпях обломков шпритизированных и лимонитизированных пород	0,20	
39	Присутствие в шлихах турмалина	0,13	III
46	Россыши затронуты отдельной старательской обработкой	0,12	
26	Присутствие в россыпях галек и обломков рудных пород	0,12	
49	Наличие в россыпях сростков золота с кварцем	0,10	
17	Валунистость россыпей средняя и слабая	0,0	
20	Полимиктовость (олигомиктовость) аллювия	0,0	

1	2	3	4
32	Полимиктовость (олигомиктовость) тяжелой фракции аллювиальных шлихов	0,0	
34	Присутствие среди основных тяжелых минералов аллювиальных шлихов магнетита	0,0	
35	Присутствие среди основных тяжелых минералов аллювиальных шлихов амфибола	0,0	
36	Присутствие среди основных тяжелых минералов аллювиальных шлихов эпидота	0,0	
41	Выход тяжелой фракции менее 10 кг/м ³	0,0	

выражено слабее, чем для суммарного коэффициента. Судя по степени соответствия, лучше других разделяют классы россыпей признаки вещественной группы (IV), затем пространственно-временной (I), далее геологической и металлогенической (II) и, наконец, признаки геоморфологической (III) группы.

Поскольку признаки имеют неодинаковые различающие веса, их можно упорядочить, т. е. расположить в определенный, последовательно убывающий или возрастающий ряд. Такие упорядоченные (ранжированные) кривые (рис. 2) позволяют оценить относительную возможность с помощью групп признаков различить те или иные классы, а также выделить в каждой группе наиболее различающие признаки и, таким образом, наметить пути сокращения числа признаков. Кроме того, с их помощью можно проверить вывод о соответствии величин коэффициентов межклассового различия разнице в размерах россыпей.

Различающую способность разных групп признаков можно оценить, например, сравнением средних значений первых десяти признаков каждой группы или, что то же самое, сравнением площадей, образованных левыми частями кривых (см. рис. 2). Проведав это сравнение, приходим к выводу, что классы различаются между собой I и IV группами признаков (пространственно-временными и вещественными) в 1,3–2,0 раза лучше (сильнее), чем II и III группами (геологическими и геоморфологическими) признаков.

Вещественная группа признаков оказывается наиболее важной в диагностическом и генетическом отношении. Наименьшее значение имеют в целом геоморфологические признаки. Однако следует отметить, что

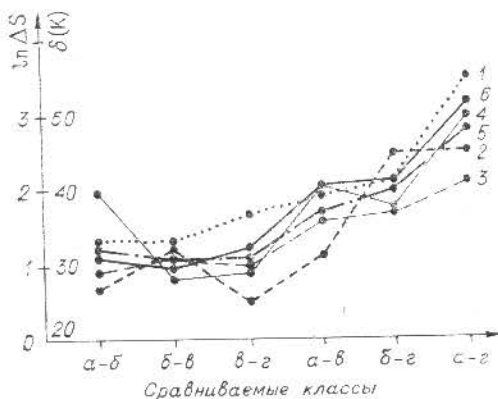


Рис. 1. График соответствия коэффициента различия между классами россыпей (а, б, в, г) по группам признаков (δ, K), разнице в размерах россыпей (ln ΔS)

1–4 — коэффициенты различия между классами (δ, K) по каждой из групп признаков, 1 — по I, 2 — по II, 3 — по III, 4 — по IV группе; 5 — усредненный коэффициент по всем группам; 6 — различие между классами россыпей по их размерам.

полученные выводы относятся к данному перечню признаков (см. табл. 2) и к конкретному району. Возможно, что они в какой-то степени связаны с недостаточной профессиональностью проведенного морфометрического изучения, и при более глубоком геоморфологическом анализе роль этой группы могла бы повыситься. Естественно предположить, что она должна повыситься и при анализе россыпной золотоносности территории с более сложным геоморфологическим строением и с большим разнообразием развитых на ней типов россыпей. При этом надо иметь в виду, что относительно слабое значение геоморфологической

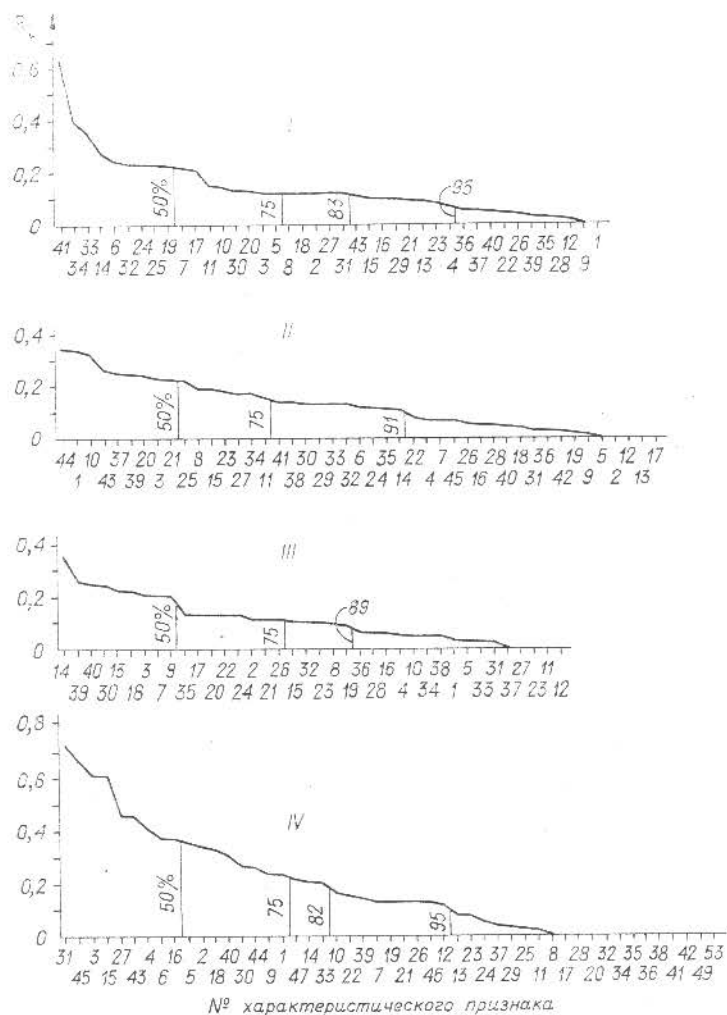


Рис. 2. Упорядоченные кривые различающих весов (R_i) признаков между классами «а» и «б» по I, II, III и IV группам.

группы признаков в целом не исключает высокого значения отдельных геоморфологических признаков, таких, например, как длина и уклон золотоносных долин. С другой стороны, положение о слабом влиянии современной геоморфологической обстановки на размеры и богатство долинных россыпей золота также вполне вероятно и уже высказывалось в литературе (Карташов, 1972, с. 85). Оно представляется особенно естественным в свете высказываемых в последнее время многими исследователями соображений об очень слабой транспортабельности самородного относительно крупного (не «косового») золота, остаточном характере накопления россыпных концентраций, формирующихся в течение длительной истории континентального развития территорий, в отдельных этапах которой были различные геоморфологические обстановки; большего влияния на процесс образования таких аллювиальных россыпей глубины эрозионного вреза, размеров и характера коренного оруденения, древних зон окисления и кор выветривания и некоторых других моментов. Современная же геоморфологическая обстановка зачастую (но не всегда!) выглядит на фоне сказанного малозначительным фактором.

Используя тот же метод сравнения площадей ранжированных кривых, можно наиболее рационально до заданного информационного предела сократить список характеристических признаков. Так, для отличия объектов класса «а» от объектов класса «б» (см. рис. 2) не представляют никакой ценности признаки X_1 и X_9 I группы; $X_9, X_5, X_2, X_{12}, X_{13}, X_{17}$ — II группы; X_{11}, X_{12} — III группы и $X_8, X_{17}, X_{28}, X_{20}, X_{32}, X_{34}, X_{35}, X_{36}, X_{38}, X_{41}, X_{42}, X_{49}, X_{53}$ — IV группы (см. табл. 3–6); эти признаки одинаково присущи всем объектам обоих классов, т. е. являются отождествляющими. Исключив признаки, слабо различающие указанные два класса и составляющие 25% от суммы всех информационных весов, мы можем уменьшить количество признаков более чем вдвое, сохранив четкое разделение этих классов. Отметим, что половина различающей информации содержится всего в 36 признаках, т. е. в пятой части общего их количества.

Сопоставление площадей упорядоченных кривых подтверждает сделанный ранее вывод о соответствии значений коэффициентов межклассового различия разнице в размерах сравниваемых классов. Действительно, средние значения R_i (площади, образованные соответствующими кривыми) для крупных россыпей и мелких проявлений (классы «а» и «г») в 2,0–2,5 раза превышают значения R_i для более сближенных пар классов («а» — «б», «б» — «в», «в» — «г») по каждой группе признаков.

В основу выделения генетически существенных признаков, т. е. признаков, отображающих наиболее благоприятные факторы формирования россыпей, была положена следующая геологическая и логическая посылка: наиболее существенны в генетическом отношении те признаки, которые наилучшим образом отличают россыпные проявления («г») от всех других классов россыпей («а», «б» и «в»). С этой целью построены упорядоченные кривые (ряды) суммарных различающих весов признаков трех пар классов: «а» — «г», «б» — «г», «в» — «г». Такие упорядоченные (ранжированные) ряды для признания пространственно-временной геолого-металлогенетической геоморфологической и вещественной групп приведены в табл. 3–6. Сопоставление ранжированных рядов указанных трех пар классов показало, что признаки, отчетливо разделяющие одну пару классов, чаще хорошо разделяют и другую. Иными словами можно сказать, что порядок следования признаков в ранжированных последовательностях этих пар классов («а» — «г», «б» — «г», «в» — «г») одинаков и при их суммировании существенно не нарушается. Это обстоятельство в какой-то степени подкрепляет правомерность сделанной геологической предпосылки и позволяет более уверенно интерпретировать упорядоченные ряды суммарных различающих весов. Не меньший интерес для генетического анализа россыпной золотоносности могло бы дать аналогичное сравнение золотоносных и незолотоносных долин. Однако по ряду причин, и в том числе по причине слабой охарактеризованности последних, подобное сравнение не было проведено.

Таким образом, последовательность в порядке убывания диагностической и генетической важности характеристических признаков и разбиение этих последовательностей на ранги можно рассматривать как классификацию признаков по диагностической и генетической существенности. Наиболее существенны признаки первого ранга с максимальным значением R_i и наименее — признаки последнего ранга.

Естественно, что максимальный интерес представляют признаки I ранга, среди которых особое место занимают признаки, позволяющие увидеть геологические факторы, более других влияющие на процесс формирования россыпей. К числу последних, по-видимому, следует отнести такие пространственно-временные признаки (см. табл. 3), как наличие в долинах остатков террасовых и увалных россыпей (X_{41}^I), признаки, характеризующие соотношение золотоносности основной долины с золото-

близостью притоков и принимающей долины ($X_{26}^I, X_{29}^I, X_{30}^I, X_{31}^I, X_{33}^I$), высокая насыщенность района россыпями (X_{38}^I), либо такие геолого-металлогенетические (см. рис. 2) признаки, как развитие богатой сульфидами золоторудной минерализации (X_{34}^{II}), золотого оруденения (X_{39}^{II}, X_{42}^{II}), развитие в плотиках зон минерализации, лимонитизации и дробления (X_{21}^{II}), а также геоморфологические (см. табл. 5) признаки: приуроченность к долинам со средним продольным уклоном ($X_{14}^{III}, X_{15}^{III}$). Из вещественных (см. табл. 6) подобными признаками являются признаки, характеризующие морфологию, размер и пробыность золота в россыпях ($X_6^{IV}, X_7^{IV}, X_{10}^{IV}, X_{11}^{IV}, X_{14}^{IV}$), наличие в основании галечников глинистых или глинисто-щебнистых отложений (X_{15}^{IV}), присутствие в россыпи гальки и гравия магнетита (X_{23}^{IV}) и др. Очевидная связь масштабов россыпей с содержанием в них металла проявилась в том, что в числе существенных оказались признаки, характеризующие продуктивность отложений (X_1^{IV}, X_5^{IV}).

Следует заметить, что многие признаки уже были отнесены предыдущими исследователями в разряд благоприятных. Нахождение ряда других признаков в данной категории в настоящее время кажется «очевидным». Такими «очевидными» признаками являются: «приуроченность более или менее крупных россыпей к не слишком коротким и узким долинам», «сильная отработанность россыпей», «развитие в районе золоторудной минерализации» и пр. Эти факты выглядят естественными. Они показывают, что метод не следует противопоставлять повседневно проводимому геологическому анализу. Применение его углубляет и дополняет последний и позволяет делать более уверенные и объективные выводы.

Анализируя признаки III ранга, не отличающие мелкие россыпные проявления от более крупных россыпей, можно отметить, что в связи с тем, что настоящее исследование ограничено рассмотрением только золотоносных россыпей (без незолотоносных долин), в последний ранг попали как признаки, совершенно не связанные с золотоносностью, так и присущие только золотоносным долинам. К признакам, присущим вообще четвертичному аллювию и четвертичным долинам и малосущественным в генетическом отношении, можно, вероятно, отнести такие, как приуроченность долин к герцинскому складчатому поясу (X_5^{II}), развитие в районе архейского интрузивного комплекса (X_{17}^{II}), полимиктовость (X_{20}^{IV}) и валунистость (X_{17}^{IV}) аллювиальных отложений, а также содержание в них тяжелой фракции (X_{41}^{IV}) и некоторых порообразующих минералов (X_{34-36}^{IV}). Такие признаки III ранга, как развитие молодого (мезозойского) дайкового комплекса (X_{12}^{II}), присутствие в аллювии обломков рудных пород (X_{26}^{IV}), наличие в аллювиальных отложениях сростков кварца с золотом (X_{49}^{IV}), хотя и не отличают россыпи от мелких проявлений, но, видимо, могут быть характерными для золотоносных долин, т. е. связанными с золотоносностью.

В табл. 7 и 8 приведены подобные разобранным выше (см. табл. 3—6) упорядоченные по межклассовому различию ряды, но не характеристических, а геологических признаков каждой из четырех групп. Их можно рассматривать как расклассифицированные по генетической и диагностической сущности ряды признаков более общего порядка.

Геологическая интерпретация этих рядов также представляет безусловный интерес. Например, анализируя ряд вещественной группы (см. табл. 7), можно видеть, что наиболее «важными» геологическими признаками, лучше других различающими россыпи и мелкие россыпные проявления, являются продуктивность россыпи и степень концентрации в ней металла, пробыность золота и степень отработанности россыпей. В этом смысле малопоказательны петрографический состав и окатанность

Упорядоченные по степени межклассового различия (R_i) (классификационные) ряды геологических признаков вещественной и геоморфологической группы

Геологические признаки	R_i	Кривая R_i	
<i>Вещественные</i>			
Продуктивность по липейным запасам	1,20		
Степень концентрации металла в россыпи	1,05		
Пробность золота	0,90		
Степень отработанности россыпей	0,61		
Гранулометрический состав аллювия	0,50		
Окатанность золота	0,48		
Минералогический состав илтихов	0,46		
Крупность золота	0,45		
Окатанность обломочного материала	0,36		
Петрографический состав аллювия	0,26		
Наличие сростков золота	0,15		
<i>Геоморфологические</i>			
Продольный уклон долин	0,95		
Порядок долин	0,79		
Асимметричность долин	0,72		
Длина долины	0,59		
Отклонение от «среднего» уклона долины	0,50		
Асимметричность бассейнов	0,38		
Соотношение порядков долин	0,31		
Азимут простирания долины	0,31		
Отклонение от «средней» длины долины	0,31		
Густота речной сети	0,26		
Направление течения реки	0,26		
Врез долины	0,26		

обломочного материала аллювия, наличие или отсутствие сростков золота в нем и некоторые др. В геоморфологической группе признаками наиболее высокого ранга являются продольный уклон, порядок, симметричность и длина золотоносных долин, а признаками наиболее низкого ранга — ориентированность и глубина вреза долин (см. табл. 7). Как легко убедиться, рассматриваемые ряды геологических признаков довольно хорошо согласуются с описанными ранее подобными рядами характеристических признаков и в целом не противоречат имеющемуся геологическому опыту. Важно подчеркнуть, что они получены совершенно объективно, сообразно со сделанной вначале геологической посылкой.

Внимательный анализ других рангов рассмотренных рядов и рядов, приведенных в табл. 6, на чем мы здесь не останавливаемся, также может представить определенный интерес.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Проведенное упорядочение признаков по их генетической и диагностической сущности на основании степени межклассового различия позволяет выявить факторы, наиболее благоприятно влияющие на формирование россыпей золота в конкретном золотоносном районе и дает возможность сократить объем необходимой геологической информации за счет исключения несущественных признаков.

2. Наиболее существенными признаками для разделения рассмотренных россыпей конкретного района по классам крупности являются признаки вещественной группы, затем пространственно-временной, далее геолого-металлогенетической и, наконец, признаки геоморфологической группы.

3. Математическая обработка показала, что предварительная группировка россыпей на четыре класса на профессиональном уровне прове-

Упорядоченные по степени межклассового различия (R_i) (классификационные) ряды геологических признаков геолого-металлогенической и пространственно-временной группы

Геологические признаки	R_i	Кривая R_i
<i>Геолого-металлогенические</i>		
Тип оруденения по количеству сульфидов	0,90	
Характер шлотика (разрушенность)	0,62	
Местоположение коренного оруденения	0,61	
Петрографический состав шлотиков	0,57	
Возраст интрузивных комплексов	0,50	
Геологическое положение россыпи	0,49	
Минеральный тип золотого оруденения	0,48	
Масштабы эндогенного оруденения	0,46	
Размеры выделений золота в рудах	0,25	
Геотектоническое положение россыпи	0,21	
Типы предрудных процессов	0,20	
Развитие жилы выполнения (либо замещения)	0,15	
Геопеис эндогенного оруденения	0,12	
<i>Пространственно-временные</i>		
Ширина россыпи	1,00	
Золотоносность рыхлых отложений в р-не	1,00	
» более крупной реки	0,75	
» притоков	0,72	
Характер выклинивания вверх по течению	0,70	
Протяженность россыпи	0,66	
Соотношение россыпи и золотоносного узла	0,61	
» эндогенного и россыпного оруденения	0,42	
Мощность аллювия	0,33	
Приуроченность россыпи по течению	0,31	
Морфогенетические и возрастные типы россыпей	0,30	
Приуроченность россыпи по разрезу	0,28	
Характер перехода вниз по течению	0,26	
Соотношение мощности песков и торфов	0,24	
» длин россыпи и долины	0,23	

деца в основном правильно, хотя классы средних («б») и мелких («в») россыпей целесообразнее объединить в один, так как межклассовое родство объектов в этих классах велико.

4. Совпадение полученных результатов с реальными данными говорит о надежности метода, дающего возможность более глубоко проводить обобщение и анализ геологической информации, содержащейся в рукописных и картографических документах.

5. Описываемый подход позволяет объективно оценивать качество и сопоставимость исходных материалов с точки зрения полноты характеристики геологических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

- Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений.— «Геол. и геофиз.», 1968₁, № 5, с. 50—84.
- Дмитриев А. Н., Васильев Ю. Р., Золотухин В. В. Логико-математическая обработка информации при выявлении перспективности сульфидного оруденения в некоторых трансовых интрузиях Севера Сибирской платформы.— «Геол. и геофиз.», 1968₂, № 11, с. 95—101.
- Нестеренко Г. В., Дмитриев А. Н., Кренделев Ф. П., Осинцев С. Р., Штатнова Т. И. Сравнительное изучение россыпей с помощью логико-дискретного анализа

(на примере Восточного Забайкалья).— В кн.: Проблемы геологии россейей (тезисы докладов III Всесоюзного совещания по геологии россейей). Магадан, 1969, с. 178—180.

Трифимук А. А., Вышемирский В. В., Дмитриев А. Н., Рябов В. В., Вышемирская О. П., Олли И. А., Штатнова Т. И.— О сравнительном изучении гигантских месторождений нефти с использованием логико-дискретного анализа. «Геология нефти и газа», 1969, № 6, с. 17—25.

А. П. БЕРЗИНА, В. И. СОТНИКОВ, В. Н. КОРОЛЮК

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА БИОТИТОВ И ХЛОРИТОВ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СИБИРИ И СРЕДНЕЙ АЗИИ

Медно-молибденовая минерализация в различных районах Советского Союза наряду с проявлением общих признаков, характерных для медно-молибденовой рудной формации в целом, имеет свои специфические особенности, что находит отражение в различном способе проявления магматизма, образовании различных фаций гидротермально измененных пород и т. д. В частности, специфика развития эндогенного процесса хорошо иллюстрируется на примере анализа химического состава породообразующих минералов, таких как биотит, хлорит и др. Было показано (Moore, Szamanske, 1973; Beane, 1974; Kesler et al., 1975; Parry, Jacobs, 1975), что состав биотита отражает специфику химизма магмы и растворов, из которых он образуется. Анализ состава биотитов и хлоритов интересен также при решении вопроса об источниках вещества рудообразующих растворов.

БИОТИТ

На рассматриваемых месторождениях отмечается магматический биотит гранитоидов рудоносного интрузивного комплекса, а также вмещающих более древних интрузивных образований и метасоматический биотит, образующий совместно с калишпатом и кварцем крупные тела гидротермально измененных пород.

На месторождениях Восточного Забайкалья были изучены биотиты гранитов олекминского и аленуевского комплексов, гранитов Амуджикана, гранитов и гранит-порфиров амананского и жирекенского комплексов, а также биотит-калишпатовых метасоматитов.

На месторождениях Кузнецкого Алатау биотит изучался в гранитоидах нижнепалеозойского комплекса и порфирах субвулканического (рудоносного) комплекса, биотит-калишпатовых и несколько более поздних по времени образований биотит-альбитовых метасоматитов.

В Средней Азии и Казахстане изучались биотиты рудоносных гранодиорит-порфиров Коунрада и сениито-диоритов Кальмакыра.

Определение состава биотита и хлорита проводилось на микроанализаторе MS-46. Для биотита суммарное Fe пересчитывалось на трех- и двухвалентное с учетом коэффициента их отношения в эталонных образцах.

Хлор и фтор. Биотиты месторождений Восточного Забайкалья обычно содержат в своем составе оба этих элемента. Отмечается уменьшение содержания хлора и увеличение фтора в биотитах гранитов амананского и рудоносного (жирекенского) комплексов по сравнению с палеозойскими породами. Так, содержание фтора в биотитах гранитов аленуевского,