

Ф. П. КРЕНДЕЛЕВ, А. Н. ДМИТРИЕВ, Ю. И. ЖУРАВЛЕВ

СРАВНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ  
ЗАРУБЕЖНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОКЕМБРИЙСКИХ  
КОНГЛОМЕРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ

(Представлено академиком А. А. Трофимуким 12 VIII 1966)

В статье рассматриваются только докембрийские конгломераты, поскольку с ними связаны максимальные по масштабам концентрации Au и U. Обсуждению подвергается семь месторождений, главнейшие особенности которых кратко изложены ранее (1, 4). Все разновидности конгломератов этих месторождений (4, 6) делятся по крайней мере на два типа — сульфидные и магнетитовые с переходными подтипами между ними. Отмечено (4), что все металлоносные конгломераты этих типов располагаются в сходных толщах пород, совокупность коих названа формацией докембрийских конгломератов.

Для сравнения нами привлечены идеи и возможности дискретной математики. Кодовая таблица, из которой приводится только часть (табл. 1), составлена по данным прежней работы (4) — таблицы со стр. 6—12). В нее включены 69 существенных признаков, характеризующие вещественные и пространственно-временные особенности, без системы предпочтения к различным точкам зрения на генезис оруденения в конгломератах. Сравнение не может производиться методами вариационной статистики, поскольку геологические признаки обладают внутренними функциональ-

Таблица 1

Кодовая таблица и информативность признаков

Кодовый номер признака	Содержание признаков	Группа признаков	Частота встречаемости	Информативный вес $P_{ij} \cdot 10^{-1}$	Ранг значимости
X <sub>6</sub>	Область перехода от архейского щита к протерозойской платформе	A	0,363	0,66	3
X <sub>7</sub>	Ритмично-слоистые отложения передовых прогибов с олигомиктовыми базальными толщами	A	0,473	0,87	2
X <sub>21</sub>	В толще над базальным горизонтом залегают силлы и силлообразные дайки диабазов, порфириров или эти породы секут рудную толщу в рудных полях	B	0	0	7
X <sub>22</sub>	Над базальной толщей залегают железистые породы (кварциты, итабариты, сланцы, песчаники с гематитом)	B	0,362	0,630	2
X <sub>23</sub>	Кварциты в виде отдельного горизонта	B	0,167	0,290	4
X <sub>15</sub>	В толще содержатся прослои карбонатных пород	B	0,412	0,710	1
X <sub>17</sub>	В основании толщи есть горизонт грубообломочных конгломератов	B	0,743	1,300	1
X <sub>34</sub>	Толща залегает на кварцево-серицитовых сланцах	B	0	0	7
X <sub>35</sub>	В подстилающей толще преобладают зеленокаменные породы и сланцы	B	0,277	0,480	3
X <sub>37</sub>	В подстилающей толще известны основные эффузивы или интрузии	B	0,500	0,870	1
X <sub>38</sub>	Породы основания прорваны гранитоидными интрузивами	B	0,362	0,630	2
X <sub>39</sub>	В подстилающих толщах известны кислые эффузивы	B	0,370	0,640	2
X <sub>40</sub>	Гальки по объему составляют более 70% породы	B	0	0	7
X <sub>45</sub>	Цемент пород кварцево-серицитовый	B	0,313	0,540	2
X <sub>47</sub>	Цемент пород кварцево-серицитовый с пиррофилитом	B	0	0	7
X <sub>51</sub>	В составе аксессуарных нет магнетита	B	0	0	7
X <sub>58</sub>	Рудные минералы явно эпигенетичны	B	0	0	7
X <sub>59</sub>	В рудных горизонтах содержатся рудные прожилки или стяжения	B	0	0	7
X <sub>63</sub>	Граниты только в подстилающей толще	A	0,528	0,97	1
X <sub>66</sub>	Основные породы развивались после отложения пород продуктивной толщи или сингенетичны с ней	A	0,456	0,883	2
X <sub>69</sub>	В структуре, вмещающей продуктивную толщу, известны кимберлитовые трубки, кимберлитоподобные породы или в перекрывающих отложениях выявлена алмазонасность	A	0,343	0,63	3

Примечание: А — пространственно-временные признаки, В — вещественные.

ными связями (степень метаморфизма зависит от возраста пород, глубины их залегания в настоящее время и в прошлом, от наличия интрузий, растворов и т. д.). Кроме того, число объектов мало, а число признаков, характеризующих эти объекты, велико. Примененный нами подход (2) позволяет оценить каждый признак в отдельности величиной  $P(i)$ , называемой информационным весом признака.

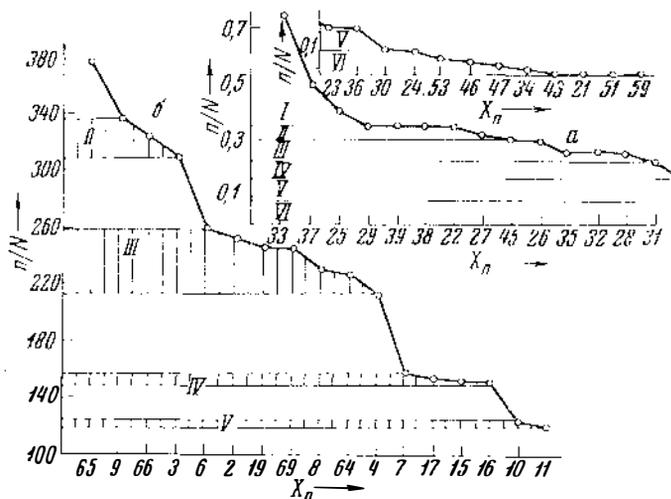


Рис. 1. Кривая установления рангов: а — пространственно-временных, б — вещественных признаков

Последний определяется удельным числом вхождений признака в избыточное описание заданной группы объектов или явлений, в данном случае месторождений. Избыточным описанием группы месторождений называется такой несжимаемый набор признаков (тупиковый тест), который еще позволяет различать месторождения заданной группы. Или  $P(i) = K(i) / K$ , где  $K$  — число тупиковых тестов,  $K(i)$  — число тестов в которые входит столбец,

характеризующий  $i$ -й признак. Для вычислений  $P(i)$  каждого признака использована табл. 2, в которой строки характеризуют месторождения, а столбцы — признаки. В статье дана также только часть таблицы. Наличие признака обозначено единицей, отсутствие — нулем, отсутствие сведений о признаке — прочерком. Машинная обработка таблицы ведется по правилам, изложенным в работе (2). Значения  $P(i)$  приведены в графе 7 кодовой табл. 1, а их упорядочивание по зависимости отражено на рис. 1а и 1б.

Все признаки на обоих графиках четко подразделяются на ранги. Самыми важными (информосемкими) признаками оказались  $X_{33}$ ,  $X_{37}$ ,  $X_{25}$ ,

Таблица 2

Таблица характеризующих признаков

Группа признаков	Пространственно-временные						Вещественные							
	Признаки $X_n$													
Месторождения $M_i$	2	3	4	6	..	..	69	21	22	23	24	..	..	59
Витватерсранд ( $M^1_i$ )	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1
Блайнд-Ривер ( $M^2_i$ )	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
Жакобина ( $M^3_i$ )	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
Мунана, Габон ( $M^4_i$ )	0	1	0	0	1	0	—	1	1	0	0	1	0	—
Тарква, Гана ( $M^5_i$ )	1	0	0	0	0	0	—	1	1	1	0	0	1	1
Австралия ( $M^6_i$ )	0	0	1	—	0	1	—	1	—	—	—	1	1	1
Эно-Кулия, Финляндия ( $M^7_i$ )	1	0	0	1	1	1	1	—	—	—	—	1	—	1

$X_{65}$ ,  $X_9$ ,  $X_{66}$ , наиболее характерные для районов развития докембрийских конгломератов. Признаки  $X_{59}$ ,  $X_{51}$ ,  $X_{21}$ ,  $X_{43}$ ,  $X_{34}$ ,  $X_{47}$  практически не несут информации и, следовательно, не имеют значения для оценки районов. Это логически вытекало и из общегеологических представлений, что наилучшим образом подтверждает правильность выбранного подхода. Ясно, что при поиске новых месторождений данного типа в докембрийских формациях необходимо выявлять районы, в которых признаки первых рангов максимально сближены в пространстве. Порядок выявления признаков должен соответствовать их информационному весу.

Если вместо единиц и прочерков в табл. 2 подставить значение  $P(i)$  для каждого признака (прочерк приравнивается  $0,5 P(i)$ ) и просуммировать их, мы получим информационный вес строки  $\Sigma P(i)$ , который отражает в математических единицах меру общности данного региона или месторождения с абстрактной (в понимании Н. С. Шатского) формацией древних конгломератов.

Упорядочивание месторождений по  $\Sigma P(i)$  (рис. 2) показывает следующее.

А. График информационных весов строк грубо соответствует кривой распределения запасов полезных ископаемых, т. е.  $\Sigma P(i)$  отражает масштаб месторождений.

Б. Месторождения четко разбиваются на три группы: слева располагаются месторождения с комплексными рудами, содержащими три элемента (U, Th и Au), справа — рудами, содержащими один из трех элементов, в средней части — сочетание двух из трех элементов. Крупные месторождения содержат три элемента, мелкие — только по одному. На основе графика процесс образования месторождений типа докембрийских конгломератов можно представить по схеме: одно-, двух- и, наконец, трехэлементарные, поскольку появление нового элемента сопровождается появлением новой информации, причем признаки, характеризующие трехэлементные месторождения, имеют наибольший информационный вес. Следовательно, искать нужно такие месторождения, в которых процессы рудообразования были наиболее всеобъемлющими, а признаки для них — наиболее информативными.

Графики подтверждают правильность отнесения всех месторождений докембрийских конгломератов к одной формации и взаимные переходы и связи между типами и подтипами. Значит, если одноэлементные месторождения в принципе могут быть россыпными, то трехэлементные необходимо связывать с процессами наложения и (или) преобразования.

Приведенные графики (рис. 1 и 2) дают возможность сделать принципиально новые теоретические выводы:

1. Отнесение признака  $X_{65}$  к первому рангу позволяет утверждать, что положение гранитоидных тел в подстилающих толщах влияет на размещение эндогенного рудообразования в перекрывающих толщах. И действительно, поскольку формации древних конгломератов, как правило, не прорваны молодыми гранитными интрузивами, а породы этих формаций изменены так же, как и интрузивные тела в подстилающих толщах (серитизация, пиритизация, калиевый метасоматоз), можно прийти к выводу, что те и другие метаморфизованы растворами, проникающими через интрузивные тела из глубин Земли. Иными словами, сами массивы гранитов являются проводниками гидротермальных колонн и нет необходимости искать проблематичные зоны открытых трещин, глубинные разломы и т. д.

2. Исследование признака  $X_{65}$ , также попадающего в первый ранг значимости, показало, что основные породы подстилающих и низов рудовмещающих толщ изменены, метаморфизованы, а содержание золота в них оказывается на один-два порядка ниже по сравнению с неизменными поро-

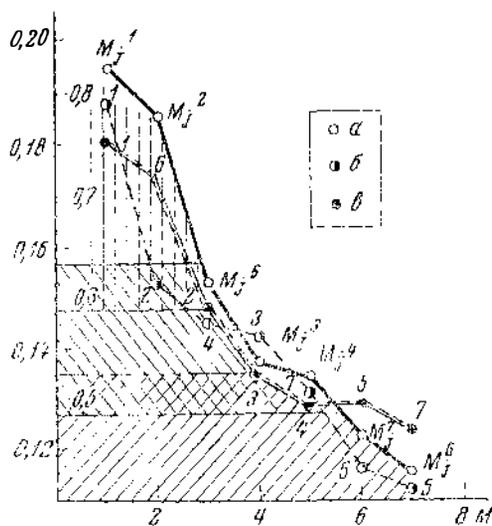


Рис. 2. Упорядочивание известных месторождений по информационным весам:  $a$  — по общим,  $b$  — по пространственно-временным,  $c$  — по вещественным признакам. По оси ординат отложены величины  $\Sigma P_i$ . Вертикальная штриховка — в рудах месторождения известны три элемента; наклон штриховки вправо — два элемента, влево — один элемент

дами. Изменяющиеся основные породы могут служить источником золота, поступающего в пористые осадочные породы, а гранитоиды — источником урана. Ясно, что Au и U не обязательно будут откладываться только в пластовых телах осадочных пород, но и в зонах трещиноватости, образуя штокверковые и жильные тела. Это хорошо объясняет пространственное совпадение регионов развития золотоносных рифов (пластов, горизонтов) и банкетов (жил). Классическим примером такого совпадения служат уран-золотоносные месторождения Южной Африки и Конго<sup>(3)</sup>.

3. С помощью ЭВМ подсчитано, какие признаки чаще встречаются в связи с золотом, и какие — в связи с ураном:

$X_n$	23	35	37	58	66	38	39	45	46	65
Au	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Вывод очевиден: урановые руды образуются в случае преобладания в подстилающей толще гранитоидов или кислых эффузивов, а золотые — в случае преобладания зеленокаменных пород или основных эффузивов, а в рудовмещающей толще — покровов гидротермально измененных эффузивов основного состава.

4. Признаки  $X_{69}$ ,  $X_9$  и  $X_6$  располагаются в смежных рангах, что свидетельствует о развитии оруденения в конгломератах сульфидного типа в районах образования кимберлитовых трубок. Иными словами, месторождения золота в конгломератах и алмазоносные трубки развиваются в сходных структурах глубокого заложения. Не этим ли объясняется наличие алмазов в конгломератах Витватерсранда и тот факт, что кимберлитовые трубки Южной Африки прорывают конгломератовые рифы? Не этим ли объясняется находка кристаллов алмазов в золотых «рубашках» в трубках Якутии? В таком случае могут быть обнаружены алмазоносные трубки и золотоносные конгломераты на Русской платформе, поскольку в ее пределах известны структуры глубокого залегания.

5. Признак  $X_{22}$  попадает во второй ранг значимости, т. е. формации докембрийских конгломератов связаны с развитием железистых пород типа джеспиллитов, итабиритов и т. п. Это подтверждает вывод П. К. Деметьева о связи оруденения в конгломератах с процессами, приведшими к образованию железистых кварцитов, столь характерных и для Русской платформы.

6. Зоны глубинных разломов в гранитоидах должны содержать пониженные количества урана, а не повышенные.

7. Главное в геологических исследованиях — определение места (в смысле формационной и структурной приуроченности) и времени (в смысле последовательности событий и их длительности) протекания процессов, ведущих к концентрации полезных компонентов.

8. Совершенно очевидно, что нельзя выделить одну какую-то главную причину рудообразования, разработать универсальную классификацию, в основе которой лежит один признак или его модификация. Характер рудных полей и способы образования рудных концентраций определяются совокупностью геологических явлений и последовательностью их проявления. Сходное оруденение может оказаться результатом взаимодействия различных процессов. А любая рудная концентрация может рассматриваться как отклонение в нормальном геологическом процессе, ведущем к перераспределению химических элементов в ходе эволюции земной коры.

Институт геологии и геофизики

Институт математики

Сибирского отделения Академии наук СССР

Поступило

16 IV 1966

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. И. Безгубов, Ю. И. Бывших и др., Уран в древних конгломератах, 1963.  
<sup>2</sup> А. Н. Дмитриев, Ю. И. Журавлев, Ф. П. Кренделев, Сборн. Дискретный анализ, в. 7, Тр. Инст. математики СО АН СССР, 1966. <sup>3</sup> Дю Тойт, Геология Южной Африки, ИЛ, 1957. <sup>4</sup> Ф. П. Кренделев, Геология и геофизика, № 3 (1965).  
<sup>5</sup> И. И. Херасков, Тектоника и формации, Доклад, представленный на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук, М., 1965. <sup>6</sup> В. А. Шкворов, К. В. Ковалева, Вопр. рудн. геофизики, в. 3, М., 1961.