

А. К. МИГУТА, В. М. ПИСАРЕВСКИЙ
**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
ЭНДОГЕННОГО РЕДКОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ РАЗНЫХ
МАСШТАБОВ ПРИ ПОМОЩИ УЗНАЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЭВМ**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 8 IV 1971)

Территория обследованного района сложена гранитизированными сланцами и гнейсами. Здесь широко проявлены древние тектонические нарушения разного порядка, представленные зонами бластомилонитов. После длительного цикла платформенного развития район испытал тектоно-магматическую активизацию, что привело к подновлению древних и возникновению новообразованных разрывных структур, и внедрению щелочных интрузий. Сформировавшиеся в период активизации рудные образования представлены щелочными метасоматитами, на которые паложены кварц-карбонат-флюоритовые жилы и прожилки и редкометальное оруденение. Реализуемый авторами подход к решению задачи по классификации выявленных в ходе поисковых работ рудных зон по возможным перспективам опирается на представления о том, что совокупность геологических признаков, характеризующая особенности формирования и пространственного размещения руд, без данных об их параметрах, содержит сведения о масштабе проявления оруденения. При этом получение информации о зависимости, существующей между совокупностью признаков и масштабами объектов, возможно за счет вскрытия множественных взаимосвязей между логически сцепленными признаками. Изучение этих взаимосвязей осуществлялось при помощи программы, реализующей алгоритм построения всех тушиковых тестов (¹, ²).

Упомянутый подход к выбору исходной информации включает всестороннюю характеристику разномасштабных объектов. Их представление в обучающейся и контрольной выборке определяется необходимостью отражения в описании всего многообразия процессов, в совокупности приведших к формированию объекта. Такое описание, выполненное на сходном уровне изученности объектов, отражает особенности пространственного размещения и условий локализации оруденения и эквивалентно созданию моделей геологических процессов.

Значение существенности отдельного признака, или его информационный вес, при процедурах получения тушиковых тестов определяется как частота вхождения i -го признака в несжимаемые (корневые) описания, отличающие друг от друга разномасштабные объекты (²). Сумма информационных весов признаков, проявленных на конкретном объекте, является его информационным весом. Этот показатель используется при характеристике объектов в связи с операциями их упорядочения по возможным перспективам.

Методика решения аналогичной задачи, направленной на прогнозную оценку масштаба эндогенного оруденения, приводилась ранее (³). Обработка по этой методике позволила нам в конечном итоге построить график (рис. 1, B_4), где по оси абсцисс через равные промежутки отложены объекты обучения и контроля ($M_1 - M_{18}$), а по оси ординат — значения информационных весов объектов $\tilde{I}(s)$. На графике объекты расположились в строгом соответствии с их масштабами, установленными по данным детальных работ, что подтвердило гипотезу о существовании связи между комплексом геологических признаков, характеризующих объект, и масштабом проявившегося на нем оруденения. Это дало возможность выделить на кривой участки, отвечающие разным по масштабам рангам объектов, и в дальнейшем использовать ее для оценки перспектив прочих рудоносных зон района.

Получение конечного результата, заключающегося в оценке масштабов оруденения конкретных объектов, реализует только одну из возможностей анализа моделируемых геологических явлений. В отличие от подобных исследований, ориентированных на «конечный исход», авторами рассмотрен и другой подход, направленный на анализ геологических процессов, обусловивших рудоотложение и масштабы его проявления. Задача изучения таких моделей, ориентированных на «процесс», формулируется как задача анализа последовательного ряда геологических явлений, в совокупности приведших к формированию редкометального оруденения в изучавшемся районе.

Образование рудных месторождений является неотъемлемой частью длительной истории формирования региона. Это позволяет постулировать предположение, что, анализируя множественные взаимосвязи между геологическими факторами, характеризующими последовательно сменяющиеся друг друга периоды геологического развития рудоносной площади, можно подойти к выявлению роли каждого из периодов в образовании редкометальных руд.

В настоящей задаче выделялись следующие периоды развития региона: *A* — этап становления кристаллического фундамента; *B* — этап тектоно-магматической активизации (*B*₁ — внедрение магматических масс; *B*₂ — формирование дорудных катаклазитов и зон брекчирования; *B*₃ — прерудный метасоматоз; *B*₄ — внутрирудные тектонические подвижки и образование руд). Для каждого из выделенных периодов производилось упорядочение 18 объектов (8 эталонных и 10 контрольных) по группам факторов, присутствующих этому периоду. Характер изменения информационных весов объектов и результаты их упорядочения показаны на рис. 1. Для каждого следующего периода дополнительно учитывались группы факторов, отражающих геологические процессы, протекающие в течение рассматриваемого периода, в связи с чем кривые упорядочения объектов по величинам $\tilde{I}(s)$ претерпевали изменение. Последняя кривая (рис. 1, *B*₄), учитывающая и время формирования рудной минерализации, представляет собой итоговую диагностическую кривую масштаба объектов.

A — этап становления кристаллического фундамента. Используются признаки, характеризующие стратиграфическое положение и литологию вмещающих пород, складчатую и разрывную тектонику фундамента, параметры и сложность строения древних разломов.

На кривой упорядочения объектов по комплексу указанных признаков выделяются три части. В первой расположены объекты с наиболее высокими информационными весами — *M*₇, *M*₁, *M*₂. Все они приурочены к мощным, сложно построенным древним разломам. На втором, сравнительно пологом отрезке кривой располагается большинство объектов с невысокими и сравнительно близкими $\tilde{I}[s]$. Для них в том или ином виде проявлена наследованность: приуроченность к разломам, наследование контактов или гнейсовости вмещающих пород. Наконец, в третьей части кривой, с низкими значениями $\tilde{I}(s)$, располагаются участки, не имеющие связи с древними структурными элементами. Сопоставление рассматриваемой кривой с конечной (рис. 1, *B*₄) показывает, что по конфигурации и взаиморасположению конкретных объектов между ними существует определенное сходство. Расчет коэффициента ранговой корреляции дает величину $\rho = 0,77$ (по Спирмену), что указывает на тесную связь между двумя кривыми.

Полученные данные показывают, что предпосылки для дифференциации объектов по возможным масштабам были созданы уже при формировании кристаллического фундамента.

B — этап тектоно-магматической активизации: *I* — внедрение магматических масс (*B*₁). Дополнительно использованы данные грави- и магниторазведки, указывающие на глубины залегания крупных магматических масс, и сведения о развитии на участке или вблизи его дорудных даек лампрофиров.

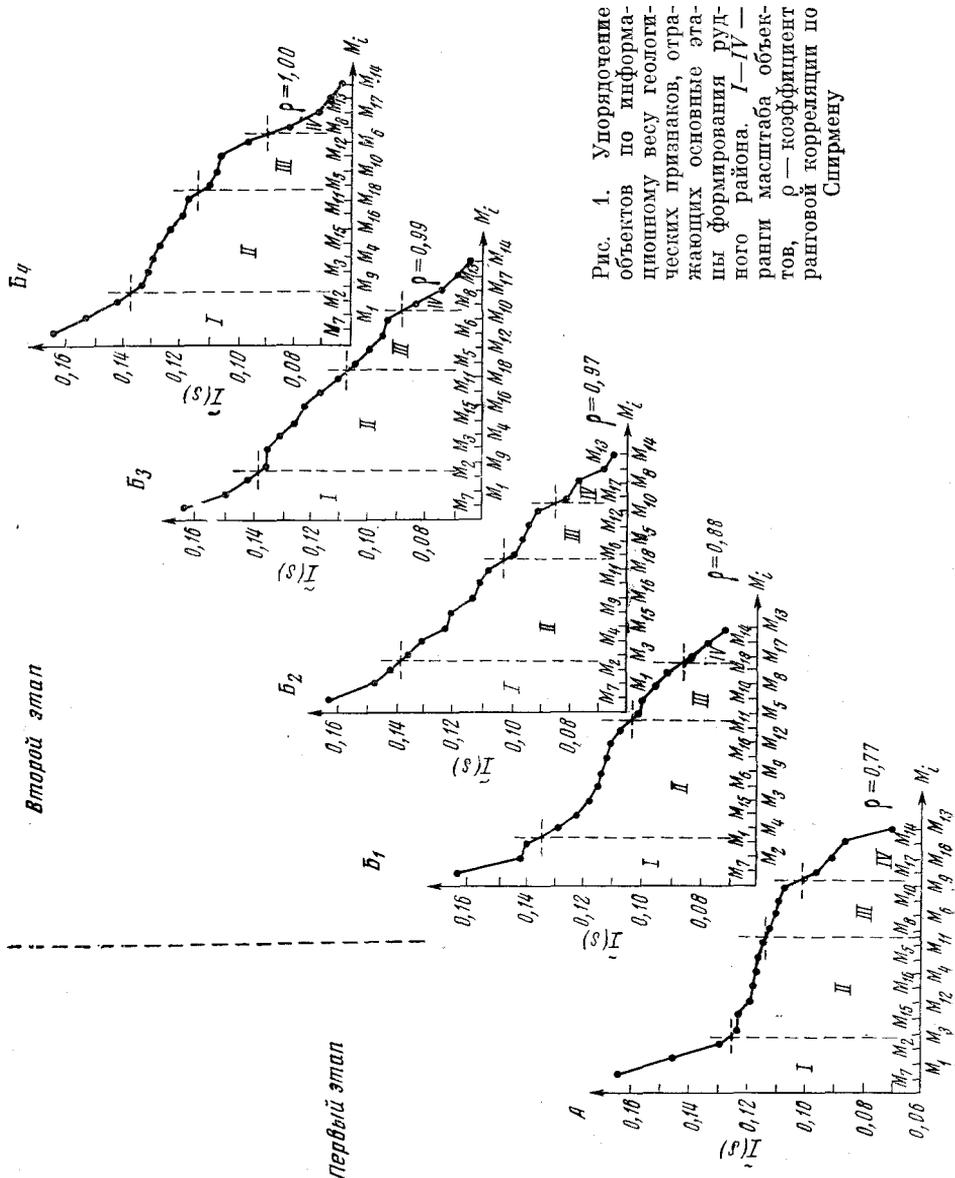


Рис. 4. Упорядочение объектов по информационному весу геологических признаков, огранижающих основные этапы формирования рудного района. I—IV — ранги масштаба объектов, ρ — коэффициент ранговой корреляции по Спирмену

По сравнению с кривой А, на кривой B_1 наблюдается перестройка объектов. Увеличился информационный вес объектов $M_6, M_7, M_2, M_9, M_{15}, M_{17}$. В то же время для объектов $M_{10}, M_{12}, M_{14}, M_5, M_8, M_{11}, M_{18}$ $I(s)$ стал более низким. Геологические данные показывают, что первые, в отличие от вторых, располагаются на незначительном удалении от магматических масс; на участках их расположения фиксируются одиночные лампрофировые дайки. Сопоставление кривой B_1 с конечной — B_4 позволяет отметить, что взаиморасположение объектов по возможным перспективам более упорядочилось ($\rho = 0,88$). Перестройка и упорядочение объектов свидетельствуют о существовании парагенетической связи между оруденением и развитыми в районе магматическими образованиями.

2 — формирование дорудных катаклазитов и зон брекчирования. Совокупность геологических факторов, характеризующих этот период, содержит дополнительные признаки, описывающие особенности тектоники, предшествовавшей оруденению (рис. 1, B_2).

Полученная кривая упорядочения объектов по величине $\tilde{I}(s)$ позволяет зафиксировать ту новую перестройку, которую претерпели объекты в этот период их развития. Более высокое положение на кривой заняли прежде всего такие объекты, где наиболее интенсивно развиты предрудные тектонические подвижки (M_{12}, M_1, M_3, M_9). Участки, где предрудная тектоника проявилась более слабо (M_{14}, M_5 и др.), переместились на кривой вниз. За небольшими исключениями порядок расположения объектов на кривой B_2 отвечает конечной кривой B_4 ($\rho = 0,97$).

Таким образом, практически, упорядочение объектов по возможным перспективам происходит уже на стадии формирования дорудных нарушений и, следовательно, в общем ряду геологических процессов, ведущих к локализации оруденения и определяющих его масштабы, образованию рудовмещающих структур принадлежит одна из решающих ролей.

3 — предрудные метасоматические изменения пород. Привлечены данные о мощности, интенсивности и характере проявления предрудных метасоматитов. При этом перестройки объектов друг относительно друга фактически не происходит: небольшие изменения информационных весов позволяют лишь более точно упорядочить объекты (рис. 1, B_3). Кривая почти тождественна итоговой ($\rho = 0,99$). Объекты, на которых метасоматические изменения развиты очень слабо (M_{13}, M_{17} и др.), обладают низкими информационными весами. Очевидно, что проявление предрудного метасоматоза является непрерывным условием рудообразования. Однако сопоставление кривых B_2 и B_3 показывает, что на масштабы оруденения в зонах метасоматические изменения существенно не влияют: масштабы объектов были уже определены предрудной тектоникой.

4 — внутрирудные тектонические подвижки и образование руд. Для характеристики периода, завершающего процесс рудообразования, использован весь комплекс геологических данных, включающих и признаки, описывающие проявление собственно рудного процесса (рис. 1, B_4). По сравнению с предыдущим периодом небольшая перестройка и упорядочение по масштабам намечается лишь для объектов M_{13}, M_{10}, M_{12} , в локализации которых существенную роль играют серии мелких субпараллельных трещин, сформировавшихся во внутрирудное время.

Выполненные исследования позволяют полагать, что построение геологических моделей, отображающих основные этапы развития рудоносных площадей, дает возможность вскрыть ряд важных особенностей длительного процесса формирования месторождений. Последовательный анализ полученных кривых информационного веса объектов (рис. 1) показывает, что при реализации в районе рудообразующего процесса предпосылки для разделения объектов по масштабам были созданы еще на этапе становления кристаллического фундамента, а практически их разграничение по масштабам оруденения в зонах произошло уже в период формирования предрудных тектонических подвижек. Последующие процессы могут несколько изменить позицию объекта, но, как правило, не меняют его отношения к конкретному рангу по перспективности. В то же время, признаки, характеризующие эти последующие процессы — метасоматоз и локализацию оруденения, выявить наиболее трудно, и для их исследования требуются достаточно детальные работы. Поэтому на начальных этапах исследований, при выявлении на объектах щелочных метасоматитов и признаков редкометалльного оруденения, диагностика возможного масштаба объектов может быть выполнена преимущественно на основе факторов, получаемых в ходе поисковых работ и геологического картирования.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт минерального сырья
Москва

Поступило
2 IV 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Дмитриев, Ю. И. Журавлев, Ф. П. Креңделев, Дискретный анализ, в. 7 (1966). ² А. Н. Дмитриев, Ю. И. Журавлев, Ф. П. Креңделев, Геология и геофизика, № 5 (1968). ³ И. С. Модников, А. Н. Еремеев и др., Сов. геол., № 11 (1969).