

Возможности автоматизации поддержки принятия решений при экспресс-оценке площадей, перспективных на выявление колчеданно-полиметаллического оруденения

Чижова И.А.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, tchijova@igem.ru

Аннотация. На основе логико-информационного анализа геологических данных, представленных в форме параметрических моделей по месторождениям и рудным полям Рудноалтайской минерагенической зоны (колчеданно-полиметаллического и полиметаллического типов) разработана методика построения расчетно-логических решающих правил, позволяющая проводить экспресс-оценку перспективных площадей для определения минерального типа, частей околорудного пространства, масштабности. Приведен пример ее использования в процессе изучения перспективных площадей при оценке масштаба по надрудной части объектов полиметаллического типа, образованных в сходных геологических условиях.

Ключевые слова: Рудноалтайская минерагеническая зона, колчеданно-полиметаллические месторождения, полиметаллические месторождения, логико-информационная модель, параметрическая модель, экспресс-оценка.

Opportunities of automating decision support for express assessment of areas promising for the identification of pyrite-polymetallic mineralization

Chizhova I.A.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, tchijova@igem.ru

Abstract. Based on logical-information analysis of geological data (parametric models) on deposits and ore fields of Rudny Altai mineragenic zone (pyrite-polymetallic and polymetallic types) the technique of construction of the computational-logic decision rules has developed. It allows to carry out the rapid assessment of the perspective areas for definition of mineral type, parts of surrounding space, ore scales. The example of its use is given for perspective areas for definition of ore scale on the study of top part above ore space for the objects of polymetallic mineral type, formed in similar geological environment.

Key words: Rudny Altay mineragenic zone, pyrite-polymetallic deposits, polymetallic deposits, logical information model, parametric model, rapid assessment.

Введение

В качестве прогнозных задач в процессе анализа площадей, перспективных на обнаружение оруденения, наибольший интерес представляют: определение минерального (рудно-формационного) типа, определение части рудного или околорудного пространства, к которому следует отнести объект оценки, и оценка масштабности оруденения.

Данный класс задач может быть рассмотрен как задачи принятия решений, поскольку включает в себя сбор информации, оценку альтернатив и, наконец, определение окончательного выбора. Для автоматизации процесса поддержки принятия решения, как правило, используются возможности, предоставляемые развитием информационных технологий (Тиханычев, 2018; Индустриев, Игнатьев, 2020).

Обычно геологи решают прогнозные задачи по методу аналогии. Автоматизация принимаемых решений приводит к необходимости использования математических моделей. Методика их решения на основе расчетно-логических (в виде формулы и логических действий) решающих правил (Чижова, 2010) позволяет применить IT-технологии для автоматизации поддержки принятия решения в помощь эксперту-геологу.

Под экспресс-оценкой понимается решение поставленных задач с применением компьютерных технологий, реализующих математические методы анализа фактических данных, характеризующих объекты исследования, которые обеспечивают высокую степень оперативности и точность их сравнения с данными по эталонным объектам, характеризующимся разными масштабами оруждения и специфичными свойствами их минеральных типов и параметров околорудных пространств.

В качестве основного метода исследования использовался логико-информационный анализ, разработанный в ИГЕМ РАН (Константинов, 1979; Чижова, 2010), который позволяет сформировать логико-информационные модели (ЛИМ) и расчетно-логические решающие правила для поддержки принятия решений поставленных задач на основе компьютерного анализа эталонной выборки объектов исследования из базы данных, описанных в системе геологических, геофизических, минералогических, геохимических характеристик. Технология разработана на основе изучения параметрических моделей месторождений и рудных полей Рудноалтайской минерагенической зоны (Кузнецов, Чижова, 2021; Чижова, Кузнецов, 2022).

Для характеристики разнообразия изучаемых месторождений эталонные объекты были подобраны с учетом проявления различных минеральных типов (колчеданно-полиметаллический (КП) и полиметаллический (П)) и различной масштабности М (мелкие, средние, крупные).

В базе данных по эталонным месторождениям хранятся сведения по описанию рудоносного, флангового, над- и подрудного пространства, занимаемого конкретным месторождением. Характеристика приводится исходя из параметрических моделей месторождений, построенных на основе расчленения объема, занимаемого конкретным месторождением, на ряд пространств: рудоносное (РМ), фланговое (РФ), над- (НР) и подрудное (ПР). Всего в базе данных содержатся сведения по 20 месторождениям (9 – колчеданно-полиметаллическим и 11 – полиметаллическим).

Для описания зон геологического пространства использована следующая система факторов и признаков: стратиграфо-литолого-фациальные, магматические, структурные (в первую очередь, конседиментационные и синвулканические), а также показатели, характеризующие состав, морфологию, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфологию, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовмещающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения. Всего описание содержит 263 бинарных признака (со значениями 1 и 0, означающих присутствие или отсутствие признака на объекте).

Процесс поиска решающих правил строится с использованием принципа общности свойств, который основан на предположении, что объекты, образующие один класс (группу), обладают свойством подобия, отраженного в их характеристиках (признаках).

Методика исследований

Логико-информационный анализ (Чижова, 2010) включает следующую последовательность действий.

1. Выделение информативных признаков, характерных для объектов изучаемых групп месторождений, на основе вычисления функции информативности.
2. Оценка разделяющих способностей информативных признаков и выделение значений интервалов-индикаторов (для отделения объектов каждой группы от объектов других групп) в результате сравнения разделяющих весов информативных признаков по их величине; разделяющий вес признака для выделения группы рассчитывается на основе вычисления вероятностей наличия значений признака из интервала-индикатора на объектах данной группы, при условии отсутствия этих значений на объектах других групп, и отсутствия значений этого признака из интервала-индикатора на объектах данной группы, при условии наличия этих значений на объектах в других группах.
3. Формирование решающих правил для идентификации объектов исследования на основе вычисления значений функций принадлежности этого объекта группе (информационных весов объекта), принимается решение: объект относится к той группе, для которой функция принадлежности

принимает максимальное значение; информационный вес объекта оценки X , характеризующий степень его принадлежности к группе k , рассчитывается по формуле:

$$\varphi_k(X) = \sum_{\substack{j=1 \\ P_{jk} > 0}}^N P_{jk} \cdot x_j - \sum_{\substack{j=1 \\ P_{jk} < 0}}^N P_{jk} \cdot (1 - x_j),$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ — описание объекта оценки с характеристикой принадлежности интервалам-индикаторам для группы k в системе N информативных признаков; $(x_i = 1, \text{ если значение признака } j \text{ входит в интервал-индикатор для группы } k, x_i = 0, \text{ в противном случае})$; P_{jk} — разделяющий вес признака j для характеристики объектов из группы k ; $0 \leq \varphi_k(X) \leq 1$.

4. Проверка надежности решающих правил на основе расчета качества распознавания эталонной и контрольной выборки (по отношению количества правильно распознанных объектов к количеству всех объектов выборки).

В случае разделения объектов на группы по некоторому монотонно-изменяющемуся целевому свойству (например, масштабности оруденения) выделяется единая система информативных признаков, коррелирующих с изменением целевого свойства, и принятие решения проводится по величине значений соответствующей функции информативности (информационного веса, равного сумме разделяющих весов соответствующих информативных признаков) для определения принадлежности объекта к группам (объект относится к той группе, в диапазон изменения значений которой попадает вычисленное для объекта значение функции информативности).

Результаты анализа

Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения представлено на рисунке 1. Для решения каждой задачи строятся логико-информационные модели (ЛИМ).

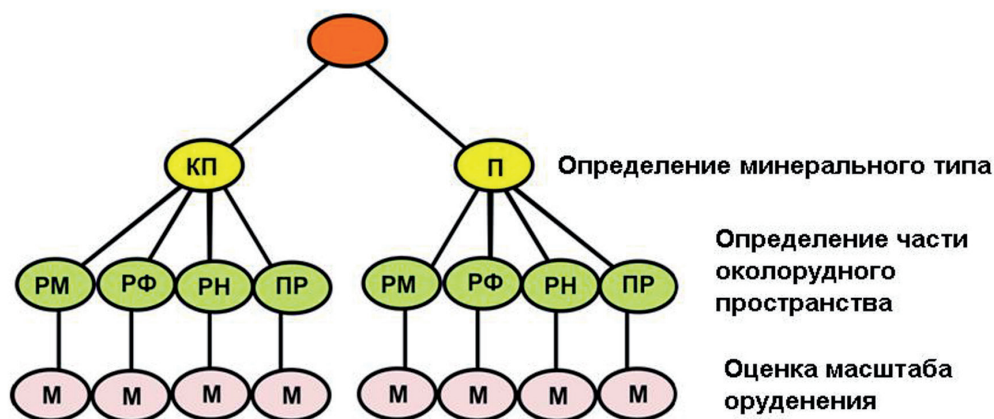


Рис. 1. Дерево решений прогнозных задач для объектов колчеданно-полиметаллического оруденения.

Fig. 1. Decision tree for predicting ore objects of pyrite-polymetallic type.

Логико-информационная модель представляет собой набор информативных признаков с указанием их разделяющих весов и интервалов-индикаторов значений, характеризующих различающие свойства объектов анализируемых групп эталонов.

На основе оценки значимости информативных признаков проведена идентификация эталонных месторождений. Определены их тип, околорудное пространство и масштабность, проведена оценка качества распознавания. Полученные результаты позволяют использовать их в дальнейшем для экспресс-оценки потенциальных месторождений данного типа.

Для решения всех поставленных задач построено 18 ЛИМ (по количеству вершин в дереве решений, рис. 1).

В качестве примера приведена ЛИМ для оценки масштаба по надрудной части полиметаллического оруденения (табл. 1). Приведенными в таблице 1 отрицательными значениями разделяющих весов выделены те признаки, отсутствие которых благоприятно для формирования крупных месторождений (соответствующий интервал-индикатор признака равен 0).

Таблица 1. Логико-информационная модель, определяющая масштаб оруденения по надрудной части околорудного пространства для объектов полиметаллического минерального типа Рудноалтайской минерагенической зоны

Table 1. The logical-information model for determining the scale of mineralization in the supra-ore part of the near-ore space for the objects of polymetallic mineral type of the Rudny Altay mineragenic zone

№ признака п/п	Информативные признаки	Разделяющий вес признака	Интервал-индикатор значения признака
1	Возраст отложений: эйфель 1	0.216	1
2	Возраст отложений: эйфель 2	0.064	1
3	Мощность отложений: более 500 м	-0.104	0
4	Состав пород разреза: известняки, органогенные известняки, мраморы, доломиты	-0.123	0
5	Состав пород разреза: тефроида кислого состава, туфопесчаники	0.123	1
6	Состав пород разреза: туффиты кислого состава	0.086	1
7	Состав пород разреза: туфы кислого состава разнообломочные	-0.077	0
8	Средняя мощность слоев однородного строения: 5-10 м	-0.14	0
9	Средняя мощность слоев однородного строения: более 25 м	-0.15	0
10	Состав пород разреза: туфы, лавы и лавобрекчии среднего состава	-0.11	0
11	Формы проявления интрузивных (внедренных) образований: субпластовые тела, силлы	-0.166	0
12	Ориентировка интрузивных (внедренных) образований: субсогласная	-0.201	0
13	Объем пород горизонта, занятый интрузивными породами: более 40 %	0.054	1
14	Современные структуры: складчатые: антиклиналь, горст-антиклиналь	0.064	1
15	Современные структуры: разрывные нарушения: протяженность до 1 км	-0.155	0
16	Метаморфические и гидротермально-метасоматические изменения: собственно околорудные: кварц-серицитовые	0.091	1
17	Метаморфические и гидротермально-метасоматические изменения: морфология собственно околорудных пород: линзообразная	0.054	1
18	Зоны проявления сульфидной минерализации: вкрапленные прожилково-вкрапленные: галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовые	-0.119	0
19	Зоны проявления сульфидной минерализации: положение по отношению к вмещающим породам: секущее	-0.174	0
20	Зоны проявления сульфидной минерализации: положение по отношению к вмещающим породам: субсогласное	0.054	1
21	Главные элементы геохимических ореолов: цинк ($n \cdot 10^{-3}$): меньше 15	-0.201	0

Чтобы оценить объект с помощью ЛИМ, представленной в таблице 1, надо описать его в указанной системе информативных признаков, найти сумму разделяющих весов тех признаков, для

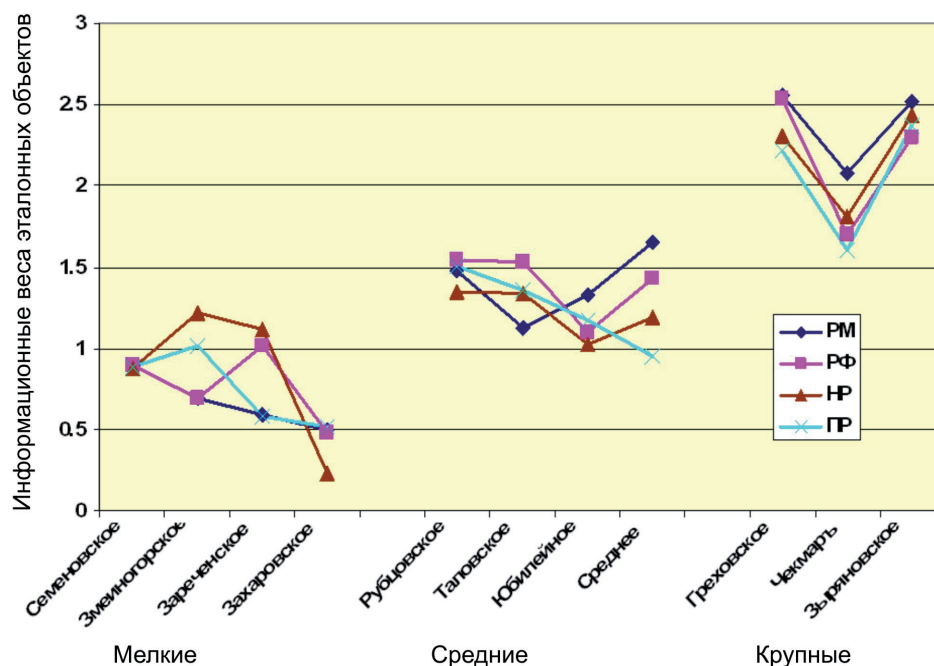


Рис. 2. График информационных весов эталонных объектов полиметаллического типа для оценки масштаба оруденения.

Fig. 2. The diagram of information weights for polymetallic reference deposits to estimate the ore scale.

которых значение совпадает со значением указанного интервала-индикатора, затем сравнить полученную сумму (информационный вес объекта) с информационными весами эталонов, представленных на рисунке 2, определив, в интервал значений какого класса эталонов он попадает.

Например, имея описание надрудной части объекта полиметаллического типа в системе информативных признаков из таблицы 1 (10000011001111101110), складываются веса признаков, у которых есть совпадение со значением интервала-индикатора:

$0.216 + 0.104 + 0.123 + 0.15 + 0.11 + 0.054 + 0.064 + 0.054 + 0.054 + 0.201 = 1.13$, что соответствует мелким или средним месторождениям (см. рис. 2), поскольку изменение информационных весов для мелких месторождений от 0.227 до 1.222, а для средних от 1.023 до 1.348.

Заключение

Таким образом, использование разработанных систем информативных признаков с оценкой их разделяющих способностей (логико-информационных моделей) позволяет быстро и надежно провести оценку новых площадей, перспективных на выявление колчеданно-полиметаллического оруденения.

Представление ЛИМ в табличной форме в формате *.xls позволит автоматизировать процесс поддержки принятия решений по оценке объекта изучения путем расчета значения информационного веса и сравнения его с информационными весами объектов-эталонов.

Благодарности

Автор благодарит к.г.-м.н. В.В. Кузнецова за предоставленный геологический материал для выполнения данной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках темы госзадания ИГЕМ РАН № 121041500227-9.

Литература

5. Индустриев М.А., Игнатьев М.А. Автоматизация управленческих решений как новый фактор повышения эффективности менеджмента организации // Гуманитарный научный журнал. 2020. № 1. С. 68–76. doi: 10.24411/2078-9661-2020-10010.
6. Константинов Р.М. Математические методы количественного прогноза рудоносности. М.: Недра, 1979. 127 с.
7. Кузнецов В.В., Чижова И.А. Опыт разработки и применения интеллектуально-графических компьютерных систем // Руды и металлы. 2021. № 1. С. 26–41. doi: 10.47765/0869-5997-2021-10002.
8. Чижова И.А. Логико-информационное моделирование при прогнозно-металлогеническом анализе перспективных площадей // Современные проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. М.: ИГЕМ РАН, 2010. С. 59–84. ISBN 978-5-88918-019-7.
9. Чижова И.А., Кузнецов В.В. Логико-информационный анализ и экспресс-оценка месторождений на базе их параметрических моделей // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 392–396. doi: 10.31241/FNS.2022.19.071.
10. Тиханычев О.В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решения. М.: Едитус, 2018. 76 с. ISBN 978-5-00058-814-7.