

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.83

А.А. КУЗНЕЦОВ

ФОРМАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МНОЖЕСТВА ПАРАМЕТРОВ

Алгоритм «Циркон»

Изложен алгоритм эвристического способа формальной классификации логических объектов на принципах самообучения. Произведен его краткий анализ эффективности и предложено применение алгоритма при поиске и разведке перспективных на полезные ископаемые площадей.

Наличие эффективного алгоритма классификации может оказаться не только чрезвычайно полезным инструментом и помощником в руках исследователя, но в отдельных случаях позволит придерживаться более независимых взглядов от субъективного мнения других интерпретаторов. Другое немаловажное достоинство такого алгоритма на этапе комплексной интерпретации — существенное уменьшение объема рутинной обработки материалов, особенно когда комплекс заданных параметров исчисляется десятками при объеме массива каждого вида в тысячи единиц и более.

В теории обработки геофизической информации выделен ряд групп методик комплексной интерпретации [2]. По мнению автора, практически все методики, с которыми ему удалось познакомиться, содержат характерные недостатки: 1. Уделено мало внимания физическому обоснованию в постановке математической модели решения задачи. Наблюдалась типичная картина, когда использование мощного и совершенного математического аппарата из-за слабого физического обоснования приводило к весьма не впечатляющему результату. Например, при решении может быть выделен ряд «геологических» объектов, которые никоим образом не могут быть подтверждены. Недостаточно четкое оконтуривание геологических комплексов, когда они превосходно картируются по данным двух—трех методов полевых наблюдений на этапе качественной камеральной обработки. 2. Использование подобных математических теорий (часто громоздких и высокого уровня абстракции) сочетается со значительной трудоемкостью в подготовке программ ЭВМ, которым сложно придать необходимую гибкость в интерактивном режиме и подчас невозможно наделить свойствами адаптации к конкретным условиям решаемых задач.

Автором предложен новый оригинальный способ классификации, который по характеру следует отнести к эвристическим статистическим способам классификации геологических объектов на принципах самообучения, и имеющий как достоинства, так и недостатки.

**Содержание алгоритма «Циркон».** Пусть в некотором геологическом пространстве  $P$  на всей площади выполнено по регулярной сети  $M \times N$  ( $M$  — число профилей,  $N$  — число пикетов) или в  $N$  точках нерегулярной сети измерение  $l$  параметров.

Обозначим  $x_{ijl}$  значение  $l$  параметра ( $l = 1, \dots, L$ ) в  $i$ -ом профиле,  $j$ -ом пикете для регулярной сети или  $x_{il}$  ( $i = 1, \dots, N$ ) для нерегулярной сети.

Произведем нормирование каждого измерения каждого параметра  $l$  по формуле:

$$y_{ijl} = \frac{x_{ijl} - x_{l \min}}{x_{l \max} - x_{l \min}}, \quad (1)$$

где  $x_{ijl}$  — текущее значение  $l$  параметра в  $i, j$  точке;  $x_{l \min}$  — минимальное значение  $l$  параметра;  $x_{l \max}$  — максимальное.

Очевидно, что подобное нормирование универсально: все значения  $y_l$  каждого  $l$ -го параметра будут находиться в интервале  $[0; 1]$  и не зависят от системы и размерности исходных единиц.

Выполним для матрицы  $M \times N$  по всей площади наблюдения в каждой точке вычисление среднего  $F_{Mij}$ ; несмещенной дисперсии  $D_{ij}$ ; асимметрии  $A_{ij}$  и эксцесса  $E_{ij}$  по значениям  $y_{ijl}$  ( $l = 1, K, L$ ) по формулам:

$$F_{Mij} = \frac{\sum_{l=1}^L y_{ijl}}{L}; \quad (2)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{(L-1)} \sum_{l=1}^L (y_{ijl} - F_{Mij})^2; \quad (3)$$

$$A_{ij} = \frac{1}{LD_{ij}^{\frac{3}{2}}} \sum_{l=1}^L (y_{ijl} - F_{Mij})^3; \quad (4)$$

$$E_{ij} = \frac{1}{LD_{ij}^2} \sum_{l=1}^L (y_{ijl} - F_{Mij})^4. \quad (5)$$

Таким образом, по сети наблюдений будет создано четыре массива значений среднего  $F_M$ , дисперсии  $D$ , асимметрии  $A$ , эксцесса  $E$ .

Определим минимальные и максимальные величины каждой статистической характеристики из этих массивов:  $F_{M \min}$ ,  $F_{M \max}$ ,  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ,  $A_{\min}$ ,  $A_{\max}$ ,  $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$ .

Установим число градаций, на которые произведем разбиение этих характеристик:  $K_M$  — среднего;  $K_D$  — дисперсии;  $K_A$  — асимметрии;  $K_E$  — эксцесса.

Таким образом, общее число классов, на которое можно разбить пространство  $P$ , равно произведению всех градаций:

$$K_{\Sigma} = K_M \times K_D \times K_A \times K_E. \quad (6)$$

Вычислим величины единичных интервалов градаций  $k_M$ ,  $k_D$ ,  $k_A$ ,  $k_E$  по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_M &= \frac{F_{M \max} - F_{M \min}}{K_M} \\ \Delta_D &= \frac{D_{\max} - D_{\min}}{K_D} \\ \Delta_A &= \frac{A_{\max} - A_{\min}}{K_A} \\ \Delta_E &= \frac{E_{\max} - E_{\min}}{K_E} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Определим к какой градации относится каждое значение  $F_{Mij}$ ,  $D_{ij}$ ,  $A_{ij}$ ,  $E_{ij}$  сети наблюдений:

$$\left. \begin{aligned} F_{Mij} &\in \{F_{M \min} + (k_M - 1) \times \Delta_M; F_{M \min} + k_M \times \Delta_M\}, k_M = 1, \dots, K_M \\ D_{ij} &\in \{D_{\min} + (k_D - 1) \times \Delta_D; D_{\min} + k_D \times \Delta_D\}, k_D = 1, \dots, K_D \\ A_{ij} &\in \{A_{\min} + (k_A - 1) \times \Delta_A; A_{\min} + k_A \times \Delta_A\}, k_A = 1, \dots, K_A \\ E_{ij} &\in \{E_{\min} + (k_E - 1) \times \Delta_E; E_{\min} + k_E \times \Delta_E\}, k_E = 1, \dots, K_E \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Мы получим для каждой  $i, j$  точки наблюдения значения градаций ее статистических характеристик  $\{k_M, k_D, k_A, k_E\}$ . Ввиду того, что количество разнородных геологических объектов на картируемых площадях редко превышает несколько десятков, величины  $K_M, K_D, K_A, K_E$  могут равняться нескольким единицам. Например, если  $K_M = K_D = K_A = K_E = 2$ , то общее количество классов, на которые можно разбить пространство  $P$ , равно 16.

При практической обработке комплекса параметров следует придерживаться рекомендаций: производить градацию не менее трех статистических характеристик с выбором наиболее точно решающих конкретную задачу геологической классификации; количество классов, по которым планируется выделять геологические объекты, не должно превышать на 3 число предположительно реально существующих объектов на данной территории.

Если предварительно определить для каждой градации  $\{k_M, k_D, k_A, k_E\}$  из ряда  $1; K_{\Sigma}$  некоторый цифровой, буквенный, цветовой или графический символ, можно выполнить необходимую нам визуализацию результатов формальной классификации пространства  $P$  на  $K_p \leq K_{\Sigma}$  классов. Автором создан алгоритм, производящий последовательное распределение картографических символов. Например, для градации  $k_M = 2; k_D = k_A = k_E = 1$  будет присвоен цифровой код «1» или фиолетовый цвет, для  $k_M = 1; k_D = 2; k_A = k_E = 1$  — код «2» или синий цвет, для  $k_M = 1; k_D = k_A = k_E = 2$  — код «15» или оранжевый цвет, для  $k_M = k_D = k_A = k_E = 2$  — код «16» или красный цвет.

Реализацией алгоритма «Циркон» стала программа, написанная автором, с помощью которой произведена обработка комплекса 11 параметров модельного примера. Сеть наблюдений представляет из себя профиль с 40 точками наблюдений. В состав комплекса включены такие геофизические параметры, как  $\Delta g, \Delta T, \rho_K, \eta_K, E_{II}$  и др., из геохимических — содержания  $U, Th, K$  (в %). Результаты расчета по данной программе представлены на рисунке.

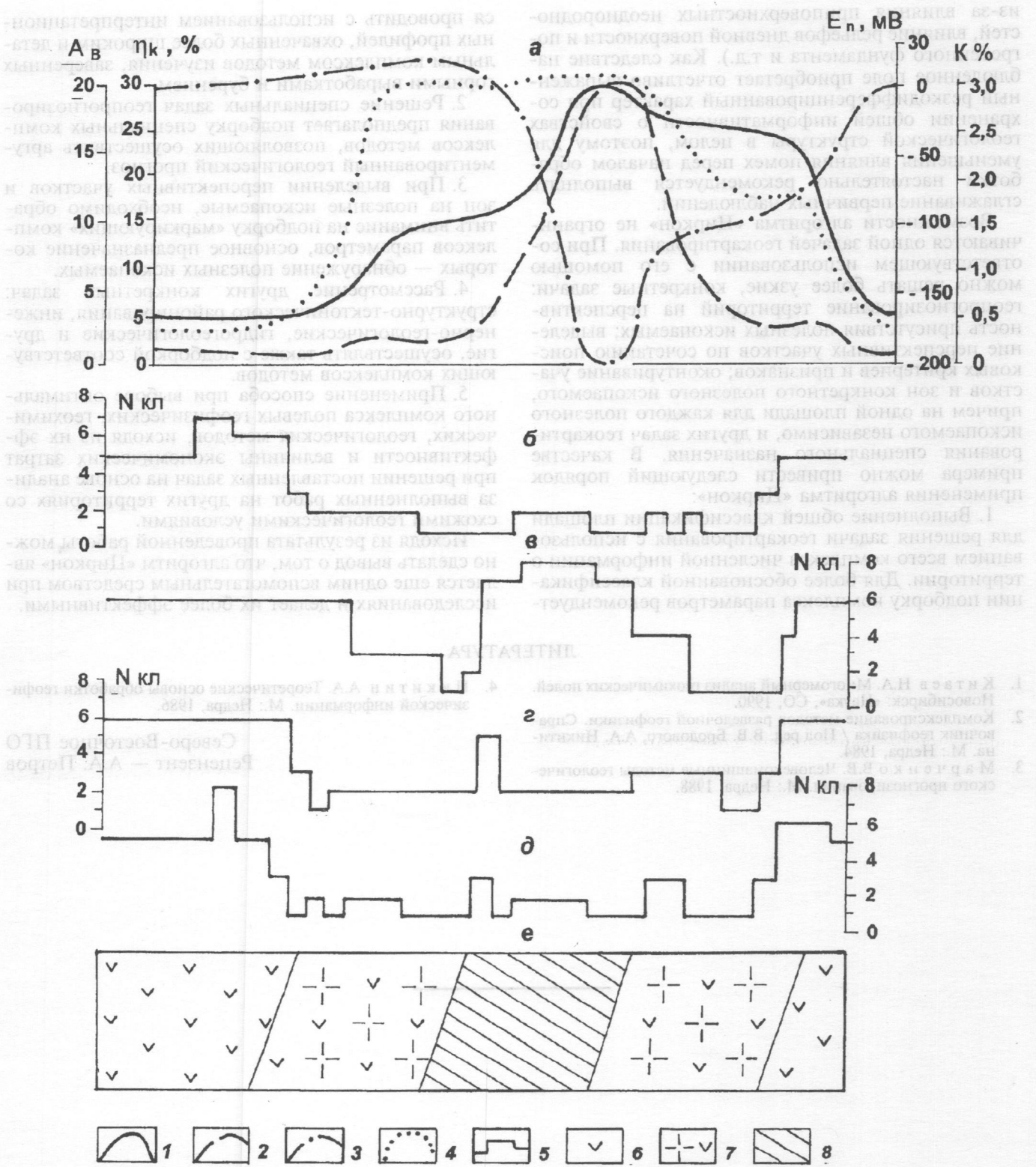
По выполненным численным экспериментам можно сделать некоторые рекомендации и выводы о свойствах алгоритма «Циркон». В структуре алгоритма используется математический аппарат, однозначно связанный с первичным фактическим материалом, что предоставляет возможность с большой достоверностью картировать геологические объекты.

Ценное достоинство алгоритма — возможность высокого уровня автоматизации, при которой задача классификации исследуемого пространства может быть решена без выполнения каких-либо дополнительных промежуточных работ интерпретатором по цепочке: физическое измерение → вычислительный процесс → результат классификации.

При соответствующем программировании способ отличаются высоким быстродействием и гибкостью при обработке материалов в интерактивном режиме, что позволяет интерпретатору в кратчайшее время рассматривать множество вариантов и наиболее эффективно применять комплексные данные для решения задач геокартирования, геологического прогнозирования, выделения перспективных участков и др.

Недостатком способа является его высокая чувствительность к вариациям в исходных первичных данных, так как геологические объекты очень часто имеют сложное гетерогенное строение, что находит отражение в характере геолого-геофизических параметров, и в результате обработки возможно ожидать чрезвычайно пеструю картину классификации исследуемого пространства. Устранить этот недостаток может искусство интерпретатора при выборе используемого комплекса параметров, разбиение на классы.

Особо следует подчеркнуть, что очень часто измеренные параметры осложнены различного рода помехами (плохие физические условия измерений



Результат классификации по алгоритму «Циркон» на примере экспериментальной физико-геологической модели; а — кривые физических параметров: 1 — кажущаяся поляризуемость  $\eta_k$ ; 2 — вызванная электрохимическая активность  $A_B$ ; 3 — естественная поляризация  $E_{II}$ ; 4 — содержание K, в %; 5 — кривые классификации: б — по 11 параметрам, основной картировочный комплекс:  $\Delta g, \Delta T, \rho_k, \eta_k, E_{II}, A_B, V_p, U, Th, Th/U, K; K_M = 2, K_D = 2, K_A = 1, K_E = 2$ ; в — по 7 параметрам, поисковый комплекс:  $\Delta T, \rho_k, \eta_k, E_{II}, A_B, K; K_M = 1, K_D = 2, K_A = 2, K_E = 2$ ; г — по 5 параметрам, поисковый комплекс:  $\Delta T, \rho_k, \eta_k, E_{II}, U, Th, K; K_M = 1, K_D = 2, K_A = 2, K_E = 2$ ; д — по 7 параметрам, картировочный комплекс:  $\Delta T, \rho_k, \eta_k, E_{II}, U, Th, K; K_M = 1, K_D = 2, K_A = 2, K_E = 2$ ; е — разрез физико-геологической модели: б — диориты, 7 — гранодиориты, 8 — скарны

из-за влияния приповерхностных неоднородностей, влияние рельефов дневной поверхности и погребенного фундамента и т.д.). Как следствие наблюденное поле приобретает отчетливо выраженный резкодифференцированный характер при сохранении общей информативности о свойствах геологической структуры в целом, поэтому для уменьшения влияния помех перед началом обработки настоятельно рекомендуется выполнять сглаживание первичных наблюдений.

Возможности алгоритма «Циркон» не ограничиваются одной задачей геокартирования. При соответствующем использовании с его помощью можно решать более узкие, конкретные задачи: геопрогнозирование территорий на перспективность присутствия полезных ископаемых; выделение перспективных участков по сочетанию поисковых критериев и признаков; оконтуривание участков и зон конкретного полезного ископаемого, причем на одной площади для каждого полезного ископаемого независимо, и других задач геокартирования специального назначения. В качестве примера можно привести следующий порядок применения алгоритма «Циркон»:

1. Выполнение общей классификации площади для решения задачи геокартирования с использованием всего комплекса численной информации о территории. Для более обоснованной классификации подборку комплекса параметров рекомендует-

ся проводить с использованием интерпретационных профилей, охваченных более широким и детальным комплексом методов изучения, заверенных горными выработками и бурением.

2. Решение специальных задач геопрогнозирования предполагает подборку специальных комплексов методов, позволяющих осуществить аргументированный геологический прогноз.

3. При выделении перспективных участков и зон на полезные ископаемые, необходимо обратить внимание на подборку «маркирующих» комплексов параметров, основное предназначение которых — обнаружение полезных ископаемых.

4. Рассмотрение других конкретных задач: структурно-тектонического районирования, инженерно-геологические, гидрогеологические и другие, осуществлять также с подборкой соответствующих комплексов методов.

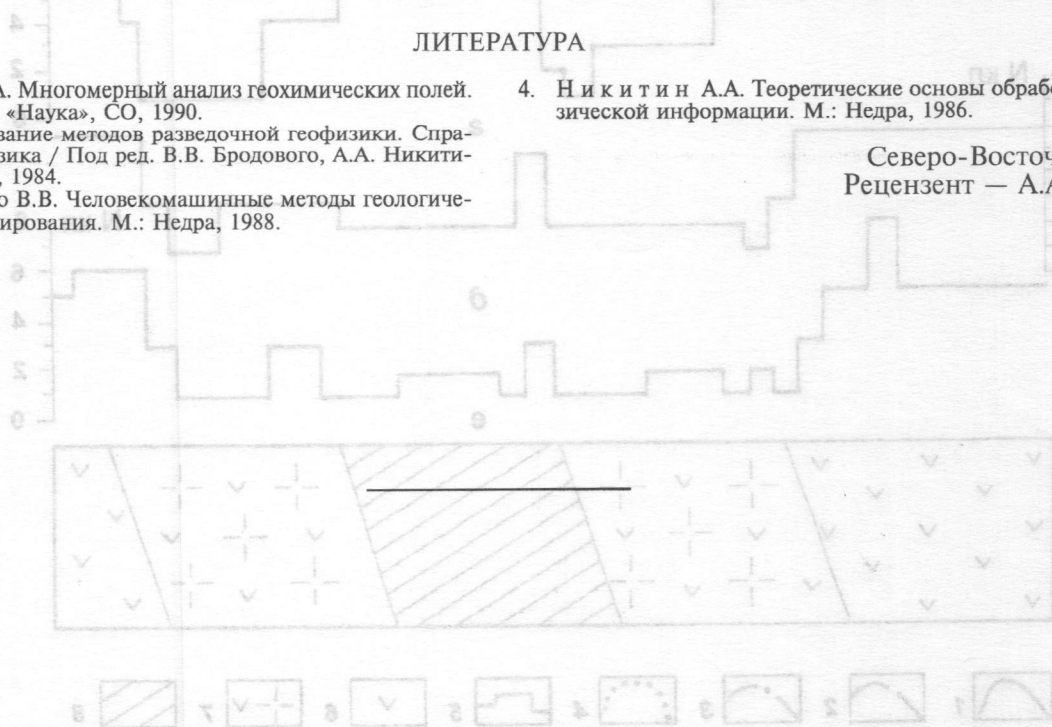
5. Применение способа при выборе оптимального комплекса полевых геофизических, геохимических, геологических методов, исходя из их эффективности и величины экономических затрат при решении поставленных задач на основе анализа выполненных работ на других территориях со схожими геологическими условиями.

Исходя из результата проведенной работы, можно сделать вывод о том, что алгоритм «Циркон» является еще одним вспомогательным средством при исследованиях и делает их более эффективными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев Н.А. Многомерный анализ геохимических полей. Новосибирск: «Наука», СО, 1990.
2. Комплексование методов разведочной геофизики. Справочник геофизика / Под ред. В.В. Бродового, А.А. Никитина. М.: Недра, 1984.
3. Марченко В.В. Человеческие методы геологического прогнозирования. М.: Недра, 1988.
4. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. М.: Недра, 1986.

Северо-Восточное ПГО  
Рецензент — А.А. Петров



Тестирование алгоритма «Циркон» на примере разрезов геологической структуры...  
 1 — как правило, полевые геофизические методы; 2 — выделение перспективных участков; 3 — выделение зон; 4 — оконтуривание; 5 — выделение зон; 6 — выделение зон; 7 — выделение зон; 8 — выделение зон.