



Рис. 3. Отображение девонских рифогенных массивов по данным гравитационного поля, трансформированного в системе «VECTOR».

и Ростовицкий, расположенные в Соликамской депрессии Предуральяского прогиба. На рис.3 приведены вертикальные сечения трехмерной диаграммы, где Осокинский массив выделяется четкой положительной аномалией. Аналогичным образом на трехмерной диаграмме выделяется и расположенный к югу Ростовицкий массив.

Система широко применяется также для изучения объектов нефтяной, соледобывающей промышленности и при решении инженерно-геологических и экологических задач.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 04-05-96074

1. Новоселицкий В. М., Чадаев М. С., Маргулис А. С. Градиентный способ измерения силы тяжести. М. 1986. Деп. в ВИЭМС 21.07.86, № 294-мг. 23 с.

2. Новоселицкий В. М., Чадаев М. С., Погадаев С. В., Кутин В. А. Метод векторного сканирования // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Межвуз. сб. науч. тр. Пермь. ПГУ. 1998. С. 54-59.

3. Новоселицкий В. М., Простолупов Г. В. Векторная обработка гравиметрических наблюдений с целью обнаружения и локализации источников аномалий // Геофизика и математика. М. ИОФЗ РАН. 1999. С. 104-107.

4. Новоселицкий В. М., Бычков С. Г. Эволюция гравиразведки в Пермском Прикамье // Геофизика. 2000. С. 115-120.

5. Новоселицкий В. М., Мартышко П. С., Бычков С. Г., Щербинина Г. П., Простолупов Г. В. Математические и геологические проблемы в системе «VECTOR» // Геофизика и математика. Материалы второй Всероссийской конференции. Пермь. 2001. С. 240-247.

Ю. Р. Васильев, А. Н. Дмитриев

ИГ ОИГГМ СО РАН, Новосибирск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ Cu-Ni-Pt ОРУДЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ТАО

Yu. R. Vasiliev, A. N. Dmitriev

IG UIGGM of RAS Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

AN APPLICATION OF LOGIC-MATHEMATICAL METHODS FOR FORECASTING OF Cu-Ni-Pt MINERALIZATION IN TAIMYR AUTONOMOUS AREA

К настоящему времени по дифференцированным трапповым интрузивам ТАО, которые потенциально перспективны на выявление крупных скоплений сульфидных Cu-Ni и Pt руд, на-

коплен огромный фактический материал, представляющий собой информацию разного уровня. Применение развиваемых нами логико-математических методов для обработки этой информации позволит глубоко и объективно провести прогнозную оценку этих объектов на территории ТАО.

We compile a huge volume of various materials on differentiated trap intrusions of Taimyr autonomous region, which are potentially perspective for discovery of large Cu-Ni-sulfide and Pt ore deposits. An application of our original logic-mathematical methods for processing of this information allows proceeding of deep forecasting of geological objects in Taimyr autonomous region more precisely without significant economic outlays.

Для территории ТАО уже давно эмпирически установлена связь сульфидного медно-никелевого оруденения и платиноидов с дифференцированными трапсовыми интрузивами, обладающими определенной общностью признаков: высокой степенью дифференцированности, присутствием в строении тел пикритовых и такситовых габбро-долеритов, а также эндо- и экзоскарпов и т.д. Но эти же признаки характерны и для нерудных интрузивов. Поэтому определяющим прямым поисковым критерием всегда было наличие в породах сульфидного оруденения (вкрапленного или прожилково-вкрапленного), что являлось решающим фактором для постановки разведочных работ. Также хорошо известно, что в подобных расслоенных интрузивах оруденение может быть незначительным или практически отсутствовать. Поэтому при поисках месторождений норильского (талнахского) типа всегда остро стояла проблема поисковых критериев (геологических, петрохимических, геохимических и др.) и оценки степени их значимости.

Большой диапазон косвенных признаков, фиксируемых при геологических исследованиях, обуславливает появление обширной разнообразной информации, перспективная и качественная переработка которой возможна только с помощью современных ЭВМ и математических методов. Поскольку основной объем геологической информации имеет главным образом логико-описательный характер, для его обработки могут быть применены логико-математические методы, развивающиеся в последнее время для решения широкого круга геологических задач. В основе этих методов лежит как детерминистский подход, заключающийся в том, что заранее установлены или предполагаются (по единичным наблюдениям и указаниям) причинно-следственные связи между явлениями, так и вероятностный, учитывающий неполноту информации о характере установленных связей между последующими геологическими событиями. В процессе поисков, разведки и эксплуатации наиболее разнообразная и обширная информация накапливается, вполне естественно, по промышленным месторождениям, последовательно убывая для объектов, рудоносность которых считается менее перспективной или не представляет практического интереса. Эти промышленные месторождения, в данном случае - Норильск-1 и Талнах, принимаются за эталоны, с которыми сопоставляются все другие объекты, охарактеризованные одним и тем же пространством признаков.

Проведенный нами ранее [6] анализ информации различного уровня по дифференцированным трапсовым интрузивам севера Сибирской платформы позволил выделить 39 признаков, характеризующих геолого-тектоническую обстановку расположения интрузивного тела, характер его внутреннего строения, особенности петрохимии и минералогии.

На этом этапе логико-математическими методами решалась задача разделения интрузивных тел на перспективные, малоперспективные и неперспективные. Информация одного уровня была собрана для 62 интрузивных тел севера Сибирской платформы, в том числе для территории ТАО. Информация кодировалась в бинарной системе и сводилась в таблицы решения. Полученные результаты позволили нам выделить группу перспективных объектов, к которым отнесены не только хорошо известные массивы (Норильск-2, гора Черная, Иманджинская и др.), но и такие области как Ханарская и Пясинско-Вологодчанская. Заслуживают внимания и дальнейшего изучения, как объекты «второго эшелона» интрузивы Накохоз, Мантуровский, Макус, Кулюмбинский, Верхне-Кунтыкахский, Средне-Чангадинский и др. Понятно, что отнесение этих массивов к перспективной и малоперспективной группам, несомненно, зависит от полноты и качества исходной информации к началу этих работ.

На втором этапе (в 80–90 годы), используя модифицированный вариант метода, была проведена прогнозная оценка перспективности на сульфидное Cu-Ni и Pt оруденение норильского типа дифференцированных трапповых интрузивных тел Средне-Енисейской провинции, располагающейся в правобережной приенисейской полосе между устьями рек Подкаменная Тунгуска и Курейка. Информация одного уровня была собрана по 15 дифференцированным трапповым интрузивам этой провинции. Объекты были сопоставлены с эталонными интрузивами (Норильск-1, Талнах), охарактеризованными тем же пространством признаков. Применяя различные методы и подходы в решении поставленной задачи, среди этих интрузивных тел удалось выделить три (Тынепский, Хурингдинский, Среднебахтинский), которые оцениваются как максимально перспективные на присутствие крупных скоплений Cu-Ni-Pt руд норильского типа. Территориальная близость этих трех перспективных массивов, расположенных в среднем течении р.Бахта, позволяет говорить о наличии здесь рудного узла [2].

Учитывая высокую степень изученности на территории ТАО эталонных объектов (Норильск-1, Талнах) и многих др. интрузивных тел, а также накопленный нами опыт по исследованию этих массивов и развитию логико-математических методов, мы считаем, что применение модифицированного варианта этого метода к объектам на территории ТАО может дать новые практические результаты при весьма низких экономических затратах. При этом можно расширить пространство признаков за счет геохимических данных, что позволит выявить более глубокие связи между вещественным составом пород, слагающих интрузивные тела, и ассоциирующим с ними оруденением.

Основные положения метода логико-математической обработки информации сводятся к следующему.

В задаче прогнозирования рудоносности дифференцированных трапповых интрузий на ранних этапах исследований применялись логико-дискретные методы анализа исходных данных [3]. В дальнейшем были выдвинуты, развиты и применены методы, основанные на итерационном подходе. По мере усложнения постановок задач и роста объема исходных количественных и логических переменных потребовались существенные и трудоемкие модификации названных методов [4].

Результатом этих модификаций стали алгоритм-программные комплексы по методу согласованных оценок и целевой итерационной классификации [1]. Эти методы решения конкретных прогнозно-поисковых задач нацелены на детальный анализ исходных геологических данных, выраженных в виде таблиц. В таблицах строки представлены объектами исследований ($Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_m$, где m – число объектов), а столбцы матрицы обозначают признаки объектов ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, где n – число признаков). Объем таблиц, допускаемых к решению по разработанным методам, практически охватывает объем информации по конкретным задачам. Зачастую эти объемы вкладываются в объемы $m \times n = 100 \times 100$.

Методы обработки данных, основанные на итерационных процедурах, разработаны для решения геологических задач, для которых важен учет значений целевого признака и, при необходимости, для получения результатов при работе с большими массивами данных.

Метод согласованных оценок (МСО) [5] является основополагающим среди разработанных методов и впервые описан (как алгоритм «качели») в указанной работе. Он прямо вытекает из теоремы о сингулярном разложении Эккарта–Янга и является существенным дополнением к методу главных компонент. Для итерационного подхода характерно, что его алгоритмы позволяют устанавливать числовую пару для столбцов и строк таблиц данных. Кроме того они отличаются малой трудоемкостью и не требуют жестких ограничений на характер таблиц.

Методы подхода – «качели», «цикл» и «каскад» – образуют эффективную систему алгоритмов для решения задач таксономии, распознавания, упорядочения и минимизации признаков.

Метод целевой итерационной классификации [1, 4] предназначен для решения задач автоматической классификации и распознавания. Включая в себя решение задачи «обучения», он позволяет:

- осуществить выбор информативной системы признаков, характеризующих объекты в соответствии с указанными значениями целевого признака для множества объектов-эталонов;

- принимать решение о значениях целевого признака для объектов-проб на основе выделенной на первом шаге решения информативной системы признаков.

В целом метод характеризуется нежесткими требованиями к исходным данным (в частности, допускаются качественные и количественные признаки с пропусками («-») значений на некоторых объектах), а также возможностью обработки больших таблиц за приемлемое время за счет отказа от перебора сочетаний признаков (при выборе информативной системы). В методе также явно учитывается *целевой признак*. Последовательность вычислений состоит из шести операций, которые обеспечивают получение количественных оценок исследуемых объектов (в данном случае дифференцированных трапповых интрузивов). В задаче «обучения» эти оценки устанавливаются на основе операций сравнения между собой эталонных объектов либо попарно, либо на основе сопоставления эталонов с так называемым «идеальным объектом». Как подразделение на этапы, так и общие результаты решения соответствуют основной блок-схеме решения задачи и этапам ее становления.

В целом, общее членение конкретных процедур реализации поставленной цели исследования подчинено требованиям создания надежных средств логико-математической обработки геолого-геофизических данных и детальной проработки геологической постановки задачи.

Алгоритм-программное обеспечение процесса решения задачи связывается с адаптацией существующих алгоритмов и программ и разработкой недостающих звеньев в алгоритмическом комплексе. Детальная проработка постановки геологической задачи, как первого этапа целевых исследований связывается с возможностями информационного обеспечения и с поиском эффективного указания цели в работе с информационным массивом.

Общие результаты решения намечаются в направлениях:

- детального сравнительного изучения совокупности исследуемых интрузивов;
- поиска эффективного (для прогноза) комплекса характеристических признаков из их общего набора;

- построения «мягкой» (подчиняющейся адаптации) признаковой модели исследуемых объектов;

- построения модели «идеального объекта» для каждого из исследуемых классов;

- коллективной и индивидуальной оценки каждого признака на свойства отождествлять и различать исследуемые объекты.

Основным моментом результативности итерационного подхода является последовательность вычислительных операций, приводящая к количественной прогнозной оценке исследуемого дифференцированного интрузива на базе выявления закономерности масштаба запасов по обучающей выборке эталонов.

Следует отметить, что предлагаемый метод может быть легко адаптирован к задачам прогнозных оценок др. полезных ископаемых. Для этого нужно иметь хорошо изученный объект (эталон) и необходимый, но достаточный объем информации по другим объектам.

Таким образом, мы считаем, что, используя наши разработки логико-математических методов обработки информации, многолетний практический опыт по изучению дифференцированных трапповых интрузивов и имеющийся в нашем распоряжении фактический материал, а также новые данные по аналогичным объектам ТАО, следует дать им более глубокую прогнозную оценку на сульфидное Cu-Ni и Pt оруденение норильского типа, что возможно при весьма незначительных финансовых затратах и в сжатые сроки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-05-64322.

1. Бишаев А. А. Метод «целевая итерационная классификация» // Логико-математическая обработка геологической информации. Новосибирск. ИГиГ СО АН СССР, 1976. С. 70-92.
2. Васильев Ю. Р., Дмитриев А. И., Золотухин В. В., Неволин В. А. Дифференцированные трапповые интрузивы междуречья Курейки–Подкаменной Тунгуски и логико-математический прогноз их медно-никелевой рудоносности. Новосибирск. НГУ, 2003. С. 142.
3. Васильев Ю. Р., Дмитриев А. И., Золотухин В. В. Оценка существенности основных признаков дифференцированных трапповых интрузий с медно-никелевым оруденением логико-математическими средствами анализа для поисковых целей // Состояние и направление исследований по металлогении траппов. Красноярск, 1974. С. 115-117.
4. Вышемирский В. С., Дмитриев А. И., Бишаев А. А., Золотухин В. В., Кандыба В. Н. Количественные прогнозы запасов и дебитов месторождений нефти платформенного типа // Результаты работ по Межведомственной региональной научной программе «Поиск». Новосибирск, 1995. С. 40-44.
5. Метод согласованных оценок // Дмитриев А. И., Макаров С. В., Смертин Е. А. и др. Новосибирск. ИГиГ СО АН СССР, 1982. С. 133.
6. Петрология и перспективы рудоносности траппов севера Сибирской платформы. Н. Наука СО. 1978. С. 216.

В. А. Верниковский

ИГ ОИГГМ СО РАН, Новосибирск, Россия

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТАЙМЫРА И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

V. A. Vernikovskiy

IG UIGGM of RAS Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

TECTONIC EVOLUTION OF TAIMYR AND MAIN STAGES OF ORE MINERAL FORMATION

Рассмотрено тектоническое строение неопротерозойского Центрально-Таймырского аккреционного пояса, позднепалеозойского Карского орогенного пояса (Северный Таймыр) и палеозойско-раннемезозойского Южно-Таймырского пояса. Представлены новые результаты геохронологических исследований (U-Pb-Th, Sm-Nd, Ar-Ar) ключевых магматических комплексов региона, а также палеомагнитные данные, позволяющие выполнять более корректные палеогеодинамические реконструкции. На основании анализа геологического строения региона и его тектонической эволюции выделены основные этапы формирования рудных полезных ископаемых.

The paper considers the geological structure of the Neo-Proterozoic Central-Taimyr accretionary belt, the Late Paleozoic Kara orogenic belt (northern Taimyr), and the Paleozoic-Early Mesozoic South-Taimyr belt. The new geochronological data (U-Pb-Th, Sm-Nd, Ar-Ar) of the key magmatic complexes, and paleomagnetic data that allow to carry out the reliable paleogeodynamic reconstructions are presented. The main stages of ore mineral formation are defined by analyzing the geological structure of the region and its tectonic evolution.

Таймырский складчатый пояс прослеживается вдоль Карского моря почти на 1000 км и занимает ключевую позицию среди главных структур Арктики. Его южная граница погружается под мезокайнозойский чехол Енисей-Хатангского прогиба, а северная часть складчатого пояса обнажается на островах Северной Земли и многих др. островах в Карском