

УДК 004.942, 553.041, 553.41, 553.43

РЕШЕНИЕ ГЕОЛОГО-ПРОГНОЗНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ БАЗЫ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ О ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКАХ ЭТАЛОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Кирпичева Елена Юрьевна¹

¹Кандидат технических наук, доцент Института системного анализа и управления;

ГОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;

141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;

e-mail: kirphel@mail.ru.

Данная статья посвящена одному из актуальных направлений развития геоинформационных технологий для решения задач недропользования — созданию в среде ГИС интерактивной технологии, сочетающей экспертные знания по хорошо изученным разномасштабным металлогеническим таксонам, со знаниями и представлениями о задаче конкретного пользователя, с целью создания унифицированной технологии формирования и формализации геолого-прогнозной модели, не противоречащей общей схеме проведения прогнозно-оценочных работ.

Ключевые слова: ГИС в геологии, компьютерный прогноз полезных ископаемых, база экспертных геологических знаний, выделение перспективных площадей, оценка прогнозных ресурсов, цветные и благородные металлы.

SOLVING THE GEO-PREDICTION PROBLEMS ON THE BASIS OF BANK OF EXPERT KNOWLEDGE ABOUT OF SEARCH FEATURES OF STANDARD OBJECTS

Kirpicheva Elena Yur'evna¹

¹ PhD, docent of Institute of system analysis and management;

International university of the nature, society and man «Dubna», Institute of system analysis and management;

141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;

e-mail: kirphel@mail.ru.

Given article is devoted to one of the actual tendencies of the development of geoinformational technologies for geological task solving — to work out an interactive GIS based technology, which combines expert knowledge on well known different-scale metallogenic taxons with the knowledge of the concrete user's task.

Keywords: GIS in geology, the computer forecast of minerals, the base of expert geological knowledge, outlining promising areas, estimating prediction resources, noble and non-ferrous metals.

Наращивание объемов и совершенствование структуры минерально-сырьевой базы является актуальной задачей стимулирования экономического развития любой страны. В последние годы наблюдается резкое несоответствие между темпами разработки различных месторождений и приростом их прогнозных ресурсов и запасов. Одним из путей решения этой проблемы является использование современных методов и программных средств геоинформатики для повышения эффективности прогнозно-оценочных работ и геолого-экономической оценки рудных объектов различных системных уровней.

На сегодняшний день математическая теория сложных систем только развивается и на практике системный анализ сводится к тому, что оптимизируются отдельные звенья общей системы. Главной причиной отсутствия интегрированного системного подхода к разработке компьютерных технологий и систем заключается главным образом в слабоформализованности исходных данных. Отсутствие автоматизированного этапа построения и формализации модели является слабым звеном всех современных информационных систем [6].

В настоящее время строгие методы интегрированного системного анализа геоинформации отсутствуют и разработка таких методов — одна из задач геоинформатики. Основная проблема здесь — в умении из интегрированных разноуровневых и разнородных геоданных извлечь новую информацию об изучаемых объектах и процессах [4]. Место и основная роль геоинформационных систем (ГИС) в геологических исследованиях определяется как интеграция, анализ и комплексная интерпретация разнотипных данных, разработка прогнозов, моделирование и планирование дальнейших действий, представление результатов в терминах целевого геологического свойства и в картографической форме [5].

Геоинформационные системы сегодня используются в производственном режиме в процессе геологосъемочных работ, при обработке геологических, геофизических и геохимических данных, в ходе изучения перспективных участков недр и представляют сложный синтез геоинформационных (GeoGraph, ArcInfo, ArcView, MapInfo), экспертных (Генезис, Россыпь, Геокомпас и др.), гибридных (Парк, Интегро, SynArc) технологий, различных графических и текстовых редакторов, векторизаторов и вьюеров, а также систем, предназначенных для решения специализированных геологических задач (Пангея, Коскад, ПСМ, Квантиль-1, Datamine, GoldDigger и др.).

Задачи прогноза полезных ископаемых, оценки их прогнозных ресурсов и подсчета запасов выделяются из общего списка задач. Во-первых, это наиболее актуальные задачи для отрасли, во-вторых, решение их связано с обработкой широкого спектра информации, в том числе и картографической, сложностью и неоднозначностью построения и интерпретации геолого-прогнозной модели объекта исследования, многокритериальностью и др.

Для решения таких задач актуальным является развитие гибридных ГИС, представляющих собой синтез геоинформационных и экспертных систем (ГИЭС). Доказанная практикой возможность включения интеллектуальных подсистем в структуру ГИС придает им новое качество — способность интерпретировать пространственные данные, т.е. осуществлять переход из исходной системы понятий в систему понятий, выражаемых в терминах целевого свойства.

Общие требования к гибридным ГИС-технологиям: обеспечение ввода, контроля, хранения и отображения геологических данных; преобразование, синтез, анализ и интерпретация координатно-привязанных данных; моделирование и распознавание природных объектов; прогноз картографируемых ситуаций, в том числе полезных ископаемых. При этом исходной информацией являются всевозможные карты качественных и количественных характеристик территории, схемы дешифрирования и интерпретации геофизических данных, цифровые массивы данных геофизических и геохимических съемок, аэро- и космоснимки, фотографии и текстовые описания объектов. Таким образом, ГИЭС обладают характерными для инструментальных ГИС возможностями оперирования пространственными данными, а также имеют средства решения собственно геологических задач по комплексу разнородных данных в сочетании с экспертными знаниями специалистов.

Анализ ГИЭС, специализированных на решение задач геологического прогнозирования, которые были рассмотрены с позиций их функциональности, степени открытости, требований к аппаратному обеспечению показал, что эти системы на сегодняшний день не обеспечивают эффективную автома-

тизацию постановки и решения геолого-прогнозных задач. Отечественная ГИС ИНТЕГРО суммирует плюсы описанных систем и к тому же дополнительно имеет программные блоки обработки, анализа данных и решения специализированных задач, в том числе и задач прогнозирования.

Методика постановки и решения геолого-прогнозных задач на основе базы экспертных знаний об эталонных объектах

Формирование геолого-прогнозной модели является наиболее наукоемким и трудоемким этапом в схеме постановки задач геологического прогнозирования, поскольку описание предметной области слабоформализованно, а методы прогнозирования в основном построены на принципе аналогии объекта исследования с эталоном. Одним из путей формирования модели является структурирование геоинформации на основе детального анализа и агрегирования геологической и формальной баз знаний об эталонных объектах.

Способом агрегирования геологических знаний является разработка банка моделей изученных разноранговых металлогенических объектов, описанных множеством поисковых признаков. На сегодняшний день совместно специалистами двух институтов ЦНИГРИ (г. Москва) и ВНИИгеосистем (г. Москва) разработан и реализован банк эталонных объектов цветных и благородных металлов [1]. Данный банк представляет собой интеграцию знаний и наработок целого поколения ведущих геологов России, поэтому является несомненно уникальным научным наследием, использование, модификация и развитие которого является актуальной задачей следующих поколений. На основе данного банка была построена новая методика и технология прогнозирования рудных объектов с количественной оценкой их прогнозных ресурсов в ГИС ИНТЕГРО.

Основными этапами формулирования и формализации геолого-прогнозной модели объекта поиска на основе банка эталонных объектов являются:

- формирование комплексной эталонной модели;
- формулирование геолого-прогнозной модели объекта поиска;
- формализация геолого-прогнозной модели объекта поиска.

Сформулируем критерии выбора эталонных объектов банка моделей для формирования эталонной модели:

- масштабный уровень исследований;
- геолого-промышленный тип;
- физико-географическая обстановка.

Методика формулирования геолого-прогнозной модели основывается на главном методологическом принципе геологического прогнозирования — принципе аналогии. Формулирование модели заключается в определении соответствия эталонной модели объекту поиска, т.е. описание поисковых признаков комплексной эталонной модели в терминах легенды карты исследуемой территории [1, 2, 3].

Формализация модели заключается в выборе способов определения числовых характеристик поисковых признаков и получении цифровой модели данных — таблицы объекты-свойства (ТОС). Объектом привязки цифровой информации является квадратная ячейка территории, размер которой устанавливается равным половине минимального значения поперечного сечения объектов банка моделей (ОБМ), используемых при формировании комплексной эталонной модели, что обеспечивает «непропуск» перспективных ячеек. Обычно размер ячейки изменяется от 2 мм до 10 мм в масштабе карты. Ячейка анализируемой территории описывается набором качественных, количественных или ранговых значений, характеризующих проявление выбранных признаков.

Предложенная методика формулирования и формализации геолого-прогнозной модели на основе базы экспертных геологических знаний об эталонных объектах, заключающаяся в определении прогнозно-поисковых признаков в терминах легенды карты исследуемой территории и выборе способов расчета их числовых характеристик, обосновывает признаковое пространство для эффективного решения задачи автоматизированного прогноза разноранговых металлогенических объектов.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет геологу снизить трудоемкость процесса формирования геолого-прогнозной модели. В то же время решение задачи не базируется на экспертных геологических воззрениях конкретного геолога.

В основу методики оценки прогнозных ресурсов положен общепринятый в геологии принцип аналогий через продуктивность с введением понижающего коэффициента. Суть его состоит в том, что ресурсы перспективных участков определяются пропорциональными ресурсам эталонных объектов. При этом коэффициент пропорциональности определяется понижающим коэффициентом K , который в общем случае устанавливается равным 0,5 [7]:

$$R = K \cdot \frac{R_s}{S_s} \cdot S, \quad (1)$$

где R_s / S_s — металлоносность эталонного объекта, рассчитываемая через его прогнозный ресурс (R_s) и площадь (S_s); R и S — прогнозный ресурс и площадь перспективного участка.

В предложенной методике понижающий коэффициент заменяется на коэффициент подобия перспективного участка эталону. Разработан формализованный способ вычисления коэффициента подобия посредством меры сходства перспективного участка с эталонным объектом, что обеспечивает уточнение методики оценки прогнозных ресурсов [2]. Мера сходства $\mu(i, j)$ отражает степень похожести перспективного участка (i) и эталонного объекта (j) и вычисляется следующим образом:

$$\mu(i, j) = 1 - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L V_{sl} |f_{sl}^j - f_{sl}^i|, \quad j \in (1, N), i \in (1, M), \quad (2)$$

где N — число объектов банка эталонных моделей, используемых при формировании комплексной эталонной модели; M — число перспективных участков, по которым проводится оценка прогнозных ресурсов; V_{sl} — отнормированный информационный вес l -го свойства s -й группы поисковых признаков комплексного эталона; f_{sl}^j — коэффициент проявленности l -го свойства s -ой группы поисковых признаков на j -м эталоне, причем $f_{sl}^j = 1$, если свойство проявлено, $f_{sl}^j = 0$, если не проявлено; f_{sl}^i — коэффициент проявленности l -го свойства s -й группы поисковых признаков на i -м перспективном участке и соответствия его аналогичному свойству эталона, причем $f_{sl}^i \in [0, 1]$.

Таким образом, формула для определения прогнозных ресурсов перспективных участков выглядит следующим образом:

$$R_i = \mu(i, j) \cdot \frac{R_j}{S_j} \cdot S_i, \quad (3)$$

где вместо значения понижающего коэффициента предлагается использование меры сходства перспективного участка с эталоном.

Итак, определение коэффициента подобия перспективного участка эталонному объекту через меру сходства между ними составляет основу формализованной процедуры оценки прогнозных ресурсов.

Компьютерная технология прогнозирования рудных объектов

Для реализации предложенной методики в среде ГИС ИНТЕГРО разработана интерактивная технология построения геолого-прогнозной модели исходных картографических данных на основе банка моделей разноранговых металлогенических объектов цветных и благородных металлов.

Ниже приведена технологическая схема решения геолого-прогнозных задач в ГИС ИНТЕГРО:

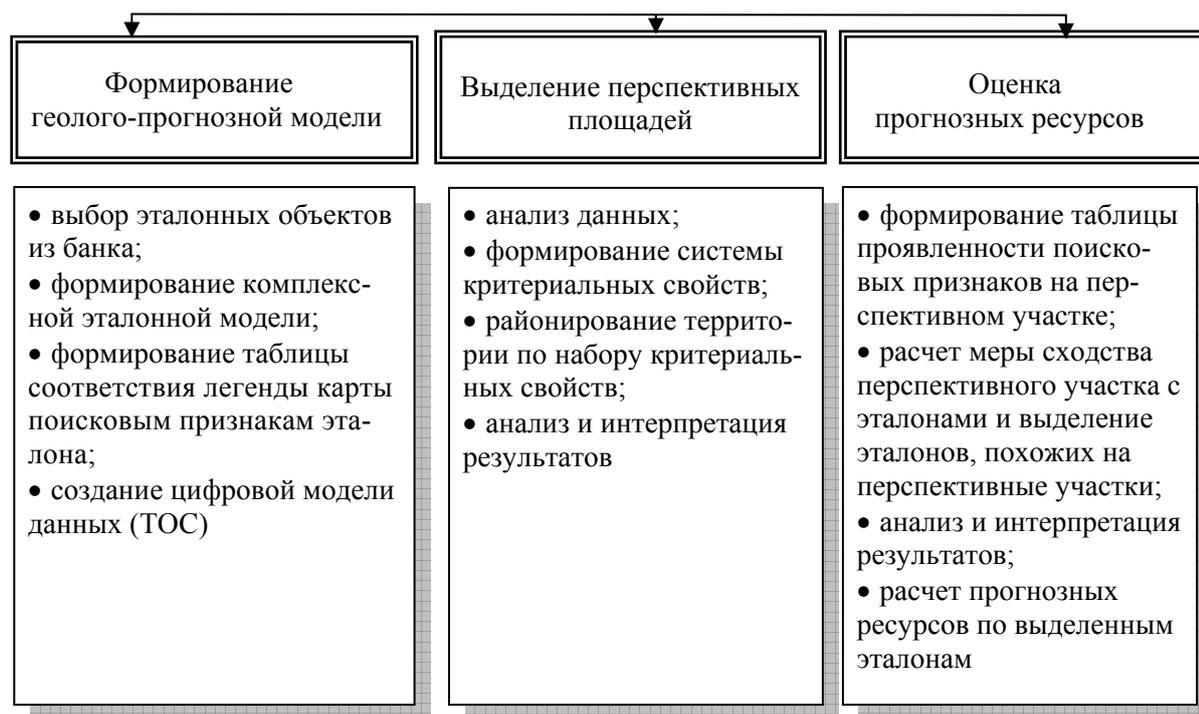


Рис. 1. Технологическая схема

Основные функции пространственного анализа данных переданы ГИС-оболочке. Разработанные программно-аналитическое обеспечение и пользовательский интерфейс ориентированы на предметника и учитывают специфику представления геологической информации.

Программная реализация этих этапов представлена в виде 3-х независимых блоков в программной среде ИНТЕГРО, которые соответственно позволяют:

- формулировать и формализовать геолого-прогнозную модель изучаемой территории;
- районировать и ранжировать эту территорию на участки с разной степенью перспективности на множестве критериальных свойств, построенных на основе значений поисковых признаков эталонной модели;
- подсчитывать их прогнозные ресурсы.

Таким образом, на сегодняшний день создана более совершенная геоинформационная технология, включающая блок формирования геолого-прогнозной модели объекта поиска и блок оценки прогнозных ресурсов на основе коэффициента подобия, в сочетании с интерактивным интерфейсом, ориентированном на эксперта-геолога, позволяет оперативно осуществлять компьютерное прогнозирование твердых полезных ископаемых с использованием знаний, накопленных в банке эталонных моделей.

Пример решения задачи прогнозирования рудных полей

Разработанная геоинформационная технология апробирована на решении задач комплексного прогнозирования свинцово-цинковых рудных полей двух геолого-промышленных типов на территории Енисейского кряжа по материалам карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения, геолого-минералогической карты, геофизической и геохимической основ масштаба 1:200 000, при помощи банка эталонных моделей цветных и благородных металлов.

Комплексная эталонная модель была составлена для каждого геолого-промышленного типа эталонными рудными полями, находящимися на территории России и ближнего зарубежья [2]. По изолинии прогнозного свойства со значением 0,82 экспертно были выделены 6 перспективных рудных

полей (см. рис. 2). Полученные результаты оценки перспективности рудных полей Ангарского рудного района существенно расширяют территории, богатые свинцово-цинковыми рудами, ресурсный потенциал оконтуренных перспективных площадей в значительной мере соответствует представлениям о металлогении данного района. Перспективный участок, выделенный в центре Ангарского рудного района (см. рис. 2, ПРП 4) является потенциальным рудным полем, ранее не выделявшимся на данной территории. Таким образом, результаты исследований подтверждают эффективность прогнозно-металлогенических работ, выполненных на основе разработанной технологии.

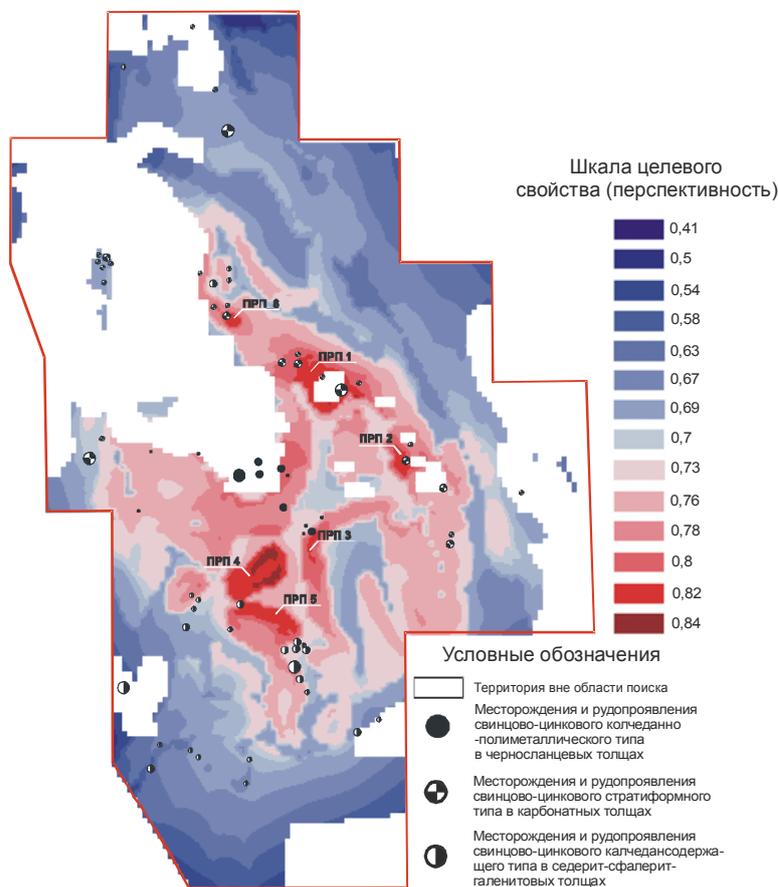


Рис. 2. Результат выделения рудных полей на территории Енисейского края

Результаты апробации показали, что разработанная методико-технологическая схема решения геолого-прогнозных задач позволяет снизить трудозатраты, время решения, повысить объективность прогнозных построений.

Выводы

Разработанная геоинформационная технология формирования геолого-прогнозной модели объекта поиска на основе эталонных моделей рудных объектов позволяет учитывать накопленные геологические знания.

Использование базы экспертных знаний при компьютерном прогнозировании, несомненно, будет способствовать его дальнейшему развитию и совершенствованию.

Разработанный способ определения коэффициента подобия через меру сходства между объектом поиска и эталоном в системе их поисковых признаков является основой формализованной процедуры оценки прогнозных ресурсов, реализованной в данной технологии.

Список литература

1. Кирпичева, Е. Ю. Методика геолого-прогнозного моделирования [Текст] / Е. Ю. Кирпичева, В. В. Кузнецов // Геоинформатика. — 2006. — № 2. — С. 58-61.
2. Кирпичева, Е. Ю. Применение ГИС-технологий для прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов на основе банка моделей разноранговых металлогенических таксонов [Текст] / Е. Ю. Кирпичева, В. В. Кузнецов, М. Я. Финкельштейн // Прогноз, поиски, оценка рудных и нерудных месторождений на основе их комплексных моделей — достижения и перспективы : базовые доклады науч.-практ. конф. — М. : 2006. — С. 204-210.
3. Кирпичева, Е. Ю. Решение задач комплексного прогнозирования на основе ГИС ИНТЕГРО и банка моделей эталонных объектов [Текст] / Е. Ю. Кирпичева, В. В. Кузнецов, Е. Н. Черемисина // Тезисы докладов V Европейского конгресса региональной картографии и информационных систем в природоведении (5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems earth and Water). — Испания, Барселона-Каталония, 2006. — Т. II. — 213 с.
4. Кузнецов, О. Л. Геоинформационные системы. Учебник для вузов [Текст] / О. Л. Кузнецов, А. А. Никитин, Е. Н. Черемисина. — М. : Государственный научный центр Российской Федерации ВНИИГеосистем, 2005. — 347 с.
5. Кузнецов, О. Л. Геоинформатика [Текст] / О. Л. Кузнецов, А. А. Никитин. — М. : Недра, 1992. — 302 с.
6. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа [Текст] / Н. Н. Моисеев. — М. : Наука, 1986. — 487 с.
7. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов: методическое руководство [Текст] / Отв. ред. Беневольский Б. И. — М. : ЦНИГРИ, 2002.