

Комплексирование аэрокосмических и геолого-геофизических материалов при прогнозировании золоторудной минерализации

Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин

*Национальный горный университет
49005 Украина, Днепропетровск, пр. Карла Маркса, 19
E-mail: BusyginB@nmu.org.ua*

Излагается методика и результаты прогноза золоторудной минерализации на территории Сорокинского золоторудного поля, расположенного в пределах Приазовского блока Украинского кристаллического щита, на основе интегрированного анализа геолого-геофизических данных и материалов космических съемок с помощью ГИС-технологий.

Ключевые слова: золоторудное поле, космические снимки, геоданные, линеаменты, прогнозирование, ДЗЗ, ГИС-технологии.

Введение

В настоящее время роль данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в области исследования недр стремительно возрастает, что связано со значительным повышением уровня технических характеристик тепловых, радиолокационных, мульти- и гиперспектральных сканеров, устанавливаемых на аппаратах космического базирования. Постоянный рост сложности решаемых задач приводит к необходимости комплексного использования геолого-геофизических и аэрокосмических материалов. Совместный анализ разнородных и разноуровневых данных требует создания специализированных геоинформационных систем (ГИС) и соответствующих технологий обработки и интегрированного анализа данных – ГИС-технологий.

В статье излагаются методика и некоторые результаты прогноза золоторудной минерализации на Сорокинском золоторудном поле, расположенном в пределах Приазовского блока Украинского кристаллического щита (УЩ), посредством интегрированного анализа геолого-геофизических данных и материалов космических съемок на основе ГИС-технологий. Работы выполнялись в среде специализированной ГИС РАПИД (Распознавание, Автоматизированный Прогноз, Интерпретация Данных) [1], разработанной в Национальном горном университете (Днепропетровск).

Сорокинское рудное поле площадью более 1500 км² и находящиеся в его пределах Сорокинская гранит-зеленокаменная и ряд других структур (рис. 1) характеризуются широким развитием метасоматических изменений вмещающих пород, наличием тектонических нарушений различного простирания, неоднородностью магматических образований. На сегодняшний день получено значительное количество фактического материала, характеризующего золотоносность Сорокинской структуры и выделен ряд рудных объектов. Их структурно-тектоническая позиция определяется приуроченностью к региональным структурам, которые выделяются в геофизических полях и, частично, на аэрокосмоснимках.

Однако имеется ряд факторов, затрудняющих прогноз и поиски: 1) все известные критерии золотоносности являются косвенными и имеют вероятностную связь с оруденением; 2) геологические и геохимические наблюдения распределены по площади весьма неравномерно; достаточной изученностью характеризуется только собственно Сорокинская структура, представляющая собой узкую вытянутую зону длиной более 60 км и шириной 1-5 км; окружающие структуры геологически изучены гораздо слабее; 3) территорию рудного поля равномерно покрывают лишь съемки магнитного и гравитационного полей масштаба 1:50000.

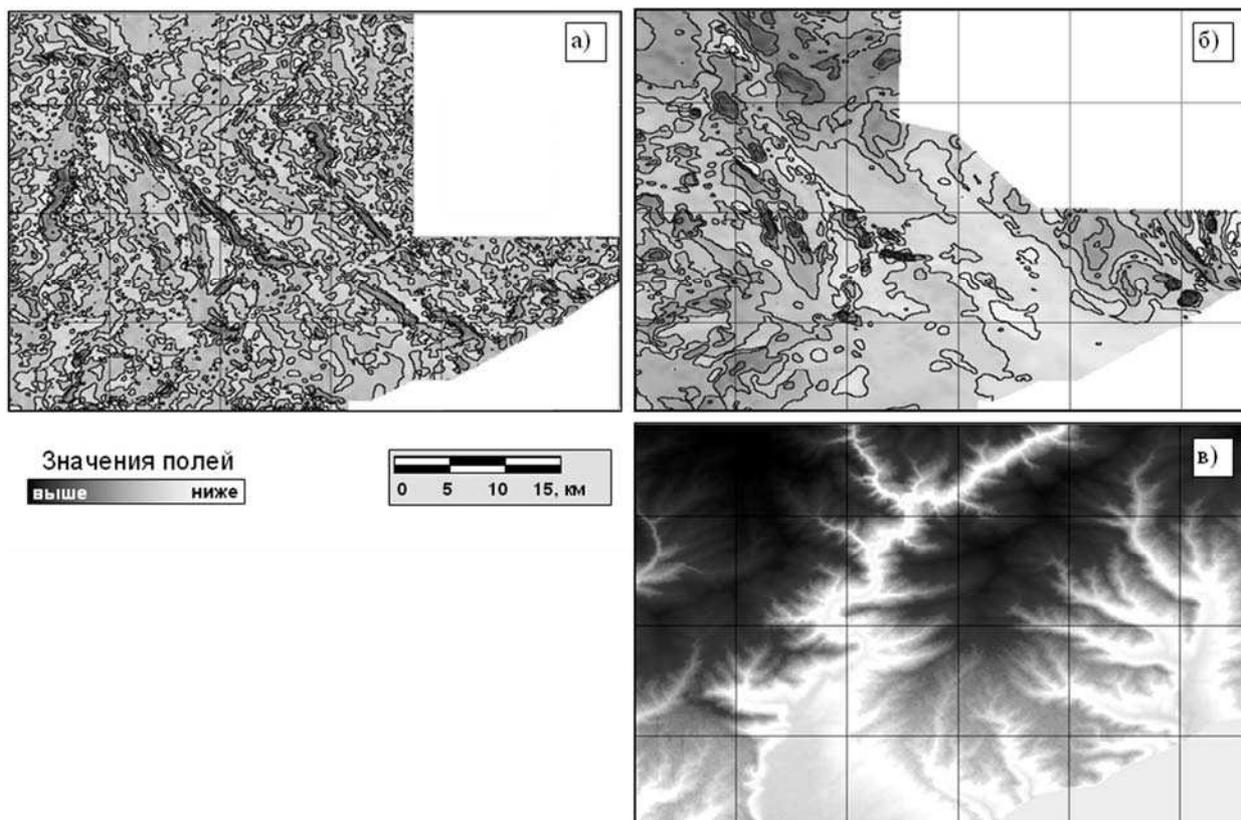


Рис. 2. Карты изолиний гравитационного Δg (а), магнитного Z_a (б) полей масштаба 1:50000 и радарный снимок (в) района исследований

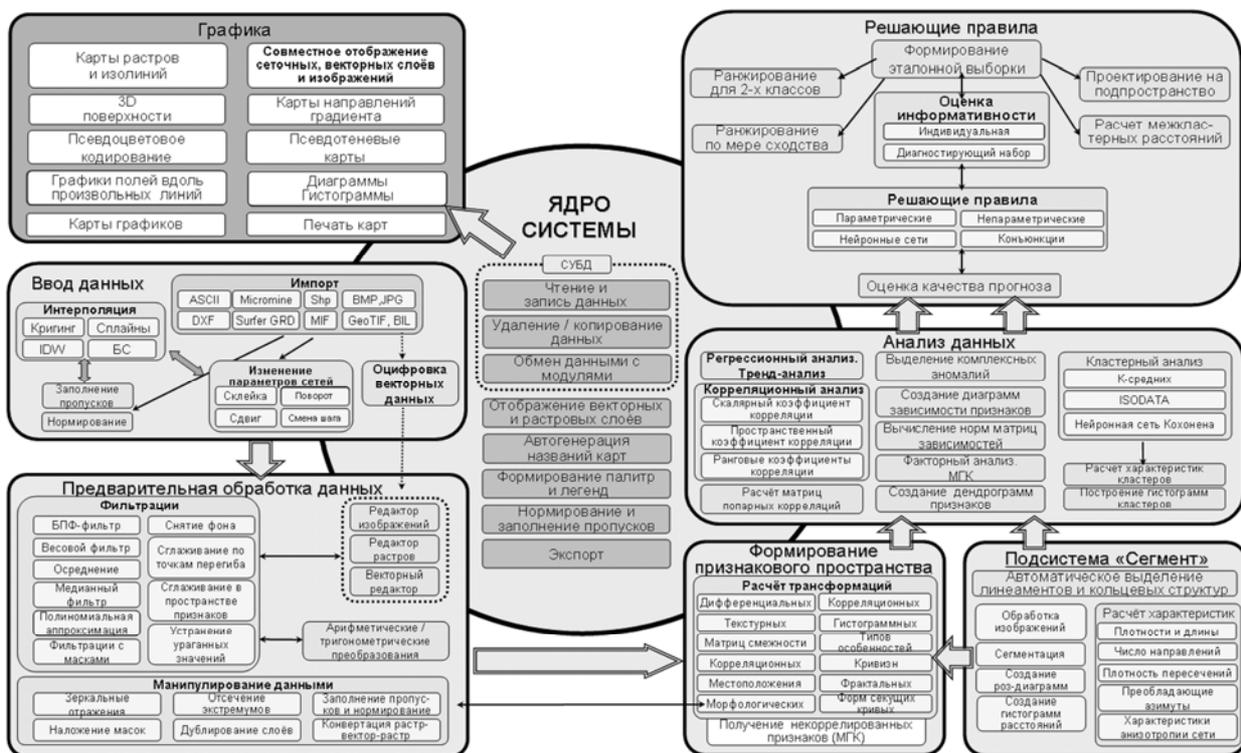


Рис. 3. Структурная схема ГИС РАПИД

Инструментарий

В качестве инструментального средства использовалась специализированная растрово-векторная ГИС РАПИД, являющаяся универсальным средством интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных.

В ГИС РАПИД в качестве основной используется сеточная модель хранения и представления данных, при которой информация об исследуемом участке соотносится с узлами регулярной сети, заданной на земной поверхности. Вместе с тем, РАПИД обладает широким спектром средств для работы с векторными картографическими слоями и графическими изображениями.

РАПИД состоит из нескольких подсистем, обеспечивающих интеграцию растровых и векторных представлений данных: аналитические, информационно-справочные и измерительные функции; фильтрацию данных; расчет и построение производных карт, исследование зависимостей и статистическую обработку; многомерное районирование, распознавание и картографирование ситуаций, 2D и 3D визуализацию результатов, компоновку и печать выходных документов. Кроме того, подсистема СЕГМЕНТ [3, 4] содержит функции специальной обработки космических снимков и геофизических полей с целью выделения линейных, кольцевых и дуговых элементов.

При решении задач прогноза и поиска [5] РАПИД реализует принцип многовариантного решения посредством имитационного моделирования и проведения вычислительных экспериментов, предоставляя пользователю широкий набор инструментов для достижения поставленных целей и возможность выбора наилучшего из них. Упрощенная структурная схема ГИС РАПИД приведена на рис. 3.

Методика и результаты

В основе методики прогнозирования лежит ставший уже традиционным подход, реализующий метод аналогий для выделения таких участков изучаемой территории, геолого-геофизическая обстановка которых сходна по специальным формализованным критериям с участками золоторудной минерализации.

целью стандартизации расчетов гравитационное и магнитное поля были приведены к единой сети с шагом 100x100 м. Сканированная геологическая карта пространственно привязывалась и векторизовалась, в результате создавались тематические векторные слои, представляющие геологические границы, разломы, тектониты, зоны вторичных изменений, точки повышенной минерализации и др. Значения яркости космического снимка были проинтерполированы на сеть 100x100м таким образом, чтобы центры пикселей снимка совпадали с узлами сети геофизических наблюдений. Далее на снимке и картах геофизических полей выделялись линейные элементы, предположительно связанные с разломной тектоникой [6, 7]. Выделение линеаментов проводилось в автоматическом режиме с помощью подсистемы СЕГМЕНТ.

Процесс прогноза перспективных участков включал ряд этапов: формирование эталонных объектов для обучения, расчёт трансформант (признаков) исходных данных, оценку их информативности, выбор решающих правил (мер сходства) и оценку качества прогноза.

В качестве эталонов «рудного» класса использовались точки, расположенные в пределах участков с повышенной золоторудной минерализацией (от 2 до 63 г/т), установленной по результатам геохимических и минералогических анализов, а также точки территории, в пределах которых минерализация заведомо отсутствует («безрудный» класс) (рис. 4). Часть указанных точек (по 15 каждого класса) использовались для формирования контрольной выборки.

Далее по исходным геологическим, геофизическим и космическим данным в скользящих окрестностях рассчитывались специальные трансформанты, отражающие различные особенности структуры геолого-геофизических полей и снимка:

– для векторных материалов (геологических границ, разломов, водоразделов и т.п.) рассчитывались значения специальных признаков-характеристик в узлах сети 100x100м,

например, расстояние от узла сети до ближайшего объекта определенного типа (разлома, точки минерализации), количество взаимопересечений линейных объектов одного или нескольких типов (например, разломов и геологических границ) и т.п.

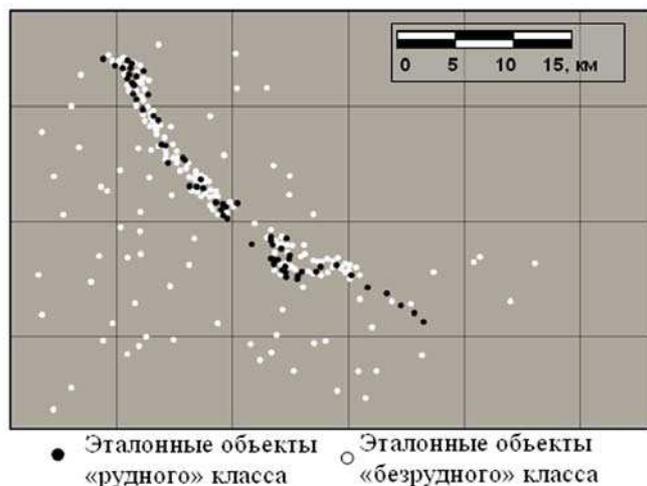


Рис. 4. Расположение эталонных объектов



Рис. 5. Прогнозная карта – результат ранжирования территории по мере сходства с «рудным» классом

с точки зрения решения поставленной задачи. Минимизация основана на поиске диагностирующего набора признаков, который обеспечивает наименьшую ошибку классификации на заданных эталонных выборках [5]. Для каждой из совокупностей признаков диагностирующие наборы рассчитывались с использованием различных решающих правил и мер сходства; оптимальным признавалось решающее правило, для которого ошибка минимальна. Её значения для каждой совокупности признаков составили:

- при использовании традиционных трансформант геофизических полей – 12,15%
- при использовании только линейных характеристик полей и снимка – 9,19%
- при совместном использовании традиционных трансформант полей и снимка – 8,84%

– геофизические поля, заданные в сеточной форме, подвергались различным трансформациям в рамках специальной подсистемы ГИС РАПИД – дифференциальным, текстурным, гистограммным, морфологическим, корреляционным, фрактальным и др. [5, 8, 9].

– отдельной обработке подвергался космический снимок. Кроме расчёта трансформант значений яркости, вычислялись специальные характеристики линейной сети, отражающие структурно-тектоническую обстановку [4, 10, 11].

Кроме того, выделение линейных объектов и вычисление характеристик линейной сети производилось для полей Δg и Z_a

Всего по территории Сорокинского рудного поля было рассчитано более 500 различных трансформант геолого-геофизических полей и космического снимка в скользящих окрестностях размером 700×700, 1100×1100 и 2100×2100 м. Полученные трансформанты подразделялись на несколько совокупностей – традиционные геолого-геофизические (первые и вторые производные, элементарные статистики значений полей в скользящей окрестности и др.), трансформанты космического снимка (полученные путём эквализации гистограммы, изменения яркости, контрастности и т.п.), линейные характеристики снимка и геофизических полей.

Далее совокупности признаков подвергались минимизации путём отбрасывания признаков, несущественных

- при использовании и традиционных и линеаментных характеристик полей – 7,26%;

– при использовании всех рассчитанных трансформант – 3,91%.

В последний диагностирующий набор, обеспечивающий наименьшую ошибку, вошли 59 признаков, в том числе: геофизических – 25 (например, характеристика дисперсии поля Δg , характеристики кривизны полей Δg и Z_a , вторая вертикальная производная поля Z_a и др.), геологических – 4 (плотность геологических границ, разломов и др.), космических – 21 (энтропия, плотность линеаментов радарного снимка, результат его контрастирования и др.), корреляционных (ранговые коэффициенты корреляции Кендалла между полями Δg и Z_a , линейные коэффициенты корреляции между яркостью снимка и полем Δg и др.) – 9. Среди геофизических и космических признаков 19 представляют собой характеристики линеаментных сетей.

После минимизации числа признаков и выбора решающего правила выполнялось распознавание и ранжирование объектов – точек сети. Результат распознавания представлялся в виде карты, отражающей разделение территории на два класса – перспективный («рудный») и неперспективный («безрудный»). Достоверность прогноза устанавливалась путём выполнения процедур оценки качества, основанной на анализе попадания контрольных объектов в выделенные классы.

С целью оценки эффективности использования материалов космических съемок и линеаментных характеристик космоснимков и геофизических полей было выполнено распознавание по диагностирующим наборам для отдельных групп признаков. В целом показатели качества прогноза следующие (табл. 1).

Таблица 1. Процент правильного распознавания контрольных точек для различных наборов признаков

<i>Группа признаков</i>	<i>«Рудный» класс, %</i>	<i>«Безрудный» класс, %</i>
традиционные трансформанты геофизических полей	73,3	66,7
только линеаментные характеристики полей и снимка	70,0	73,3
только традиционные трансформанты полей и снимка	80,0	86,7
традиционные и линеаментные характеристики геофизических полей	83,3	90,0
все рассчитанные трансформанты	96,7	93,3

Выполнение процедуры ранжирования [5] позволило получить карту, отражающую степень сходства исследуемой территории по отношению к эталонной выборке «рудного» класса. Анализ карты дал возможность выделить перспективные участки 1-й и 2-й очереди (рис. 5), площадью, соответственно, 94 км² и 98 км² (всего – около 12% от общей площади рудного поля).

Выводы

Проведенные исследования позволяют утверждать:

– применение ГИС-технологий, обеспечивающих интегрированный анализ геологических, геофизических и аэрокосмических данных, безусловно повышает качество прогноза золоторудной минерализации;

– независимость значений яркости радарного снимка и геофизических полей дала возможность провести более детальную дифференциацию перспективности Сорокинской структуры, для которой в целом характерны аномальные значения полей Δg и Z_a ;

– анализ характеристик линеаментных сетей, выделенных на картах Δg и Z_a и радарном снимке, обеспечивает повышение степени извлечения полезной информации из исходных данных;

– значительная часть перспективных участков 1-ой и 2-ой очереди находится вне пределов хорошо изученной Сорокинской структуры, что свидетельствует о необходимости более детального геологического изучения рудного поля в целом;

– полученные результаты позволяют рекомендовать использование радарных космических снимков при прогнозировании золоторудной минерализации в условиях УЩ.

Литература

1. Пивняк Г.Г., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных // Докл. Нац. АН Украины, 2007. №6. С.121-128.
2. Werner M. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Mission overview // J. Telecom. (Frequenz), 2001. V. 55. P. 75-79.
3. Busygin B., Inozemtsev S., Nikulin S. The integrated analysis of geological-geophysical and remote sensing data at the gold prospecting in Western Uzbekistan // 67-rd EAGE conference: Extended Abstracts. Madrid, Spain, 2005. 4 p.
4. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Зацетин Е.П., Сергеева Е.Л. Геоинформационная подсистема «СЕГМЕНТ» как средство анализа данных дистанционного зондирования Земли // Геоинформатика, 2008. №2. С. 51-57.
5. Бусыгин Б.С., Мирошниченко Л.В. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1991. 168 с.
6. Кац Я.Г., Тевелев А.В., Полетаев А.И. Основы космической геологии. М: Недра, 1988. 430 с.
7. Миловский Г.А. Применение крупномасштабной панхроматической и спектральной космической съемки для прогноза эндогенного оруденения на севере Архангельской области // Исследование Земли из космоса, 2003. №4. С.38-41.
8. Haralick R.M. Textural features for image classification // IEEE Transaction on Systems, man and Cybernetics SMC-3, 1973. P. 610-621.
9. Ахметшин А.М., Бойко В.А, Бусыгин Б.С. Статистическая классификация текстурных изображений методом обобщенного спектрального анализа в базе Грамма-Шмидта // Радиоэлектронные и компьютерные системы, 2005. №2. С. 108-114.
10. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика, 2006. №1. С. 44-49.
11. Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В. Прогнозирование золоторудной минерализации в районе Сорокинской зеленокаменной структуры // Научный вестник НГУ, 2006. №3.-С.68-72.

Integrated analysis of geological-geophysical data and satellite images for the ore-gold mineralization forecast

B.S. Busygin, S.L. Nikulin

National Mining University

The technique and results of the ore-gold mineralization forecast using the GIS-technology of integrated analysis of geological-geophysical data and satellite images within Sorokinskoye granite and greenstone field located inside Priazovskiy block of the Ukrainian crystal shield are expounded.

Keywords: ore-gold field, satellite images, geodata, lineaments, forecasting, remote sensing, gis-technology.