

УДК 550.83

Б. С. Бусигін<sup>1</sup>, С. Л. Нікулін<sup>1</sup>, В. О. Бойко<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний гірничий університет, Дніпропетровськ<sup>2</sup>НВП «Орбіта», Дніпропетровськ

## Применение ГИС РАПИД для прогнозирования золоторудной минерализации по материалам космических съёмок

*Представлено 25.06.07*

Розглянуто поточний стан проблеми використання космічних знімків при геологічному вивченні території. Надані основні відомості про спеціалізовану геоінформаційну систему РАПИД та її модуль СЕГМЕНТ, що забезпечує рішення задач обробки, аналізу та інтерпретації матеріалів космічних зйомок. Описано методику прогнозування золотого оруденіння у відкритому гірському районі Узбекистану шляхом лінеаментного аналізу космічних знімків, зроблених зі супутника SPOT-4. Наведено порівняння результатів прогнозування, що отримані з використанням супутникової інформації, та результатів інтерпретації геолого-геофізичних даних.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие космических технологий и математических методов обработки пространственно-привязанных данных полностью изменило характер производственных и исследовательских процессов в геологии, недропользовании, экологии. В настоящее время они базируются на повсеместном использовании компьютерных технологий на базе геоинформационных систем (ГИС-технологий). При этом анализ космических снимков (КС) стал одним из основных подходов к геологическому и геоэкологическому изучению территорий. Это связано с постоянным снижением стоимости КС при возрастающей детальности и оперативностью их получения.

На кафедре геоинформационных систем Национального горного университета уже более 20 лет разрабатывается и совершенствуется специализированная ГИС РАПИД (распознавание, автоматизированное прогнозирование, интерпретация данных). Изначально система предназначалась для обработки и комплексного анализа наземных картографических и цифровых геолого-геофизических данных (геофизические поля, результаты геохимических съёмок, геологические факты) с целью поиска и прогноза месторождений полезных ископаемых и решения геоэкологических задач. ГИС РАПИД, в частности, включает подсистемы ввода и фильтрации данных, расчета разнообразных трансформаций исходных данных и оценки их информативности, кластеризации, распознавания и ранжирования (рис. 1). Технология работы, реализуемая

ГИС РАПИД, базируется на методах распознавания образов, обработки изображений, геостатистики, пространственного анализа и использует принцип многовариантного решения задач посредством имитационного моделирования и проведения вычислительных экспериментов [1]. В целом ГИС РАПИД является универсальным инструментом прогнозирования и поддержки принятия решений.

В настоящее время одним из направлений развития ГИС РАПИД стало решение вопросов обработки, анализа и интерпретации материалов космических съёмок. В результате в рамках системы была создана специальная подсистема СЕГМЕНТ (рис. 2).

Подсистема обеспечивает предварительную обработку космических снимков, их сегментацию, выделение линейных, дуговых и кольцевых структур, а также ряд процедур анализа лінеаментных сетей. Поскольку подсистема СЕГМЕНТ интегрирована в среду ГИС РАПИД, интерпретатор получает возможность использовать результаты работы подсистемы в процедурах классификации, распознавания, ранжирования искомым геологических объектов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Большинство задач, решаемых при помощи инструментария ГИС РАПИД, базируются на выделении участков земной коры, благоприятных по своим структурным особенностям для размещения искомым объектов. Решение таких задач, традиционно

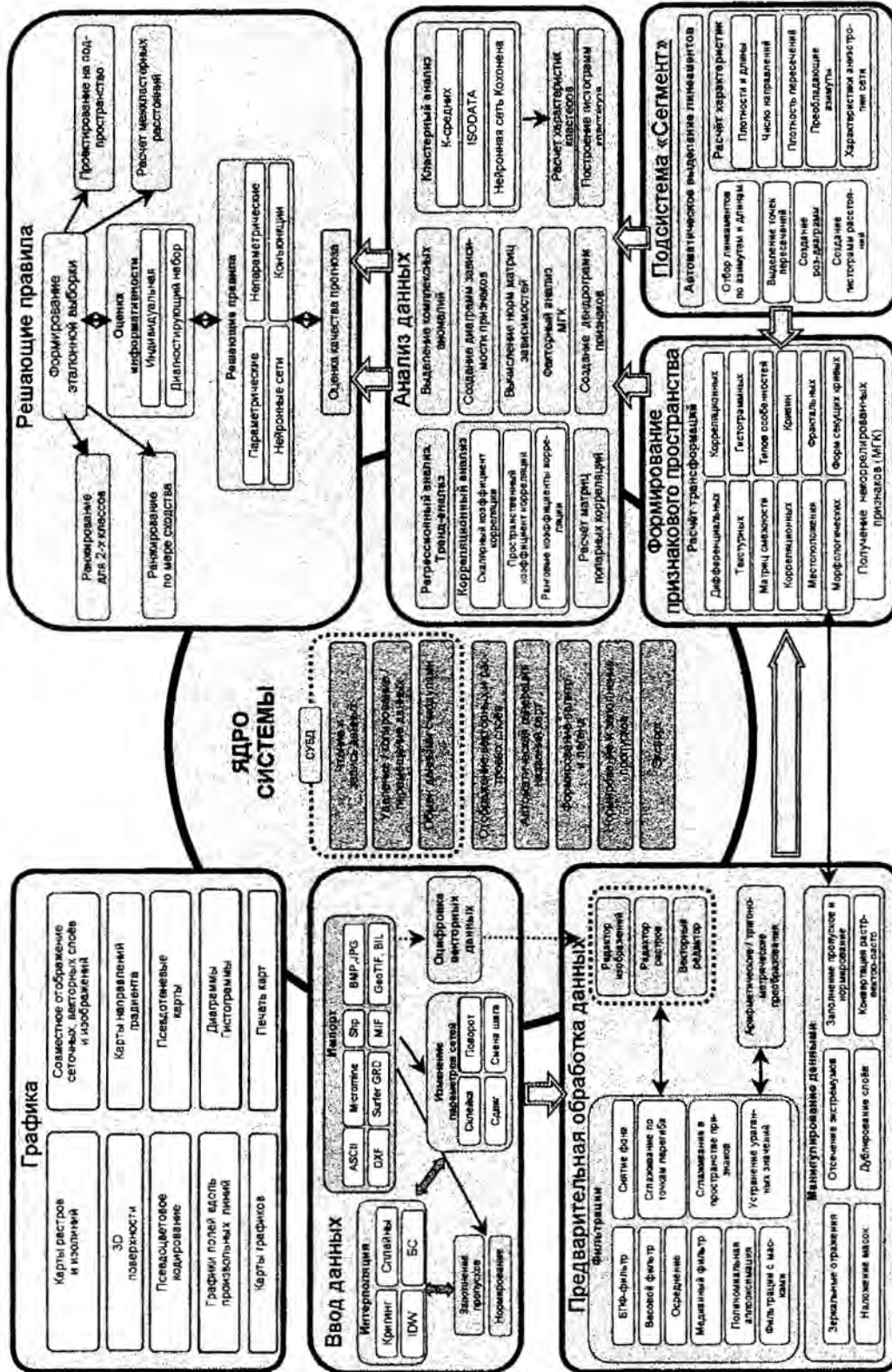


Рис. 1. Структурная схема ГИС РАПИД

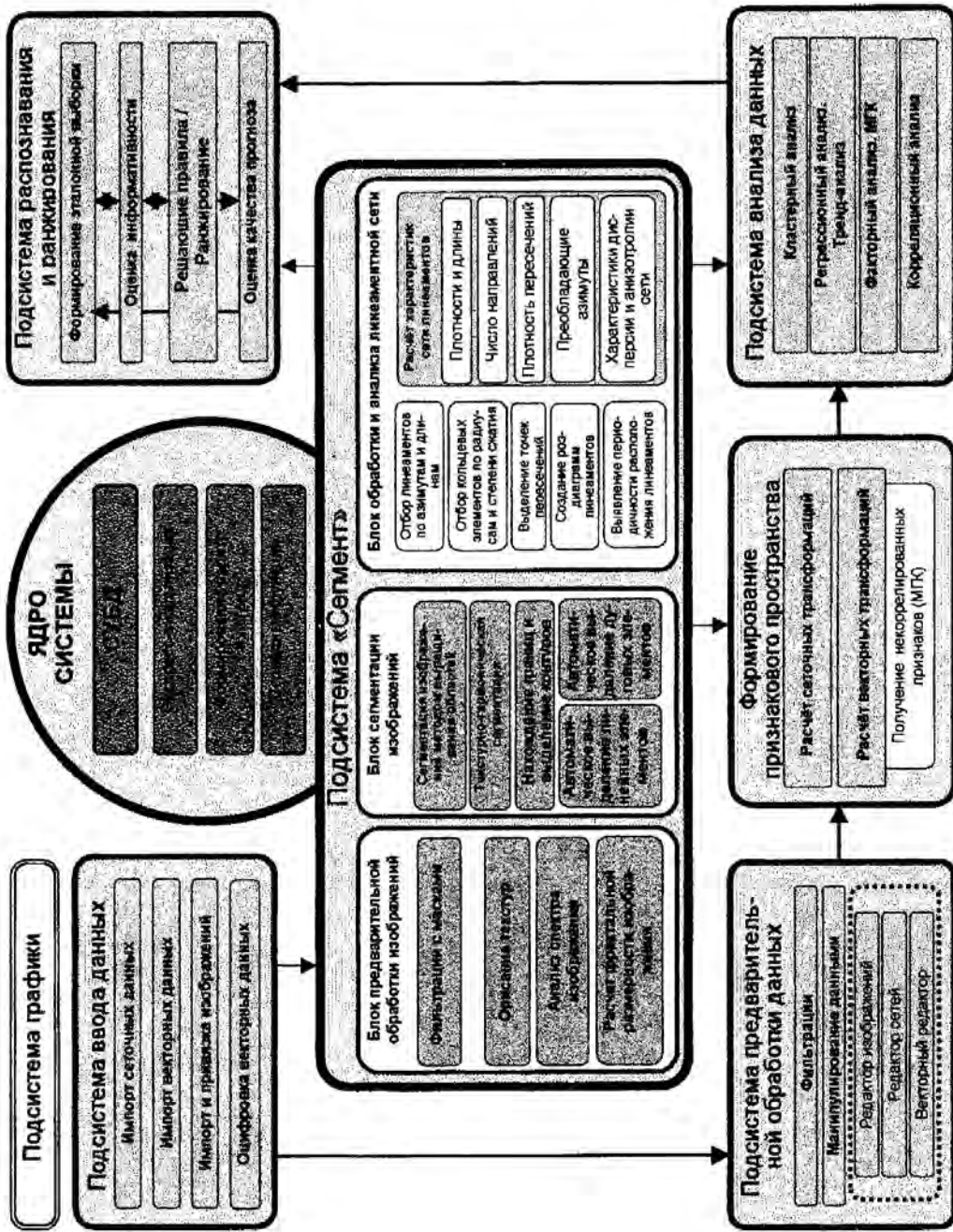
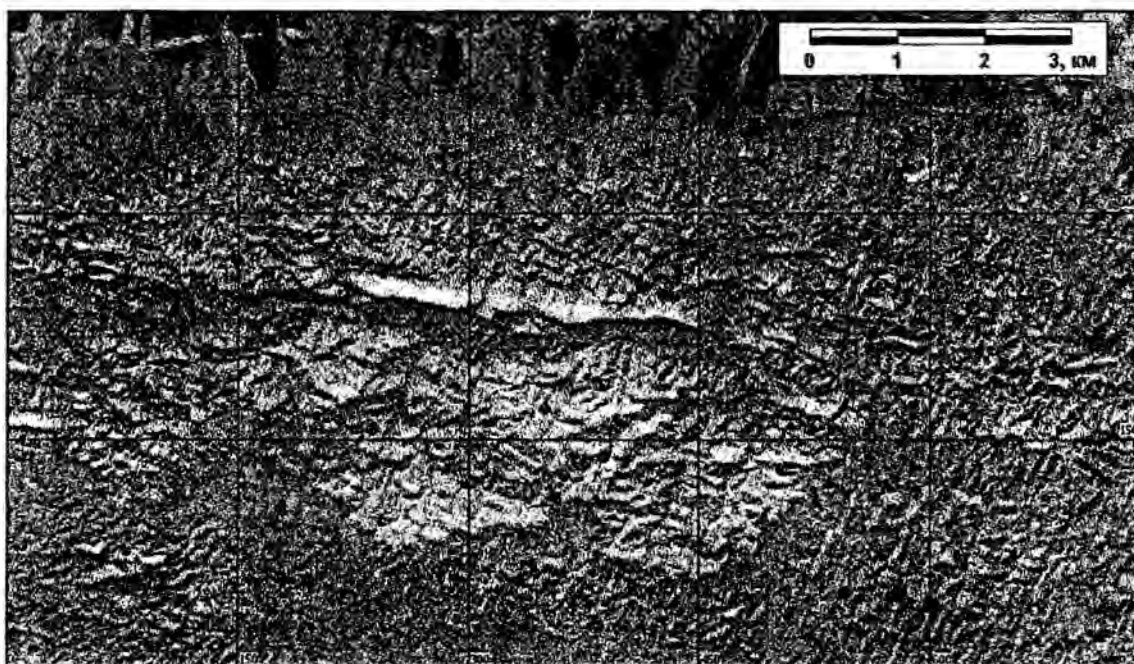


Рис 2. Структурная схема подсистемы СЕГМЕНТ



*a*

● Центры известных рудных объектов

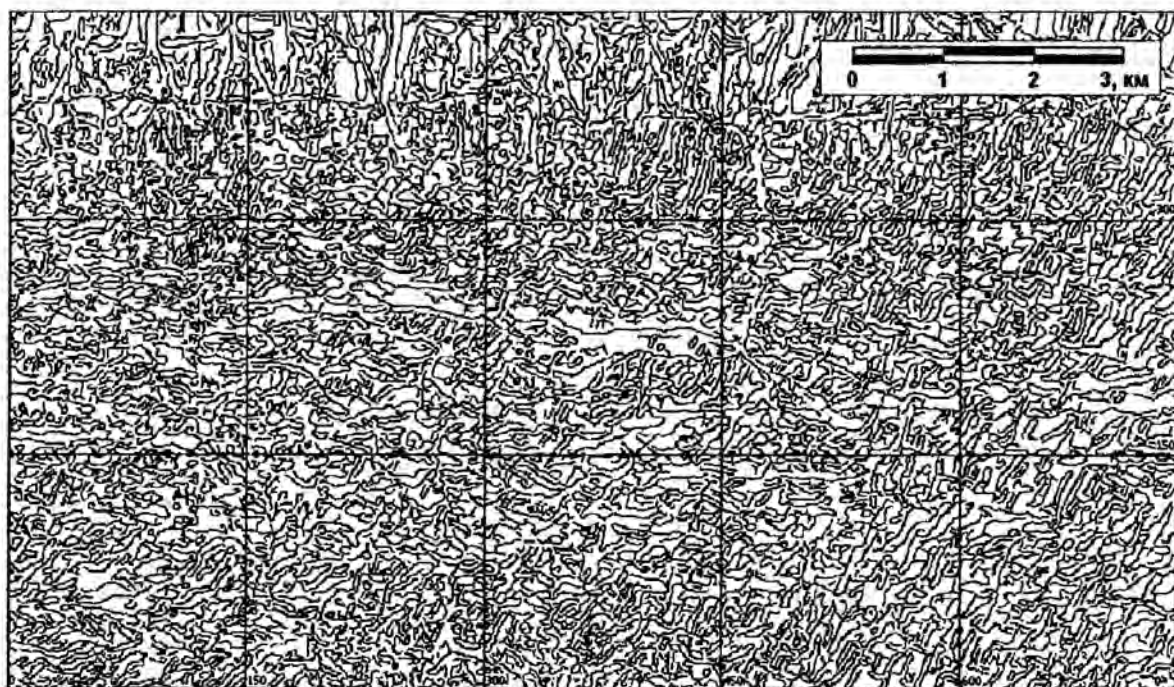
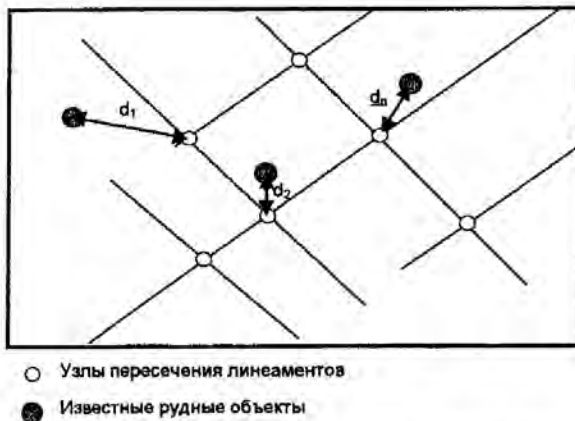
*b*

Рис. 3. *a* — панхроматический космический снимок рудного поля (спутник SPOT-4, разрешение 10 м); *b* — результат выделения границ яркости методом идеального детектора Саппу



Рис. 4. Схема сквозных линеаментов и роза-диаграмма их азимутов



- Узлы пересечения линеаментов
- Известные рудные объекты

Рис. 5. К вычислению среднего расстояния от каждого известного рудного объекта до ближайшего узла

рождений в Украине и за рубежом [24]. В настоящей работе рассматриваются методика и некоторые результаты применения подсистемы СЕГМЕНТ на одном из золоторудных полей Западного Узбекистана.

На изучаемой территории известен ряд рудных тел жильного типа, залегающих в породах поздне-палеозойского возраста на глубинах от 400 до 1-2 м и имеющих промышленное значение. Относительно малая мощность осадочной толщи повышает эффективность использования КС. В качестве исходных данных для проведения линеаментного анализа использовались панхроматические снимки со спутника SPOT-4 с разрешением 10 м (рис. 3, а).

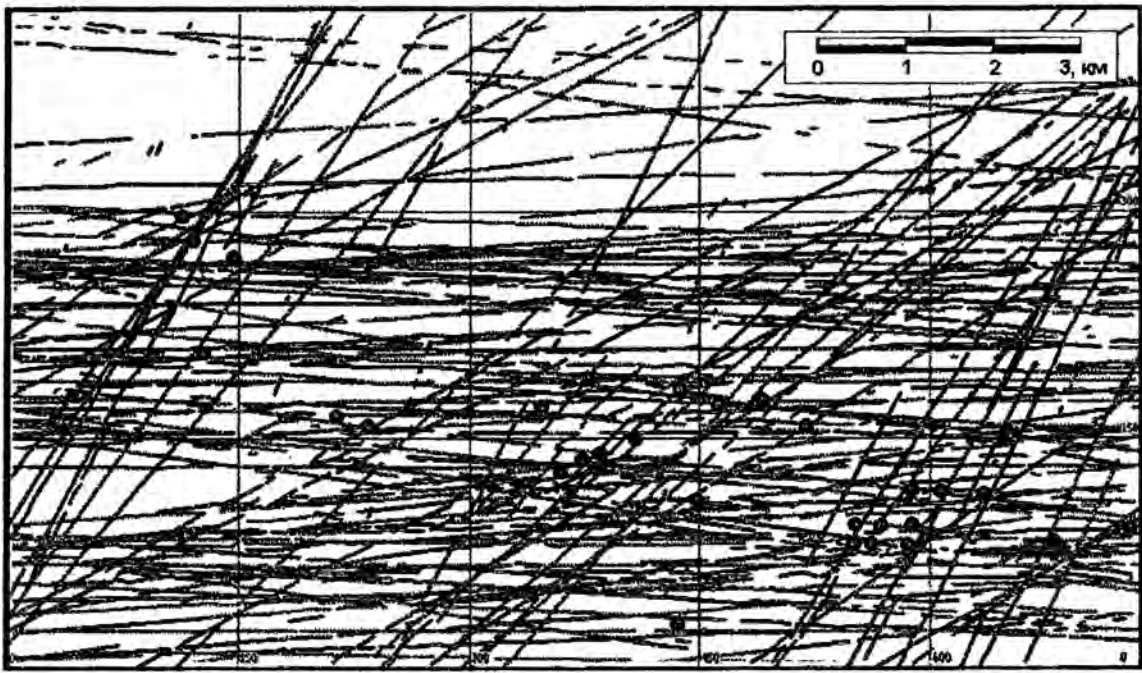
#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходные космоснимки, конвертированные в базу данных ГИС РАПИД и географически привязанные, подвергались предварительной обработке — контрастированию, эквализации гистограмм и удалению (подавлению) техногенных объектов (каналов, дорог и т. п.).

Далее на обработанных снимках выполнялось автоматическое выделение линеаментов. Для этой цели в ГИС РАПИД используется оригинальная методика, отличная от реализованной в известном пакете LESSA [5, 7].

требующих выполнения большого объема дорогостоящих горных работ и трудоемких геолого-геофизических съемок, может быть упрощено путем привлечения материалов космических съемок и выполнения специальных процедур линеаментного анализа.

ГИС РАПИД была опробована при проведении прогнозно-поисковых работ с использованием космических материалов на ряде золоторудных место-



● Центры известных рудных объектов

Рис. 6. Схема линеаментов с азимутами  $0 \pm 10^\circ$  и  $45 \pm 10^\circ$

Кратко методика сводится к выполнению следующих операций. Вначале к снимку применяется аппарат выделения границ яркости методом «оптимального детектора» Саппу [6]. Выделение границ происходит путем свертки исходного зашумленного сигнала  $f(x)$  с функцией  $h(x)$  с асимметричным импульсным откликом, при этом амплитуда  $f(x)$  равна нулю за пределами окна. Выделяемая граница находится в точке локального максимума свертки  $f(x) \otimes h(x)$ . Функция  $h(x)$ , называемая оптимальным оператором Саппу выбирается так, чтобы обеспечить единственность отклика на единичную границу, высокую точность определения границ и максимизацию отношения сигнал/шум для получения высокой вероятности обнаружения существующей границы и низкой вероятности выделения ложной границы. Результат выделения границ приведен на рис. 3, б.

Далее полученная карта границ яркости сканируется в автоматическом режиме в различных направлениях с малым шагом угла (от  $1^\circ$ ). При этом выделяются спрямленные участки границ (штрихи), которые обычно соответствуют мелким дизъюнктивным нарушениям и частям более крупных разломов, группируясь в линеаментные зоны.

Подход с построением границ и последующим выделением их произвольно ориентированных ли-

нейных частей выгодно отличается от используемого в системе LESSA, где штрихи выделяются применением маски прямолинейного ступенчатого края, развернутого в одном из восьми фиксированных направлений.

На следующем этапе строятся сквозные линеаменты, пересекающие весь изучаемый снимок. Для этого полученная карта штрихов сканируется в различных направлениях и производится подсчет суммарной длины штрихов вдоль линий сканирования. Если суммарная длина превышает некоторое пороговое значение (например 90 % от общей длины линии данного направления в пределах исследуемого участка), то соответствующие штрихи выносятся на схему сквозных линеаментов, если нет — отбрасываются. Схема, отражающая расположение сквозных линеаментов на исследуемой площади и роза-диаграмма азимутов их простирания приведены на рис. 4.

#### ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Визуальный анализ полученных материалов показал, что на изучаемой территории золоторудные объекты жильного типа тяготеют к узлам пересечения разноориентированных разломов. В связи с



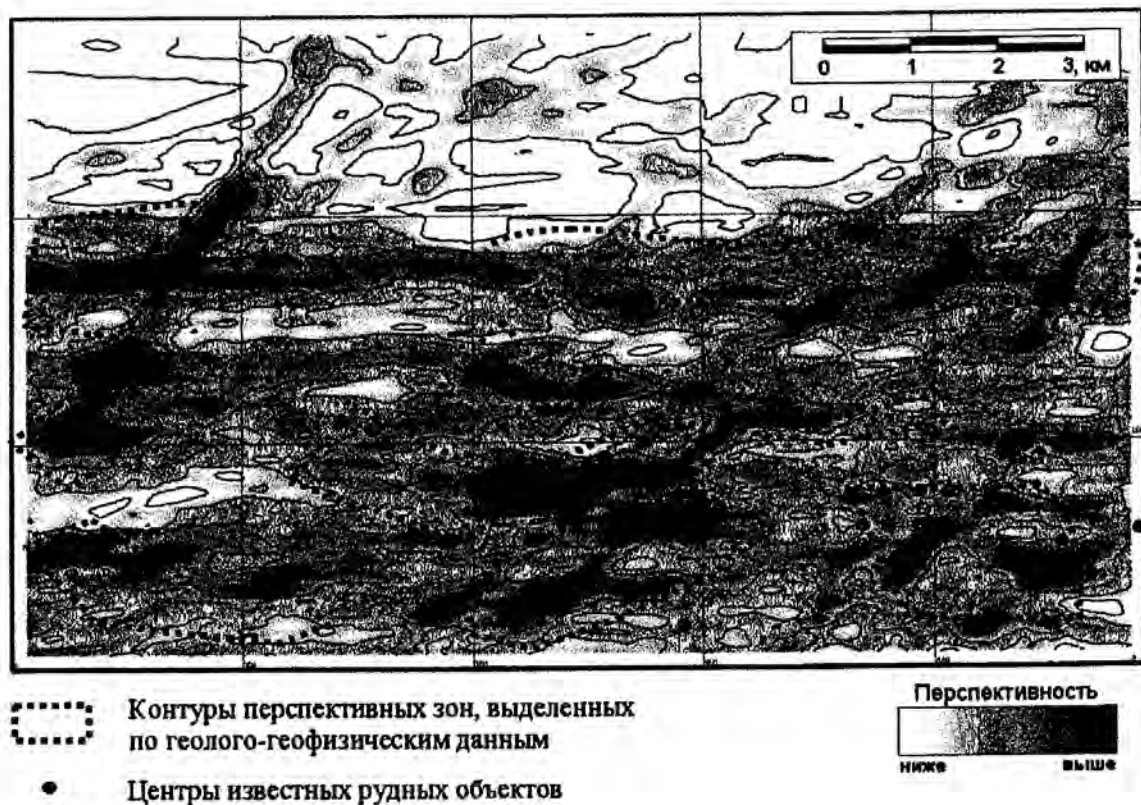


Рис. 7. Карта перспективности территории

Среднее расстояние от рудных объектов до ближайшего узла пересечения линеаментов указанных азимутов

Азимуты	Среднее расстояние, м
0 и 45°	720
0 и 90°	670
0 и 135°	2600
45 и 90°	265
45 и 135°	1960
90 и 135°	1040

этим в дальнейшем основное внимание уделялось изучению пространственных взаимоотношений разнонаправленных систем линеаментов и известных рудных объектов.

По розе-диаграмме найденных линеаментов были выделены преобладающие азимуты их простирания — 0, 90, 45 и 135° (рис. 4). Далее из общей массы линеаментов были сформированы четыре набора данных, включавших в себя только линеаменты

указанных направлений (в пределах  $\pm 10^\circ$ ). Для различных попарных комбинаций разноориентированных линеаментов определялись узлы пересечения и вычислялось среднее расстояние от каждого известного рудного объекта до ближайшего узла (рис. 5), отражающее степень тесноты пространственной связи рудных объектов с узлами пересечения линеаментов различных направлений (таблица). Анализ таблицы показывает, что известные рудные тела тяготеют преимущественно к узлам пересечений линеаментов с азимутами  $45 \pm 10^\circ$  и  $90 \pm 10^\circ$  (рис. 6).

Построенная карта суммарной длины линеаментов указанных направлений в скользящем окне  $0.5 \times 0.5$  км (рис. 7) отражает перспективность территории с позиций возможного обнаружения золотого оруденения.

Об эффективности описанной методики свидетельствует тот факт, что на карте только два из 28 известных рудных тел не попадают в зоны повышенных значений плотности соответствующих линеаментов.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Ранее для этого же рудного поля был выполнен комплекс работ по прогнозированию перспективных зон с использованием картографических геологических материалов и геофизических съемок масштаба 1:50000 (гравитационного поля  $V_g$ , магнитных  $dT_a$  и  $Z_a$ , полей естественных электрических потенциалов, изоом и гамма-поля). При выделении перспективных зон преимущественно использовался метод аналогий, заключающийся в ранжировании территории по мере ее сходства с участками, содержащими рудные объекты, в многомерном пространстве геолого-геофизических характеристик.

Сравнительный анализ абсолютно независимых и одновременных результатов прогнозирования (с привлечением КС и по комплексу геолого-геофизических данных) показал, что прогнозные зоны, полученные в рамках обоих подходов, в целом весьма сходны и обеспечивают сопоставимое качество прогноза. На рис. 7 показаны контуры, выделенные по геолого-геофизическим данным на фоне карты перспективности, построенной по описанной методике. Существенное сходство результатов свидетельствует об эффективности обоих подходов. Однако при этом стоимость первичных материалов космических съемок значительно ниже, чем геолого-геофизических, а оперативность их получения существенно выше.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогичные результаты были получены и на ряде других золоторудных полей, расположенных в горных районах с малой мощностью осадочного чехла. Это свидетельствует о перспективности подхода к прогнозированию, основанном на использовании материалов космических съемок, особенно в труднодоступных и геологически слабоизученных райо-

нах с открытым характером местности. В дальнейших исследованиях вероятно целесообразно привлечь мультиспектральные съемки в различных диапазонах спектра.

1. Бусыгин Б. С., Мирошниченко Л. В. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. — Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1991. — 168 с.
2. Бусыгин Б. С., Никулин С. Л., Бойко В. А. ГИС-технология поисков золота в Западном Узбекистане // Геоинформатика. — 2006. — № 1. — С. 44—49.
3. Бусыгин Б. С., Никулин С. Л., Залесский В. В. Компьютерная технология поисков золота на юго-западном склоне Украинского щита // Наука та інновації. — 2006. — № 2. — 10 с.
4. Бусыгин Б. С., Никулин С. Л., Залесский В. В. Прогнозирование золоторудной минерализации в районе Сорокинской зеленокаменной структуры // Наук. вісник НГУ. — 2006. — № 3. — С. 68—72.
5. Короновский Н. В., Златопольский А. А., Иванченко Г. П. Автоматизированное дешифрирование космических снимков с целью структурного анализа // Исслед. Земли из космоса. — 1986. — № 1. — С. 111—118.
6. Pratt W. Digital image processing: 3ed. — Wiley, 2001. — 366 p.
7. Zlatopolsky A. A. Texture orientation description of remote sensing data using LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) // Computers and Geosciences. — 1997. — 23, N 1. — P. 45—62.

## THE USE OF RAPID GIS FOR GOLD MINERALIZATION PREDICTION ON THE BASIS OF SATELLITE DATA

*B. S. Busygin, S. L. Nikulin, V. O. Boyko*

Current state of space images usage problem in the geological study of the Earth's surface is considered. The principal information on the specialized geoinformation system RAPID and its SEGMENT module dedicated to image processing, analysis and interpretation are presented. We describe some methods for ore-gold mineralization prediction in an open mountain Uzbekistan region using lineament analysis of SPOT-4 satellite images. The prediction results obtained from satellite images are compared with geological and geophysical data.