

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСТРОВЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин, Е.Л. Сергеева, 2009

*Национальный горный университет, Днепрпетровск, Украина*

The results of the comparative analysis of GIS-technologies, based on raster and object-oriented representation of geologic-geophysical and aerospace materials, are examined. The technique of geodata processing in geoinformation systems of RAPID and Definiens Developer, on the example of solving the task of predicting gold-ore objects, is described. The results of influence of various recognition methods, of form and compactness parameters of investigated objects on the forecasting outcome are given. It is experimentally shown, that the technology of GIS RAPID is more effective by the criteria of type I and type II error.

**Введение.** Стремительное наращивание возможностей геоинформационных технологий в области обработки и анализа пространственных данных привело к существенному возрастанию роли геоинформационных систем (ГИС) в различных областях человеческой деятельности. Вместе с тем рост сложности решаемых задач вызывает необходимость использования больших объемов пространственной информации, представляемой обычно в виде разнородных и разноуровневых материалов аэрокосмических съемок, картографических и цифровых геологических, геофизических, геохимических, экологических, метеорологических и других геоданных. Это, в свою очередь, ведет к необходимости расширения возможностей инструментария ГИС за счет процедур интегрированного анализа [1, 2], в которых особую роль играют методы обработки изображений и распознавания образов. Эффективность их применения зачастую зависит от способа представления пространственных данных и методов обработки, что вызывает необходимость исследования основных форматов представления и обработки геоданных. В настоящей статье рассмотрены два принципиально разных подхода к решению задач интегрированного анализа разнородных и разноуровневых данных.

**Состояние проблемы.** В настоящее время в практике применения ГИС используются два основных подхода к представлению и обработке геоданных – растровый и объектно-ориентированный.

Растровый подход основан на разделении исследуемого участка равномерной сетью, где с каждым элементом (ячейкой растра) может быть связан практически неограниченный набор атрибутов. Подход предусматривает обработку изображения в виде единого неструктурированного набора данных. Важным свойством растрового представления является связь между пространственной и атрибутивной информацией в единой прямо-

угольной матрице, положение элементов которой определяется номерами строки и столбца. Недостаток растрового подхода – значительный объем представляемых данных, что негативно влияет на скорость их обработки.

Возможность работы на основе растрового подхода реализована во многих специализированных ГИС, которые условно разделяют на несколько классов [1]. К первому классу относят программные пакеты, использующие растровые данные в качестве основы для векторного ввода информации. Эти пакеты не предусматривают наличия средств тематической обработки растра. К ним относятся пакеты MapInfo, ArcView и др. Второй класс составляют системы обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и растрового анализа. Эти ГИС обладают широким спектром средств и методов работы с растровыми моделями данных, в роли которых выступают цифровые данные дистанционных исследований. Они ориентированы в первую очередь на преобразование значительного объема растровой информации для решения задач дешифрирования и классификации (ERDAS Imagine, ER Mapper, INVI и др.) Третий класс программных средств наиболее развит с точки зрения сочетания растровых и векторных моделей с возможностями обработки ДДЗ (например IDRISI).

Объектно-ориентированный подход базируется на представлении информации в виде объектов изображения (сегментов) – множестве ячеек растра, объединенных в соответствии с некоторым установленным критерием [3, 4]. Основное достоинство объектно-ориентированного подхода – возможность учета не только собственных признаков выделенных сегментов изображения, но признаков окружающих объектов (пространственного контекста).

Ведущей ГИС-технологией, ориентированной на использование объектно-ориентированного

подхода, является Definiens Cognition Network Technology (компания Definiens).

**Цель исследования.** Цель настоящей работы – сравнительный анализ и выявление особенностей растрового и объектно-ориентированного подходов к представлению и обработке пространственных данных на примере двух ГИС, демонстрирующих вышеуказанные подходы: ГИС РАПИД, разрабатываемая специалистами кафедры геоинформационных систем Национального горного университета (Днепропетровск, Украина) под руководством д.т.н. проф. Б.С. Бусыгина, и ГИС Definiens Developer, разрабатываемая в Мюнхене, Германия, организацией Definiens AG под руководством нобелевского лауреата по физике G. Binning. Сравнение проводится на материалах одного из золотрудных полей Западного Узбекистана.

**Технология ГИС РАПИД.** РАПИД (распознавание, автоматизированное прогнозирование, интерпретация данных) – специализированная растрово-векторная система для решения задач интегрированного анализа геоданных, прогноза геологических явлений и ситуаций, геоэкологического районирования, мониторинга чрезвычайных ситуаций и др.

ГИС РАПИД использует в качестве основного растровый подход к представлению и обработке данных, обладая наряду с ним широким спектром средств для работы с векторными картографическими слоями [5–8].

РАПИД обеспечивает интеграцию растровых и векторных представлений данных, аналитические, информационно-справочные и измерительные функции; фильтрацию данных; построение производных признаков, исследование зависимостей и статистическую обработку; многомерное районирование, кластеризацию и классификацию; обработку изображений; распознавание и картографирование ситуаций, 2D- и 3D-визуализацию.

Система включает в себя ядро, обеспечивающее управление геоданными, а также совокупность прикладных модулей, решающих конкретные задачи обработки и анализа данных. В качестве исходных данных используются материалы геофизических и геохимических съемок, цифровые модели рельефа земной поверхности, аэрокосмические снимки, различные картографические источники, табличные данные и др.

РАПИД реализует принцип многовариантного решения задач посредством имитационного моделирования и проведения вычислительных экспериментов, предоставляя пользователю широкий набор инструментов для достижения поставленных целей и возможность выбора наилучшего из них.

На рис. 1 показана упрощенная схема этапов интегрированного анализа геоданных средствами ГИС РАПИД.

**Технология ГИС Definiens Developer.** Компания Definiens специализируется на разработке алгоритмов анализа изображений на основе технологии Definiens Cognition Network Technology [9]. Технология реализует объектно-ориентированный подход к задаче анализа/обработки геоданных. Первоначальным продуктом на основе этой технологии было приложение под названием eCognition, перешедшее в серию продуктов, реализующих масштабируемую клиент-серверную технологию анализа изображений. Основным продуктом серии является система Definiens Developer [10]. Указанный программный продукт позволяет сформировать базу правил, настроить ее под конкретное изображение, провести анализ/дешифрирование, сформировать конечный информационный продукт.

Система Definiens Developer реализует многоэтапный процесс обработки и анализа пространственных данных путем выделения, классификации и анализа объектов на изображении по правилам, формируемым пользователем в базе

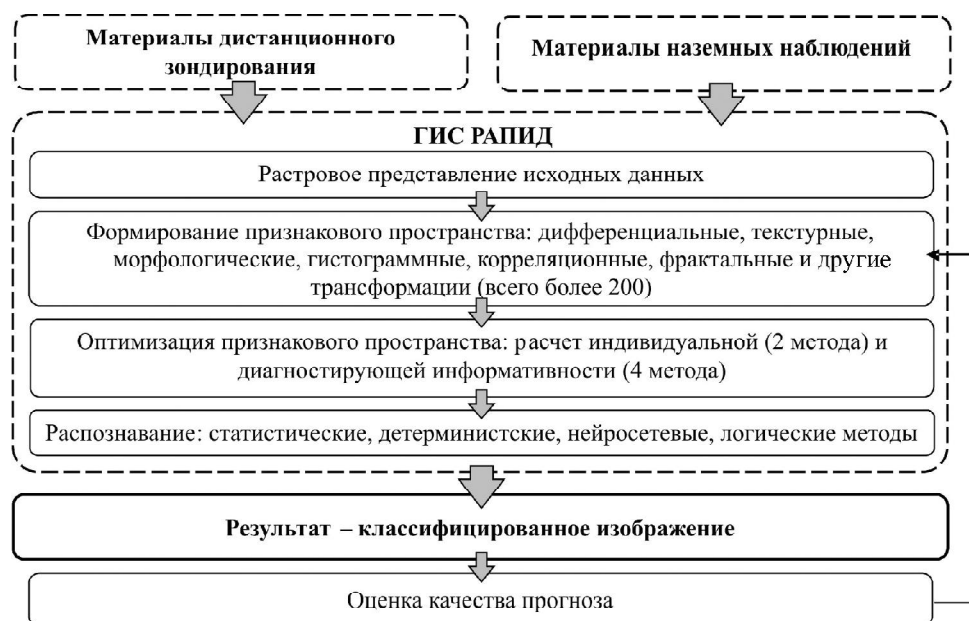


Рис. 1. Схема последовательности этапов интегрированного анализа геоданных в ГИС РАПИД

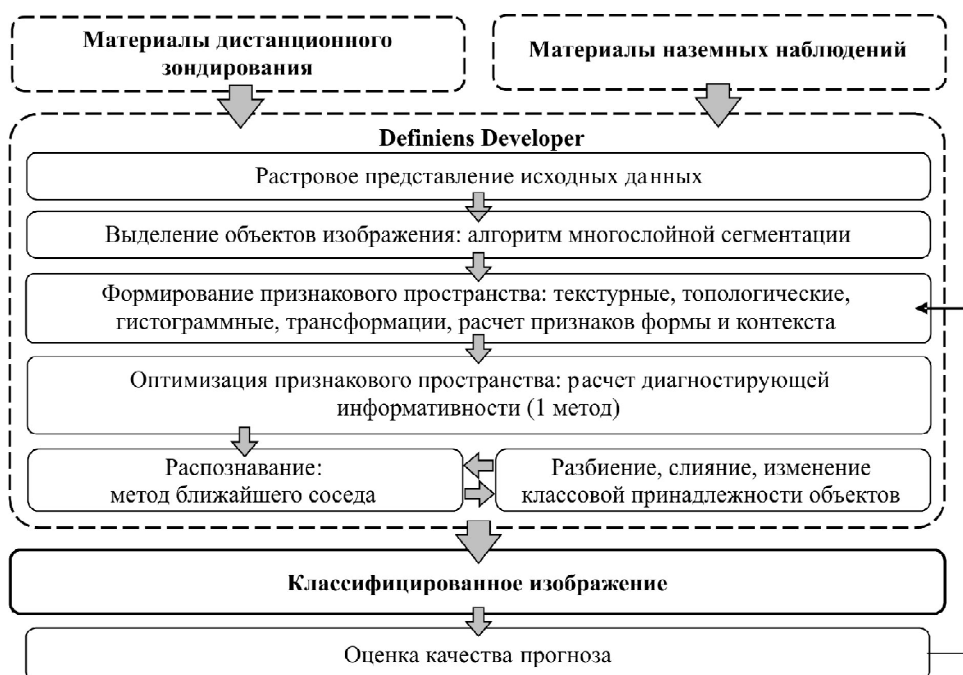


Рис. 2. Схема последовательности этапов интегрированного анализа геоданных в ГИС Definiens Developer

знаний системы. В общем виде технология состоит из следующих этапов. Вначале выполняется формирование признаков, используемых для выделения объектов на исходном анализируемом изображении. Затем проводится сегментация, т. е. выделяются области однородности яркости, цвета и текстуры, каждая из которых представляется отдельным полигоном (сегментом) [11, 12]. На следующем этапе обработки выделенных объектов изображения выполняется процедура классификации (распознавания), в результате которой исходные объекты относятся к одному из заранее заданных классов соответственно описаниям, заданным в базе знаний (рис. 2). На основе проведенной классификации возможны операции разбиения, слияния и изменения классовой принадлежности сегментов на основе их пространственных отношений.

Сводная таблица характеристик ГИС РАПИД и Definiens Developer приведена в табл. 1.

**Экспериментальные результаты.** Представленные выше ГИС являются сложными программно-технологическими комплексами, поэтому вопрос об исчерпывающем сравнении их возможностей в настоящей статье не ставится. В данном разделе приведены сравнительные результаты прогноза золоторудной минерализации в пределах одного из золоторудных полей Западного Узбекистана.

На рис. 3 представлен исследуемый участок с расположением известных рудных тел. Следует отметить, что, несмотря на достаточно детальную изученность данного рудного поля геофизическими, геологическими и геохимическими методами, на сегодня не выдвинута концепция, которая бы раскрывала особенности и закономерности пространственного размещения золотого оруденения по площади и на глубину и позволяла прогнозировать

перспективные объекты. Основная задача исследования состояла в анализе и переинтерпретации имеющихся геолого-геофизических и космических материалов с помощью рассмотренных ГИС с целью прогноза рудных объектов.

В качестве исходных данных использовался широкий спектр разнородных и разноуровневых материалов: числовые данные полевых съемок; анализы полуколичественной спектрометрии 26 геохимических элементов, представленных по равномерной сети; топографические данные о рельефе; геологические карты различных масштабов и прочие характеристики [13].

*Геофизические* данные представлены цифровыми материалами магнитного поля  $\Delta Z$  и поля естественных потенциалов (ЕП). В качестве *космических материалов* использовался панхроматический снимок со спутника SPOT-4 с пространственным разрешением 10 м. Кроме того, были собраны и оцифрованы следующие виды *геологических данных*: а) сведения о возрасте и границах геологических структур, слагающих изучаемую территорию; б) местоположение разломных структур, установленных прямыми методами; в) местоположение разломных структур, установленных косвенными методами (по данным геофизических исследований и аэрофотосъемкам); г) местоположение известных рудных тел.

Исходные материалы были помещены в базы данных ГИС РАПИД и Definiens Developer (использовалась демо-версия Definiens Developer, доступная на интернет-сайте Definiens) в виде регулярной сетки 50×50 м общим объемом 77 252 физических точек.

Эксперименты производились по набору трансформаций, полученных средствами ГИС РАПИД. Исходная размерность признакового

Таблица 1. Сравнительные характеристики ГИС РАПИД и Definiens Developer

Функциональные характеристики	РАПИД	Definiens Developer
Формат представления данных	Смешанный (растрово-векторный)	Смешанный (растрово-векторный)
Многослойное представление объектов	Нет	Есть
Архитектура	Клиентская версия	Клиентская версия, клиент-серверная версия
Платформа	Windows 98/2000/XP	Windows 98/2000/XP
Поддержка растровых форматов	BMP, JPG, XYZ, ASCII Z, Surfer GRD, TIFF, GeoTIFF	Стандартные растровые изображения Windows + множество других
Поддержка векторных форматов	Собственный формат – RVF. Возможность импорта других векторных форматов (SHP, DXF, WMF и др.)	DBF, DXF, SHP и др.
Возможность работы в системах координат	Плоская (x, y)	Плоская (x, y)
Учет контекста	Есть	Есть
Методы распознавания	Логические, статистические, детерминистские, частотные, нейросетевые	Метод ближайшего соседа
Методы кластеризации (кластерный анализ)	Есть	Нет
Формирование признакового пространства	Дифференциальные, текстурные, морфологические, гистограммные, корреляционные, фрактальные и другие трансформации (всего более 200)	Текстурные, топологические, гистограммные трансформации, расчет признаков формы и контекста
Оптимизация признакового пространства	Есть. Расчет индивидуальной (2 метода) и диагностирующей информативности (4 метода)	Есть. Расчет диагностирующей информативности (1 метод)
Оценка качества прогнозов	Есть	Нет
Работа с иерархиями классов	Нет	Есть
Визуализация изображений	2D- и 3D-поверхности, векторные карты	Многоцветное представление результатов распознавания
Импорт / экспорт данных	Есть	Есть
Арифметические операции над изображениями	»	»

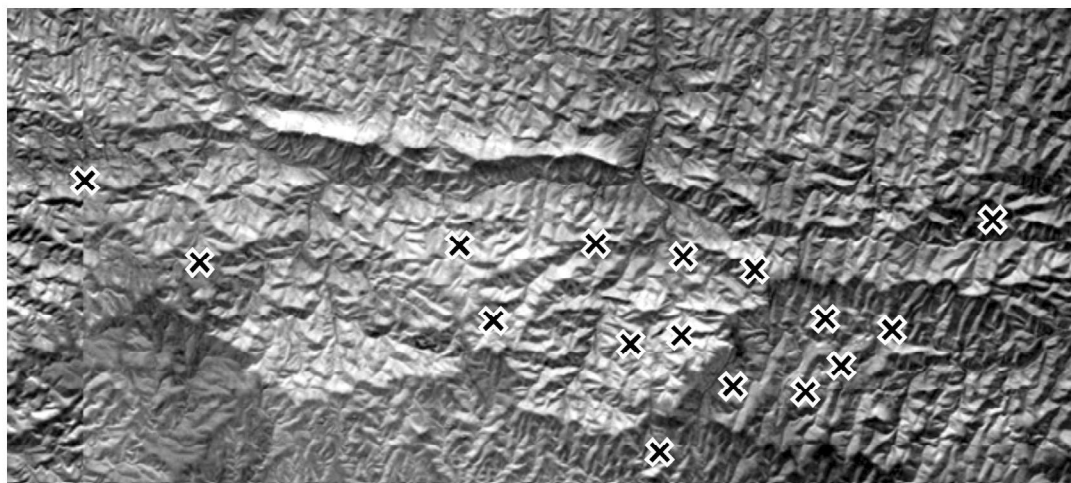


Рис. 3. Космический снимок золоторудного поля. Крестики – местоположение центров известных рудных тел

пространства составила 75 признаков. После выполнения процедуры оптимизации признакового пространства методом последовательного присоединения [6] исходная размерность сократилась до 16 признаков. Полученный набор признаков непосредственно использовался для решения задачи распознавания в ГИС РАПИД и Definiens Developer. Следует отметить, что в диагностирующий набор вошли признаки, позволяющие учитывать пространственное взаимоположение объектов при применении растрового подхода: корреляционные признаки, признаки местоположения, характеристики линейных сетей и др.

Входной информацией для формирования эталонной и контрольной выборок служили сведения о местоположении известных рудных тел. Контуры рудных объектов были аппроксимированы точками – центрами ячеек размером 50×50 м, таким образом, чтобы каждая из ячеек полностью попадала внутрь соответствующего контура. Эталоны бесперспективного класса были представлены точками (ячейками раstra или объектами), равномерно распределенными по площади участка; по ним определяли местоположение зон, для которых достоверно известно отсутствие золоторудной минерализации. В результате были сформированы два класса эталонных объектов и контрольная выборка, используемая для оценки качества прогноза.

**ГИС РАПИД.** Прогнозирование перспективных участков в ГИС РАПИД выполнялось в соответствии со схемой рис. 1. На рис. 4, *а* показано расположение эталонных объектов перспективного и бесперспективного классов, на рис. 4, *б–г* – результаты распознавания по диагностирующему набору признаков на основе растрового представления объектов с использованием статистических и нейросетевых методов [14, 15].

Статистический метод распознавания (рис. 4, *б, в*) характеризуется непараметрической оценкой плотности распределения. Распознавание выполнялось непараметрическим методом парзеновского окна с предварительным заданием его ширины, функции ядра, а также меры расстояния. Данный метод в общем случае дает наилучшие результаты при использовании гауссовской функции ядра в совокупности с косинусной и корреляционной мерами близости в многомерном признаковом пространстве.

Нейросетевые методы характеризуются большим количеством параметров, непосредственно влияющих на результаты распознавания. Для каждого типа нейронной сети имеется определенный набор характеристик, определяющих ее структуру и параметры обучения. В качестве примера применения нейросетевых методов на рис. 4, *г* представлен результат классификации, полученный многослойным перцептроном.

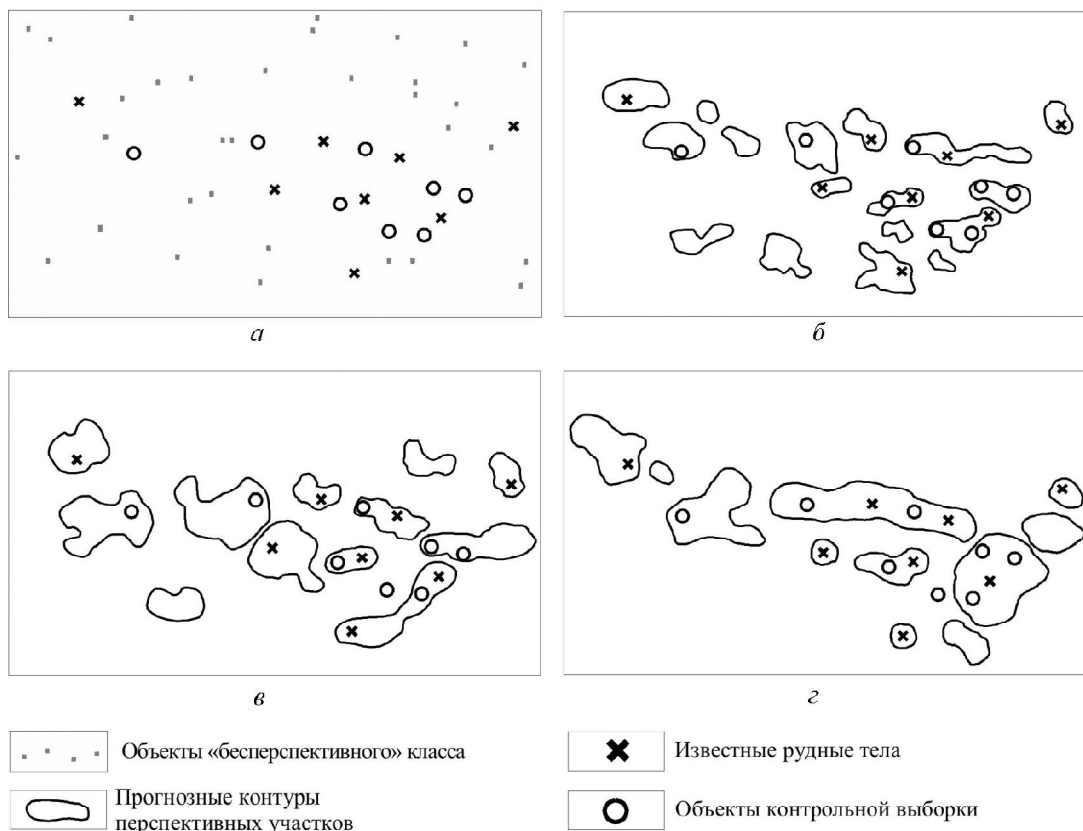


Рис. 4. Результаты распознавания в ГИС РАПИД: *а* – эталонные объекты; *результаты распознавания*: *б* – статистический непараметрический метод на основании гауссовской функции ядра и косинусной меры близости, *в* – статистический непараметрический метод на основании гауссовской функции ядра и евклидовой меры близости, *г* – нейросетевой метод

**Definiens Developer.** Прогнозирование перспективных участков в среде Definiens Developer производилось в соответствии со схемой рис. 2. На первом этапе выполнялось выделение объектов на основании многослойной сегментации изображения по всему набору признаков.

Эффективность процедуры сегментации в среде Definiens Developer в значительной степени определяется правильностью выбора параметров:

- масштабирование — варьирует в пределах [1...100] и определяет максимально допустимую неоднородность объектов изображения;
- значение параметра формы — изменяется в пределах [0...1] и определяет степень однородности объектов;
- компактность — определяет степень сглаженности границ объектов и изменяется в пределах [0...1].

Наиболее приемлемые результаты выполнения сегментации для различных параметров формы и компактности показаны на рис. 5.

На следующем этапе осуществлялось распознавание на основе метода ближайшего соседа (единственного в использованной версии Definiens Developer метода распознавания) с нахождением евклидова расстояния между объектами в многомерном признаковом пространстве. На рис. 6, *а* показано расположение эталонных объектов, на рис. 6, *б, в* — результаты распознавания по диагностирующему набору признаков (размерность — 16), диагностирующему набору признаков и набору геометрических признаков (в него вошли признаки округленности, формы, площади, длины, высоты) и только по набору геометрических признаков (рис. 6, *г*).

В качестве характеристик качества прогноза были выбраны следующие показатели [6]: количество выявленных перспективных участков для каждого класса; процент общей площади, покрываемой ими; ошибки первого и второго рода (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, общее число выявленных перспективных участков в ГИС РАПИД в 1,5 раза больше, чем в Definiens Developer. Среднее время выполнения процедуры распознавания в ГИС РАПИД составило 3–4 мин, в Definiens Developer — 1,5–2 мин. Несмотря на большее количество участков, общая площадь покрытия выявленных участков в ГИС РАПИД в среднем в 2 раза меньше, чем в Definiens Developer, что свидетельствует о большей детализации результатов прогнозирования с использованием растрового подхода для данного конкретного случая. Показатели ошибок первого и второго рода, рассчитанные по результатам распознавания, указывают на преимущество ГИС РАПИД с точки зрения качества прогноза.

**Заключение.** В ходе сравнительного анализа ГИС РАПИД и Definiens Developer показали достаточную эффективность при решении задачи прогноза золоторудной минерализации.

Анализ полученных результатов дает основание утверждать, что ГИС РАПИД превосходит ГИС Definiens Developer по качеству прогнозирования, о чем свидетельствуют показатели ошибок первого и второго рода.

ГИС РАПИД позволяет выделять изолированные прогнозные контуры меньших размеров. Наилучшие результаты прогнозирования в этой системе дает применение статистических методов

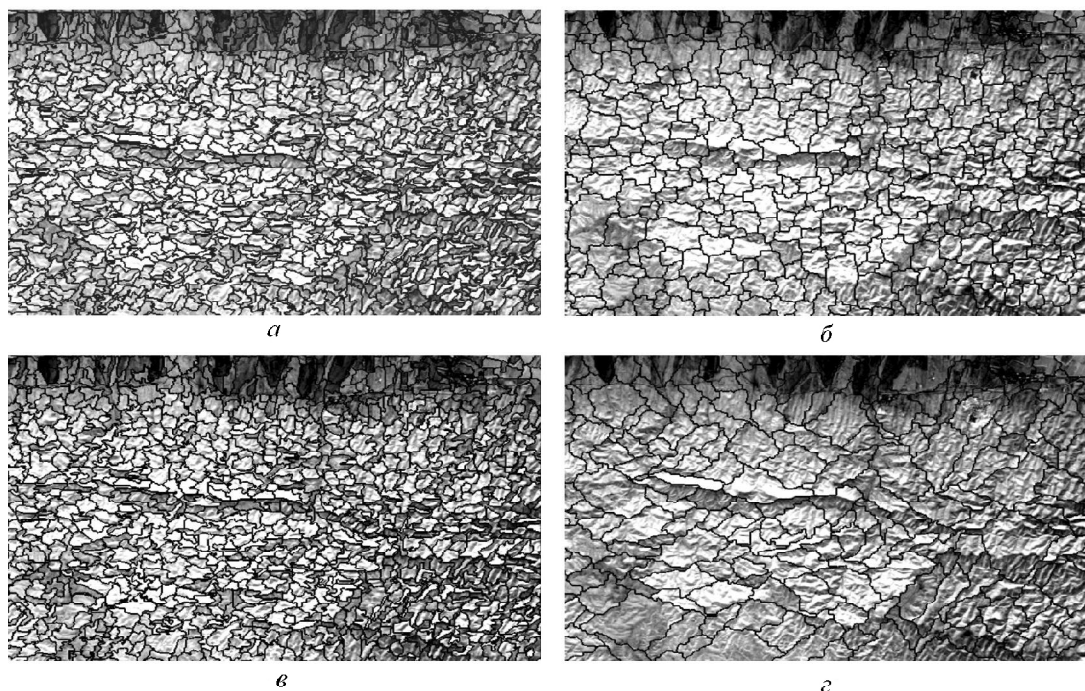


Рис. 5. Влияние параметров формы и компактности на результаты выделения объектов (при параметре масштабирования 30). Параметры выделения объектов: *а* — форма — 0,1, компактность — 0,1; *б* — форма — 0,9, компактность — 0,9; *в* — форма — 0,1, компактность — 0,9; *г* — форма — 0,9, компактность — 0,1

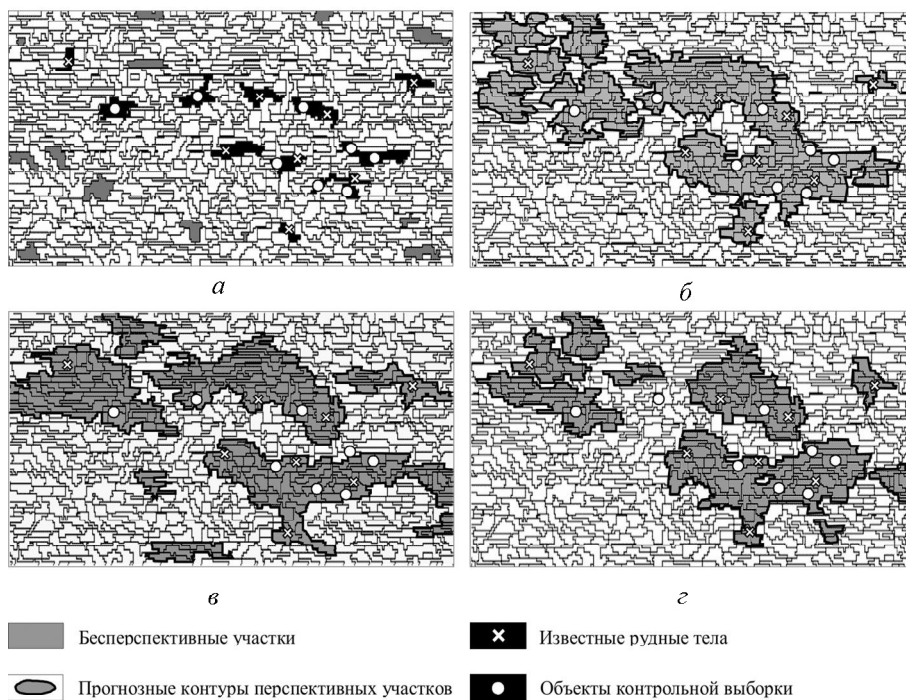


Рис. 6. Результаты распознавания в Definiens Developer: а – эталонные объекты; результаты распознавания: б – метод ближайшего соседа, диагностирующий набор признаков, в – метод ближайшего соседа, диагностирующий набор признаков и геометрические признаки, г – метод ближайшего соседа, геометрические признаки

Таблица 2. Показатели распознавания в ГИС

Показатель	РАПИД			Definiens Developer		
	Методы распознавания					
	Статистический метод на основании гауссовской функции ядра и косинусной меры близости	Статистический метод на основании гауссовской функции ядра и евклидовой меры близости	Нейросетевой метод	Метод ближайшего соседа, диагностирующий набор признаков	Метод ближайшего соседа, диагностирующий набор признаков и геометрические признаки	Метод ближайшего соседа, геометрические признаки
Суммарное количество выявленных перспективных участков	17	12	11	7	8	9
Площадь, покрываемая перспективными участками, %	12	14,7	16	35,7	35,6	32,9
Ошибка первого рода, %	0	4,7	7,8	0	4,2	12,5
Ошибка второго рода, %	8,7	12,2	11	16,3	17,6	15,1

распознавания на основе диагностирующего набора признаков.

Наилучшие результаты прогнозирования в ГИС Definiens Developer получены на базе диагностирующего набора признаков без использования геометрических признаков (показателей площади, формы, периметра, границ и т. п.). Главное достоинство системы – возможность сокращения вычислительных затрат при уменьшении количества выделяемых объектов изображения на основании параметров компактности и формы. Варьирование указанными параметрами незначительно влияет на конечный результат. Важное свойство Definiens Developer – возможность формирования специальных правил, позволяющих выделять объекты на основании их пространственного взаимоположения.

Результаты экспериментов (в том числе не приведенные в данной статье) показали, что при решении задач анализа геоданных с применением описанных в работе подходов важную роль играет степень детализации и разнородности исходного материала.

Представленные в работе результаты, безусловно, не позволяют сформировать однозначные выводы относительно особенностей применимости ГИС РАПИД и Definiens Developer в задачах анализа пространственных данных. Для исчерпывающего сравнения представленных ГИС требуются дополнительные исследования на различных наборах геоданных.

1. *Geoинформационный портал ГИС-Ассоциации* // Эл. ресурс. URL: <http://www.gisa.ru>
2. *Gonzalez R.C., Woods R.E.* Digital Image Processing. – Boston: Prentice Hall, 2002. – 793 p.
3. *Голубенко И.С., Ручкин Ю.А., Ворошин С.В.* Двухмерный анализ формы полигональных объектов в геоинформационных системах геологического содержания // Геоинформатика. – 2004. – № 3. – С. 3–12.
4. *Wiens J.A.* Population responses to patchy environments // Ann. Rev. Ecol. Syst. – 1976. – 7. – P. 81–120.
5. *Ливняк Г.Г., Бусыгин Б.С., Никулин С.Л.* ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разнородных геоданных // Доп. НАН України. – 2007. – № 6. – С. 121–128.
6. *Бусыгин Б.С., Мирошниченко Л.В.* Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 1991. – 168 с.
7. *Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Залесский В.В.* Компьютерная технология поисков золота на юго-западном склоне Украинского щита // Наука та інновації. – 2006. – № 3. – С. 80–91.
8. *Бусыгин Б.С., Никулин С.Л., Бойко В.А.* Геоинформационная система РАПИД как средство мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Зб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2006. – Вип. 4(20). – С. 204–216.
9. *Геоинформационный портал “Data +”* // Эл. ресурс. URL: <http://www.dataplus.ru>
10. *Tiede D., Langa S., Hoffmann Ch.* Supervised and forest type-specific multi-scale segmentation for a one-level-representation of single trees // 1st Int. conf. on Object-based Image Analysis. – 2006.
11. *Харалик Р. М.* Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. – 1979. – 67, № 5. – С. 98–120.
12. *Потанов А.А.* Фракталы в дистанционном зондировании // Успехи соврем. радиоэлектроники. – 2000. – № 6. – С. 3–65.
13. *Марченко В.В.* Информационная технология ситуационного анализа пространственной геоинформации (на примере решения некоторых задач геологического прогнозирования) // Геоинформатика. – 2002. – № 2. – С. 21–32.
14. *Duda R.O., Hart P.E., Stork D.G.* Pattern classification. – 2ed. – Wiley, 2000. – 612 с.
15. *Bow S.-T.* Pattern recognition and image preprocessing. – New York: Marcel Dekker, 2002.

Поступила в редакцию 25.03.2009 г.

*Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин, Е.Л. Сергеева*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСТРОВЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены результаты сравнительного анализа ГИС-технологий, основанных на растровом и объектно-ориентированном представлении геолого-геофизических и аэрокосмических материалов. Описана методика обработки геоданных в геоинформационных системах РАПИД и Definiens Developer на примере решения задачи прогнозирования золоторудных объектов. Приведены результаты влияния различных методов распознавания, параметров формы и компактности изучаемых объектов на результаты прогнозирования. Экспериментально показано, что по критериям ошибок первого и второго рода технология ГИС РАПИД более эффективна.

*Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин, К.Л. Сергеева*

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РАСТРОВИХ ТА ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ЗОЛОТОРУДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розглянуто результати порівняльного аналізу ГІС-технологій, що ґрунтуються на растровому та об'єктно-орієнтованому поданні геолого-геофізичних та аерокосмічних матеріалів. Описано методіку обробки геоданих у геоінформаційних системах РАПІД та Definiens Developer на прикладі вирішення задачі прогнозування золоторудних об'єктів. Наведено результати впливу різних методів розпізнавання, параметрів форми та компактності досліджуваних об'єктів на результати прогнозування. Експериментально показано, що за критеріями помилок першого і другого роду технологія ГІС РАПІД є ефективнішою.