

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАПИД: СТРУКТУРА, ТЕХНОЛОГИЯ, ЗАДАЧИ

Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин

Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”, просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск 49005, Украина, e-mail: busyginb@yandex.ru, s-nikuln@yandex.ru

Изложены основные сведения о геоинформационной системе (ГИС) РАПИД. Описана геоинформационная технология, которую реализует система. ГИС РАПИД ориентирована на совместную обработку и анализ наземных и космических данных, позволяет решать широкий круг задач наук о Земле на общих методических принципах. Система объединяет инструментарий универсальных ГИС с математическим аппаратом Data Mining, что дает возможность интегрировать разнотипные многоуровневые геоданные и извлекать из них новую информацию. Представлена информация о функциональных возможностях и структуре системы, дан пример практического применения технологии РАПИД. Показано, что при использовании системы и технологии повышается эффективность интегрированного анализа разнородных геоданных, решения задач природо- и недропользования, сокращаются затраты времени и средств.

Ключевые слова: геоинформационные системы, интегрированный анализ данных, математический аппарат Data Mining, прогноз и поиски полезных ископаемых.

Введение. Решение задач природопользования на современном этапе предполагает привлечение и применение большого объема разнородных пространственных материалов – космических съемок, картографических и цифровых геологических, геофизических, геохимических, экологических, метеорологических и других геоданных. Оперирование данными немыслимо без помощи информационных технологий. В настоящее время первостепенное значение имеет создание программных средств, способных эффективно обрабатывать и анализировать большие массивы разнородных и многоуровневых данных. К таким средствам в первую очередь относятся геоинформационные системы (ГИС), сочетающие возможности хранения, обработки, анализа и визуализации пространственных данных. Интенсивное развитие ГИС на протяжении последних десятилетий обеспечило новый качественный уровень управления пространственной информацией.

В Национальном горном университете создана специализированная ГИС РАПИД (Распознавание, Автоматизированное прогнозирование, Интерпретация данных) – мощное средство интегрированного анализа пространственных данных на основе математического аппарата Data Mining. Систему можно использовать для решения задач поиска месторождений полезных ископаемых, экологии и мониторинга окружающей среды, прогноза опасных природных и техногенных ситуаций, геокартирования и др.

Состояние проблемы. Постоянное усложнение решаемых задач наряду с ростом возможностей информационных технологий привели к тому, что за последние десятилетия происходила неодно-

кратная смена технологической и инструментальной базы обработки геоданных. Например, в геологии отдельные программы, решавшие конкретные частные задачи обработки геофизических материалов и внедрявшиеся на протяжении 1950–1960-х годов, в начале 1970-х были заменены на программные комплексы для работы с данными отдельных методов. К началу 1980-х годов в результате развития аппаратного, алгоритмического и программного обеспечения стал возможен переход к созданию мощных автоматизированных систем обработки данных (АСОД), обеспечивавших как углубленную пометодную, так и комплексную обработку материалов геофизических съемок АСОМ-РГ, АСОМ-АГС, АСОД-Прогноз (КазВИРГ), ГРАВИПАК/ГЕОКОМПАС, СЕЙСПАК, АЭРОПАК, КОМПАК (Иркутскгеология), АИГИГС/АСОИГИС (ЦГЭ, Москва), РЕГИОН (МНИИПУ), Геотомо (ВИРГ), COSCAD (МГГРУ), АСОГИ-МП (Иркутский государственный университет), а также пакеты стран Запада, например, RockWorks (RockWare Inc), EgMapper [6, 15, 16 и др.].

Распространение в начале 1990-х годов персональных компьютеров обеспечило возможность создания и внедрения автоматизированных рабочих мест (АРМ) геологов и геофизиков, что упрощало решение технических проблем, связанных с вводом-выводом, редактированием и преобразованием данных, предоставляло возможность оперативной проверки различных гипотез и выработки более гибких схем обработки данных по сравнению с АСОД.

Вместе с тем дальнейшее стремительное развитие вычислительной техники, космических тех-

нологий и математических методов обработки пространственно привязанных данных (геоданных) полностью изменило характер производственных и исследовательских процессов в недропользовании, геологии, экологии. Начавшееся в 1990-х годах масштабное внедрение ГИС, ориентированных на обработку координатно-привязанных данных и обладавших значительно большими возможностями для хранения, манипулирования и визуализации геоданных, дало существенный толчок компьютеризации отрасли, переводу накопленных данных в цифровой вид, их координатной привязке и развитию новых геоинформационных технологий [13].

Среди универсальных инструментальных ГИС можно отметить ArcGIS, MapInfo, GRASS GIS, OpenGIS, AutoCAD MAP 3D, Quantum GIS – крупные коммерческие программные продукты, реализующие основные функции работы с пространственно привязанными данными: сбор, упорядочение, хранение, манипулирование, первичную обработку, а также выполнение некоторых операций ГИС-анализа [7, 27, 32 и др.] (отбор объектов по заданным критериям, буферизация, оверлейный, геостатистический и сетевой анализ, картографическая алгебра и др.). Потребности специалистов конкретных областей обусловили необходимость включения в состав ГИС специализированных инструментов для решения задач конкретных проблемных областей. Например, в ГИС ArcGIS вошли специализированные средства обработки гидрогеологических данных.

В дальнейшем специализированные ГИС развивались на основе объединения инструментария и возможностей универсальных ГИС и разработанных ранее отраслевых систем. Своеобразный синтез систем анализа и интерпретации комплекса геолого-геофизических данных с ГИС-инструментарием привёл к возникновению специализированных ГИС (ИНТЕГРО, Coscad 3D, MultAlt, АС-ПАНГЕЯ, ПАРК, ProSource, Oasis montaj и другие), обладающих развитыми средствами решения задач предметной области и присущими универсальным ГИС широкими возможностями управления пространственными данными [8, 11, 12, 29, 31 и др.].

Повышение роли аэрокосмических материалов при решении задач природопользования обусловило широкое распространение специализированных систем обработки аэрокосмоснимков (Erdas Imagine, ENVI, eCognition, MultiSpec и др. [24–26, 28]). Созданы специализированные пакеты, ориентированные на решение определенного круга тематических задач, в частности на выполнение линеаментного анализа (ЛА) [9, 10, 17, 19]. Такие пакеты не требуют от пользователя широких знаний в области ГИС и применяют понятные ему терминологию и интерфейс. Особеннос-

ти пакетов: использование ограниченного набора обрабатываемых данных, зачастую фиксированные технологические схемы, специализированный математический аппарат.

В настоящее время, несмотря на достигнутый прогресс в разработке программно-технологических средств, развитие облачных технологий и GRID-технологий, всевозрастающий рост объемов геоданных и резкое усложнение условий поиска месторождений приводят к тому, что проблема увеличения степени извлечения полезной информации из первичных данных не теряет актуальности. Один из путей решения этой проблемы – использование моделей и методов аппарата Data Mining, что позволяет осуществлять интегрированный анализ разнородных и разноуровневых геоданных и получать новые знания.

Основные сведения о системе. ГИС РАПИД ориентирована на обработку и интеллектуальный анализ разнородных и разноуровневых геоданных, позволяет на общих методических принципах решать широкий круг задач наук о Земле: прогноз полезных ископаемых, картирование территорий, мониторинг и прогнозирование чрезвычайных и геоэкологических ситуаций и др. [19].

Система позволяет использовать разнородные и многоуровневые геоданные из различных источников (цифровые геолого-геофизические и картографические материалы, аэрокосмические снимки, результаты геохимических анализов проб, данные бурения, информацию о ландшафтах, цифровые геоизображения), полученные на одном из высотных уровней: космос (спутниковые материалы), атмосфера (аэрофото- и аэрогеофизические съемки), земная или морская поверхность (полевые съемки), нижнее полупространство (измерения в горных выработках).

Система обеспечивает информационно-справочные и измерительные функции, фильтрацию данных, формирование новых признаков и построение производных карт, исследование зависимостей и статистическую обработку, многомерное районирование, классификацию с обучением и без обучения; ранжирование, картографирование ситуаций, разнообразную 2D- и 3D-визуализацию данных, компоновку и печать исходящих документов и другие функции.

Система использует несколько моделей представления данных: сеточную (физические поля и геохимические данные), векторную (картографические слои) и растровую (аэрокосмические изображения). Основной является сеточная модель, в которой информация об исследуемом участке соотносится с узлами регулярной сети на земной поверхности.

Геоинформационная технология, базирующаяся на ГИС РАПИД [14], реализует принцип многовариантного решения задач с помощью

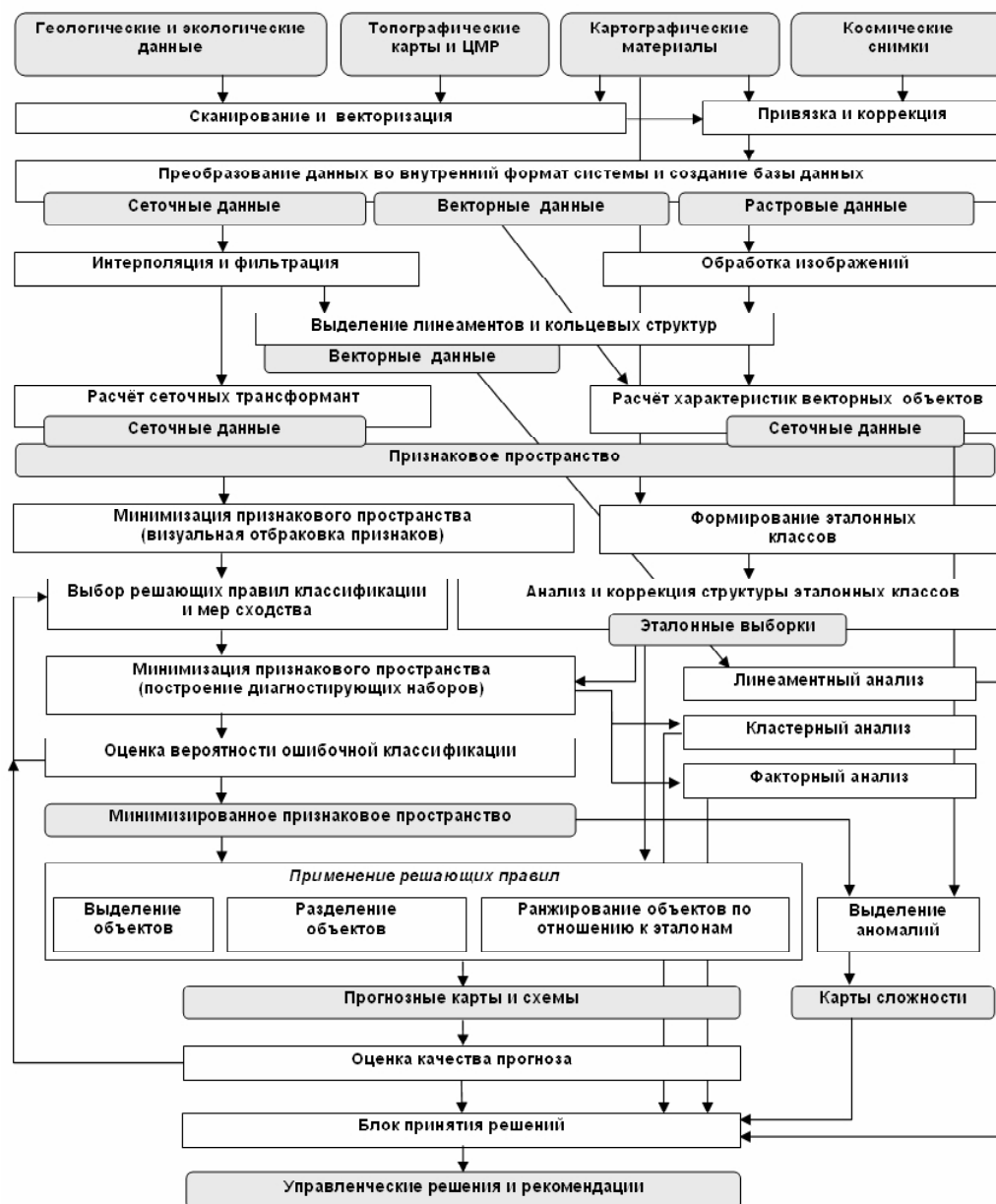


Рис. 1. Технологическая схема решения прогнозно-поисковых задач на базе ГИС РАПИД
 Fig. 1. The technological scheme of searching and forecasting tasks solving on the basis of RAPID GIS

имитационного моделирования и проведения вычислительных экспериментов. Она ориентирована на установление прямых связей между пространственными закономерностями расположения изучаемых объектов и явлений и структурой описывающих их данных. В системе ГИС РАПИД реализованы функции, обеспечивающие:

- интеграцию данных, заданных в растровой и векторной формах; аналитические, информационно-справочные и измерительные функции;
- операции векторизации, растеризации и сегментации;
- районирование территорий методами кластеризации;
- поиск связей и установление закономерностей методами классификации, распознавания, секвенционного анализа, поиска ассоциаций;

- реализацию “аномального” подхода к выделению объектов: поиск исключений (отклонений), не характерных для исследуемой территории или описывающих её данных;
- выделение областей (участков, зон), перспективных на обнаружение искомых объектов;
- картографирование и моделирование техногенных и природных объектов и ситуаций;
- многовариантную визуализацию данных, компоновку и печать выходных документов в 2D и 3D форматах и др.

Упрощённая технологическая схема приведена на рис. 1.

Структура системы. Система включает в себя ядро, обеспечивающее управление данными, а также совокупность модулей, сгруппированных в функциональные подсистемы управления данными, формирования признакового пространства,

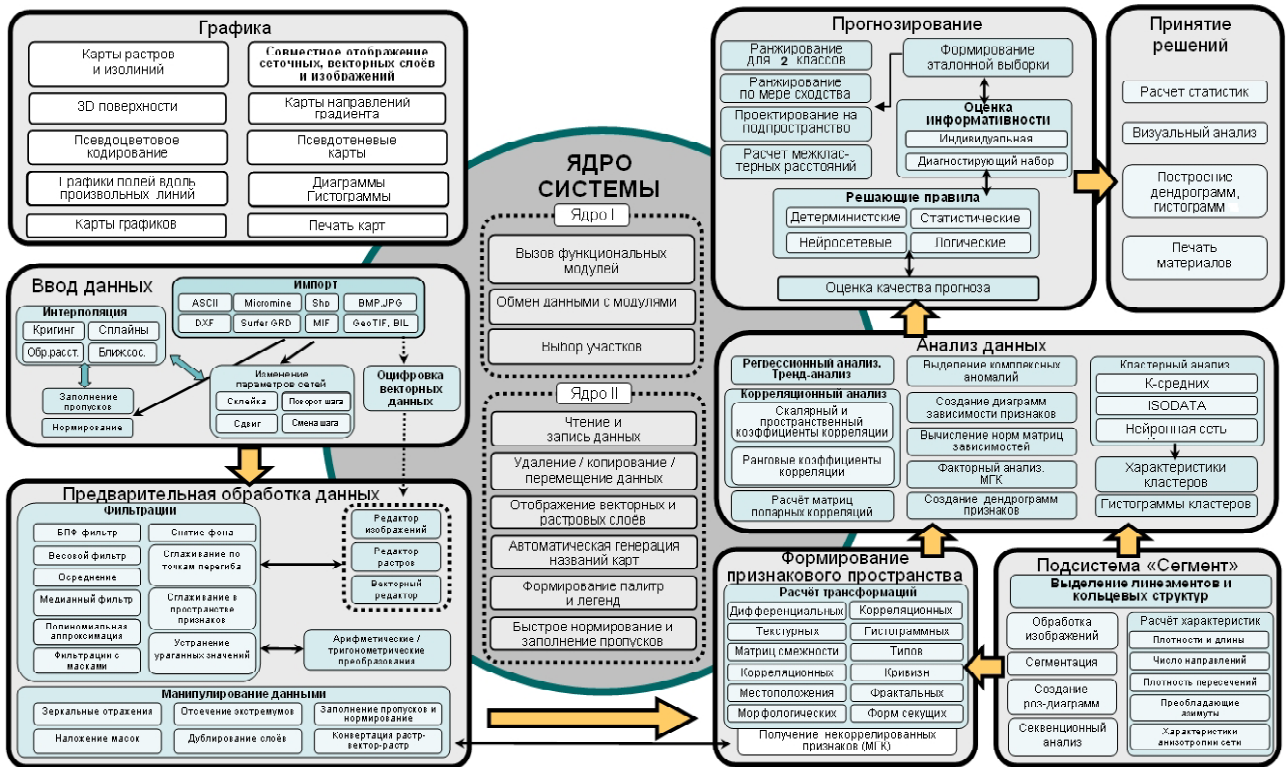


Рис. 2. Функциональная схема ГИС РАПИД

Fig. 2. Function scheme of RAPID GIS

линеamentного анализа, комплексного анализа данных, прогнозирования на основе методов аппарата Data Mining, графики. Всего в состав ГИС РАПИД входит около 100 функциональных модулей, имеющих единый пользовательский интерфейс, русско- и англоязычный (рис. 2).

Ядро системы – программный комплекс, состоящий из двух частей. Первая отвечает за вызов отдельных модулей, а также обмен данными между разными модулями, решающими конкретные задачи обработки и анализа данных, а также между ГИС РАПИД и известными системами, например ArcGIS, Microtine, Surfe и др. Вторая часть, встроенная во все функциональные модули, управляет потоками данных, обеспечивая считывание, запись, удаление, визуализацию и простые преобразования (сглаживание, заполнение пропусков, нормирование). При такой структуре систему легко расширить, а также создать на её базе как функциональные подсистемы, так и отдельные ГИС, предназначенные для решения специализированных задач [2, 3, 30].

Ниже рассмотрены отличительные особенности ГИС РАПИД.

1. Подсистема формирования признакового пространства предоставляет уникальные возможности вычисления трансформаций исходных данных и выбора наиболее информативных из них. Опыт решения разнообразных прогнозных задач свидетельствует о том, что очень часто “признаки”, т. е. результаты математического трансформирования исходных набо-

ров данных, более информативны с точки зрения целевой постановки задачи. Поскольку существует множество методов вычисления трансформаций и априори невозможно установить, какие из них наиболее полезны при решении конкретной задачи, обычно производится расчёт различных трансформант с последующим выделением наиболее информативных. ГИС РАПИД обеспечивает выполнение значительного числа разных трансформаций, основанных на двух принципиально различных подходах – пиксельном и объектно-ориентированном. Пиксельный подход основан на разделении пространства регулярной сетью, где с каждым элементом (ячейкой сети) связан некоторый набор признаков. Объектно-ориентированный подход базируется на представлении информации в виде иерархически организованной совокупности площадных или линейных объектов, которые при необходимости переводятся в сеточную форму путём растеризации. Всего ГИС РАПИД обеспечивает расчёт более 200 трансформаций, основанных на обоих подходах (рис. 3). Специальные оптимизационные методы позволяют выделить среди множества получаемых трансформант наборы, обеспечивающие решение задач с минимальной ошибкой.

2. Развитый инструментальный линеamentного анализа входит в состав подсистемы “Сегмент” (рис. 4). В подсистеме реализовано большое количество процедур выделения, обработки и

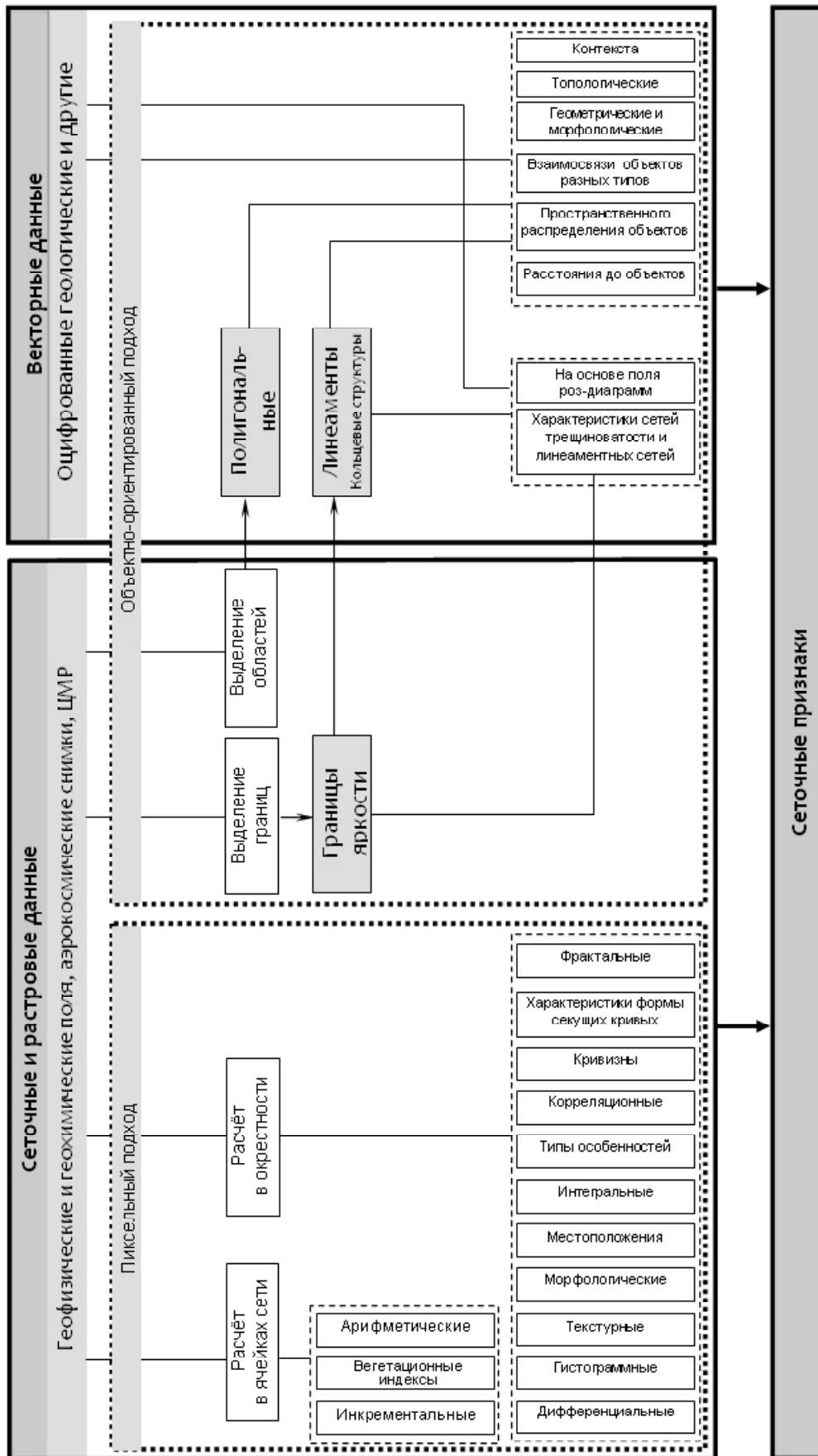


Рис. 3. Общая схема генерации признаков
 Fig. 3. General scheme of features generation

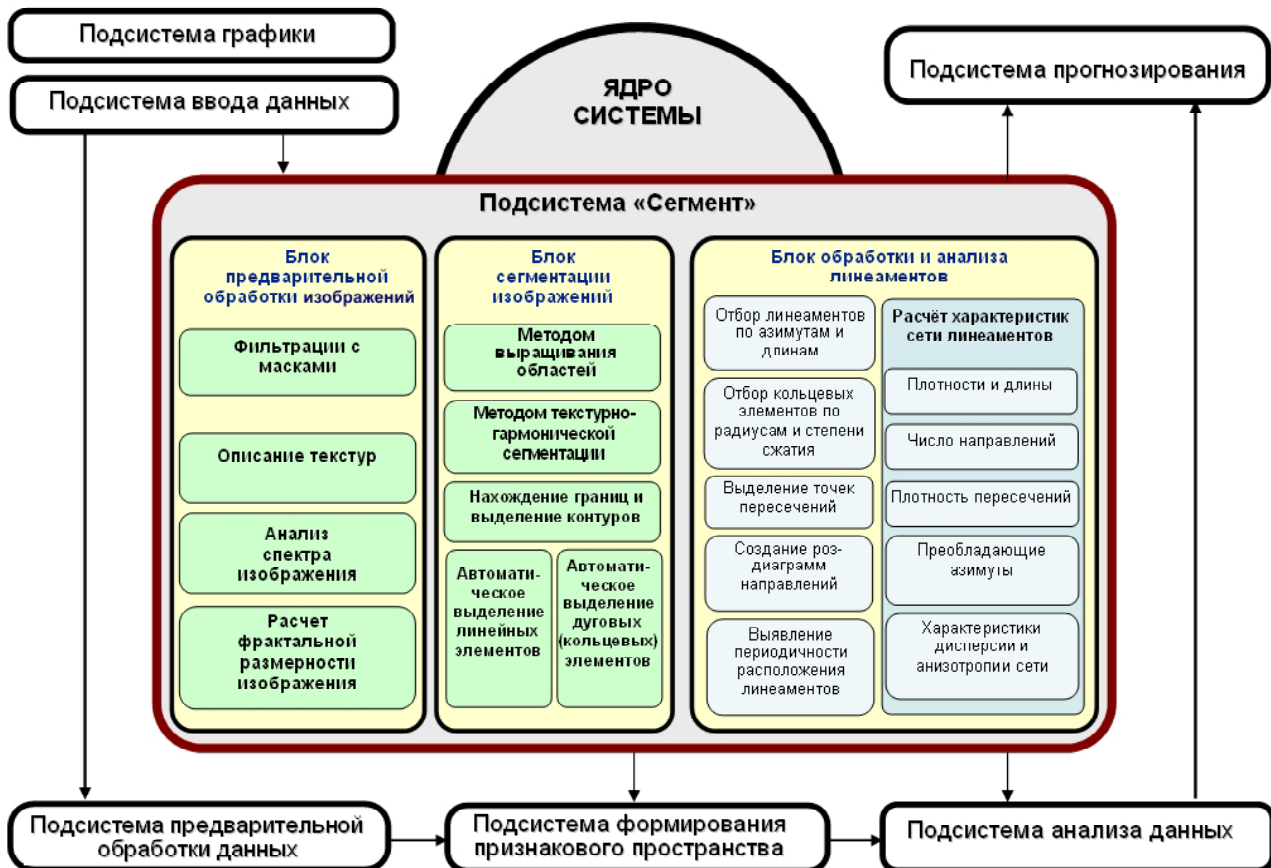


Рис. 4. Функциональная схема подсистемы «Сегмент»

Fig. 4. Function scheme of "Segment" subsystem

анализа линеаментов – линейных фрагментов космических снимков и физических полей. В отличие от известных систем линеаментного анализа (Lessa, Lineament, ALINA [9, 10, 17]) ГИС РАПИД обеспечивает тесное взаимодействие указанной подсистемы с прогнозирующими модулями и возможность использования результатов линеаментного анализа как для уточнения тектонического строения территорий, так и в качестве входных данных в процедурах Data Mining [21].

3. В мощной подсистеме решения прогнозно-поисковых задач методами аппарата Data Mining, в частности, реализованы: 18 методов классификации (эталонной и безэталонной), основанных на применении детерминистских, статистических, логических и нейросетевых решающих правил; 12 критериев точности прогнозов; оригинальные алгоритмы, повышающие достоверность результатов; специализированный графический редактор для формирования обучающих и контрольных выборок в автоматизированном режиме (рис. 5).

Решаемые задачи. Система позволяет решать широкий круг задач, в том числе:

- прогноз залежей рудных и углеводородных объектов по комплексу космических и наземных съемок;

- изучение техногенных месторождений и мест скопления промышленных отходов; оценка экологической ситуации на этих участках; поиск оптимальных мест для организации производственных отвалов и захоронений;
- экологическое районирование и оценка техногенной опасности (районирование экологического состояния территорий по совокупности показателей; оценка загрязнения поверхностных вод и атмосферного воздуха; оценка геологического и гидрогеологического риска; выделение аномальных зон; оценка уровня техногенной нагрузки на ландшафты);
- выявление изменений природной среды, вызванных антропогенной деятельностью, для решения задач экологической безопасности;
- прогнозирование природных катастроф путём анализа космоснимков с целью выявления неотектонических процессов в геологической среде и предупреждения катастрофических явлений – оползневых, эрозионных, селевых, карстовых, проседаний лессовых грунтов и др.; создание карт потенциальной аварийной опасности, учитывающих влияние природных и техногенных факторов для выделения зон повышенной опасности, а также участков наименьшего риска;



Рис. 5. Функциональная схема подсистемы прогнозирования
 Fig. 5. Function scheme of forecasting subsystem

- картирование опасных ситуаций, связанных с деятельностью горнопромышленных предприятий (оценка пожароопасности шахт путём исследования инфракрасного и теплового каналов космических снимков; оценка степени техногенной нарушенности рельефа поверхности шахтных полей по данным космического мониторинга и др.);
 - прогнозирование сейсмоактивности по космическим данным;
 - создание и ведение баз геоданных, многовариантная 2D- и 3D-визуализация материалов;
 - картографирование объектов и явлений (построение электронных карт промышленных, муниципальных и сельскохозяйственных объектов; отображение природных и техногенных явлений (оползней, карстов, проседаний поверхности рельефа и т. д.), создание тематических атласов.
- За последние годы ГИС РАПИД использовалась для решения практических задач природопользования и экологии, а именно:
- картирования территории Донецкого угольного бассейна по результатам обработки материалов тепловых каналов космических аппаратов;

- картирования состояния растительного покрова урбанизированных ландшафтов, в том числе сельскохозяйственных культур;
- мониторинга динамики оползневых процессов по данным линеamentного анализа разновременных космических радарных снимков (Украина, Казахстан);
- прогнозирования сейсмоопасности по данным линеamentного анализа материалов космических съемок (Украина, Россия, Турция) [23];
- мониторинга развития овражно-балочной структуры земель сельскохозяйственного назначения (Украина);
- прогноза урановых и золоторудных объектов (Украина, Узбекистан, Казахстан) по комплексу геолого-геофизических и аэрокосмических данных [20];
- прогноза залежей угольного метана в пределах шахтных полей Донбасса [18];
- прогноза углеводородных объектов в пределах центральной части [22] и в фундаменте Северного борта [4] Днепровско-Донецкой впадины.

Применение технологии и системы РАПИД. Продемонстрируем работу ГИС РАПИД на при-

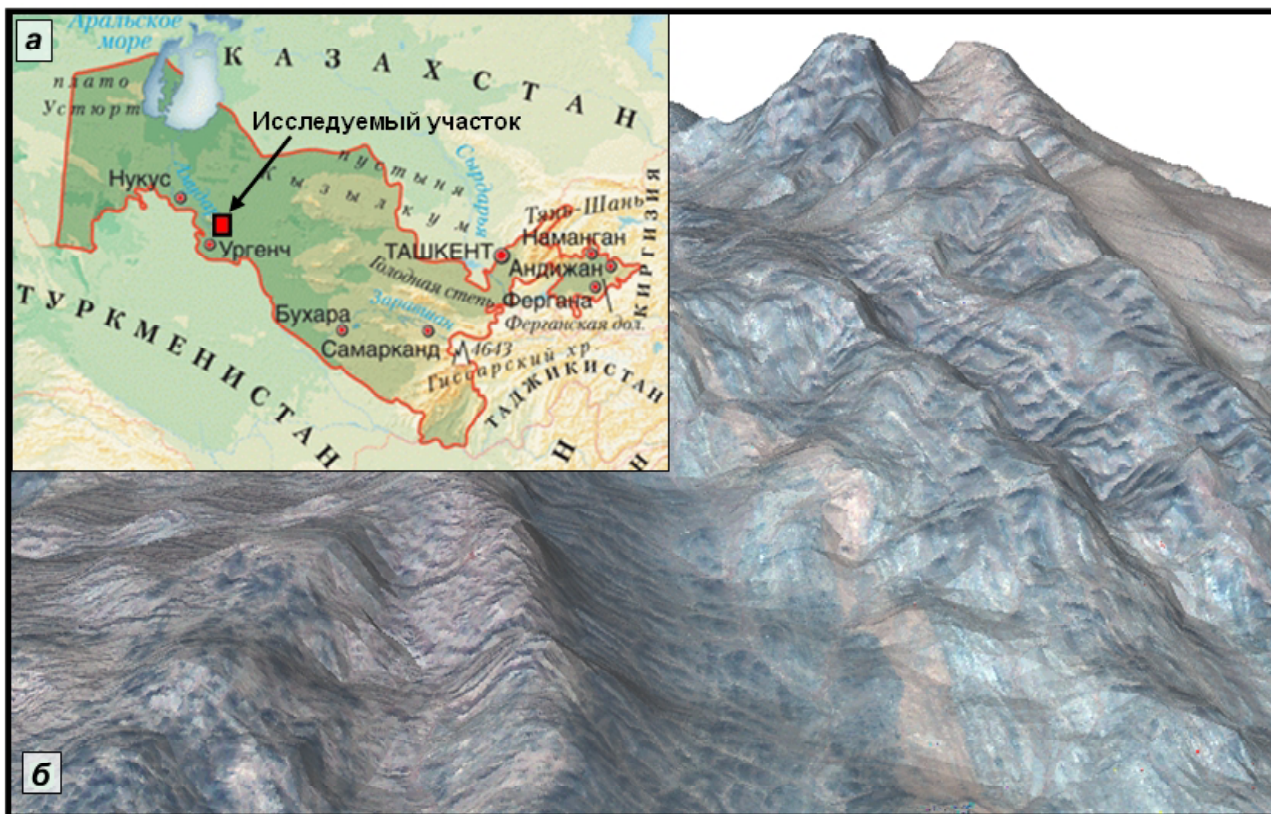


Рис. 6. Положение участка исследований (а) и фрагмент космического снимка QuickBird-2, совмещённый с цифровой моделью рельефа (вертикальный масштаб увеличен) (б)

Fig. 6. The study area allocation (a) and a fragment of the QuickBird-2 satellite image combined with digital elevation model (the vertical scale is zoomed) (b)

мере поисков золоторудной минерализации в пределах Джамансайских гор, Узбекистан (рис. 6). Работы проводились в 2003–2006 гг. В этом районе, размером 18×22км, было известно несколько десятков рудопроявлений и одно месторождение. Ставилась задача выделения участков, перспективных на обнаружение новых золоторудных объектов.

Исходные данные: материалы высокоточных космических съёмок со спутника QuickBird 2 с пространственным разрешением панхроматического канала 0,6 м и мультиспектральных (красный, зелёный, голубой и ближний инфракрасный) – 2,5 м, материалы съёмок 6 геофизических полей в масштабах 1 : 25 000 и 1 : 50 000 (V_z , ΔT_a , ΔZ_a , γ - поле, поле изоом и поле естественных электрических потенциалов), представленных в виде карт изолиний. Кроме того, использовались геологические и геохимические данные: точки повышенной минерализации золота в канавах и скважинах, геологические карты и схемы (рис. 7).

Космические снимки послужили основой для создания *трех различных наборов данных*.

А. Материалы обработки и анализ сетей линеаментов. Выделение линеаментов проводилось поэтапно в двух режимах: автоматическом, с помощью специальных программных средств, и ручном, когда отдельные выделенные объекты проверялись оператором. Выделению предшество-

вала специальная обработка снимков, направленная на увеличение их контрастности и автоматическое устранение помех. В целом общее количество линеаментов на участке составило около 15 тыс. (рис. 8, а, б). Построенная роза-диаграмма их направлений имеет 4 максимума, соответствующие азимутам 0°, 45°, 90° и 135°, поэтому вся совокупность линеаментов в зависимости от азимутов простирания была разделена на 4 группы, которые использовались для расчёта характеристик линеаментной сети [20] в скользящей окрестности размером 400×400 м.

Для всей совокупности линеаментов и каждой группы в отдельности рассчитывались характеристики, отражающие разные аспекты линеаментной сети участка (рис. 8, в).

Б. Результаты пространственного анализа кольцевых структур. Космические снимки также послужили основой для выделения кольцевых (включая дуговые) структур. В автоматизированном режиме выделено более 200 кольцевых структур с диаметром от 100 до 800 м. Полученная совокупность кольцевых структур стала основой для вычисления их дополнительных характеристик (концентрации, точек взаимопересечения и др.), использованных в дальнейшем для формирования признакового пространства и анализа закономерностей распределения этих структур (рис. 8, д).

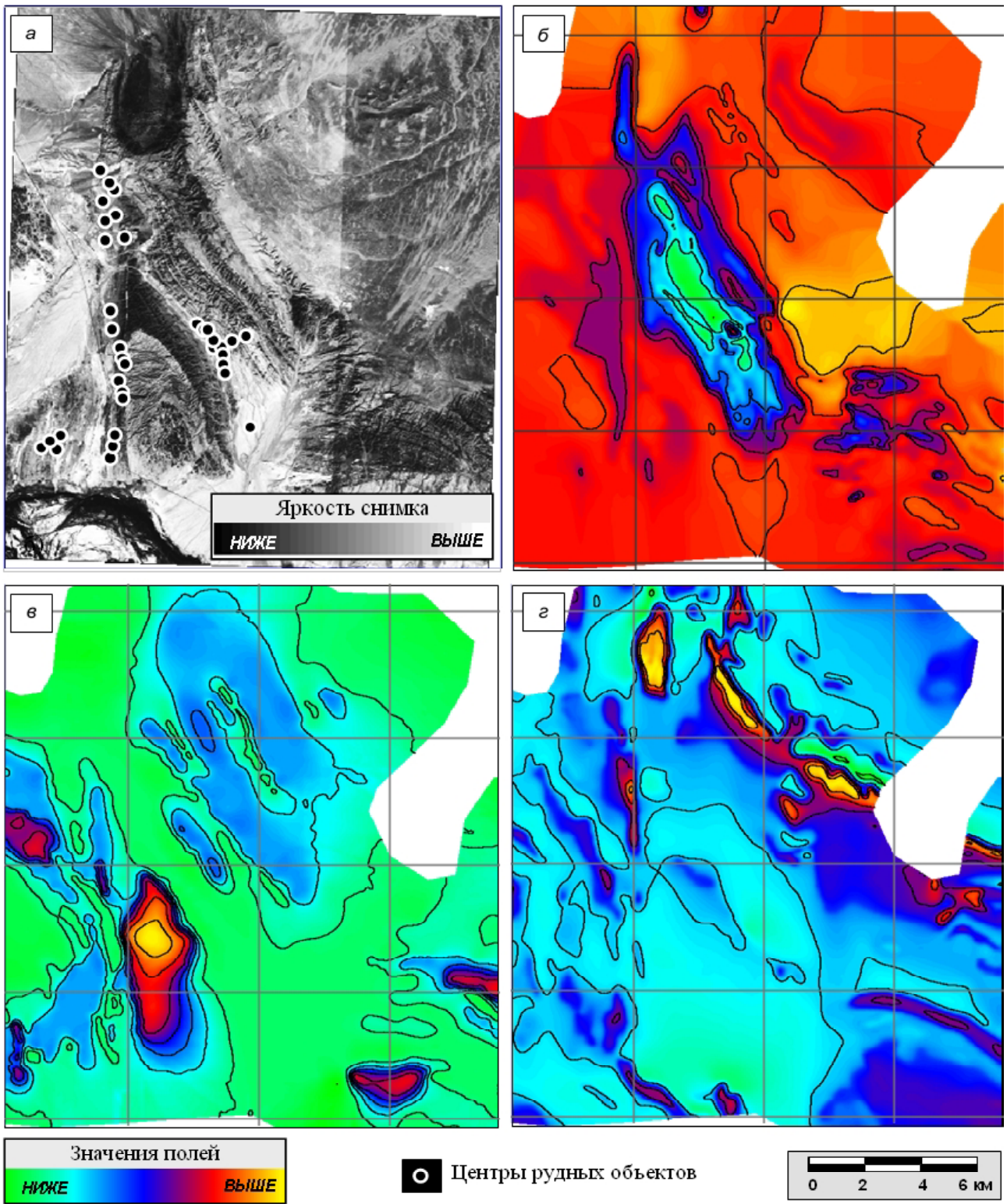


Рис. 7. Исходные данные: а – космический снимок QuickBird-2; карты: б – поля естественных электрических потенциалов, в – электрического поля изоом, г – магнитного поля ΔT_a

Fig. 7. Basic data: а – QuickBird-2 satellite image; maps: б – natural electric potentials field, в – electric resistance field, г – ΔT_a magnetic field

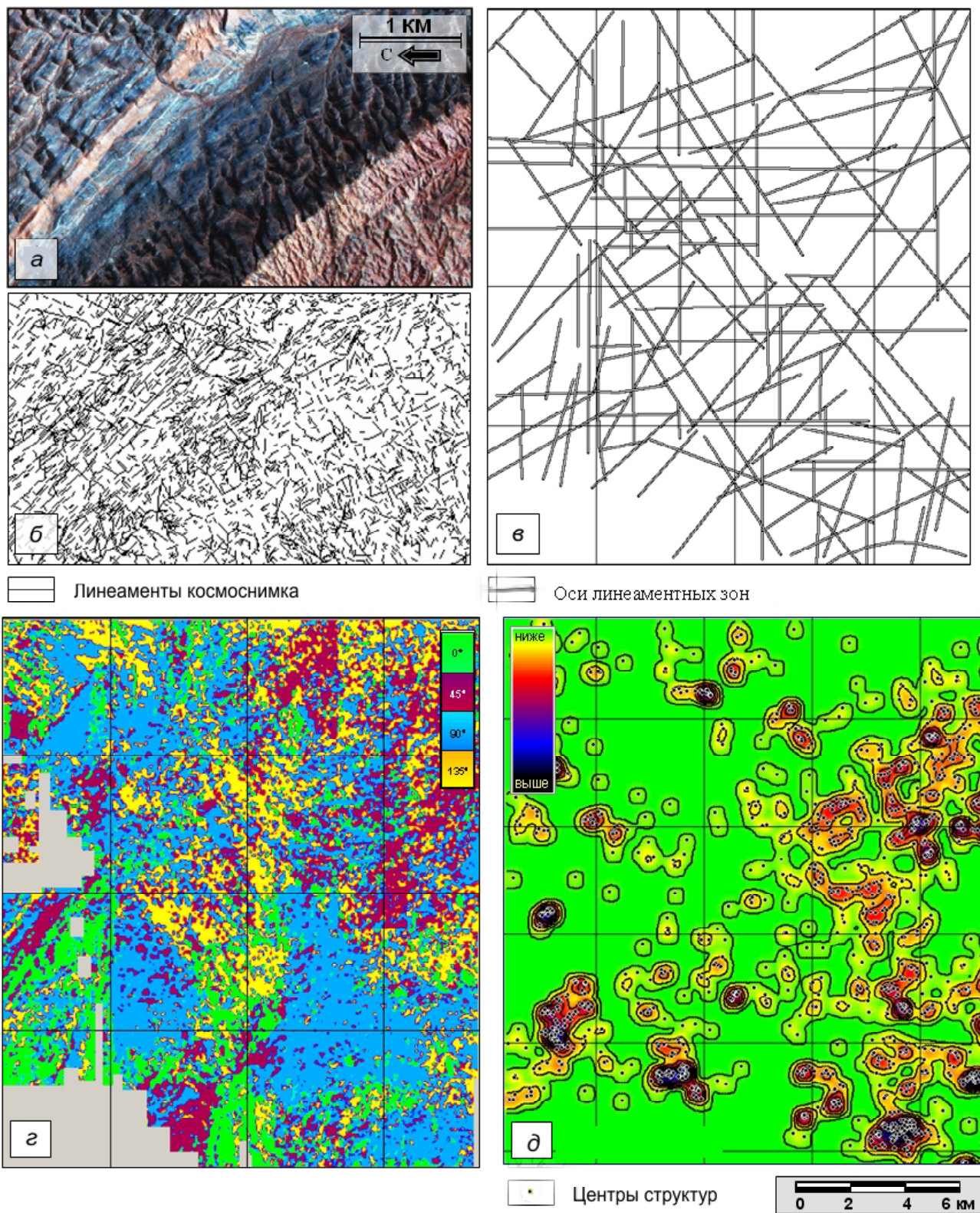


Рис. 8. Пример результатов линеamentного анализа: *a* – синтезированный космоснимок QuickBird-2 исследуемой территории (фрагмент); *б* – расположение линеаментов, выделенных на фрагменте *a*; *в* – расположение осей линеаментных зон; *г* – карта преобладающих направлений линеаментов; *д* – карта концентрации кольцевых структур

Fig. 8. Example of the lineament analysis results: *a* – synthetic QuickBird-2 satellite image study area (fragment); *б* – location of the lineaments identified on fragment *a*; *в* – the location of the lineament axes zones; *г* – map of the prevailing trends of lineaments; *д* – map the concentration of ring structures

В. Оси линеаментных зон. К ним отнесены: 1) оси узких (до 300 м) вытянутых аномалий; 2) цепочек аномалий (как положительных, так и отрицательных); 3) границы крупных участков с существенно разными значениями характеристик линеаментной сети или с различным поведением изолиний этих характеристик.

Оси линеаментных зон выделялись на всех построенных картах, а также на карте плотности (концентрации) кольцевых структур. Оси, проявленные не более чем на одной карте, отбраковывались. Длина осей – от первых сотен метров до первых километров. Далее “одноимённые” оси, проявленные на нескольких картах, были совмещены, что позволило получить общую схему их расположения. Построенная схема (рис. 8, б) отражает структурно-тектоническую обстановку на участке исследований и представляет самостоятельный геологический интерес. Кроме того, она использовалась для расчёта нескольких дополнительных характеристик.

Все рассчитанные характеристики подвергались анализу на предмет выявления пространственных закономерностей; кроме того, они применялись на последующих этапах в качестве самостоятельных признаков при формировании признакового пространства для процедур аппарата Data Mining.

Обработка **геолого-геофизических данных** заключалась в приведении данных к единой сети 20×20 м и расчёте более 1000 различных трансформант геофизических полей в скользящих окрестностях (окнах) размером 400×400 м. Трансформанты рассчитывались как давно известные в геофизике (градиенты, производные, направления простираения изолиний), так и применяемые, в основном, при обработке изображений: текстурные, гистограммные, фрактальные и др. [5].

Обработка **геологических данных** (карт и схем), представленных, как правило, на бумажных носителях, включала их оцифровку и привязку, после чего путём векторизации формировались наборы векторных объектов – геологических границ, разломных структур, точек повышенной золоторудной минерализации. Для обеспечения совместного анализа с геолого-геофизическими данными векторные объекты преобразовывались в сеточный вид путём вычисления в узлах регулярной сети 20×20 м характеристик, отражающих структурные взаимосвязи геологических объектов [20] и использованных в дальнейшем в процедурах аппарата Data Mining.

Формированию эталонной выборки, необходимой для проведения процедур эталонной классификации, уделялось особое внимание, как этапу, существенно влияющему на эффективность прогноза [5]. В качестве эталонов использовались узлы сети над 20 известными золоторудными

объектами. Эталонные объекты, расположенные в разных геологических условиях на основе априорных структурно-петрографических представлений, выделялись в несколько групп (классов). Далее выполнялись процедуры кластеризации объектов при различном количестве первоначально задаваемых классов (кластеров) и разной структуре признакового пространства. После анализа результатов кластеризации было сформировано 2 класса эталонов, разных, помимо прочего, по своим проявлениям в геофизических полях. Далее на основе многомерного шкалирования из каждого полученного класса удалялись не характерные для него объекты, что позволило существенно повысить степень компактности образов классов.

Из 12 известных золоторудных объектов была сформирована контрольная выборка, использованная далее для оценки точности прогноза.

Для **прогноза** применялись принципиально разные подходы: 1) ранжирование территории по отношению к эталонной выборке; 2) оценка сложности геологического строения [1]. Второй подход основан на предположении, что более сложное строение потенциально перспективнее для обнаружения оруденения. Использование этого подхода связано с тем, что на территории могут располагаться объекты, находящиеся в иных (по сравнению с известными) геологических условиях.

Ранжирование заключалось в расчёте мер сходства узлов сети по отношению к каждому из двух классов эталонов с последующим построением обобщенной карты комплексного показателя перспективности территории. Ошибка 1-го рода, рассчитанная по контрольной выборке, составила 8 %, 2-го рода – 16 %.

На построенных картах меры сходства в качестве перспективных выбирались участки, характеризующиеся наибольшим сходством, и проводилась процедура генерализации (рис. 9, а).

Сложность геологического строения оценивалась путём расчёта и построения карты комплексного параметра сложности, представляющей собой результат наложения следующих карт характеристик, вычисленных в скользящей окрестности размером 400×400 м:

- 1) плотности (концентрации) геологических границ;
- 2) плотности известных разломных структур;
- 3) плотности линеаментов;
- 4) количества направлений линеаментов в окрестности;
- 5) плотности кольцевых структур в окрестности;
- 6) плотности осей линеаментных зон;
- 7) плотности точек пересечения осей линеаментных зон;
- 8) суммарной изменчивости имеющихся геофизических полей, представленной как среднее арифметическое их дисперсий.

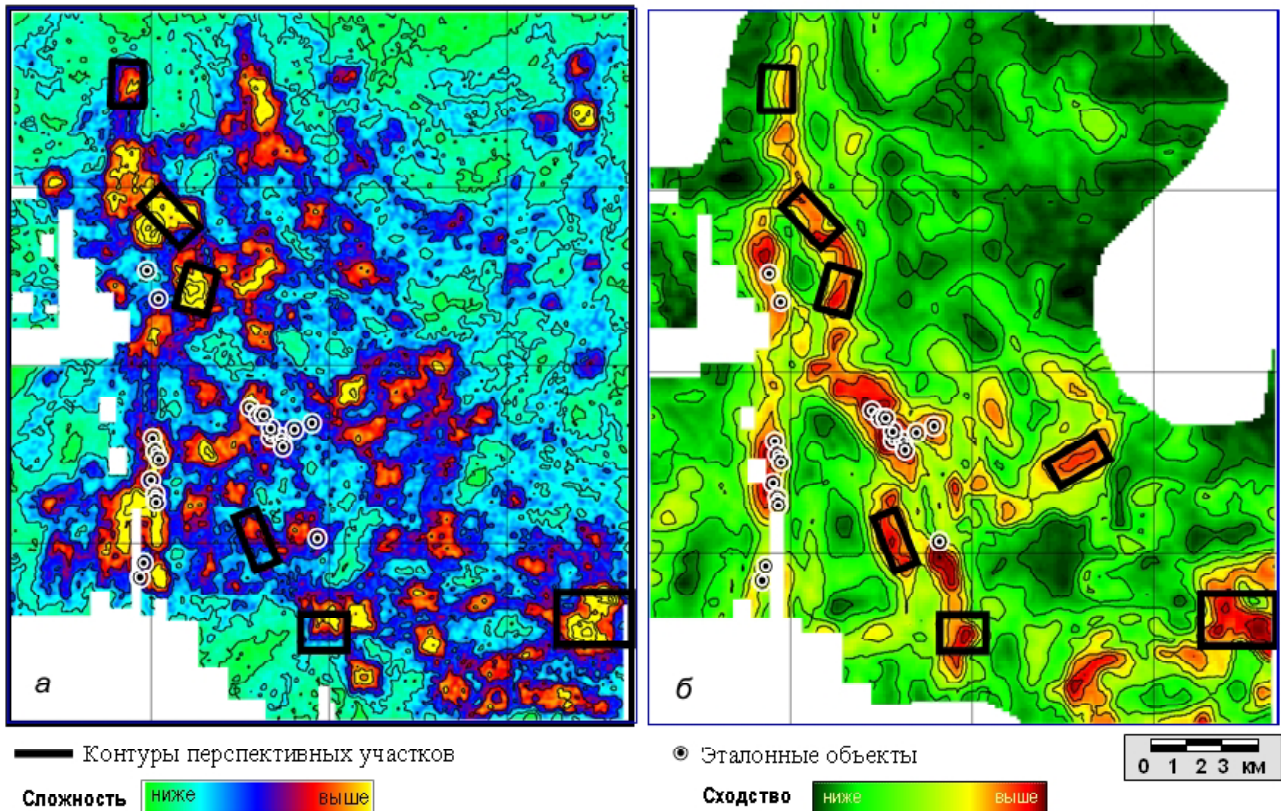


Рис. 9. Карта комплексного показателя сложности геологического строения (а) и карта меры сходства территории по отношению к эталонным классам (б) с рекомендуемыми для изучения участками

Fig. 9. The map of a summarize factor of geological structure complexity (a) and the map of a measure of similarity of the territory in relation to sample classes (b) with the sites recommended for next studying

На карте 9, а выделены участки, характеризующиеся максимальными значениями комплексного параметра сложности.

В результате перспективными были приняты участки, которые пространственно совпадали как на карте сложности геологического строения, так и на карте меры сходства (рис. 9, б). В итоге суммарная площадь участков составила около 20 км² (5,1 % территории).

Заключение. Как отечественная разработка ГИС РАПИД не имеет аналогов в Украине. Более того, в течение последних 2 лет на кафедре проводилось сравнение ГИС РАПИД с аналогичными продуктами одного из мировых лидеров в рассмотренной области – компании Geosoft. В частности, рассматривались функциональные возможности, дружелюбность интерфейса, широта решаемых задач и программных продуктов, в первую очередь Oasis montaj и Geochemistry for ArcGIS.

Этому вопросу, возможно, будет посвящена отдельная публикация. Вместе с тем отметим, что по перечисленным параметрам РАПИД мало в чём уступает продуктам компании Geosoft. Система имеет немалый потенциал для дальнейшего развития, связанный в первую очередь с реализацией процедур обработки мульти- и гиперспектральных космических снимков, анализа текстур геоизображений, а также кольцевых и дуговых структур земной поверхности.

Авторы полагают, что рассмотренная ГИС-технология могла бы стать основой для отраслевой системы Министерства экологии и природных ресурсов Украины.

1. *Богацкий В.В.* Пространственно-статистический анализ геологического строения и размещения полезных ископаемых / В.В. Богацкий, Ю.М. Коллеганов, Б.И. Суганов. – М.: Недра, 1976. – 103 с.
2. *Бусыгин Б.С.* Геоинформационная подсистема “Сегмент” как средство анализа данных дистанционного зондирования Земли / Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, Е.П. Зацепин, Е.Л. Сергеева // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 51–57.
3. *Бусыгин Б.С.* Геоинформационная система РАПИД как средство мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, В.А. Бойко // Збірка наукових праць СНУЯЕтаП. – Севастополь, 2006 – Вып. 4(20). – С. 204–216.
4. *Бусыгин Б.С.* Прогнозирование залежей углеводородов в кристаллическом фундаменте ДДВ по комплексу геофизических и космических материалов / Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин, И.Н. Гаркуша // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ИКИ РАН, 2013. – Т. 10, № 4. – С. 277–286.
5. *Бусыгин Б.С.* Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. / Б.С. Бусыгин, Л.В. Мирошниченко. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. гос. ун-та, 1991. – 168 с.

6. *ГРАВИПАК/ГЕОКОМПАС* (руководство пользователя). Методические рекомендации по применению отраслевого пакета программ обработки и интерпретации гравиметрических данных ГРАВИПАК. – М.: Нефтегеофизика, 1989. – 76 с.
7. *Демиденко А.Л.* ГИС Карта 2000 как средство накопления и анализа разнородных данных, имеющих пространственное распределение / А.Л. Демиденко // Информ. бюлл. ГИС-Ассоциации. – 2002. – № 4–5. – С. 7–9.
8. *Игнатъев Д.А.* Геологические ГИС на базе программного обеспечения ESRI и Schlumberger / Д.А. Игнатъев, М.Б. Лейпунский, Г.Н. Карнаухов // ArcReview. – 2010. – № 2 (53). – С. 7.
9. *Загубный Д.Г.* Новая программа обработки векторных и растровых дистанционных материалов для ГИС / Д.Г. Загубный // Исследование Земли из космоса – 2004. – № 5. – С. 21–27.
10. *Златопольский А.А.* Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) / А.А. Златопольский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т.1, № 8. – С. 102–112.
11. *Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных “КОСКАД 3D”* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coscad3d.ru/documentation.html>, 2008 (дата обращения: 13.1.2015).
12. *ПАНГЕЯ – 10 лет* : Спец. выпуск. – М.: Геофизика, 2004. – 106 с.
13. *Півняк Г.Г.* Англо-російсько-український словник з ГІС і ДЗЗ / Г.Г. Півняк, Б.С. Бусигін, Г.М. Коротенко. – Дніпропетровськ: Вид-во Нац. гірн. ун-ту, 2014. – 599 с.
14. *Пивняк Г.Г.* ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных / Г.Г. Пивняк, Б.С. Бусыгин, С.Л. Никулин // Доклады НАН Украины. – 2007. – № 6. – С. 121–128.
15. *Программное обеспечение рудной геофизики для ЭВМ третьего поколения (компоненты АСОМ РГ)* / Г.А. Трошков, А.А. Грознова, О.И. Погарева [и др.]; под ред. В.Н. Яковлева – Л: НПО “Рудгеофизика”, 1984. – С. 131.
16. *Совершенствование, развитие и внедрение автоматизированной системы обработки комплексных аэрогеофизических наблюдений (АСОМ-АГС/ЕС)* / под ред. Л.А. Коваль. – Алма-Ата: Изд-во Казах. политехн. ин-та, 1984. – 89 с.
17. *Шепин М.В.* ALINA. Автоматизированный анализ изображений аэрокосмических фотопланов / М.В. Шепин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сборник научных статей. – М.: ИКИ РАН. – 2006. – Т. 3. – С. 143–146.
18. *Busygin B.S.* Predicting methane accumulation in the Donetsk coal basin (Ukraine) on the basis of geological, geophysical and space data / B.S. Busygin, S.L. Nikulin // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. – London: Taylor & Francis Group. – 2013. – P. 151-160.
19. *Busygin B., Nikulin S.L.* Specialized geoinformation system RAPID: features, structure, tasks. XIVth International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, May 12–14, 2015: abstracts. Kiev, VAG, 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412353. Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=80189> (Accessed 20 October 2015).
20. *Busygin B.* The integrated analysis of geological-geophysical and remote sensing data at the gold prospecting in Western Uzbekistan / B. Busygin, S. Nikulin // 67-rd EAGE conference: Extended Abstracts. – Madrid, Spain, 2005. – Vol. 1.
21. *Busygin B.* The investigation of lineaments location regularity in mountain regions using the satellite images / B. Busygin, S. Nikulin // Proc. of IAMG MatGeoS-2008 Conference. – Freiberg, Germany, 2008.
22. *Busygin B.* The methodology of oil and gas deposits prognosis by space and geophysical data / B. Busygin, S. Nikulin // 71-rd EAGE conference: Extended Abstracts. – Amsterdam, Netherlands, 2009.
23. *Busygin B.* The new techniques of satellite images analysis for the earthquakes prediction in North Turkey / B. Busygin, S. Nikulin // Symposium on Geophysics and Remote Sensing In Determination of Near-Surface, April 30 – May 2, 2008. – Izmir, Turkey, 2008.
24. *Definiens Enterprise Image Intelligence Suite* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.geosystems.pl/upload/zalaczniki/01_Definiens-Enterprise-Image-Intelligence-Suite.pdf (дата обращения: 13.11.2015).
25. *Display and Inspection of Image Data with MultiSpec* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials.html> (дата обращения: 13.11.2015).
26. *ERDAS Field Guide. Fifth Edition, Revised and Expanded* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf>. (дата обращения: 13.11.2015).
27. *GeoGraph for Windows. Users Manual.* – Moscow: IG RAS, 1997. – 153 p.
28. *Introduction to ENVI* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cstars.ucdavis.edu/classes/mexusenvi/tut1.htm> (дата обращения: 13.11.2015).
29. *Phillips J.D.* Geosoft Executables Developed by the U.S. Geological Survey / J.D. Phillips. – BiblioBazaar, USA, 2013. – 112 p.
30. *Pivnyak G.* Geoinformation system RAPID as the means of solving the problems of environment and nature management / G. Pivnyak, B. Busygin, S. Nikulin // 12th international symposium on environmental issues and waste management in energy and mineral production SWEMP. – Prague, 2010. – P. 423–430.
31. *ProSource E&P Data Management & Delivery System* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.software.slb.com/products/foundation/Pages/prosource.aspx> (дата обращения: 13.11.2015).
32. *Vance D.* Inside AutoCAD Map 2000 / D. Vance, R. Eisenberg, D. Walsh. – Canada: OnWordPress, 2000. – 694 p.

Поступила в редакцию 16.11.2015 г.

СПЕЦІАЛІЗОВАНА ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РАПІД: ОСОБЛИВОСТІ, СТРУКТУРА, ЗАВДАННЯ

Б.С. Бусыгин, С.Л. Нікулін

*Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет", просп. Карла Маркса, 29,
Дніпропетровськ 49005, Україна, e-mail: busyginb@yandex.ru, s-nikulin@yandex.ru*

Викладено основні відомості про геоінформаційну систему (ГІС) РАПІД. Описано геоінформаційну технологію, яку реалізує система. ГІС РАПІД орієнтована на спільну обробку й аналіз наземних і космічних даних, що дає змогу вирішувати широке коло завдань наук про Землю на загальних методичних принципах. Система поєднує інструментарій універсальних ГІС з математичним апаратом Data Mining для інтегрування різнотипних багаторівневих геоданих і отримання нової інформації. Наведено інформацію про функціональні можливості й структуру системи і приклад практичного застосування технології РАПІД. Показано, що за застосування системи і технології підвищується ефективність інтегрованого аналізу різнорідних геоданих і вирішення завдань природо- й надрокористування, скорочуються витрати часу й коштів.

Ключові слова: геоінформаційні системи, інтегрований аналіз даних, математичний апарат Data Mining, прогноз і пошуки корисних копалин.

SPECIALIZED GEOINFORMATION RAPID SYSTEM: FEATURES, STRUCTURE, TASKS

B.S. Busygin, S.L. Nikulin

*State Higher Education Institution "National Mining University", 29 Karl Marx Ave., Dnipropetrovsk 49005, Ukraine,
e-mail: busyginb@yandex.ru, s-nikulin@yandex.ru*

Purpose. The purpose of the paper is to describe the functionality and structure of the geographic information system RAPID (created by GIS Department of the National Mining University) and GIS technology which the system implements. The system focuses on the integrated processing and analysis of terrestrial and space-based data, and allows us to solve a wide range of problems of nature and mineral resources management using common methodological principles. The system unites universal GIS tools with mathematical apparatus of Data Mining that enables us to integrate heterogeneous multi-level geospatial data and extract new information.

Design/methodology/approach. The developed system uses a variety of methods of mathematical statistics, image processing, lineament analysis, as well as specific methods of Data Mining – classification, pattern recognition, sequential analysis, association rules searching and others. It permits to extract new information from large volumes of heterogeneous data. The geoinformation technology based on the RAPID GIS implements the principle of multivariate problem solving with the help of simulation and computational experiments. It is aimed at uncovering direct links between the spatial arrangement of the studied objects/phenomena and structure of the data describing them.

Findings. The developed system is a versatile tool of mineral deposits prediction, territories mapping, monitoring and forecasting of various geological and ecological situations, eds. The paper gives an example of the practical application of the RAPID technology for gold objects prediction within the Western Uzbekistan territory. The aim was to locate sites promising for new gold objects detection. Source data were presented as high-precision QuickBird-2 space images, geophysical fields and geological information. Some promising areas were detected by applying procedures of supervised classification, lineament analysis, and methods of geological structure complexity assessing. Their area is estimated to be 5,1 % of the total area of the investigated territory.

Practical value/implications. The RAPID GIS has been used successfully by a number of geological enterprises of Ukraine, Uzbekistan, Kazakhstan, and Russia. Experience has shown that its use can improve the effectiveness of integrated analysis of heterogeneous multi-level geospatial data to reduce time and costs, and provides experts and researchers with a powerful and flexible tool for investigating, in particular, tasks of ecology and mineral resources management. At the moment the system has no analogs in Ukraine and possesses a number of functions that such widely known products as Geosoft/Oasis montaj, ArcGIS, Erdas Imagine, ENVI, and eCognition are lacking.

Keywords: geographic information systems, the integrated data analysis, Data Mining, the forecast and searches of mineral deposits.

References:

1. Bogatskiy V.V., Kolleganov Yu.M., Suganov B.I. Prostranstvenno-statisticheskiy analiz geologicheskogo stroeniya i razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh. Moscow, Nedra, 1976, 103 p. (in Russian).
2. Busygin B.S., Nikulin S.L., Zatsepin E.P., Sergeeva E.L. Geoinformatsionnaya podsistema "Segment" kak sredstvo analiza dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli. *Geoinformatika*, 2008, no 2, pp. 51-57 (in Russian).
3. Busygin B.S., Nikulin S.L., Boyko V.A. Geoinformatsionnaya sistema RAPID kak sredstvo monitoringa i prognozirovaniya chrezvychnykh situatsiy. *Zbirka naukovykh prats' SNUYa Eta P. Sevastopol'*, SNUYaE ta P, 2006, vol. 4(20), pp. 204-216 (in Russian).

4. Busygin B.S., Nikulin S.L., Garkusha I.N. Prognozirovanie zalezhey uglevodorodov v kristallicheskom fundamente DDV po kompleksu geofizicheskikh i kosmicheskikh materialov. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Moscow, IKI, 2013, vol.10, no. 4, pp. 277-286 (in Russian).
5. Busygin B.S., Miroshnichenko L.V. Raspoznavanie obrazov pri geologo-geofizicheskom prognozirovanii. Dnepropetrovsk, DGU press, 1991, 168 p. (in Russian).
6. GRAVIPAK/GEOKOMPAS (rukovodstvo pol'zovatelya). Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu otraslevogo paketa programm obrabotki i interpretatsii gravimetricheskikh dannykh GRAVIPAK. Moscow, Neftegeofizika, 1989, 76 p. (in Russian).
7. Demidenko A.L. GIS Karta 2000 kak sredstvo nakopleniya i analiza raznorodnykh dannykh, imeyushchikh prostranstvennoe raspredelenie. *Informational Bulletin of GIS Assotiation*, 2002, no. 4-5, pp. 7-9 (in Russian).
8. Ignat'ev D.A., Leypunskiy M.B., Karnaukhov G.N. Geologicheskie GIS na baze programmnoho obespecheniya ESRI i Schlumberger. *ArcReview*, 2010, no. 2 (53), pp. 7 (in Russian).
9. Zagubnyy D. G. Novaya programma obrabotki vektornykh i rastroykh distantsionnykh materialov dlya GIS. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2004, no. 5, pp. 21-27 (in Russian).
10. Zlatopol'skiy A.A. Metodika izmereniya orientatsionnykh kharakteristik dannykh distantsionnogo zondirovaniya (tekhnologiya LESSA). *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2008, no 8, vol.1, pp. 102-112 (in Russian).
11. Kompleks spektral'no-korrelyatsionnogo analiza dannykh "KOSKAD 3D". Available at: <http://coscad3d.ru/documentation.html>, 2008 (Accessed 13 November 2015) (in Russian).
12. PANGHEY - 10 let. Moscow, Geofizika, 2004, 106 p. (in Russian).
13. Pivnyak G.G., Busygin B.S., Korotenko G.M. Anglo-rosiys'ko-ukrains'kiy slovník z GIS i DZZ. Dnepropetrovsk, National Mining University, 2014, 599 p. (in Ukrainian).
14. Pivnyak G.G., Busygin B.S., Nikulin S.L. GIS-tekhnologiya integrirovannogo analiza raznorodnykh i raznourovneykh geodannykh. *Reports of NAS of Ukraine*, 2007, no. 6, pp. 121-128. (in Russian).
15. Troshkov G.A., Groznova A.A., Pogareva O.I. and oth. Programmnoe obespechenie rudnoy geofiziki dlya EVM tret'ego pokoleniya (komponenty ASOM RG); ed. V.N. Yakovleva. Leningrad, NPO "Rudgeofizika", 1984, 131 p. (in Russian).
16. Sovershenstvovanie, razvitie i vnedrenie avtomatizirovannoy sistemy obrabotki kompleksnykh aerogeofizicheskikh nablyudenyi (ASOM-AGS/ES); ed. L.A. Koval'. Alma-Ata, Kazakhstan politekhnical institute, 1984, 89 p. (in Russian).
17. Shchepin M.V. ALINA. Avtomatizirovanny analiz izobrazheniy aerokosmicheskikh fotoplanov. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Moscow, IKI RAN, 2006, vol. 3, pp. 143-146 (in Russian).
18. Busygin B.S., Nikulin S.L. Predicting methane accumulation in the Donetsk coal basin (Ukraine) on the basis of geological, geophysical and space data. *Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems*. London, Taylor & Francis Group, 2013, pp. 151-160.
19. Busygin B., Nikulin S.L. Specialized geoinformation system RAPID: features, structure, tasks. *XIVth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, May 12-14, 2015: abstracts*. Kiev, VAG, 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412353. Available at: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=80189> (Accessed 20 October 2015).
20. Busygin B., 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*, vol. 1, Madrid, Spain, June 2005.
21. Busygin B., Nikulin S. The investigation of lineaments location regularity in mountain regions using the satellite images. *Proceedings of IAMG MatGeoS-2008 Conference*, Freiberg, Germany, June 2008.
22. Busygin B., Nikulin S. The methodology of oil and gas deposits prognosis by space and geophysical data. *71-rd EAGE conference: Extended Abstracts*. Amsterdam, The Netherlands, June 2009.
23. Busygin B., Nikulin S. The new techniques of satellite images analysis for the earthquakes prediction in North Turkey. *Symposium on Geophysics and Remote Sensing in Determination of Near-Surface*, April 30, May 2, 2008, Izmir, Turkey.
24. Definiens Enterprise Image Intelligence Suite. Available at: http://www.geosystems.pl/upload/zalaczniki/01_Definiens-Enterprise-Image-Intelligence-Suite.pdf (Accessed 13 November 2015).
25. Display and Inspection of Image Data with MultiSpec. Available at: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials.html> (Accessed 13 November 2015).
26. ERDAS Field Guide. Fifth Edition, Revised and Expanded. Available at: <http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf> (Accessed 13 November 2015).
27. GeoGraph for Windows. Users Manual. Moscow, IG RAS, 1997, 153 p.
28. Introduction to ENVI. Available at: <http://cstars.ucdavis.edu/classes/mexusenvi/tut1.htm> (Accessed 13 November 2015).
29. Phillips J.D. Geosoft Executables Developed by the U. S. Geological Survey. BiblioBazaar, USA, 2013, 112 p.
30. Pivnyak G., Busygin B., Nikulin S. Geoinformation System RAPID as the Means of Solving the Problems of Environment and Nature Management. *12th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production SWEMP*. Prague, 2010, pp. 423-430.
31. ProSource E&P Data Management & Delivery System. Available at: <http://www.software.slb.com/products/foundation/Pages/prosource.aspx> (Accessed 13 November 2015).
32. Vance D., Eisenberg R., Walsh D. Inside AutoCAD Map 2000. Canada, OnWordPress, 2000, 694 p.

Received 16/11/2015