

УДК 553.98:528.8:519.254

ПРИНЦИПЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ ДИСТАНЦИОННОГО ПОИСКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Попов М.А., Станкевич С.А., Марков С.Ю., Зайцев А.В., Топольницкий М.В.,
Титаренко О.В.*

*Научный Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина
E-mail: mpopov@casre.kiev.ua*

В статье рассматриваются принципы и базовые категории геоинформационного обеспечения дистанционного поиска полезных ископаемых. Описываются схемы комплексирования информационных технологий. Вводится модель интеграции аэрокосмической, геологической и геофизической информации. Предложен подход к интегрированию данных с использованием программного продукта FME, приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: полезные ископаемые, дистанционный поиск, геопространственные данные, интеграция данных, информационная технология.

ВВЕДЕНИЕ

Экономический потенциал любой страны, поступательность ее развития во многом определяются национальной базой минерально-сырьевых ресурсов. Для эффективного и устойчивого развития экономики Украины весьма важно, что страна имеет достаточно мощную сырьевую базу, потенциальная стоимость которой оценивается в 2,2% от совокупной стоимости мировых запасов полезных ископаемых [1]. Сегодня на территории нашей страны известно около 8300 имеющих промышленное значение месторождений различных полезных ископаемых. Украина располагает большим количеством месторождений угля и торфа, железных, марганцевых и урановых руд, других рудных и нерудных полезных ископаемых. Особо важное место отводится задачам поиска и разведки месторождений углеводородов.

Следует отметить, что проблема прогнозирования месторождений полезных ископаемых является одной из наиболее сложных в геологической науке и практике. Основным методическим инструментом выявления месторождений были и остаются геологоразведочные работы. При этом большую роль в комплексе геологоразведочных работ имеют геофизические и геохимические (литохимические) методы [2, 3]. Конечной целью всех работ является поиск и картирование участков, перспективных для постановки более детальных исследований, и получение материалов для составления карт прогноза полезных ископаемых.

Начиная с 70-х годов прошлого столетия, при проведении геолого-съёмочных работ все более широко используются методы и материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Использование данных ДЗЗ в геологии базируется на

концепции о влиянии эндогенных и экзогенных процессов, обусловленных глубинными геологическими объектами и процессами, на компоненты ландшафта [4].

Дешифрирование материалов дистанционных съемок ландшафта позволяет выявлять связи между отражательными характеристиками поверхностных образований и геологическими объектами в виде определенных геоиндикаторов. Как показывает опыт, использование информации, получаемой методами ДЗЗ, в сочетании с геолого-геофизической информацией, обеспечивает высокую эффективность поиска самых разных полезных ископаемых. Тенденция к комплексированию различных материалов ДЗЗ и геолого-геофизических данных поддерживается развитием компьютерных технологий обработки данных, построения геопространственных моделей, визуализации, широким использованием геоинформационных систем (ГИС).

В статье рассматриваются принципы и базовые категории геоинформационного обеспечения дистанционного поиска полезных ископаемых. Описаны возможные схемы комплексирования информационных технологий. Разработана модель интеграции аэрокосмической, геологической и геофизической информации. Предлагается подход к интегрированию данных с использованием программного продукта FME. Исследуются особенности интеграции технологий и данных в задачах дистанционного поиска полезных ископаемых, приводятся результаты экспериментальных исследований.

БАЗОВЫЕ КАТЕГОРИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Концептуальной основой геоинформационного обеспечения являются следующие базовые категории:

- предметная область,
- цель,
- информационные ресурсы,
- технологии,
- эффективность.

Предметная область в общем случае определяется областью, к которой принадлежит решаемая задача (или совокупность задач). В ДЗЗ такие области определяются классификаторами тематических задач [5].

Правильное определение предметной области позволяет исследователю составить максимально полный перечень классов и типов объектов дистанционного исследования, конкретизировать требования к перечню и качеству необходимых информационных материалов и ресурсов. В частности, сформировать требования к пространственному разрешению материалов аэрокосмической съемки, спектральным диапазонам, в которых должна быть выполнена съемка, размерам площадей и т. д.

Цель геоинформационного обеспечения – создать для исследователя все необходимые условия для успешного решения любой из совокупности тематических задач в рамках определенной предметной области [6, 7]. В задачах

поиска полезных ископаемых критерий успешного решения определяется, прежде всего, достоверностью (точностью) оценки перспективности выявленной залежи и степенью достигаемой локализации местоскопления ископаемых. Важное значение имеют также длительность проведения работ (оперативность) и необходимый на их проведение объем финансовых затрат.

Информационные ресурсы включают в себя данные, модели, сервисы и др.

Среди данных:

- геопространственные данные (карты цифровые топографические, геологические, тематические и др.);
- данные ДЗЗ (многоспектральные, гиперспектральные, радарные, лидарные и др.);
- данные о физических полях (магнитном, температурном и др.);
- спектральные характеристики наземных объектов и образований;
- текстуальные данные (научные отчеты и издания, табличные данные и т. д.);
- другая пространственная информация (TIN-модели, 3D-модели, DEM-модели, растровые данные, видеоинформация и т. д.).

В составе геоинформационного обеспечения должны быть концептуальные модели, модели фрагментов предметной области и другие модели, обеспечивающие информационно-логические потребности исследователя, облегчающие понимание им физических процессов и способствующие принятию адекватных решений. В частности, в составе геоинформационного обеспечения дистанционного поиска полезных ископаемых в обязательном порядке должны быть модели энергомассообмена в геосистемах, модели формирования геоиндикаторов, обусловленных наличием связи между отражательными характеристиками поверхностных образований и глубинными геологическими объектами [4].

Среди сервисов: геопространственные сервисы WebMap Service, WebFeature Service, WebCoverage Service и др.

Любой из имеющихся информационных ресурсов должен быть доступен исследователю или другому пользователю в полном объеме, для чего организуется система запросов, основу которой составляют максимально краткие стандартизованные описания данных – метаописания, или метаданные [8-10].

Необходимо отметить, что серьезным проблемным фактором получения стандартных метаописаний является гетерогенность данных и других информационных ресурсов. Гетерогенность геопространственных данных проявляется в нескольких измерениях: пространство (прежде всего, система координат); время; масштаб; связи (например, топологические); непространственные атрибуты [11].

Таким образом, понятно, что вряд ли возможно создать единую универсальную структуру метаданных на столь разные типы информационных ресурсов. Но можно поставить задачу согласования разных по структуре и синтаксису метаданных. Для ее решения необходимо иметь правила, которые определяют порядок формирования и представления метаданных, обеспечивающих однозначную идентификацию информационной продукции или сервисной услуги с достаточным уровнем детализации.

Подобные правила регламентируются соответствующими стандартами, их сводка дана в табл. 1. Из таблицы видно, какие типы пространственной информации поддерживает тот или иной стандарт.

Таблица 1
Соответствие стандартов разным типам пространственной информации

Название стандарта	Тип пространственной информации					
	Геопространственные данные	Данные ДЗЗ	Геопространственные сервисы	Спектральные данные	Текстуальные данные	Другие данные
ISO 19115:2003	■	■			■	■
ISO 19115-2:2005		■				
FGDC-STD-001-1998	■	■			■	■
FGDC-STD-012-2002		■				
FGDC-STD-014.3-2008						■
ГОСТ Р 52573-2006	■	■			■	■
CEN prEN 12657	■	■			■	■
ANZLIC	■	■			■	■
NZGMS	■	■			■	■
UK GEMINI	■	■			■	■
Dublin Core				■	■	
OGC Web Map Service			■			
OGC Web Feature Service			■			
OGC Catalogue Service			■			
<i>OGC Web Coverage Service</i>			■			
<i>OGC Processing Service</i>			■			
<i>Корпоративные стандарты</i>				■		

Приведенная таблица свидетельствует, что существует достаточно большое количество международных, национальных и корпоративных стандартов, которые могут быть использованы для решения задачи формирования метаданных пространственной информации, с учетом требования их взаимного согласования по структуре и синтаксису. Среди стандартов есть более унифицированные и гибкие, такие как ISO 19115:2003, FGDC-STD-001-1998, ГОСТ Р 52573-2006, CEN prEN 12657, ANZLIC, NZGMS, UK GEMINI, которые позволяют описать метаданные для данных разных типов - геопространственных данных, данных ДЗЗ, растровых данных, текстуальных данных, TIN-моделей, 3D-моделей и видеоинформации. Некоторые стандарты - Dublin Core, ISO 19115-2:2005, FGDC-STD-012-2002, FGDC-STD-014.3-2008 – позволяют описать только один конкретный вид пространственной информации.

На представление и описание спектральных данных международные требования и стандарты на сегодня отсутствуют, но в этой области существуют корпоративные стандарты, созданные разработчиками первых и наиболее крупных спектральных баз данных JPL (Jet Propulsion Laboratory) и USGS (U.S. Geological Survey).

Создание метаданных на все разновидности информационных ресурсов, используемых в задачах дистанционного поиска полезных ископаемых, с учетом требований структурного и синтаксического согласования описаний, – весьма нетривиальная задача. Несколько менее сложной, но имеющей перманентный характер, является другая задача – ведение баз метаданных. Решение этих обеих задач опирается на использование соответствующего специализированного программного обеспечения.

Нами был проведен сравнительный анализ существующего в мире программного обеспечения на предмет, какие типы пространственной информации поддерживает тот или иной стандарт и его возможности относительно формирования метаданных соответствующего типа.

Изучение возможностей разных программных средств проводилось по трем основным критериальным направлениям:

- операционная среда,
- разработка метаданных,
- управление метаданными.

Проведенный анализ показал, что наиболее развитой и мощный инструментарий для описания пространственной информации разной природы предоставляют собой программное обеспечение компании ESRI – Geoportal Extension и программное обеспечение корпорации GeoNetwork Community – GeoNetwork Opensource Geospatial Catalog.

Программное обеспечение Geoportal Extension имеет преимущество с точки зрения поддержки наиболее широкого спектра действующих стандартов. Так, кроме перечисленных стандартов, Geoportal Extension взаимодействует со стандартами, разработанными корпорацией Open Geospatial Consortium (WMS, WFS, WCS, Filter Encoding та CSW) та ISO (ISO 19139, ISO 19142 та ISO 19143). Продукт Geoportal Extension, также как и GeoNetwork Opensource Geospatial Catalog, доступен для всех пользователей на официальном сайте <http://geoportal.sourceforge.net>.

Программное обеспечение корпорации GeoNetwork Community GeoNetwork Opensource Geospatial Catalog, в отличие от продукта Geoportal Extension, поддерживает, кроме перечисленных стандартов OGC, еще стандарт WFS-t, однако его возможности в поддержке стандартов ISO ограничены.

Технологии. Особенностью геоинформационного подхода является возможность интеграции ДЗЗ-технологий, ГИС, технологии глобального спутникового позиционирования (ГЛОНАСС) и других технологий в единый информационно-технологический комплекс. В таком комплексе ДЗЗ-технология выполняет функции поставщика необходимой аэрокосмической иконической информации, которая далее может обрабатываться программными средствами как ДЗЗ, так и ГИС. С помощью ГИС также решаются задачи геопространственного

моделирования, визуализации данных, преобразования картографической информации, создания тематических карт и подготовки их к публикации, накопления информации в базе данных и др. ТГСП обеспечивает пространственно-временную привязку всех процессов и данных.

Выделяют три основные схемы интеграции технологий в задачах, решаемых с использованием аэрокосмической и другой пространственной информации [12-14].

На рис. 1а представлена одноуровневая схема, предусматривающая совместное использование (комплексирование) трех информационных технологий - ДЗЗ, ГИС и ТГСП. С помощью датчиков ТГСП осуществляется непрерывное измерение координат несущей платформы (спутника, самолета) и фиксируется положение в пространстве бортовой камеры в момент формирования изображения местности. Благодаря наличию точной координатной информации производится пространственная привязка изображения, после чего выполняется его анализ. Результаты анализа записываются в базу данных ГИС, где могут далее выполняться другие операции, обусловленные конкретной поставленной задачей.

Такая схема имеет то преимущество, что не требует наличия данных наземных измерений и наблюдений, однако характеристики (точность, достоверность) производимого информационного продукта при этом оказываются часто невысокими. Одноуровневая схема применяется, в основном, при решении качественных задач (например, при классификации без обучения).

На рис. 1б показана двухуровневая схема, особенностью которой является введение в совместно функционирующую систему ДЗЗ+ГИС+ТГСП технологического блока наземных измерений ТБНИ. Схема предусматривает, что на поверхности Земли имеются контрольные точки, геометрические координаты которых известны с высокой точностью, или другие компактные объекты, пространственное положение которых может быть измерено с помощью ТГСП.

Информация о местоположении наземных объектов используется для повышения точности привязки, а также поступает в ГИС, где используется в качестве ключа при поиске необходимой в решаемой задаче информации (картографической, геологической и др.). Эта информация используется в процессе анализа и классификации изображений, а также при принятии решений, повышая качество производимого информационного продукта.

Данная схема комплексирования технологий применяется, в основном, при решении качественных задач (классификация), однако при наличии в базе данных ГИС информации о физических параметрах соответствующих наземных объектов по этой схеме могут также решаться и задачи получения количественных оценок. Например, могут расчетно-аналитическим путем выполняться оценки температуры почвы, однако точность получаемых таким образом оценок гарантировать сложно.

На рис. 1в представлена трехуровневая схема комплексирования информационных технологий. На первом уровне характер взаимодействия технологий мало отличается от двухуровневой схемы. Однако в трехуровневой схеме из всего множества наземных объектов в сцене стараются отобрать в качестве опорных такие, что близки по своим оптическим спектральным характеристикам к распределению спектральной чувствительности сенсора (зональным интервалам в

многоспектральном снимке). Для этих целей на втором уровне схемы предусмотрен блок корреляционной обработки оптических спектров наземных объектов и спектральных сигнатур. Кроме того, для целей калибровки (заверки) в список в качестве опорных включают объекты, имеющие максимальную и минимальную яркость (например, песок и водную поверхность). На третьем уровне атрибутивные и пространственно-временные данные о наземных объектах, многоспектральные изображения и информация из базы данных ГИС используются совместно в качестве исходных данных для моделирования и получения требуемых оценок и решений. Полученная в результате новая информация заносится в базу данных ГИС.

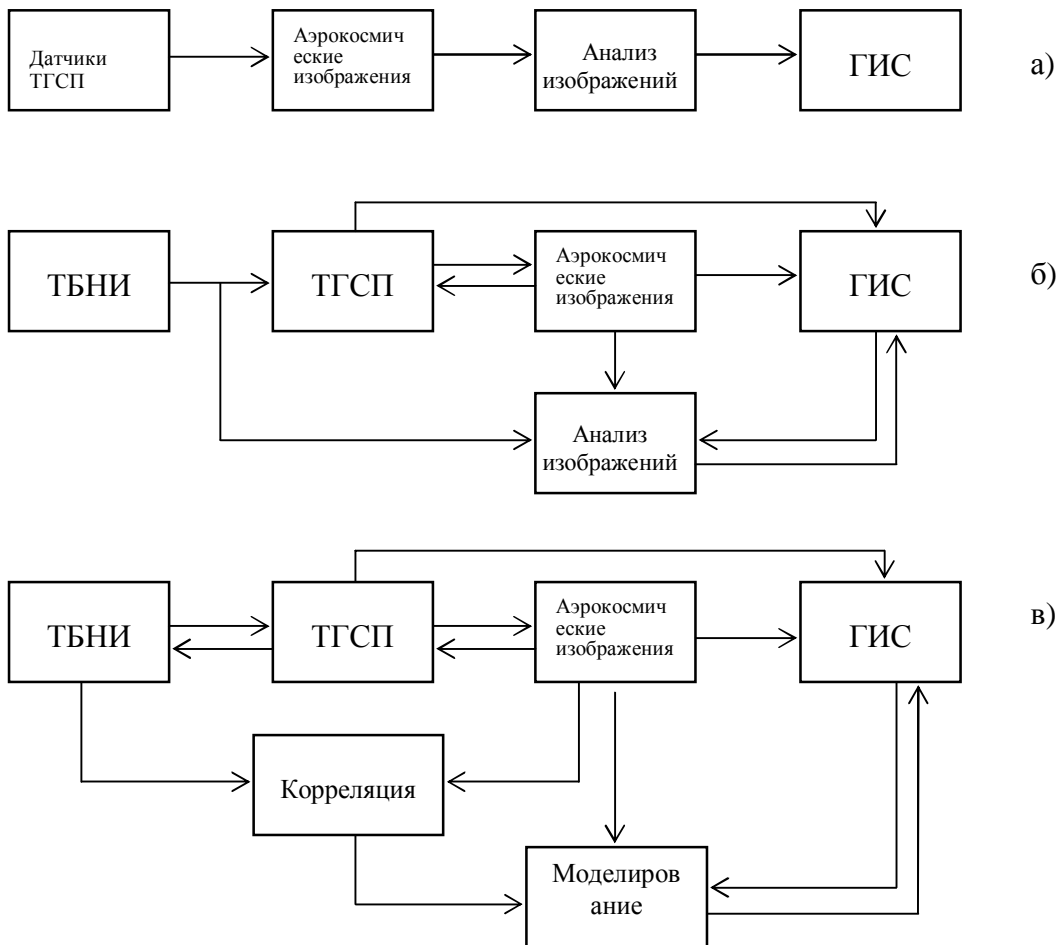


Рис. 1. Схемы комплексирования информационных технологий: а – одноуровневая, б – двухуровневая, в – трехуровневая.

Необходимо отметить, что процесс интеграции технологий сильно осложняют такие факторы, как различия в пространственном разрешении и масштабах исходных материалов, наличие ошибок, пропусков и неопределенностей в данных, несогласованность интервалов времени их получения, одновременное использование растрового и векторных форматов и др. Кроме того, современные программные системы обработки аэрокосмических изображений плохо “понимают” и поддерживают цифровые геопространственные модели, создаваемые и используемые в ГИС. Поэтому эффективное использование и комплексирование технологий, как правило, невозможно без согласования (гармонизации), масштабирования, нормализации исходных геопространственных и других данных. Эти операции выполняются в процессе интеграции данных. Пример подхода к интеграции технологий и данных в задачах дистанционного поиска полезных ископаемых описан ниже.

Эффективность. В задачах геоинформационного обеспечения задач поиска полезных ископаемых под эффективностью понимают успешность выявления наличия месторождения или достоверный прогноз относительно исследуемой площади. До недавнего времени такие оценки выполнялись экспертным путем. С развитием компьютерных методов решения стали приниматься с привлечением процедур статистического вывода. Однако использование статистического (вероятностного) подхода в задачах поиска полезных ископаемых имеет свои ограничения. Во-первых, объекты зачастую не имеют хорошо определенной статистической компоненты, а в тех случаях, когда ее удается выделить, возникают серьезные проблемы с построением и проверкой адекватности модели. Основная причина в том, что для построения вероятностной модели объекта, равно как и для ее верификации, требуются большие объемы наблюдений, которые, в конечном счете, как правило, оказываются неполными, неточными и противоречивыми. Во-вторых, даже если стохастическая природа объекта и его стационарность не вызывают сомнений, построение с приемлемой точностью его вероятностной модели может оказаться нереализуемым из-за слишком большого объема необходимых наблюдений. Наконец, даже если все трудности окажутся преодолимыми и достаточно точная модель будет построена, она может оказаться настолько сложной, что проблемным окажется ее использование на практике. Исходя из изложенного, более перспективным представляется использовать для получения оценок эффективности геоинформационного обеспечения поиска полезных и проверки их корректности другие подходы, в частности, вероятностный подход [15, 16].

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ И ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ПОИСКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Каждая технология работает с определенным набором (слоями) входных данных, типами данных и т. д. Например, аэрокосмические изображения получают обычно в цифровой форме, а данные наземных измерений - как правило, в форме пространственных откликов на нерегулярной решетке, причем со значительно

большим шагом. Поэтому на первом шаге интеграции должна проводиться совместная пространственная регуляризация наземных и аэрокосмических данных. Эта операция может быть выполнена с помощью ГИС.

Привлечение данных от разных физических полей ставит проблемы согласования их форм представления, диапазонов изменения величин сигналов, определения последовательности совместной обработки и т. д. Поэтому следующий шаг интеграции – приведение данных к некоторой единой измерительной платформе, например, путем масштабирования и нормализации.

Наличие единой измерительной платформы создает условия для сравнения, сегментации и классификации данных. Очень важным этапом интеграции является выбор метрики, на основе которой выполняются эти логико-вычислительные операции. Авторами в своих исследованиях [17, 18] по оценке нефтегазоперспективности территорий получены результаты, свидетельствующие о перспективности использования в качестве метрики информационной дивергенции Кульбака-Лейблера, которая рассчитывается как

$$D = \sum_{j=1}^m p_j \log_2 \frac{p_j}{q_j} , \quad (1)$$

где p_j , q_j – распределения плотностей вероятности j -го слоя данных для текущего объекта и эталона (образца); m – общее количество слоев данных.

По выполнении рассмотренных шагов становится возможной корректная совместная обработка дистанционных и наземных данных с целью их интеграции. При этом на основе выбранной исследователем информационной метрики оценивается возможная ошибка. В случае информационной дивергенции (1) можно оценить верхнюю границу возможной ошибки в виде [19]:

$$\varepsilon \leq 2^{-m \cdot D} . \quad (2)$$

Модель интеграции m пространственных слоев данных показана на рис. 2. Для выполнения процедуры пространственной регуляризации R_j и осуществления масштабных преобразований F_j необходимы параметр Δx_j раstra, границы диапазона значений каждого из входных наборов данных $[x_{\max j} \dots x_{\min j}]$ и единого выходного диапазона $[f_{\min} \dots f_{\max}]$ данных. Плотность вероятности p_j для расчета информационной дивергенции D оценивается по выборочным гистограммам, при этом для объектов поиска желательно иметь перечень образцовых участков данных $z(x)$. В случае, если образцовых участков в пределах района исследований не имеется, оценка плотности вероятности q_j может быть получена по выявленным аномалиям наборов данных либо исходя из некоторых эвристических предположений.

В качестве вычислительной платформы для реализации процедур интеграции гетерогенной пространственной информации широкими возможностями обладает программный продукт Feature Manipulation Engine (FME) компании Safe Software [www.safe.com]. Версия продукта FME от марта 2012 г. позволяет работать с более чем 250 форматами, имеет в арсенале более 400 процедур трансформации данных, охватывающие практически все известные геометрические и атрибутивные преобразования. Продукт позволяет реструктуризовывать схему данных, не изменяя

ее семантики, поддерживает шаблоны конвертации и имеет другие преимущества, важные при решении задач обработки и интеграции пространственных данных. Подробные сведения о продукте FME можно найти в [20].

Платформа FME была использована нами для интеграции пространственных дистанционных и геолого-геофизических данных по схеме, показанной на рис. 2.

Для ввода в FME был отобран следующий набор дистанционных и геолого-геофизических данных (в соответствующих файлах разных форматов и систем координат):

- космические изображения Landsat/ETM+, 6 спектральных каналов, формат ENVI BSQ;
- рельеф местности SRTM v2, формат DEM HGT;
- температура земной поверхности [K], формат ENVI BIN;
- карты систем линейментов, 4 шт. с шагом 45° , формат GeoTIFF;
- карта геологических поднятий, формат ENVI BIN;
- карта геологических горизонтов, формат ArcGIS SHP;
- перечень продуктивных/непродуктивных скважин, формат ASCII.

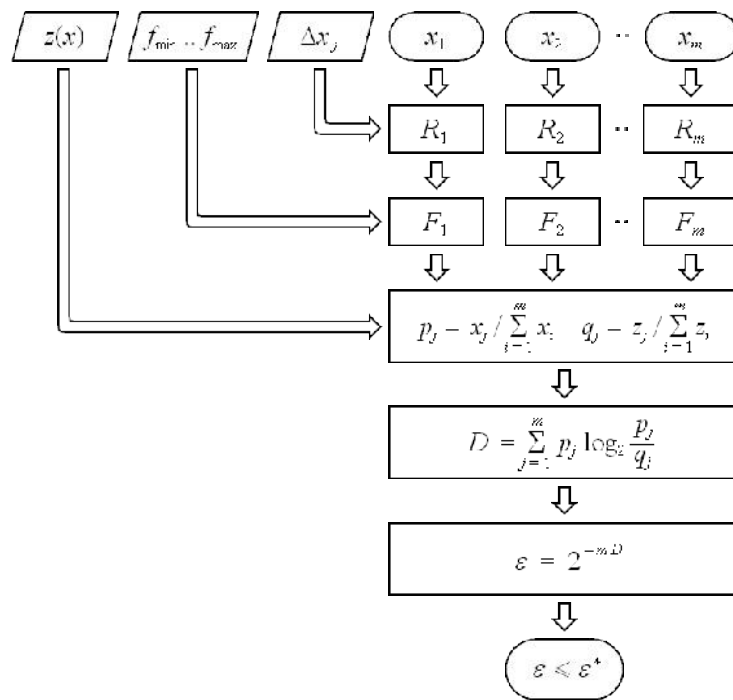


Рис. 2. Модель интеграции пространственных дистанционных и геолого-геофизических данных

Некоторые из входных слоев дистанционных и геолого-геофизических данных представлены на рис. 3. Общая модель интеграции реализована скриптом в вычислительной среде SciLab.

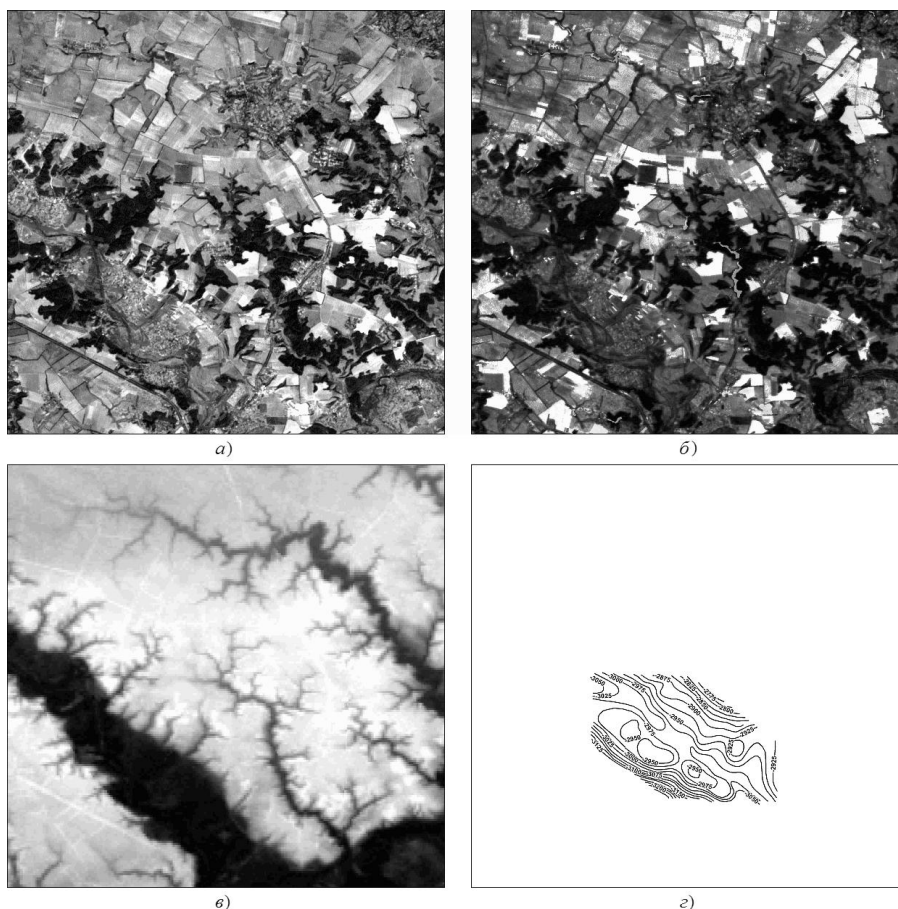


Рис. 3. Входные слои дистанционных и геолого-геофизических данных: *а* – космическое изображение Landsat/ETM+ от 27.09.2005 г. на исследуемую площадь, пространственное разрешение 30 м; *б* – пространственное распределение температуры земной поверхности, *в* – цифровой рельеф территории исследования; *г* – структурная карта по горизонту В-26 масштаба 1:50 000.

После подключения всех данных был получен проект FME, фрагмент его схемы в принятых разработчиками данной платформы графических обозначениях представлен на рис. 4. В среде FME в процессе расчетов создаются связи между входными файлами, преобразователем и выходным файлом и в результате формируется выходной куб геопространственных данных, готовых к интеграции.

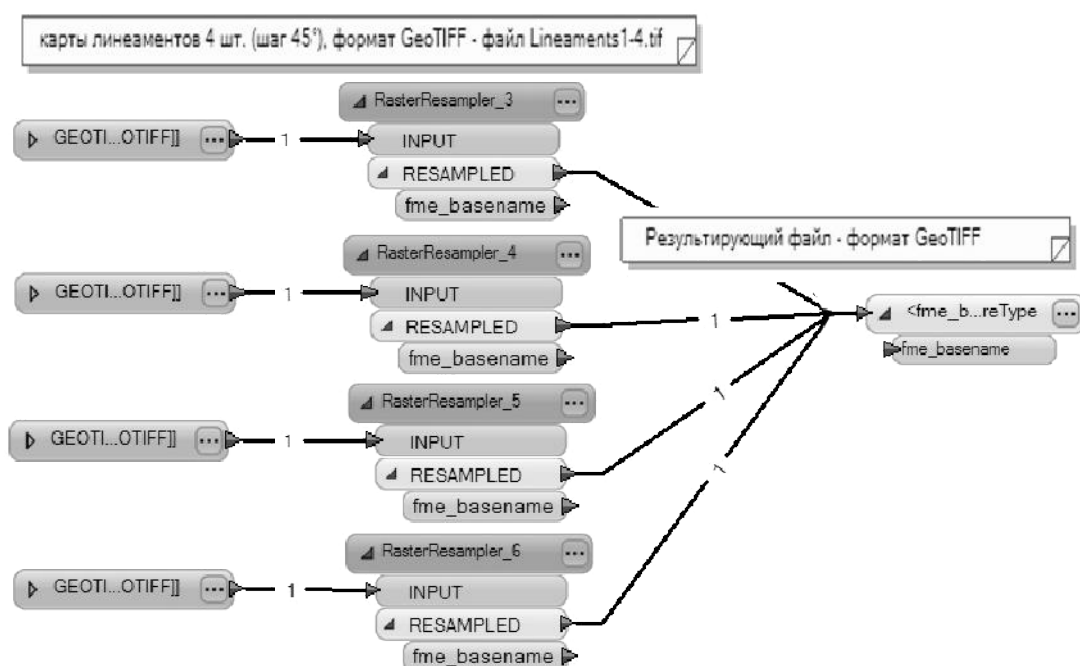


Рис. 4. Схема проекта FME (фрагмент)

После проведения интеграции и расчетов получаем распределение ошибки в пределах исследуемой площади (рис. 5). В результате интеграции также получаем графический образ распределения интегрального индикатора дистанционных и геолого-геофизических данных, который можно трактовать как комплексную оценку нефтегазоперспективности исследуемой площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая особую роль полезных ископаемых для развития экономики, обоснована актуальность дистанционного поиска месторождений и необходимость наличия ее адекватного геоинформационного обеспечения, основанного на широком использовании методов и средств ГИС и ДЗЗ-технологий.

Рассмотрены принципы и базовые категории геоинформационного обеспечения дистанционного поиска полезных ископаемых. Описаны возможные схемы комплексирования информационных технологий. Разработана модель интеграции аэрокомической, геологической и геофизической информации. Реализация разработанной модели с использованием программного продукта FME на практическом примере показала, что предложенный подход позволяет получать ценную дополнительную информацию и расширить круг геоиндикаторов месторождений.

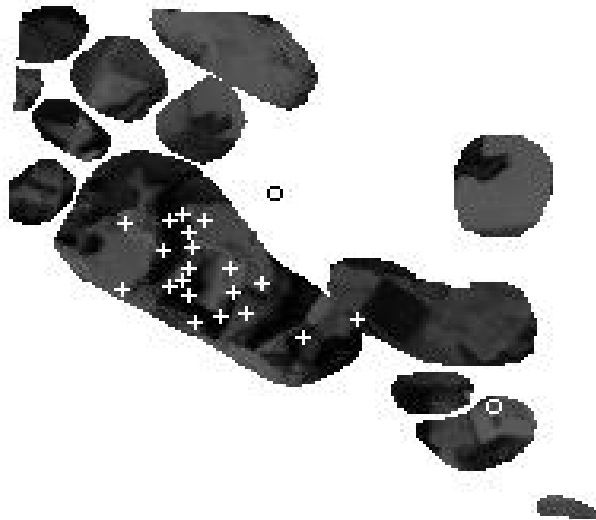


Рис. 5. Пространственное распределение ошибки по результатам интеграции дистанционных и геолого-геофизических данных. Условные обозначения для скважин: + – продуктивные, ° – непродуктивные.

Перспективы дальнейших исследований связаны с существенным повышением уровня автоматизации процессов обработки геопространственной и физической информации и их максимальным погружением в вычислительную среду ГМЕ. Кроме того, интерес представляет использование возможностного подхода для оценки эффективности геоинформационного обеспечения дистанционного поиска месторождений.

Исследование в своей части выполнено благодаря поддержке Государственного агентства по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины в рамках украинско-российского научного проекта № Ф40.7/24 “Російсько-Український сегмент глобальної е-Інфраструктури постійного доступу до наукових ресурсів ДЗЗ для вирішення завдань сталого розвитку територій” (2011-2012 гг.).

Список литературы

1. Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. – К.: Наукова думка, 2007. – 347 с.
2. Лялько В. Использование аэрокосмической информации при поисках месторождений углеводородов. / В. Лялько, А. Архипов, З. Товстюк, А. Воробьев, М. Попов // Украинско-Македонски научен зборник, Број 5 // НАН України – Македонска Академија на Науките и Уметностите, 2011. – С. 327-339.
3. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка / И.И. Гурвич, Г.Н. Боганик. – М.: Недра, 1980. – 3-е изд – 551 с.
4. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В.І. Лялька і М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
5. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Редакция 6. – Иркутск, Москва: ИТЦ СканЭкс, 2002. – 52 с.

6. Бугаевский Л.М. Геоинформационные системы / Л.М. Бугаевский, В.Я. Цветков. – М.: Златоуст, 2000. – 222 с.
7. ДеМерс М.Н. Географические информационные системы / М.Н. ДеМерс. – М.: Дата+, 1999. – 490 с.
8. Манцивода А.В. Система метаописаний Dublin Core [Электронный ресурс] / А.В. Манцивода // Материалы сайта TeaCODE.com. – Режим доступа: <http://www.teacode.com>.
9. Geographic information – Metadata. (ISO/FDIS 19115:2003(E)). ISO/FDIS 19115:2003. – Geneva: ISO, 2003. – 224 p.
10. Geographic information – Metadata. – Part 2: Extensions for imagery and gridded data. (ISO/CD 19115-2:2005). ISO/CD 19115-2:2005. – Lysaker: ISO, 2005. – 47 p.
11. Попов М. Модель використання гетерогенної просторової інформації при вирішенні комплексних завдань сталого розвитку територій / М. Попов, С. Марков, Е. Кудашев, О. Дишлик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. праць. – Львів, 2012. – № 1(23). – С. 205-210.
12. Integration of GIS and Remote Sensing / Edited by V. Mesev. – John Wiley, 2007. – 296 p.
13. Gao J. Integration of GPS with remote sensing and GIS: Reality and prospect / J. Gao // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2002. – Vol. 68. – P. 447-453.
14. Weng Q. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications / Qihao Weng. – N.Y.: McGraw-Hill, 2010. – 432 p.
15. Клир Дж. Системология: Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир. – М.: Радио и связь, 1990. – 536 с.
16. Пытьев Ю.П. Возможность как альтернатива вероятности / Ю.П. Пытьев. – М.: Физматлит, 2007. – 404 с.
17. Станкевич С.А. Алгоритм статистичної класифікації об'єктів дистанційного спостереження за їх спектрально-топологічними характеристиками / С.А. Станкевич // Науковий вісник Національного гірничого університету, 2006. – № 7. – С. 38-40.
18. Архіпов О.І. Картування границь нафтогазоносних ділянок за даними наземного спектрометрування / О.І. Архіпов, С.А. Станкевич, О.В. Титаренко // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К.: Всеукраїнська асоціація геоінформатики, 2009. – С. 123-131.
19. Фукунага К. Ведение в статистическую теорию распознавания образов. / К. Фукунага. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
20. FME Reference Manual. – Surrey: Safe Software, 2002. – 520 p.

Попов М.О. Принципи геоінформаційного забезпечення завдань дистанційного пошуку корисних копалин / М.О. Попов, С.А. Станкевич, С.Ю. Марков, О.В. Зайцев, М.В. Топольницький, О.В. Титаренко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Географія. – 2012. – Т. 25 (64). – № 1 – С.177-190.

Розглядаються принципи і базові категорії геоінформаційного забезпечення дистанційного пошуку корисних копалини. Описуються схеми комплексування інформаційних технологій. Впроваджується модель інтеграції аерокомічної, геологічної і геофізичної інформації. Запропонований підхід до інтеграції даних з використанням програмного продукту FME, інтерпретуються результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: корисні копалини, дистанційний пошук, геопросторові дані, інтеграція даних, інформаційна технологія.

Popov M.A. The principles of geoinformation support for natural resources searching / M.A. Popov, S.A. Stankevich, S.Yu. Markov, A.V. Zaytsev, M.V. Topolnitsky, O.V. Titarenko // Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. – Series: Geography. – 2012. – Vol. 25 (64). – № 1 – P. 177-190
The principles and basic categories of geoinformation support for natural resources searching are considered. Approaches for integrating of information technologies are noted. The model of aerospace, geological and geophysical information integration is introduced. Data integration technique using FME software is offered. The results of experimental research are interpreted.

Keywords: natural resources, remote sensing searching, geospatial data, data integration, information technology.

Поступила в редакцію 24.04.2012 г.