

УДК 553.98:528.854:004.891

О возможности дистанционного поиска залежей углеводородов с использованием компьютерного ассистента геолога

М. А. Попов *, С. А. Станкевич, А. И. Архипов, О. В. Титаренко

ГУ "Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины", Киев, Украина

Предложена концепция создания прикладной программной системы "компьютерный ассистент геолога" для дистанционного поиска залежей углеводородов. Её основными задачами определены логико-вычислительные операции над данными, фактами и другими сведениями, обработка гипотез, интеллектуальная поддержка принятия решений. Для их решения предлагаются соответствующие алгоритмические и программные средства инструментария экспертных систем.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, поиск залежей углеводородов, компьютерный ассистент геолога, морфоструктурный анализ, прогнозные объекты, интеграция гетерогенных геопространственных данных

© М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. И. Архипов, О. В. Титаренко. 2018

Нефть, газ и продукты их переработки имеют огромное значение для устойчивого функционирования мировой экономики и жизни населения и, несомненно, их востребованность сохранится и в обозримом будущем. Однако объемы разведанных запасов углеводородов не покрывают потребности, и потому поиск новых месторождений является одной из важнейших задач, на решение которой направлены усилия специалистов во всем мире

Опыт экономически состоятельных государств показывает, что для обеспечения стабилизации добычи нефти и газа ежегодный прирост разведанных запасов должен в 2–3 раза превышать уровень добычи [7]. В Украине это условие не выполняется, но, вместе с тем нужно отметить, что Украина относится к числу стран, не бедных в энергетическом смысле: при территории, равной 0.4% мировой, сырьевые запасы недр Украины составляют 5% мировых. По оценкам специалистов, в недрах украинского черноморского шельфа может быть до 40 млрд кубометров природного газа, а запасы нефти на суше составляют более, чем 780 млн т. [25]. Однако поиск и разведка новых месторождений углеводородов ведутся в нашей стране последние несколько десятков лет явно недостаточными темпами

Следует также отметить, что структура имеющихся запасов полезных ископаемых имеет четкую тенденцию к ухудшению, поскольку на протяжении многих предыдущих десятков лет разрабатывались, в первую очередь, те месторождения, доступ к которым был более легким. В этом обстоятельстве – одна из причин, почему немногочисленные месторождения, открытые в нашей стране за последнюю четверть века, имеют незначительные запасы и, вследствие больших глубин и низких дебитов, прак-

тически не повлияли на общие объемы добычи углеводородного сырья

На выправление сложившейся в Украине ситуации в области нефтегазодобычи, совершенствование методического и научно-технического обеспечения нефтегазопроисковых работ, технологическое содействие открытию новых перспективных месторождений направлены исследования, проводимые в Научном центре аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук Национальной академии наук Украины (ЦАКИЗ) в рамках целевой научно-прикладной программы "Розвиток геологічних, геофізичних наук, технологій і нарощування ресурсів корисних копалин в Україні та вивчення, прогнозування і мінімізація надзвичайних ситуацій". Цель этих исследований – повысить эффективность поиска залежей полезных ископаемых на основе разработки новых технологий с использованием материалов аэрокосмических съёмки.

В последние несколько десятилетий в задачах поиска залежей полезных ископаемых все большую роль играют методы дистанционного зондирования Земли [3, 4, 16]. Практика показывает, что дистанционные аэрокосмические методы находят успешное применение, как на региональном, так и локальном уровнях, особенно в условиях, при которых исследуемые участки территории имеют достаточно большие площади и прямой доступ к ним затруднен.

Применение метода дистанционного поиска месторождений нефти и газа, с использованием материалов аэрокосмической съёмки, основывается на феномене влияния имеющейся на некоторой глубине залежи углеводородов на геохимические и биофизические параметры расположенных над ней приповерхностных грунтов и растительного по-

* E-mail: mpopov@casre.kiev.ua. Тел.: +380 44 482 01 66

крова [8, 9]. Механизм такого влияния рассмотрен в [2]. Суть в том, что в условиях достаточно однородного по структуре и составу грунтов и растительности изотропного участка земной поверхности его элементы обычно не сильно отличаются по своим спектральным отражательным свойствам, однако присутствие в недрах залежи углеводородов ведет к изменению спектральных портретов соответствующих земных покровов. Эти изменения (если они достигают определенного уровня) рассматриваются как аномалии спектрального отражения земной поверхности и служат одним из важных индикаторов залежи.

Модель формирования аномалии спектрального отражения растительного покрова на земной поверхности над залежами углеводородов описана в монографии [3]. При дистанционном подходе подобные аномалии выявляют путём анализа материалов много- и гиперспектральной аэрокосмической съёмки. Однако выявление аномалий по материалам съёмки — лишь часть общего процесса изучения исследуемого участка земной поверхности, ибо при принятии решения о наличии залежи важное значение имеют геологические данные, результаты полевых спектрометрических измерений, геохимические показатели грунтов, данные сейсмических и гравитационных измерений, магнитометрии и др. Тщательный комплексный анализ всей собранной информации позволяет повысить достоверность поисково-прогнозных оценок на углеводороды и расширить круг решаемых задач.

В соответствии с общепринятой схемой геологоразведочного процесса на нефть и газ нефтегазопромысловые задачи решаются в процессе выполнения регионального, поискового и разведочного этапов [4]. Известно, что обязательным условием существования залежей углеводородов является наличие структурных или неструктурных ловушек и их заполненность нефтью, конденсатом или газом. Поэтому при комплексной обработке различной геофизической информации, материалов аэрокосмической съёмки в районах исследований необходимо выявлять наличие таких ловушек и по прямым или косвенным признакам устанавливать наполненность их углеводородами. То есть при любых использованных схемах решаются две основные задачи: первая — это поиск потенциальных ловушек-коллекторов, которые могут служить резервуарами залежей углеводородов, и вторая — определение наличия углеводородов в этих ловушках.

С учетом вышеизложенного решение любой задачи дистанционного поиска залежей углеводородов — это последовательная процедура, включающая в себя ряд этапов. Согласно [1], поиск залежей углеводородов на суше должен проводиться в определенной последовательности (рис. 1):

- 1) выбор материалов аэрокосмической съёмки и сбор необходимого объема первичной (априор-



Рис. 1. Схема дистанционного поиска залежей углеводородов на суше

ной) информации: картографических материалов на район интереса, данных геологических исследований, результатов проведенных сейсмических работ и др.;

- 2) дешифрирование и морфоструктурный анализ материалов много- или гиперспектральной аэрокосмической съёмки;
- 3) создание моделей разломно-блоковых структур изучаемой территории и выделение потенциально перспективных объектов;
- 4) выделение аномалий спектрального отражения земной поверхности (растительность, грунты) по материалам аэрокосмической съёмки с целью перевода потенциально перспективных объектов в разряд прогнознопроспективных объектов;
- 5) полевые заверочные работы и наземные исследования (подтверждение результатов камеральных исследований) на объектах (спектрометрирование образцов растительности и грунтов, геохимические, магнитометрические и другие исследования)
- 6) интеграция и комплексный анализ результатов дистанционных и полевых (наземных) исследований
- 7) формирование гипотезы — решения о выявлении или отсутствии залежи углеводородов и её возможном потенциале.

Традиционно большая часть названных работ

выполняется непосредственно человеком, а именно геологами, дешифровщиками-интерпретаторами и другими специалистами. Однако практика показывает, что поисково-оценочные и прогнозные задачи отличаются высокой интеллектуальной сложностью, которая обусловлена огромным числом переменных, требующих учёта и анализа, отсутствием чётких правил их обработки и критериев принятия решений. Кроме того, эти переменные имеют различную физическую природу, представлены в разных форматах и измеряются в разных шкалах. Многие решения принимаются в условиях ограничений используемого методического инструментария (значительная часть переменных является результатом непрямых, косвенных измерений или наблюдений), при неполноте геологической картины, в присутствии множества посторонних случайных факторов.

По указанным причинам геолог, решая поставленную поисковую или прогнозную задачу, работает в напряженном режиме, и одним из последствий этого является достаточно быстрое проявление усталостного фактора. В подобных условиях весьма затруднительно обеспечить стабильное получение достоверных оценок и решений и, в связи с этим, актуальным представляется разгрузить, по возможности, геолога-исследователя, снять с него хотя бы часть интеллектуальной нагрузки при работе с данными. Для этого предлагается создание прикладной программной системы “компьютерный ассистент геолога”. На рис. 2 представлена схема решения нефтегазописковых задач при совместной работе геолога-исследователя и компьютерного ассистента, а также распределение функций между ними на региональном этапе исследований. Конечным продуктом исследований является схема расположения прогнозных объектов.

Рис. 3 отображает схему решения нефтегазописковых задач при совместной работе специалиста-геолога и его компьютерного ассистента, а также распределение функций между ними на поисковом и разведочном этапах [1]. В процессе работы выполняются оценки продуктивности прогнозных объектов, выделенных на региональном этапе, что позволяет перевести все или часть этих объектов в разряд прогнозно-перспективных объектов. Конечным продуктом процесса является схема расположения прогнозно-перспективных объектов на заданной площади.

Ключевым информационным элементом при совместной работе геолога и компьютерного ассистента является база знаний.

В базе знаний находятся:

- информация об объектах реального мира, относящихся к предметной области (графическая, описательная и др.);
- понятийный аппарат предметной области, терминология и т. д.;

- физико-математические, сущностные и другие модели объектов, явлений и процессов;
- отношения, существующие между объектами реального мира, правилами, утверждениями и т. д.;
- причинно-следственные правила;
- декларативные знания (о фактах и данных);
- процедурные знания (методы, алгоритмы, эвристики);
- метазнания, или информация о знаниях, содержащихся в базе знаний (их достоверность, указания по использованию, актуализации и др.)

Информация об объектах реального мира, терминология, понятия и определения, а также метазнания считаются априори достоверными. Относительно остальной информации, хранящейся в базе знаний, допускается наличие в ней ошибок, неточностей, элементов неопределенности

Все содержимое базы знаний структурируется в единую систему знаний и обычно описывается на одном из языков представления знаний (например, PROLOG, LISP), хотя во многих случаях для этого вполне может быть использован один из универсальных языков программирования (например, *Basic*).

Множество эвристик отражают причинно-следственные связи между наблюдениями / измерениями и соответствующими гипотезами. Существуют разные методы формального представления эвристики в базе знаний, однако наиболее простой и удобный — посредством семантических сетей [14]. Множество эвристик формируется экспертами данной предметной области, оно должно быть достаточно мощным, а при оценке справедливости эвристики исходят из предыдущего опыта решения подобных задач.

Компьютерный ассистент может выполнять такие поисковые, вычислительные и интеллектуальные функции:

- 1) поиск и получение необходимых материалов аэрокосмической съемки, нахождение первичной информации и данных, необходимых для решения поставленной задачи;
- 2) фильтрация и нормализация полученных данных, извлечение фактов и других сведений из первичной информации, их верификация (проверка точности и достоверности);
- 3) дешифрирование материалов аэрокосмической съемки и распознавание изображений;
- 4) выполнение логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями согласно принятым правилам вывода;
- 5) обработка гипотез, интеллектуальная поддержка геолога при принятии оценочно-прогнозных решений по изучаемым объектам в соответствии с исходной постановкой задачи.

Уровень функционального задействования компьютерного ассистента зависит от конкретной задачи и задается геологом. Безусловно, достоверность и точность формируемых решений зависят

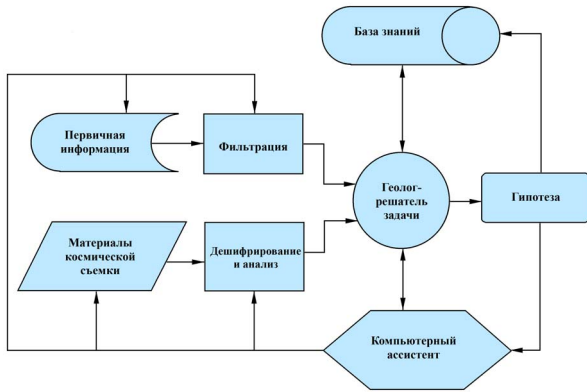


Рис. 2. Схема решения нефтегазопроисловых задач с использованием компьютерного ассистента (региональный уровень)

от качества и объемов исходных материалов и первичной (априорной) информации. При дистанционном поиске залежей углеводородов достаточно высокие требования предъявляются к спектральной разрешающей способности аэрокосмического изображения (для гиперспектральных снимков эта величина может составлять несколько нанометров), а необходимое пространственное разрешение на Земле может составлять 10–20 м и более. В современных условиях снимки с такими характеристиками обычно имеются в достаточном количестве и, как правило, доступны на вполне приемлемых условиях.

Для получения аэрокосмических снимков с нужными характеристиками, а также другой необходимой информации можно использовать многочисленные открытые базы данных и поисковые системы, в том числе семантические веб-сервисы (*semantic web services*) [23]. Следует, однако, учитывать, что цифровое описание сведений и знаний, накопленных в геологии и смежных науках о Земле, тезаурус понятий и семантика отношений между объектами в этой сфере пока стандартизованы явно недостаточно, что существенно ограничивает возможности применять такое поисковые средства как *semantic web services*.

Чтобы не пропустить какую-либо полезную и важную информацию, геолог часто вынужден задавать обобщенные, размытые критерии поиска, вследствие чего собираемые массивы данных оказываются далеко не всегда адекватными реальным потребностям задачи и требуют дополнительной обработки и фильтрации

Возможности человека по дешифрированию многоспектральных и гиперспектральных изображений (в отличие от панхроматических или цветных) весьма ограничены, поэтому для этих целей разработаны и успешно применяются специализированные прикладные программные системы, такие как ENVI, ERDAS, eCognition и др. Отметим, что в ЦАКИЗ наработан целый ряд новых методов классификации многоспектральных и гиперспектраль-

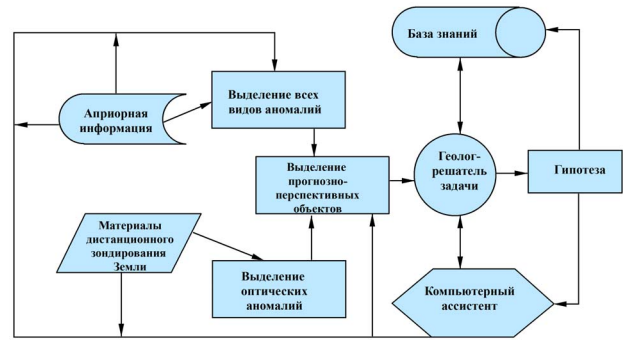


Рис. 3. Схема решения нефтегазопроисловых задач с использованием компьютерного ассистента (поисковый и разведочный этапы)

ных аэрокосмических изображений, которые показали свою эффективность [10, 11, 13] и могут быть успешно использованы при решении задач дистанционного поиска месторождений углеводородов

Что касается логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями, обработки гипотез, интеллектуальной поддержки принятия решений, то при создании соответствующих алгоритмических и программных средств можно воспользоваться инструментарием экспертных систем [5, 17, 20]. Известно достаточно много экспертных систем различного назначения, в том числе созданных для оказания информационной помощи специалистам-практикам при поиске полезных ископаемых — *Dipmeter Advisor*, *PROSPECTOR*, *USGS Tetracorder* и др.

Большинство из них использует продукционную модель представления знаний [14]. Структура продукционного правила имеет вид: if <предпосылка>, then <заключение>. То есть правило состоит из двух частей: предпосылка (*proposition*) и заключение (*conclusion*). Предпосылка — это некоторое условие, которое может быть простым или составным; например — условие может описываться логическим выражением с использованием операторов конъюнкции и дизъюнкции. Предпосылки и заключения могут быть представлены в номинальной, количественной и других шкалах, т. е. могут выражаться в виде некоторых описаний, конкретных значений параметров изучаемого объекта, логических выражений и т. д. В теории продукционных систем предпосылка еще именуется как антецедент (*antecedent*), а заключение — как консеквент (*consequent*)

Продукционный механизм опирается на три компонента — рабочую память, базу правил и механизмы сопоставления и вывода (рис. 4). Рабочая память — это оперативное (временное) хранилище информации, относящейся к той конкретной задаче предметной области, которая решается в данный момент. Такое хранилище использует информацию, содержащуюся в базе знаний, и организуется в интересах экономии вычислитель-

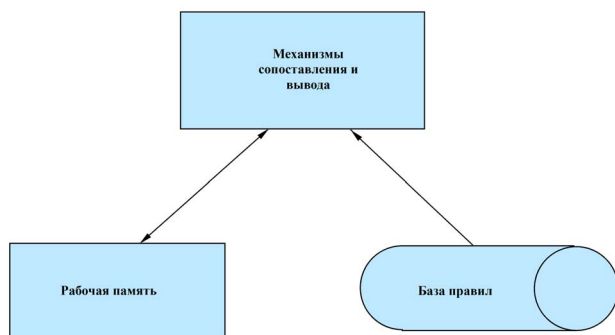


Рис. 4. Конфигурация продукционной системы

ных затрат. База правил также является частью базы знаний. Третий компонент — механизмы логического вывода, использующие правила (продукцию) в соответствии с содержимым рабочей памяти.

Все три компонента наполняются информацией на этапе обучения системы, которое проводится с помощью экспертов предметной области.

Опыт создания и применения экспертных систем показал, что продукционная модель представления знаний является мощным средством для реализации множества логико-вычислительных операций над данными, фактами и другими сведениями, для автоматической обработки гипотез и иной интеллектуальной поддержки геолога. Вместе с тем, анализ применения разработанных образцов экспертных систем в геологии показывает, что пока они так и не стали действенным средством оказания эффективной помощи геологу при решении нефтегазопоисковых задач. На наш взгляд, одна из основных причин этого состоит в том, что в качестве математической основы для проведения логико-вычислительных операций и обработки гипотез известных экспертных систем обычно задействуются либо байесовский вероятностный подход, либо методы теории нечетких тельств Демпстера-Шейфера [24]. Математика теории свидетельств позволяет работать с неполностью определёнными данными и даже в отсутствие части данных, на формальной основе алгоритмически комплексировать эвристические знания с учётом надёжности их источников, формировать решения при наличии противоречивых гипотез и др. Учитывая эти преимущества, представляется перспективным использовать в дальнейшем возможности теории свидетельств Демпстера-Шейфера в качестве математической основы при построении компьютерного ассистента.

Надёжное и достоверное решение реальных природоресурсных задач нуждается в анализе большого количества геопространственных данных, требуемых для создания и уточнения геологических моделей и тематической интерпретации полученных результатов. Общей практикой

выступает комбинирование и совместная обработка многих слоёв разнородных геопространственных данных из разнообразных источников (рис. 5). При этом должен проводиться комплексный анализ всей имеющейся совокупности геопространственных данных на исследуемую территорию — дистанционных (оптических и радарных изображений, авиационных и спутниковых измерений), полевых (геофизических, геохимических, фитометрических), ранее накопленных (геологических и других тематических карт) и т. п. [15]

Обычно разделяют подготовительные процедуры, обеспечивающие возможность проведения общего анализа геопространственных данных — преобразование форматов, согласование пространственных экстенгов и датумов, пространственная регуляризация, выбор методов обработки данных разной физической природы (интеграция в узком смысле) и, собственно, семантико-ориентированные процедуры, направленные на получение конечных результатов геопространственного анализа (целевая интеграция) [21]

Для пространственного согласования регулярных и нерегулярных растровых и векторных геопривязанных данных современные геоинформационные технологии обеспечивают целый арсенал методов — от простой сплайн-интерполяции до физического моделирования [22]. При этом перед обработкой количественные поля данных разной физической природы должны преобразовываться в определённую единую измерительную форму, например, путём разного рода масштабирования, нормирования или фильтрации. Целесообразно использовать собственные масштабные преобразования для каждого из типов данных, чтобы в результате привести все измерения к единому масштабу [12]

Общий подход к решению задачи дистанционного поиска залежей углеводородов геологом с использованием компьютерного ассистента состоит в следующем. Геолог по результатам проведенного информационного анализа всех доступных ему материалов, приходит к определённому суждению. Суждение передается компьютерному ассистенту, где интерпретируется (используя рабочую память и базу правил) как предпосылка на множестве продукционных правил. По этой предпосылке продукционная система компьютерного ассистента, исходя из имеющейся предпосылки (антецедента), отбирает все правила с такой предпосылкой и далее на основе их применения и анализа выводится заключение (консеквент), или рабочая гипотеза. Правильность выбора правила и достоверность выведенной гипотезы проверяются и оцениваются через базу знаний.

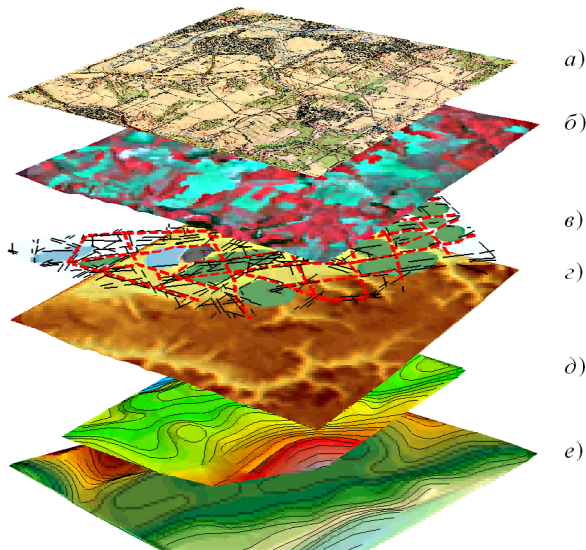


Рис. 5. Набор исходных слоёв гетерогенных геопространственных данных: а – топографическая карта; б – многоспектральный космический снимок; в – схема разломно-блоковой тектоники; г – гипсометрия рельефа; д, е – структурные карты разных горизонтов залегания

Представляется, что предложенный подход будет полезным при решении нефтегазопроисковых задач на суше, в первую очередь, в таких постановках:

- при готовности начать бурение новой поисковой (разведочной) скважины в пределах территории, оцениваемой специалистами (геологами и геофизиками) как нефтегазоперспективной, выбрать среди возможных вариантов места ее заложения тот, где бурение будет иметь наибольший коэффициент успеха [19]
- уточнение контура нефтегазоносности, ранее установленного с помощью традиционных прямых или косвенных методов поиска [6, 18];
- упорядочить (проранжировать) несколько площадей, подготовленных к бурению, по степени их перспективности [1].

Каждая постановка задачи требует своей стратегии ее решения и соответствующего информационного и программного обеспечения. Все необходимое должно быть сосредоточено в базе знаний, однако выполнение этого требования – сложная и трудоемкая задача, включающая в себя обучение компьютерного ассистента геолога с помощью специалистов – экспертов в рассматриваемой предметной области, формализацию ключевых понятий, моделирование, тестирование и др. Авторы статьи планируют, что названные вопросы будут предметом рассмотрения на последующих этапах выполнения исследований в рамках названной выше целевой научно-прикладной программы НАН Украины.

Литература

1. Архипов А. И. Прогрессивная технология для решения

нефтегазопроисковых задач на суше аэрокосмическими методами / А. И. Архипов, В. И. Лялька, З. М. Товстюк, В. П. Ключко // *Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса* / Под ред. В. Г. Бондура. — М.: Научный мир, 2012. — С. 165–174.

- Архіпова Т. О. Попередні результати геохімічних та дистанційних досліджень ландшафтів при розв'язанні нафтогазопрошукових задач / Т. О. Архіпова // *Пошукова та екологічна геохімія*, 2004. — № 4. — С. 77–80.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька і М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 360 с.
- Галузевий стандарт України ГСТУ 41-00032626-00-011-99. Етапи і стадії геологорозвідувальних робіт на нафту і газ. — Київ: Комітет України з питань геології та використання надр, 1999. — 18 с.
- Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта / Ж.-Л. Лорьер; пер. с фр. — М.: Мир, 1991. — 568 с.
- Лукин А. Е. Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности / А. Е. Лукин // *Геолог Украины*. — 2004. — № 3. — С. 18–43.
- Мстиславская Л. П. Геология, поиски и разведка нефти и газа / Л. П. Мстиславская, В. П. Филиппов. — М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2005. — 199 с.
- Перерва В. М. Состояние и пути совершенствования спутниковой технологии прогнозирования залежей нефти и газа / В. М. Перерва, А. И. Архипов, Г. Ф. Бусел, Е. И. Левчик, Е. А. Рыбак, Т. В. Оскарян // *Космічна наука і технологія*. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 201–206.
- Перерва В. М. Мультиспектральный структурно-польовый способ прогнозирования покладів нафти і газу / В. М. Перерва, М. О. Тепляков, О. І. Архіпов, О. В. Гончаренко, Г. Ф. Бусел, О. І. Левчик, Т. В. Оскарян // *Деклараційний патент на винахід UA № 63073A*. — Опубл. 15.01.2004. — Бюл. № 1/2004.
- Попов М. А. Метод классификации космических изображений с использованием подхода Демпстера-Шейфера / М. А. Попов, С. И. Альперт, В. Н. Подорван // *Исследование Земли из космоса*. — 2016. — № 5. — С.26–37.
- Попов М. А. Методика классификации площадных объектов на многоспектральных космических изображениях на основе последовательного слияния информации / М. А. Попов, В. И. Лялька, В. Н. Подорван, А. И. Сахацкий // *Материалы Второй открытой Всероссийской научной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”*. — М.: ИКИ РАН, 2005. — С. 88–94.
- Попов М. А. Решение задач поиска нефти и газа с использованием гетерогенной пространственной информации / М. А. Попов, С. А. Станкевич, С. Ю. Марков, А. В. Зайцев, Е. Б. Кудашев // *Труды XV Всероссийской объединенной конференции “Интернет и современное общество” (IMS-2012)*. — СПб.: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012. — С. 94-101.
- Попов М. А. Использование полного набора нормализованных

- зованих межканальних індексів многоспектральних космічних зображень при класифікації покритий ландшафта / М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. І. Сахацький, А. А. Козлова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. — 2007. — Т.20(59). — № 1. — С. 175–182.
14. Представление и использование знаний / Под ред. Х Уэно, М. Исидзука; пер. с яп. — М.: Мир, 1989. — 220 с.
 15. Станкевич С. А. Інтегрування гетерогенної просторової інформації при вирішенні нафтогазопошукових задач / С. А. Станкевич, М. О. Попов, О. В. Зайцев, С. Ю. Марков, Е. Б. Кудашев, О. П. Дишлик // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. — 2012. — Вип. 2 (24). — С. 105–110.
 16. Трофимов Д. М. Современные методы и алгоритмы обработки космической, геолого-геофизической и геохимической информации для прогноза углеводородного потенциала неизученных участков недр / Д. М. Трофимов, В. Н. Евдокименков, М. К. Шуваева. — М.: Физматлит, 2012. — 320 с.
 17. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам / Д. Уотермен; пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 388 с.
 18. Федоровский А. Д. Прогнозирование и поиск месторождений нефти и газа на основе спектрофотометрирования растительного покрова / А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, А. И. Архипов, А. Ю. Порушкевич, С. А. Станкевич, К. Ю. Суханов, О. В. Титаренко // Геоинформатика. — 2010. — № 3. — С. 44–47.
 19. Хижняк А. В. Евристичні методи оцінки нафтогазоперспективності ділянок досліджуваної території на основі міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної і наземної інформації (на прикладі Дніпровсько-Донецької западини) [Електронний ресурс] / А. В. Хижняк, Т. А. Єфіменко, О. І. Архипов, О. В. Томченко, К. Ю. Суханов, О. Д. Федоровський // Український журнал дистанційного зондування Землі. 2016. — № 9. — С. 12–21. — Режим доступа к журн.: <http://www.ujrs.org.ua>. — Заглавие с экрана.
 20. Clark R.N. Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems / R. N. Clark, G. A. Swayze, K. E. Livo, R. F. Kokaly, S. J. Sutley, J. B. Dalton, R. R. McDougal, C. A. Gent // Journal of Geophysical Research. — 2003. — Vol. 108. — №. E12. — P. 5–44.
 21. Flowerdew R. Spatial data integration / R. Flowerdew // Geographic Information Systems: Principles and Applications / D. J. Maguire, M. F. Goodchild, and D. W. Rhind (Eds). — L.: Longman, 1991. — P. 375–387.
 22. Giuliani G. WPS mediation: An approach to process geospatial data on different computing backends / G. Giuliani, S. Nativi, A. Lehmann, N. Ray // Computers & Geosciences. — 2012. — Vol. 47.— №. 10. — P. 20–33.
 23. Gladun A. Intelligent Techniques of User-Oriented Recognition of Objects from the Web Informational Resources / A. Gladun, J. Rogushina // Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence. — 2014. — Vol. 6. — №. 3. — P. 348–353.
 24. Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence / G. Shafer / Princeton: Princeton Univ. Press, 1976. — 297 p.
 25. URL: <https://ru.tsn.ua/ukrayina/ukraina-nachnet-dobychu-gaza-na-shelfe-chernogo-morya-do-2020-goda-803995.html> (дата обращения: 12.03.2018).

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ПОШУКУ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО АСИСТЕНТА ГЕОЛОГА

М. О. Попов, С. А. Станкевич, А. І. Архипов, О. В. Титаренко

Пропонується концепція створення прикладної програмної системи “комп’ютерний асистент геолога” для дистанційного пошуку покладів вуглеводнів. Основними задачами визначені логіко-розрахункові операції з даними, фактами та іншими повідомленнями, обробка гіпотез, інтелектуальна підтримка прийняття рішень. Для їхнього вирішення пропонуються відповідні алгоритмічні та програмні засоби інструментарія експертних систем.

Ключові слова: дані дистанційного зондування Землі, пошук покладів вуглеводнів, комп’ютерний асистент геолога, морфоструктурний аналіз, прогнозні об’єкти, інтеграція гетерогенних геопросторових даних

ABOUT POSSIBILITY OF HYDROCARBON DEPOSIT REMOTE DETECTION USING COMPUTER ASSISTANCE

Mikhail A. Popov, Sergey A. Stankevich, Alexander. I. Arkhipov, Olga V. Titarenko

The paper considers the possibility of hydrocarbon deposit remote detection using the specially developed software application entitled “geologist’s computer assistant”. Its tasks defined as logic-computational operations on data, facts and other information, hypothesis processing, intellectual decision-making support. The appropriate algorithmic and software tools of expert systems are offered for this tasks solving.

Keywords: remote sensing data, hydrocarbon deposit prospecting, geologist’s computer assistant, morphostructural analysis, predicted targets, heterogenic geospatial data integration