

Д.М. Трофимов (ООО «РЕСЕНОЙЛ»)

В 1958 г. окончил Московский геологоразведочный институт. В настоящее время – главный геолог ООО «РЕСЕНОЙЛ». Доктор геолого-минералогических наук.

М.К. Шуваева (ОАО «ЛУКОЙЛ»)

Окончила Московский институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. В настоящее время – главный специалист ОАО «ЛУКОЙЛ». Кандидат геолого-минералогических наук.

В.Б. Серебряков (Компания «Совзонд»)

В 1985 г. окончил Московский авиационный институт по специальности «инженер-механик». В настоящее время – руководитель направления ГИС компании «Совзонд».

И.Ю. Хромова (ОАО «ЛУКОЙЛ»)

В настоящее время – заведующая лабораторией ОАО «ЛУКОЙЛ». Кандидат геолого-минералогических наук.

Оценка методики прогноза нефтегазоносности северо-западной Колумбии по дистанционным и геофизическим данным

Анализ негативных результатов геологоразведочных работ на нефть и газ, проведенных в бассейне Сан-Джасинто, определил необходимость использовать новый комплекс поисковых исследований, основанных на обработке и анализе космической информации, переинтерпретации геологических и сейсморазведочных данных с оценкой локализованных перспективных ресурсов нефти. Полученные материалы обеспечивают возможность в относительно короткие сроки выбрать наиболее перспективные объекты с меньшими затратами средств в сравнении с традиционными методами поисков, обосновав целесообразность и рентабельность поискового бурения с учетом геологического и экономического рисков.

Основой для выполнения работы являлись результаты анализа космической информации с решением четырех основных поисковых задач:

- выявления закономерностей регионального структурного положения поисковых объектов и связанных с ними признаков нефтегазоносности;
- прогнозирования структурных ловушек углеводородов на неопроискованных участках;
- прогноза перспектив их нефтегазоносности;
- оценки перспективных ресурсов наиболее достоверных структурных ловушек.

В работе использовалась геологическая карта масштаба 1:100 000, переинтерпретированные сейсморазведочные данные, результаты бурения с анализом каротажа, поверхностные нефтепроявления и опубликованные источники.

ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ КОСМИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ ИЗУЧАЕМОЙ ПЛОЩАДИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

На первом этапе данной работы проводилась оценка возможностей применения методов прогноза нефтегазоносности на основе анализа структурно-геоморфологических, мультиспектральных, в том числе и инфракрасных данных, получаемых с приодноресурсных космических спутников Земли. В результате проведенных исследований выявлена новая геологическая информация и определен ряд закономерностей, позволяющих использовать полученные материалы для определения перспективности выявленных объектов.

В работе были использованы пять мультиспектральных космических снимков со спутников Landsat-7 и Terra/ASTER.

Снимки со спутника Landsat-7 получены 03.04.2003 г., а со спутника Terra – 13.02.2004 и 26.01.2006 г. Боль-

шего количества снимков изучаемой площади, что требуется по технологии работ, подобрать не удалось в связи с преобладающей облачностью в данном регионе. Дешифрируемость снимков невысокая в связи с широким развитием тропической растительности, скрывающей мелкие формы рельефа и сглаживающей крупные морфоструктуры. Особенно низкая дешифрируемость отмечается в восточной части изучаемой площади, что затрудняет прогнозирование структур осадочного чехла.

Анализ космической информации проводился во всех каналах: от видимого до дальнего инфракрасного диапазона в масштабах 1:100 000 и 1:50 000, и на основании полученных данных решались четыре основные геологические задачи:

- изучение структурных форм осадочного чехла в региональном аспекте;
- прогнозирование структурных ловушек и зон предполагаемого развития литолого-стратиграфических ловушек;
- анализ локальных тепловых аномалий, пространственно связанных с прогнозируемыми ловушками углеводородов;
- выявление спектральных аномалий почвенно-растительного покрова, подобных по своим характеристикам и морфологическим параметрам ареалам естественного просачивания углеводородов и нефтепроявлениям в скважинах.

Полученные результаты в комплексе с данными сейсморазведки и бурения использовались для выбора и обоснования наиболее перспективных поисковых объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Современная изученность регионального строения отражает результаты геологической съемки, частично сейсморазведочных работ и бурения. Выделенные относительно крупные геоблоки, отделенные наиболее крупными глубинными разломами Romerol, Uramita, Espiro Santa и др., разделяют на небольшие осадочные бассейны, представляю-

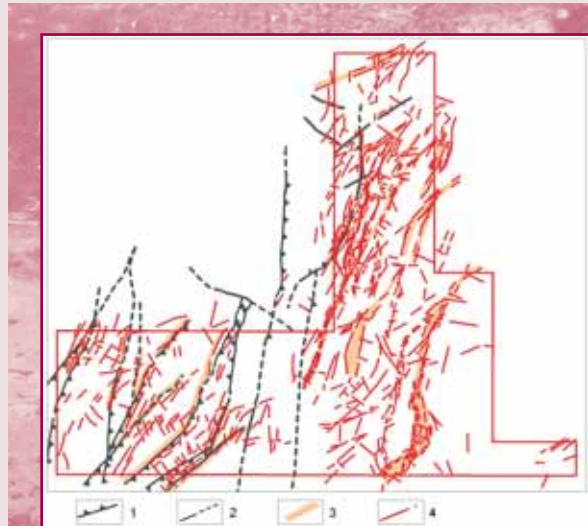


Рис. 1.

Региональная схема сопоставления зон разломов, выделенных по геолого-геофизическим данным и по структурному анализу космических снимков

- 1 — разломы, выделенные по геолого-геофизическим данным;
- 2 — разломы, выделенные по геофизическим данным;
- 3 — зоны разломов, прогнозируемые по космическим данным;
- 4 — разрывные нарушения, прогнозируемые по космическим данным.

щие собой отрицательные тектонические структуры. В их пределах, на геологической карте выделен ряд положительных и отрицательных структурного типа, показанных через ориентировку их осей и дополненных элементами залегания пород (рис. 1).

По результатам регионального структурного анализа космических снимков основные выявленные предыдущими исследователями разломы находят хорошее отображение на дистанционных материалах, то есть согласуются с итогами геологических и тектонических построений. Полученная новая информация представлена выделенными региональными разломами в менее изученной в связи с широким развитием четвертичных отложений центральной и восточной частях изучаемой площади, определяя ее тектоническое районирование. По данным структурной интерпретации космических снимков фиксируется два основных направления простирания тек-



Рис. 2.
Тепловой снимок Terra/ASTER от 10.08.2009 г.

тонических элементов: северо-северо-восточное и запад-северо-западное, то есть имеет место перекрестный структурный план. Первое направление проявляется более ярко, оно связано с активными на голоценовом этапе взресо-надвигами, а второе выражено существенно слабее, фрагментарно отражая более древний структурный план, характеризующийся крупными блоками, разделяемыми сбросами и сдвигами.

Дополнительный прирост новой информации, полученной по результатам структурного анализа, заключался в выделении локальных разрывных нарушений, поперечных к основной системе дислокаций и характеризующихся сдвиговой составляющей. Возраст активизации спрогнозированных разрывных нарушений плиоцен-четвертичный, однако система разломов северо-северо-восточного простирания является более активной.

Наиболее отчетливое отображение на снимках как в видимом, так и в тепловом каналах находят такие структурно-геоморфологические единицы, как Кордильеры (рис. 2) и расположенные между ними впадины, границы между которыми подчеркиваются разрывными нарушениями.

По результатам регионального структурного анализа космических снимков в сравнении с геологической кар-

той и тектонической схемой выявлена следующая новая информация:

- в восточной части площади прогнозируются три системы разломов, в значительной степени контролирующих простираание локальных структур и оказавших воздействие на их формирование;
- в парагенезе с надвигами выделяются поперечные локальные разрывные нарушения со сдвиговой составляющей;
- по ориентации систем разрывных нарушений, структурно-геоморфологическим особенностям рельефа в пределах восточной части района работ и бассейна Sabanalarga выделяются по отношению к преобладающей продольной структуре три блока: северный, центральный и южный, разделенные разломами, фрагментарно активными до настоящего времени. Выделенные блоки характеризовались индивидуальными особенностями формирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОКАЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ

По результатам локального структурного прогноза на изучаемой площади выявлены ловушки антиклинального и приразломного типа, значительная часть которых находится в западной бесперспективной зоне изучаемой площади. Часть из них совпадает с разбуренными поднятиями: Repelon, Molinero, Tubara и др. (рис. 3). Те из них, которые находятся в зоне воздействия системы разломов Sibargo, частично вскрыты эрозией в сводах и интенсивно трещиноваты, что является неблагоприятной предпосылкой для сохранности залежей углеводородов. Эти данные свидетельствуют об объективности прогнозирования структурных ловушек по космическим данным и оценки их нефтегазового потенциала.

Из всех прогнозируемых ловушек, выделенных на изучаемой площади, часть из них пересечены сейсмопрофилями, что позволяет осуществить их заверку и оценить достоверность применения космической информации при решении структурных задач.

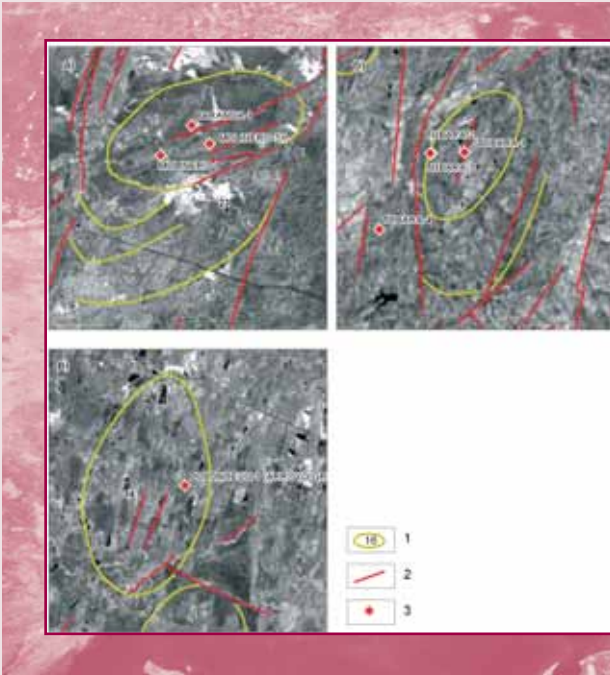


Рис. 3. Схемы отражения на космических снимках локальных структур:

- а) Molinero, б) Tubara, в) Polonuevo
 1 – контур дешифрируемой структуры;
 2 – прогнозируемые разрывные нарушения;
 3 – скважины

Сопоставление результатов космических и геофизических работ проводилось в основном по восточной части изучаемой площади. Именно локальные структуры, находящие отражение на сейсморазведочных материалах, оцененные как относительно достоверные, в дальнейшем анализируются с точки зрения их нефтегазоносности. Прогнозируемые здесь локальные структуры находятся по отношению к разломам в непосредственном контакте с ними (приразломные или возможно тектонически-экранированные ловушки) или между ними.

Прогнозируемые структурные ловушки, расположенные между зонами разломов, на космических снимках отражаются существенно слабее, перекрываясь позднетретичными и четвертичными отложениями, в зоне распространения которых развито местами сельскохозяйственное производство.

Тем не менее выявленные и разрушенные здесь локальные поднятия, на которых расположены скважины Molinero и Polonuevo-1, находят отражение на космических снимках (рис. 4) и являются эталонными структурами для формирования дистанционного образа, использованного для распо-

знавания подобных объектов, относящихся к категории погребенных.

Зоны возможного развития неструктурных ловушек связаны с унаследованно воздымавшимися валлообразными поднятиями, осложненными разрывными нарушениями. За отсутствием структурных карт трассирование подобных зон затруднительно, однако их прогнозирование осуществлялось в комплексе с данными сейсморазведки. Эти зоны могут быть приурочены к выделенным зонам разломов, с восточной стороны, как ловушки выклинивания и литологического замещения, а с западной – как дубликаты.

Проведенные работы позволили в северо-восточной и восточной частях изучаемого участка выделить площади для проведения детализационных сейсморазведочных работ на новых поисковых объектах. Они по данным сейсморазведки в основном представляют собой погребенные поднятия со слабой степенью унаследованности, которые, судя по практике нефтегазопоисковых работ, характеризуются лучшей сохранностью залежей углеводородов.

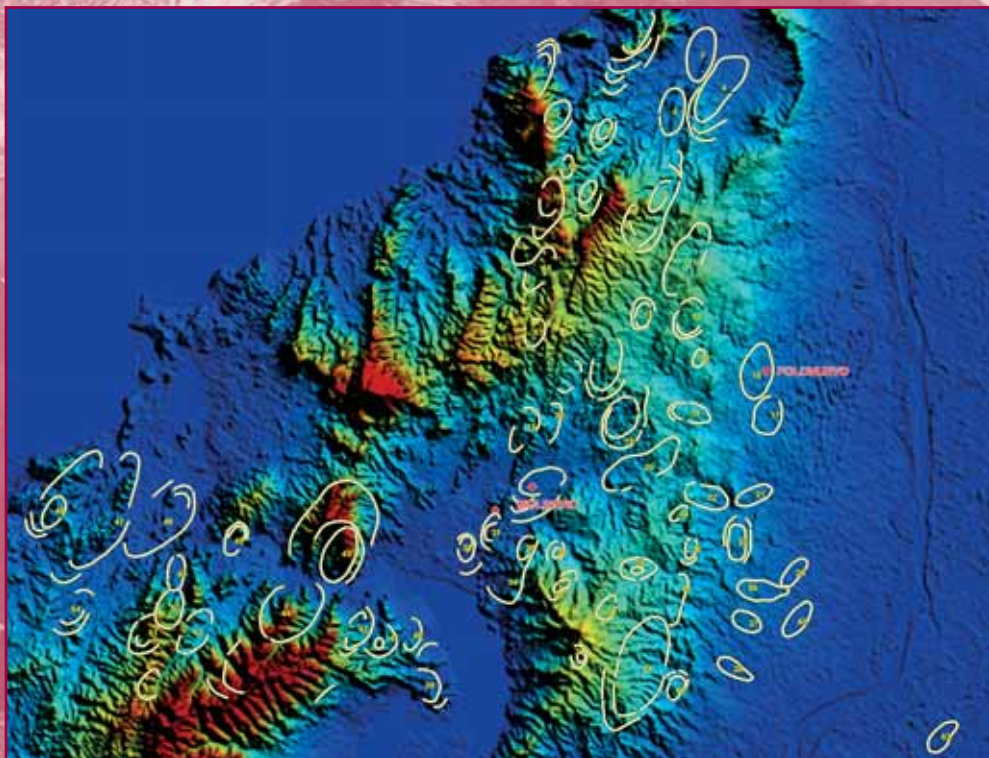


Рис. 4.
Контра локальных структур, прогнозируемых по космическим данным

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕПЛОВОЙ СЪЕМКИ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА

Качество космических снимков в дальнем инфракрасном диапазоне спектра (8–14 мкм), в частности их разрешающие возможности, частично ограничивает их применение для локального прогноза, оставляя возможность использования для региональных структурных построений.

Наиболее отчетливое отражение на тепловых снимках имеет система разломов Sibarco, разделяющая два основных тектонических подразделения, и серия разломов в западной части изучаемого участка (рис. 5). Эти нарушения имеют северо-северо-восточное простирание, тогда как поперечные к ним разрывы сдвигового харак-

тера выражены значительно слабее, так как они геоморфологически на снимках данного масштаба малозаметны.

В целом система разломов Sibarco разделяет два различных геотемпературных поля: более теплое – к востоку и холодное – к западу. Более вероятное объяснение этого явления заключается в различии ландшафтной обстановки и, по-видимому, характере растительного покрова. Возможно, это явление связано с различиями в составе и строении фундамента, но для подтверждения данного положения необходимы поверхностные замеры температур либо данные бурения.

Более отчетливое отражение на тепловых снимках находят тектонические нарушения северо-восточного простирания. Они часто соответствуют таковым, выделенным по результатам структурного дешифрирования в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

Сопоставление выраженности в тепловом поле структур, на которых получены полупромышленные притоки нефти (Perdices) и нефтегазопроявления (Tubaga), существенно различаются соответственно пониженными и повышенными геотемпературными значениями (рис. 6). Такие же противоречивые данные получены по структурам, в пределах которых отмечаются поверхностные нефтегазопроявления.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОСАЧИВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ СТРУКТУР

С целью оценки эффективности использования спектральной космической информации и ее адаптации к ландшафтно-геологическим условиям изучаемой площади были проведены специализированные исследования. Спектральный анализ космической информации для решения задачи выявления аномалий просачивания углеводородов на земной поверхности, связанных с их воздействием на растительный покров и почвы, требует наличия эталонных спектров, формируемых по известным месторождениям, продуктивным скважинам или естественным просачиваниям углеводородов. Кроме того, выбор эталонов напрямую зависит от ландшафтно-геологических особенностей исследуемого региона, определяющих однородность почвенно-растительного состава территории для проведения спектрального анализа по эталону, расположенному на этой территории.

Однородность почвенно-растительного состава определяется по фототону теплового поля, характеризующего однородность термодинамических свойств региональных объектов земной поверхности. По яркости фототона собственного теплового излучения исследуемую территорию можно условно разбить на четыре участка, имеющих разные термодинамические характеристики почвенно-растительного покрова, что соответственно определяет различную степень воздействия мигрирующих к поверхности углеводородов. Региональное ландшафтное районирование имеет высокую степень корреляции с геологическим строением исследуемого участка. Поэтому одним из принципов выбора эталонных объектов для расчета спектральных аномалий является близость этого эталона к ландшафтным и геологическим условиям однородных районов изучаемой территории.

Воздействие углеводородов на почвы и растительность приводит к изменению спектральных характеристик этих объектов, связанных с изменением цветности почв и угнетенностью растительности в местах активной миграции флюидов нефти и газа. Для определения аномальных спектров эталонных объектов применяется специальная обработка космических снимков в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра с целью получения информации о состоянии почв и растительности. Подобный анализ позволяет составить спектральные библиотеки, выявить места наиболее интенсивного воздействия углеводородов и получить по ним локальные спектральные характеристики излучения, применяемые для анализа всей территории.

Результат анализа усредненных значений спектров четырех библиотек приведен на рис. 7. Из рисунка видно, что спектральные характеристики эталонных спектров по объектам с нефтепроявлениями близки по значениям амплитуды, в то время как спектральная кривая антиэталона Guaguco-1, где в скважине были получены отрицательные результаты, отличается практически на 10-20%, что позволяет сделать вывод о корректности полученных результатов при расчете библиотек эталонных спектров углеводородов.

Проведенный анализ показал, что плотность распределения аномальных спектров, рассчитанных по соответствующим эталонам, в каждом отдельно взятом блоке существенно больше, чем в других блоках. Такой результат подтверждает однородность объектового состава выбранных блоков при проведении ландшафтно-геологического районирования.

В результате суммирования влияния углеводородов по всем блокам получена результирующая карта регионального влияния углеводородов на дневную поверхность.

Для решения данной задачи использовались два методических подхода:

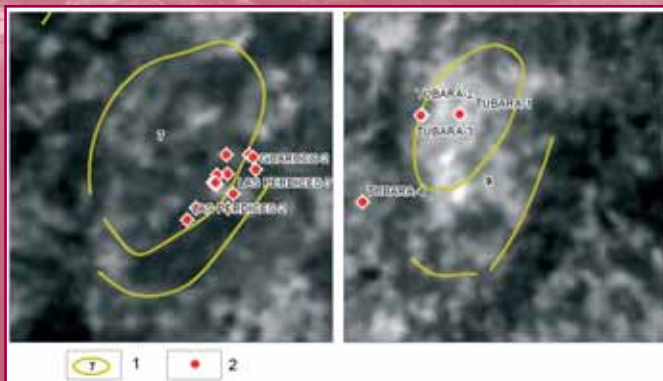
- спектральный анализ нефтегазоносных объектов с распознаванием их аналогов в контурах прогнозируемых структур;
- статистический анализ подобию прогнозируемых ловушек нефтегазоносным объектам с вероятностной оценкой их перспективности.

Необходимо подчеркнуть, что эталонные нефтегазопроявления на земной поверхности и в скважинах имеют близкую спектральную характеристику, что иллюстрируется на рис. 8. Этот рисунок показывает, что



Рис. 5.
Схема отражения разрывных нарушений на тепловом космическом снимке

Рис. 6.
Схемы отображения на тепловом космическом снимке в дальнем инфракрасном диапазоне локальных структур Perdices и Tubara
1 – контур дешифрируемой структуры;
2 – скважины



разброс значений для них является небольшим. Это свидетельствует о наличии единого источника в разных ландшафтных условиях, которым является углеводородное воздействие на почвы и растительный покров.

На большей части изучаемой площади как выходы нефтепроявлений на поверхности, так и их спектральные признаки свидетельствуют о раскрытости недр вследствие нарушения сводов структур активными разрывами или слабыми флюидоупорами. Исходя из этого спектральный метод определения просачиваний углеводородов применим только в той части изучаемой площади, где мощность осадочного чехла существенно возрастает и имеют место предпосылки увеличения толщин флюидоупоров и сохранности залежей нефти и газа, что и отмечается восточнее в Plato Basin.

Полученные данные были использованы для качественной оценки перспектив нефтегазоносности прогнозируемых по космическим данным структур, подтвержденных данными сейсморазведки.

ОЦЕНКА ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОВ НЕФТИ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК, ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ПО КОСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Оценка ресурсов углеводородов проведена в соответствии с американской технологией вероятностным способом по подсчетным параметрам объемным методом. Результирующая оценка представляет собой диапазон значений от P90 (минимум) до P10 (максимум) с учетом вероятности геологического и экономического рисков. Как наиболее достоверное значение была взята средняя величина рассчитанных ресурсов нефти.

Оценивалась только нефтеносность карбонатных отложений формаций San-Jacinto и Maco.

Вероятность геологического успеха оценивалась по пяти факторам (нефтематеринская порода, миграция, резервуар, ловушка и наличие покрывки) по каждой прогнозируемой структуре в зависимости от положения ее в различных выделяемых блоках, характеризующихся различными условиями геологического развития.

Для расчета вероятности экономического успеха в качестве минимально рентабельного объема запасов был взят объем 0,5 млн баррелей нефти на одну скважину.

Вероятностный расчет ресурсов каждой структуры осуществлялся в программе Excel с использовани-

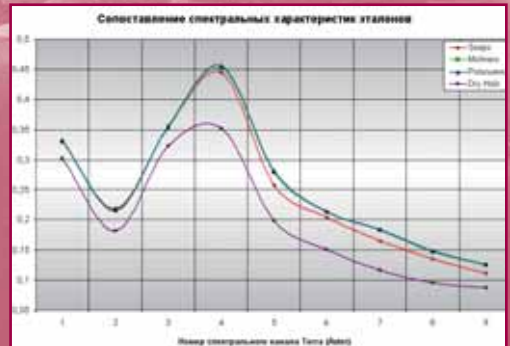


Рис. 7.

Усредненные спектральные характеристики эталонных нефтепроявлений



Рис. 8.

Схемы соотношений контуров локальных прогнозируемых структур и спектральных аномалий: а) Molinero и Strata GX-1, б) Polonuevo.

- 1 — контуры прогнозируемых структур;
- 2 — прогнозируемые разрывные нарушения;
- 3 — скважины;
- 4 — спектральные изолинии максимумов подобия эталонным нефтегазопроявлениям на земной поверхности и в скважинах

ем логнормального распределения с заданием значений по уровням вероятности через 1% и простейшего алгоритма в виде формулы объемного метода. Данная методика была апробирована авторами в нескольких регионах с различными геологическими условиями, по которым полученная оценка ресурсов была подтверждена результатами бурения.

В целом по изучаемой площади концессии прогнозные ресурсы нефти с учетом вероятности геологического и экономического риска составляют P10 – 160 млн баррелей, P90 – 7,16 млн баррелей, среднее наиболее достоверное значение ресурсов составляет 61,15 млн баррелей. Оценка в целом по площади получена путем арифметического суммирования оценок каждой структуры. Вероятность геологического и эко-

номического успеха в целом по площади концессии получена как комбинированная вероятность и составляет соответственно 42% и 38%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое использование космических снимков позволило в ограниченные сроки, с небольшими затратами средств (относительно стоимости сейсморазведки) и в отсутствие какой-либо другой информации оценить перспективы нефтегазоносности изучаемой площади, выявить по комплексу методов (рис. 9) поисковые объекты, представляющие интерес для дальнейших детальных работ по подготовке ловушек углеводородов к глубокому бурению.

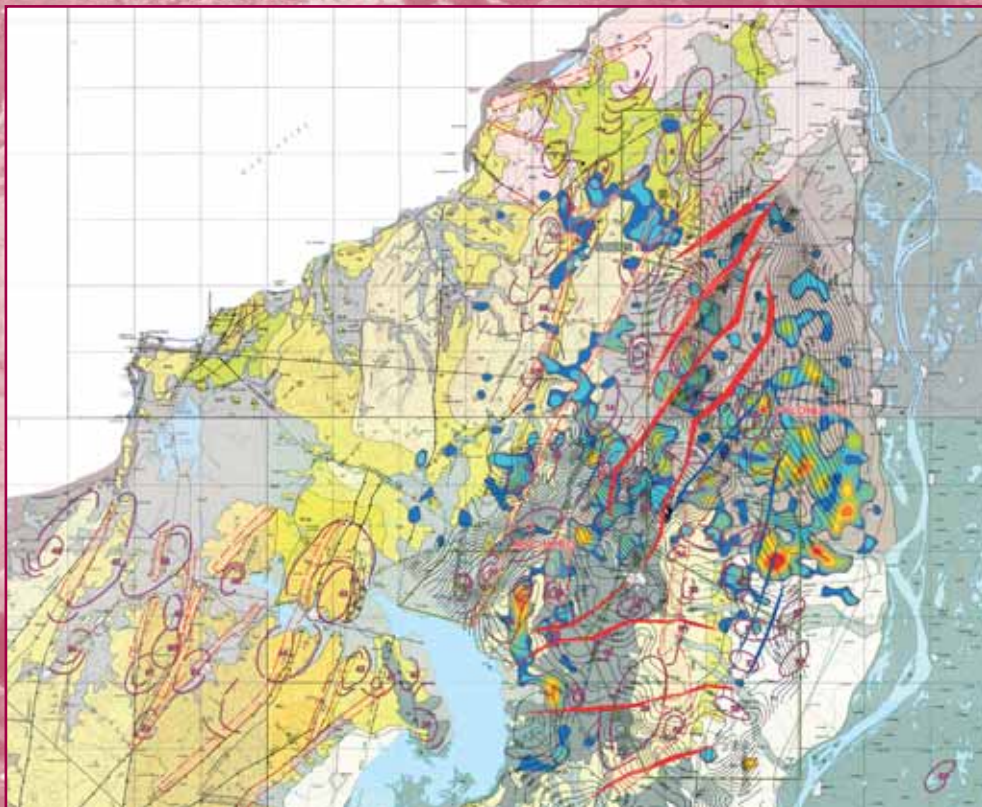


Рис. 9.
Итоговая карта работ, разработанная с использованием космических данных

ГЕОКОСМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

MDA предлагает широкий спектр геокосмических решений для правительственных и коммерческих организаций по всему миру. Решения MDA включают наземные системы для космических и аэро- миссий, а также данные, продукты и услуги, необходимые для обеспечения их работы.

Широкие возможности по организации проектов, системному инжинирингу, разработке приборов и программного обеспечения, а также сопровождающий сервис, позволяют нам предложить клиентам комплексные решения, отвечающие самым высоким запросам.

Через свое подразделение MDA Geospatial Services Inc. MDA обладает правами на коммерческое использование данных, получаемых с радарных (SAR) спутников RADARSAT-1 и RADARSAT-2.

MDA разрабатывает, строит, владеет и управляет спутником RADARSAT-2 и в настоящее время занимается разработкой RADARSAT Constellation Mission (RCM) для правительства Канады.

Системы

MDA через подразделение MDA Systems Ltd предлагает наземные системы для наблюдения за земной



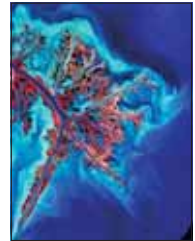
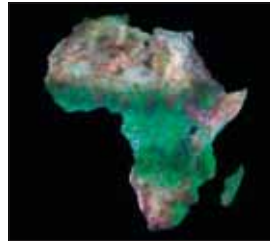
поверхностью с оптических и радарных (SAR) спутников. Системы предназначены как для центральных станций слежения, так и для региональных станций.

Системы наблюдения за Землей, разработанные MDA включают: QuickBird, GeoEye-1, RapidEye, WorldView-1 и WorldView-2 (оптические миссии) и ERS, RADARSAT-1, RADARSAT-2 и Sentinel-1 - SAR миссии.

Дополнительную информацию можно найти здесь: http://ss.mdacorporation.com/monitoring_surveillance.shtml

Данные, продукты, сервис

Через подразделения MDA Geospatial Services Inc. в Канаде и MDA Federal Inc. в США компания MDA предоставляет геокосмическую информацию, специальные продукты и сервис для принятия решений, получаемые при помощи спутников, аэро- и им подобных средств наблюдения. Эти продукты и услуги используются организациями, осуществляющими наблюдение и следящими за изменениями состояния земной поверхности. Такими организациями, например, являются службы



национальной безопасности, управления природными ресурсами, транспортные службы.

Дополнительную информацию можно найти здесь: <http://gs.mdacorporation.com>
www.mdafederal.com
www.RADARSAT2.info
www.mdaoilandgas.com

Главное - решить задачу клиента

Более 40 лет MDA сотрудничает с организациями из разных стран мира. Наши информационные технологии, созданные на основе самых современных разработок, позволяют нашим клиентам наиболее эффективно организовывать свой бизнес.

За более подробной информацией обращайтесь: MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd.
13800 Commerce Parkway, Richmond, BC, Canada V6V 2J3
info@mdacorporation.com | telephone 604-278-3411