

ШУМЕЙКИН АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ
НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ДЗЗ**

Специальность: 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Работа выполнена на кафедре Информатики и геоинформационных систем Федерального бюджетного образовательного учреждения «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ, Москва).

Научный руководитель: доктор геолого - минералогических наук, профессор
Пахомов Владимир Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Галуев Владимир Иванович,

доктор геолого – минералогических наук, профессор
Демура Геннадий Владимирович.

Ведущая организация: ГП ХМАО «Научно – аналитический центр рационального недропользования им. В.И.Шпильмана» г.Тюмень

Защита состоится 16 февраля 2012 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д212.121.07 при ФБОУ «Российский Государственный Геологоразведочный Университет им. Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, РГГРУ, ауд. 6-38.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФБОУ «Российский Государственный Геологоразведочный Университет им. Серго Орджоникидзе»

Автореферат разослан 15 января 2012 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико – математических наук, профессор



Каринский А.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В результате исследований, выполненных в последнее десятилетие, установлено, что формирование месторождений на территории Западно – Сибирской плиты связано со сдвиговой тектоникой региона. Основной объем сведений о тектоническом строении геологических структур, необходимых для оценки перспектив нефтегазоносности территории и построения геологических моделей, предоставляют сейсмические методы разведки. Однако, применение этих методов ограничено при выявлении и картировании тектонических нарушений сдвигового типа. Это связано с относительно малыми размерами большинства структур горизонтального сдвига, сложной геометрией таких нарушений и преимущественно горизонтальными смещениями горных пород вдоль поверхности разрыва, не нарушающими корреляции сейсмических горизонтов.

Применение потенциальных геофизических методов для изучения тектонического строения и оценки нефтегазоносности территории также не дает однозначного решения этих задач. Морфологические черты и структура гравитационного и магнитного полей обусловлены, в основном, литологической неоднородностью доюрского фундамента Западно - Сибирской плиты, характером его рельефа и наличием неоднородностей. Прогнозирование вышележащего юрско – мелового комплекса горных пород, где сосредоточены основные запасы углеводородов, по данным потенциальных геофизических методов неоднозначно.

Дополнительную информацию, необходимую для прогноза тектонического строения геологических объектов методами сейсморазведки и оценки перспектив нефтегазоносности, предоставляет комплексный анализ данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ). В основу разработанной методики оценки нефтегазоносности положены современные представления о принципах формирования месторождений нефти и газа, получившие развитие на базе глубинно – фильтрационной модели образования и накопления углеводородов в земной коре.

Предлагаемая методика комплексной обработки и анализа данных в среде геоинформационных систем, повышает достоверность оценки нефтегазоносности территории за счет получения дополнительной информации в результате определения критериев комплексного анализа данных геофизических и космических исследований. Эта информация позволит повысить качество проектирования детальных геологоразведочных работ, что обеспечит увеличение результативности и снижение стоимости прироста запасов углеводородного сырья. В связи с этим, тема диссертации является актуальной.

Цель работы.

Целью настоящей работы является создание методики оценки нефтегазоносности территории на основе определения критериев комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли в среде геоинформационных систем.

Основные задачи исследований.

Основными задачами исследований являются:

- обоснование методологии оценки нефтегазоносности территории северной части Западно - Сибирской плиты, тектоническое строение которой осложнено сдвиговой тектоникой, на основе комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли;
- создание методики подготовки к анализу и выполнения методами классификации комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли на основе расчета признаков нефтегазоносности участков территории;
- разработка технологии построения в среде геоинформационных систем тематических карт оценки нефтегазоносности территории на основе комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли;
- опробование разработанной технологии на примере оценки нефтегазоносности участков территории северной части Западно – Сибирской плиты, геологическое строение которых осложнено сдвиговой тектоникой.

Научная новизна.

- Разработаны способы подготовки для анализа в среде геоинформационных систем данных о потенциальных геофизических полях, отражающих характеристиках ландшафта и дислоцированности рельефа поверхности Земли, обеспечившие достоверную оценку перспектив нефтегазоносности территории на основе методов классификации.
- Создана методика определения в среде геоинформационных систем критериев классификации по комплексу показателей многомерного пространства признаков нефтегазоносности поисковых геологических объектов для произвольного набора данных геофизических и дистанционных исследований.
- Разработана и опробована в условиях Западно – Сибирской плиты технология оценки перспектив нефтегазоносности территории методами эталонной классификации на основе определения критериев классификации по комплексу признаков поисковых геологических объектов для произвольного набора данных геофизических и дистанционных исследований.

Практическая значимость.

- Создана методика комплексного анализа данных различных методов геологоразведки, предназначенная для оценки нефтегазоносности территории в условиях Западно – Сибирской плиты, выявления перспективных для геологического изучения объектов, подготовки аналитических материалов и рекомендаций, необходимых для проектирования детальных геологоразведочных работ.
- Для оценки нефтегазоносности территории разработана технология обработки и анализа данных наземных и космических исследований на базе геоинформационных систем ArcGIS и Erdas Imagine, проведено опробование этой технологии на реальных материалах, использованных при подготовке рекомендаций на проведение детальных геологоразведочных работ.
- Положительные результаты опробования разработанных методики и технологии позволяют применять их в условиях Западной Сибири для нефтегазогеологического и тектонического районирования территорий, оценки перспектив нефтегазоносности отдельных участков, ранжирования и паспортизации фонда геологических структур.

Защищаемые положения.

- Разработанная на основе эталонной классификации методика комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли обеспечивает достоверную оценку перспектив нефтегазоносности участков территории, осложненных сдвиговой тектоникой.
- Технология подготовки информации к анализу и проведения в среде геоинформационных систем комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли из космоса обеспечивает построение тематических карт оценки нефтегазоносности участков территории, используемых при проектировании геологоразведочных работ.
- Опробование технологии комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли в условиях северной части Западно – Сибирской плиты позволило уточнить оценку перспектив нефтегазоносности участков территории Надым - Пурской и Пур – Тазовской нефтегазоносных областей.

Внедрение результатов работы и личный вклад автора.

Автором работы проведена обработка материалов и выполнена оценка нефтегазоносности территорий, расположенных в пределах Надым - Пурской (месторождения: Еты-Пуровское, Вынгапуровское, Вынгаяхинское, Новогоднее, Ярайнерское, Лимбаяхское, Таркосалинское, Ханчейское, Губкинское, Тапское), Пур-

Тазовской (месторождения: Новочасельское, Верхне-Часельское, Усть-Часельское, Кынское, Наумовское) нефтегазоносных областей (НГО) Западно Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП). Результаты исследований, представленные в настоящей работе, подготовлены автором и вошли в виде самостоятельных разделов в отчеты ОАО «ЦГЭ» по договорам с ООО «Газпром добыча Ноябрьск», ООО «Газпром добыча Надым», ООО «Газпром добыча шельф», ОАО «НК Роснефть», ОАО «ТНК-ВР».

Апробация работы.

Основные положения диссертации докладывались на следующих конференциях: Международная научно-техническая конференция «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе», РГУ нефти и газа, г. Москва, 2009 г., V Межвузовская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о Земле», РГГРУ, г. Москва 2010 г., IX Международная конференция «Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты», EAGE, г. Киев, 2010 г., V Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле, ИГМ и ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, 2010 г, II Международная научно-практическая конференция молодых учёных и специалистов памяти А.П. Карпинского, ВСЕГЕИ, С-Петербург, 2011 г. Основные методические и технологические результаты получены непосредственно автором. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 работ, в том числе 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Объём и структура работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и содержит 102 страницы текста, включая 63 иллюстрации. Список литературы содержит 41 наименование. Диссертационная работа выполнена автором в период учебы в аспирантуре Российского государственного геологоразведочного университета и работы в ОАО «Центральная геофизическая экспедиция».

Автор выражает благодарность научному руководителю работы, проректору РГГРУ, заведующему кафедрой Информатики и геоинформационных систем, д.г-м.н., проф. В.И.Пахомову, руководителям ОАО «ЦГЭ» д.т.н. А.С. Кашику, д.т.н. Г.Н.Гогоненкову и д.г-м.н. А.И.Тимурзиеву за поддержку, внимание и помощь при выполнении данной работы.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель исследования и его основные задачи, указаны научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведены сведения о практической ценности работы.

В первой главе «Обоснование методологии оценки нефтегазоносности территории Западно - Сибирской плиты на основе комплексного анализа методами классификации данных геофизических исследований и ДЗЗ» проанализировано современное состояние методологии (т.е. системы принципов и подходов) решения задачи оценки нефтегазоносности территории на примере Западно – Сибирской плиты, рассмотрены существующие методы и компьютерные технологии комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли.

Современные технологии комплексного анализа геолого-геофизической информации основаны на применении универсальных (ArcGIS, Erdas Imagine и др.) и специальных (ИНТЕГРО, КОСКАД 3D и др.) геоинформационных систем (Черемисина Е.Н., Никитин А.А., 2006). Информационная технология ГИС ИНТЕГРО (ГНЦ ВНИИГеосистем) решает широкий круг прогнозно - поисковых задач на различные виды минерального сырья, в том числе, обеспечивает построение физико - геологических моделей земной коры средствами многофункциональной интерактивной системы ИНТЕГРО - ГЕОФИЗИКА (Галуев В.И., 2009). Технология, созданная на базе ПК КОСКАД 3D (Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели, 2010), обеспечивает обработку и комплексный анализ геолого - геофизической информации для решения задач геологического районирования на основе анализа многопризнаковой информации с помощью методов компонентного анализа, оценки информативности отдельных признаков и их различных комбинаций (Никитин А.А., Петров А.В., 2008).

Методология выбора критериев оценки при решении задачи *поисков месторождений полезных ископаемых* основана на геологической модели эволюции вещества в Земной коре, протекающей под воздействием *энергетических (в том числе, тектонических, физико-химических и др.)* процессов (Пахомов В.И., 2002).

В последние годы благодаря массовому внедрению трехмерной сейсморазведки получены принципиально новые данные о строении тектонических структур и связанных с ними залежей углеводородов на территории Западной Сибири, где проводились исследования, результаты которых представлены в настоящей диссертационной работе.

В центральной части Западно - Сибирской плиты располагается система рифтов триасового возраста. На поверхности фундамента рифты проявляются в виде грабенов заполненных основными интрузивными породами. Область рифтообразования Западно – Сибирской плиты была центром спрединга земной коры в поздне - пермский и триасовый периоды. По мере развития процесса рифтообразования, вся территория этого региона начала опускаться, формируя Западно – Сибирский осадочный бассейн (Сурков В.С., Трофимук А.А., Жеро О.Г., 1982). Механизм концентрации углеводородов в

геологических ловушках, преимущественно расположенных в непосредственной близости от зон трещиноватости, и процесс формирования месторождений для условий севера Западно – Сибирской плиты, непосредственно связан с тектоническими структурами горизонтального сдвига. Со сдвигами фундамента, например, связано образование зон разрывных нарушений в пределах Колтогорско – Уренгойского грабена. Кулисный характер строения молодых поднятий, валов и мегавалов, осложняющих северную часть этой региональной тектонической структуры, свидетельствует о сдвиговой природе деформаций, вызвавших оживление палеорифтовых зон на новейшем этапе формирования осадочного чехла Западно – Сибирской плиты (Кашик А.С., Гогоненков Г.Н., Тимурзиев А.И., 2007).

В качестве геологической основы разрабатываемой методики оценки перспектив нефтегазоносности выбрана глубинно – фильтрационная модель нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Эта модель является современным развитием положений флюидодинамической теории нефтегазообразования и формирования месторождений (Соколов Б.А., Абля Э.А., 1999). Глубинно – фильтрационная модель предполагает возникновение в нефтегазоносных осадочных бассейнах зон разуплотнения, насыщенных флюидами, находящихся в условиях повышенного внутреннего давления, что приводит к созданию флюидодинамических систем, пронизывающих чехол осадочного бассейна. Углеводородные растворы, поднимаясь по трещинам и порам вверх по разрезу осадочных пород, пересекают коллекторские пласты с температурой и давлением ниже, чем в очагах генерации и насыщают их нефтью и газом (Баталин О.Ю., Вафина Н.Г., 2008). Восходящие тепловые потоки в этих зонах активизируют процессы нефтегазообразования. Особую роль в формировании потоков флюидов в этой модели играют системы трещин тектонического происхождения, образующие проницаемую среду. Реализация процесса формирования залежей углеводородов и его интенсивность зависят от конкретной геодинамической обстановки региона, а направление фильтрации флюидов связано с конфигурацией и положением проницаемых зон трещиноватости горных пород в зонах динамического влияния глубинных разломов. Опираясь на глубинно – фильтрационную модель нефтегазообразования и нефтегазонакопления, были сформулированы (Тимурзиев А.И., 2007) предпосылки нефтегазоносности, основанные на следующих особенностях строения земной коры:

- повышенное залегание границы Мохоровича, на фоне ярко выраженного антиклинорного строения нижнекоровых сейсмических горизонтов;
- возбужденное состояние (разуплотненной и флюидонасыщенной) верхней мантии, проявляющееся в форме внедрения мантийных серпентинитовых астенолитов

(офиолитовый диапиризм) и интенсивными процессами метасоматоза верхнекоровых образований;

- повышенная расслоенность геологического разреза и наличие слоя с пониженной скоростью продольных сейсмических волн (корового волновода);
- океанизация земной коры с полной редукцией гранитного слоя (эрозионный размыв сверху и гидротермальная переработка снизу) с формированием базальтовых окон;
- общее сокращение мощности земной коры, сопровождающееся разрастанием мощности осадочного чехла;
- наличие зон деструкции и разуплотнения земной коры (повышенная плотность и глубинность систем разломов);
- понижение плотности горных пород и скорости сейсмических волн, наличие контрастных аномалий потенциальных геофизических полей;
- повышенные значения градиентов амплитуд и скоростей новейших и современных тектонических движений;
- повышенный, преимущественно вертикальный, флюидный и тепловой поток.

Анализ результатов ранее выполненных исследований показывает, что изменение петрофизических свойств горных пород в результате проникновения в литосферу восходящих флюидных потоков в зонах повышенной трещиноватости земной коры, приводит к изменениям гравитационного и магнитного поля, а также, к возникновению ландшафтных аномалий, сопровождающихся изменением отражающих и морфометрических характеристик поверхности Земли. Вероятность выявления нефтегазоперспективных объектов увеличивается благодаря комплексному анализу одновременно нескольких характеристик. Поисковым признаком является, например, корреляционная связь гравитационного и магнитного полей. Положительными значениями коэффициента корреляции характеризуются горные породы неизмененные энергетическими процессами, отрицательными – горные породы подверженные воздействию этих процессов (Пахомов В.И., 2007).

Вертикальная фильтрация углеводородов в составе флюидных потоков приводит к формированию зон эпигенетических минеральных новообразований, в пределах которых происходит перераспределение породообразующих минералов и изменение плотностных и магнитных свойств пород. Установлено, что в магнитном поле отображается до 85 % нефтегазовых месторождений (Чернов А.А., Колесов В.В., 2004), которым отвечает слабое (от единиц до первых десятков нТл) понижение напряженности поля. Эти понижения объясняются (Безукладнов В.А., Мавричев В.Г., 1997) следующими факторами:

1)° диамагнитными свойствами углеводородов, сконцентрированных, как правило, в центральной части месторождения, 2) увеличением намагниченности породы - коллектора (благодаря увеличению содержания гематита и магнетита) от центра структуры к крыльям, 3) изменением направления вектора намагниченности от горизонтального в своде на вертикальное в крыльях залежи, 4) редукцией гидратов окислов железа при взаимодействии с углеводородами в результате которой образуется магнетит.

Залежи углеводородов находят свое отражение и в гравитационном поле Земли (Рыскин М.И., 2007). Максимумы гравитационного поля могут появиться над залежью на контакте углеводородов с породами, покрывающими залежь и подпирающими пластовыми водами, в зоне непосредственно окружающей залежь. Под действием происходящих здесь физико-химических и биохимических процессов происходит образование кальцита, кварца, пирита и других минералов. Выпадая в осадок, они цементируют породы, увеличивают их плотность и уменьшают пористость. Наиболее интенсивно вторичные преобразования происходят в подошве залежи, что связано с активной жизнедеятельностью микроорганизмов на контакте пластовых вод и углеводородов. Преобразование горных пород также определяется взаимодействием пород с углеводородными газами, диффузионно - проникающими из залежи. Преобразования пород в области газовых «ореолов вторжения» аналогичны рассмотренным преобразованиям нефтенасыщенных флюидов (Витвицкий О.В., 1997).

Физической основой методов поисков месторождений углеводородов из космоса является тот факт, что разрывные нарушения и связанные с ними зоны трещиноватости горных пород верхней части геологического разреза проявляются на земной поверхности ландшафтными аномалиями (Гридин В.И., Дмитриевский А.Н., 1994). Появление на фоне преобладающего ландшафта аномальных участков, связанных с разрывными нарушениями, объясняется транзитными флюидопотоками, дроблением и эпигенетическими изменениями горных пород в зонах разломов. Эти изменения приводят к выходу на дневную поверхность в аномально-проницаемых зонах тепловых, флюидных и газовых потоков, что предопределяет соответствующие изменения почвенно - растительного покрова, гидрографии и др. элементов ландшафта, а следовательно, меняется и характер отражения от поверхности Земли солнечной радиации в различных спектральных диапазонах. Четкость проявления на космических снимках и ширина линейных аномальных зон обычно зависят от глубины заложения разлома и его активности. С тектоническими движениями сдвигового типа связаны ротационные и некоторые другие эндогенные структуры, изучение которых дает дополнительную

информацию о современных тектонических процессах и нефтегазоносности территорий (Кузнецов О.Л., Муравьев В.В., 1981).

Выполненный анализ современного состояния методологии решения задачи оценки нефтегазоносности территории на примере Западно – Сибирской плиты позволяет сделать следующие выводы:

- Выбор критериев оценки нефтегазоносности территории должен основываться на геологической модели образования и накопления углеводородов, учитывающей данные о геолого - тектоническом строении региона.
- Глубинно – фильтрационная модель образования и накопления углеводородов предоставляет необходимые сведения о физике процессов, происходящих при формировании месторождений нефти и газа в условиях севера Западно – Сибирской плиты, что позволяет обоснованно выбрать состав исходных данных для комплексного анализа и рассчитать критерии оценки нефтегазоносности.
- Методы классификации, реализованные в современных геоинформационных системах и программных комплексах, предоставляют необходимый математический аппарат для создания тематических изображений, содержащих сведения о нефтегазоносности территорий.

Таким образом, выбранная методология разработки методики определения признаков и оценки перспектив нефтегазоносности территории севера Западно – Сибирской плиты основана на новой геологической модели формирования залежей углеводородов и современных методах комплексного анализа информации в среде геоинформационных систем.

Во второй главе **«Методика оценки нефтегазоносности территории на основе комплексного анализа данных геофизических исследований и дистанционного зондирования Земли»** содержится описание методики обработки и анализа геолого - геофизической, космической и топогеодезической информации на основе математических методов классификации растровых изображений с целью получения новых сведений о нефтегазоносности и тектоническом строении территории.

Разработанная методика комплексного анализа данных геофизических и дистанционных исследований основана на методах классификации изображений, широко применяемых при дешифрировании данных аэрокосмической съемки поверхности Земли. В процессе классификации рассчитываются *сигнатуры элементарных участков* территории. Понятие *сигнатуры* используется в методах классификации для описания набора свойств и признаков (атрибутов), характеризующих объект.

Элементарный участок территории соответствует пикселу растрового изображения с набором параметров, размещенных в атрибутивной таблице. Размеры элементарного участка зависят от пространственной разрешенности, используемых для анализа космических снимков и масштаба геофизических карт. На рис. 1 стрелками показаны элементарный участок территории месторождения Еты – Пуровское и соответствующие ему точки на двумерных проекциях пространства признаков. Сигнатура элементарного участка содержит набор параметров геофизических полей, отражающих характеристик ландшафта и морфометрических характеристик рельефа поверхности Земли. Участки, для которых эти параметры близки или совпадают, методом классификации объединяются в классы тематического изображения.

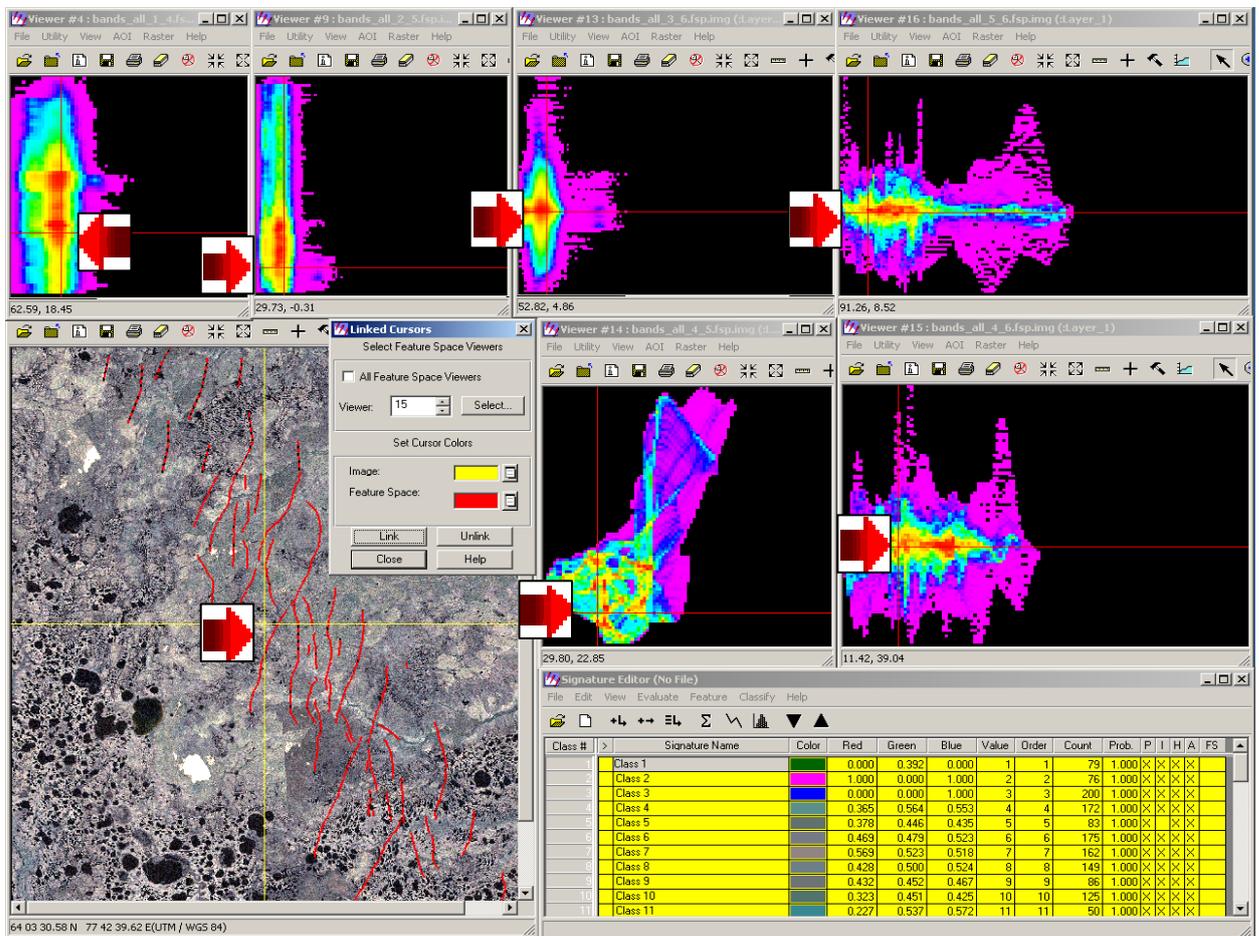


Рис. 1. Пример соответствия элементарного участка территории месторождения Еты – Пуровское и точек на двумерных проекциях пространства признаков.

Наглядное представление о методах расчета поисковых признаков при оценке нефтегазоносности территории дает понятие *многомерного пространства признаков*. На координатных осях этого пространства, откладываются значения анализируемых параметров: интенсивность отражений от поверхности земли в различных спектральных диапазонах, значения (или градиенты) потенциальных геофизических полей, превышения рельефа земной поверхности, плотность речной сети и т.п. *Размерность пространства*

зависит от количества анализируемых параметров. Дискретная *функция распределения вероятности*, определенная в пространстве признаков, принимает в каждой точке этого пространства значения равные количеству элементарных участков изучаемой территории, в которых значения параметров, соответствуют координатам этой точки. Таким образом, каждой точке пространства признаков могут соответствовать несколько элементарных участков на изучаемой территории, имеющих одинаковые (с учетом погрешности дискретизации) геофизические, оптические, морфометрические или иные характеристики.

Участки с доказанной промышленной нефтегазоносностью или наличием в их пределах зоны трещиноватости, могут использоваться в качестве эталонных при проведении комплексного анализа методом эталонной классификации. Сигнатура эталонного участка описывается его центральным вектором U_3 и матрицей ковариации $\text{Cov}[u_3]$. Координаты центрального вектора эталонного участка равны математическим ожиданиям $U_{3i} = \mu_i$ значений анализируемых параметров, зарегистрированных в пределах этого участка. Элементами матрицы ковариации $\text{Cov}[u_3] = \sigma_{ij}^2$ являются коэффициенты ковариации значений анализируемых параметров, зарегистрированные в пределах эталонного участка (Свейн Ф., Дейвис Ш., 1978).

Вероятность принадлежности элементарного участка (параметры которого описываются вектором U_i) к области эталонного участка оценивается в методе классификации Maximum Likelihood (*Максимального правдоподобия*) с помощью дискриминантной функции (1):

$$D_{ML} = [\ln(V_{30}) - 0.5 \times \ln(|\text{Cov}[u_3]|)] - [0.5 \times (U_i - U_3)^T \times \text{Cov}[u_3]^{-1} \times (U_i - U_3)], \quad (1)$$

где D_{ML} - дискриминантная функция в методе классификации Maximum Likelihood,

V_{30} - априорный процент вероятности принадлежности к эталонному классу (задается при наличии нескольких эталонов, по умолчанию равен 1),

$|\text{Cov}[u_3]|$ - детерминант матрицы ковариации,

$(U_i - U_3)^T$ - транспонированный вектор разности текущего вектора и центрального вектора эталонного участка,

$\text{Cov}[u_3]^{-1}$ - обратная матрица ковариации эталонного участка,

Еще одним методом классификации, часто используемым в геоинформационных системах является Mahalanobis Distance (*Расстояние Махаланобиса*). Дискриминантная функция D_{MD} в этом методе, является упрощенным вариантом функции D_{ML} и рассчитывается по формуле (2):

$$D_{MD} = (U_i - U_3)^T \times \text{Cov} [u_3]^{-1} \times (U_i - U_3) \quad (2)$$

Использование этих методов дает хороший результат для имеющих нормальное распределение унимодальных функций распределения вероятности. В противном случае, целесообразно использовать более простые методы классификации, например, Minimum Distance (*Минимального расстояния*) или Parallelepiped (*Параллелепипеда*) (Свейн Ф., Дейвис Ш., 1978). В отечественных геоинформационных системах и программных комплексах, кроме вышеперечисленных методов применяются методы *Дискриминантного анализа, К-средних, Голотипные методы, Нейронные сети, Общего расстояния, Динамических сгущений и Классификации по Петрову.*

Исходной информацией для выполнения комплексного анализа являются данные геофизической и космической съемки, дополненные результатами обработки сведений о рельефе изучаемой территории. Эти данные нуждаются в предварительной обработке и подготовке для проведения классификации. Например, подготовка фондовой геофизической информации к классификации включала следующие операции: векторизацию изолиний карт потенциальных полей, расчет растровых изображений полей методом интерполяции, сшивку изображений, преобразование в единую с данными космического мониторинга координатную систему, расчет горизонтальных производных, дисперсии и др. трансформант геофизических полей.

При подготовке к комплексному анализу космических снимков, полученных в разное время суток и года или с различной пространственной разрешенностью, применялись стандартные процедуры предварительной обработки в среде системы Erdas Imagine. В процессе этой обработки выполнялось геопозиционирование изображений, исключение помех и внесение поправок за неидентичность условий регистрации, а также спектральный анализ космических снимков или анализ главных компонент мультиспектрального изображения.

Пример выделения аномалии, связанной с предполагаемым разрывным нарушением, с помощью метода спектрального анализа *Orthogonal Subspace Projection* в системе Erdas Imagine представлен на рис. 2. Сведения о разрывных нарушениях, изображенные в нижнем правом окне рисунка, получены по данным сейсморазведки и использованы при выборе параметров спектрального анализа. Спектральные

характеристики объекта рассчитываются и визуализируются на графике в окне Spectrum Plot, расположенном в нижней части рисунка.

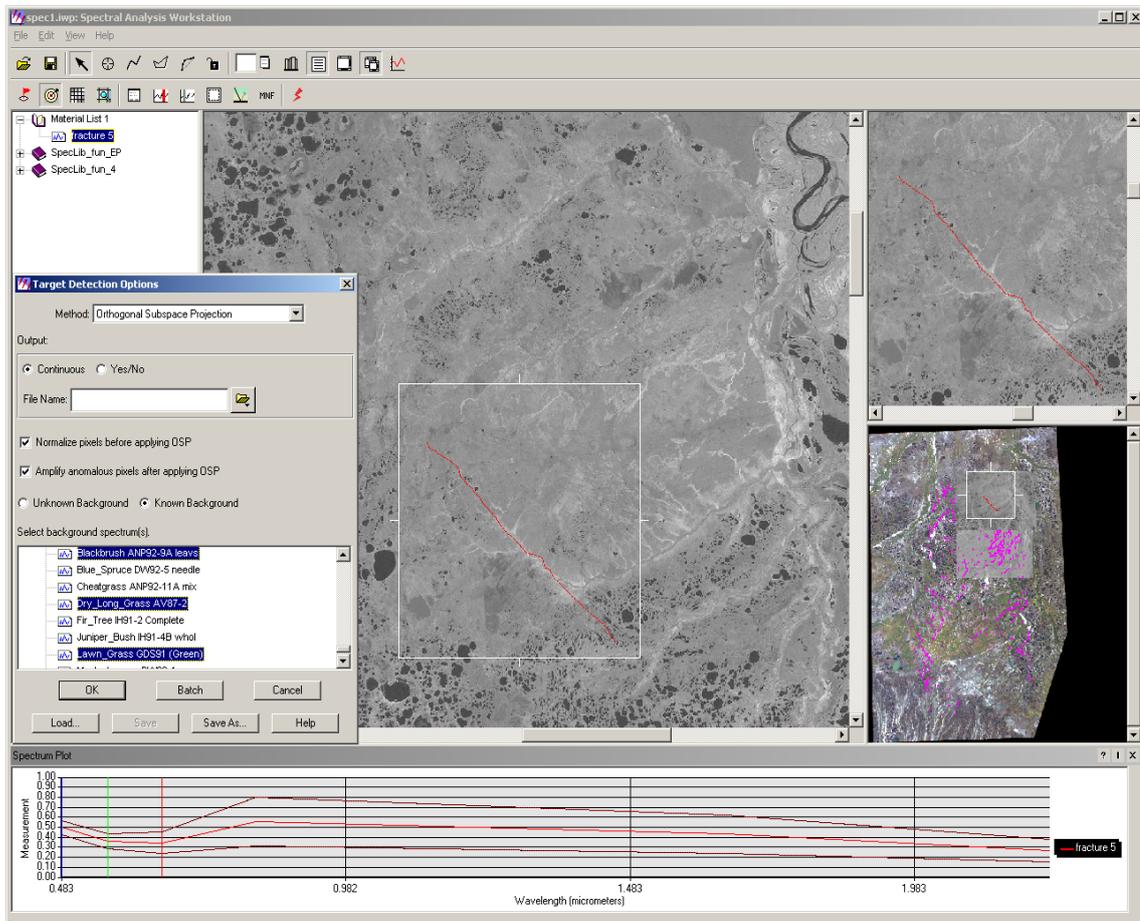


Рис. 2. Пример выделения методом Orthogonal Subspace Projection аномалии, связанной с разрывным нарушением (месторождение Еты-Пуровское).

Линеamentный анализ с целью выделения линеаментов на космическом снимке выполнялся с помощью модуля ArcScan геоинформационной системы ArcGIS. Регулируя параметры расчетов, можно обеспечить различную степень генерализации выделенных линеаментов. Плотность линеаментов рассчитывалась с помощью метода Kernel Density (Silverman B.W., 1986) инструментами модуля Spatial Analyst системы ArcGIS. Пример расчета плотности линеаментов на участке территории Ярайнерского месторождения представлен на рис. 3 в виде карты линеаментов и карты плотности линеаментов.

Совместно с данными мониторинга поверхности Земли из космоса при проведении комплексного анализа могут использоваться топографо - геодезические данные, содержащие сведения о превышениях рельефа поверхности Земли. Основным источником информации о рельефе являются радарная съемка поверхности Земли и топографические карты. Рельеф в составе цифровых топографических карт, хранится в виде изолиний, поэтому для выполнения классификации, векторные данные преобразуются в растровое

изображение. Методы расчета плотности линеаментов по топографическим картам аналогичны методам, используемым при обработке космических снимков.

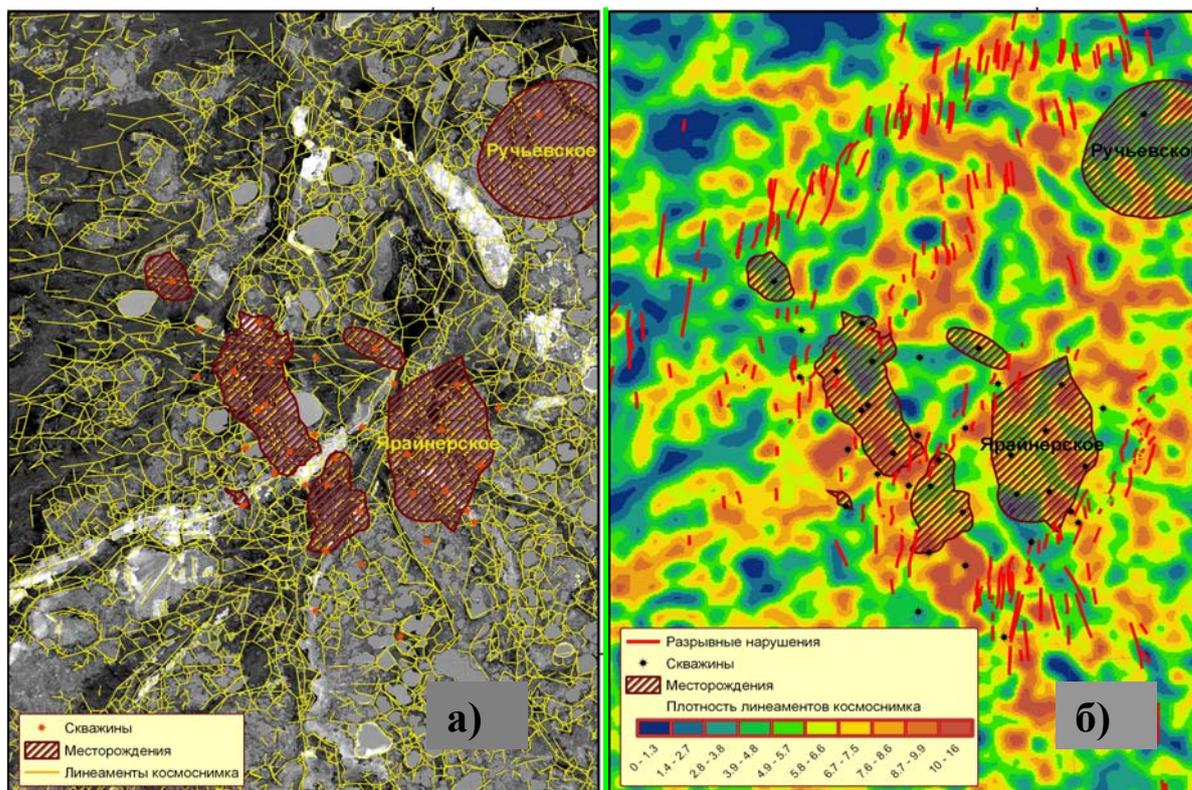


Рис. 3. Результат расчета плотности линеаментов (Ярайнерское месторождение): карта линеаментов (а) и карта плотности линеаментов (б).

Технология подготовки исходной информации в среде геоинформационных систем для проведения анализа на основе методов классификации, должна обеспечивать выделение на подготовленных к анализу изображениях эффектов, связанных с образованием залежей углеводородов и зон трещиноватости. Параметры геофизических полей, космических снимков, превышений рельефа и допустимые области их изменения, рассчитанные для эталонных участков, используются для поиска на исследуемой территории других участков, имеющих аналогичные или близкие значения. Комплексный анализ с целью поиска участков территории, на которых параметры соответствуют или близки параметрам эталонных участков с установленной нефтегазоносностью, выполняется на основе методов эталонной классификации.

Результатом комплексного анализа методами классификации является тематическая карта оценки перспектив нефтегазоносности территории, подготовленная в среде геоинформационных систем. Качество результатов комплексного анализа на основе методов классификации решающим образом зависит от правильного выбора состава, масштабов и разрешенности исходных данных, необходимых для корректного решения поставленных геологических задач.

В третьей главе «Технология оценки нефтегазоносности территории на основе использования результатов комплексного анализа» содержится описание технологии оценки перспектив нефтегазоносности территории и прогноза положения зон тектонической трещиноватости на основе совместного анализа в среде геоинформационной системы ArcGIS данных сейсморазведки и построенных методами классификации тематических изображений.

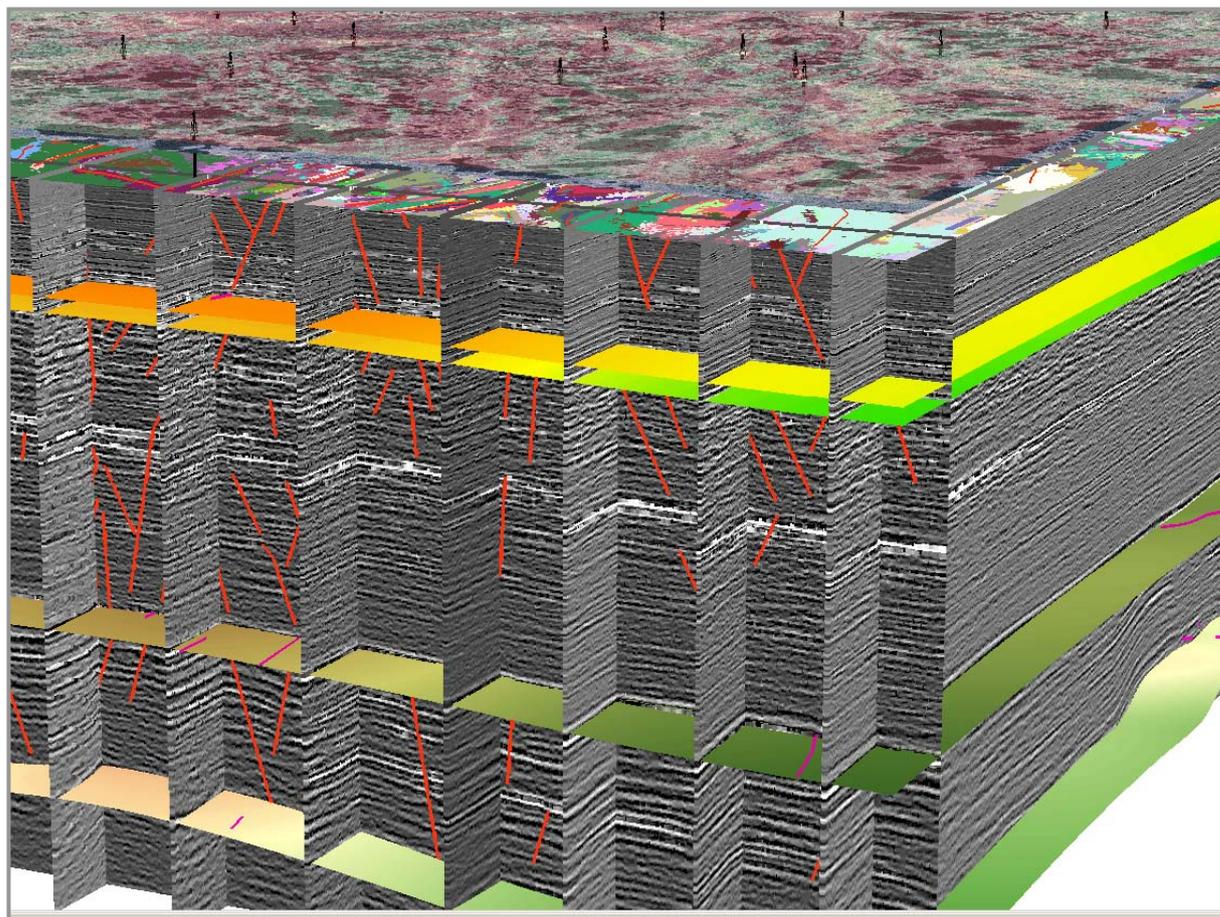


Рис. 4. Пример построения сейсмогеологической модели в среде системы ArcGIS.

Оценка нефтегазоносности территории и прогноз положения зон трещиноватости выполняются с использованием *поисковых признаков*, рассчитанных по геофизическим, отражающим и морфометрическим характеристикам эталонных объектов. Количественные значения этих параметров записываются в сигнатуру эталонного объекта в виде вектора математического ожидания и матрицы ковариации. Перечень *поисковых признаков* может быть расширен за счет использования данных полученных другими (например, геохимическими) методами геологоразведки. Проведенные исследования показали, что средние значения и дисперсия каждого из параметров, входящих в состав набора поисковых признаков, может существенно изменяться для различных типов месторождений (нефтяных, газовых, газоконденсатных), что не позволяет создать единый набор поисковых признаков для оценки перспектив нефтегазоносности всей территории.

Поисковые признаки могут изменяться не только для различных типов месторождений, но иногда, для одного месторождения из-за существенной неоднородности его геологического строения требуется создание нескольких наборов поисковых признаков. Создание двух различных наборов поисковых признаков потребовалось, например, для северного и южного участков месторождения Еты - Пуровское.

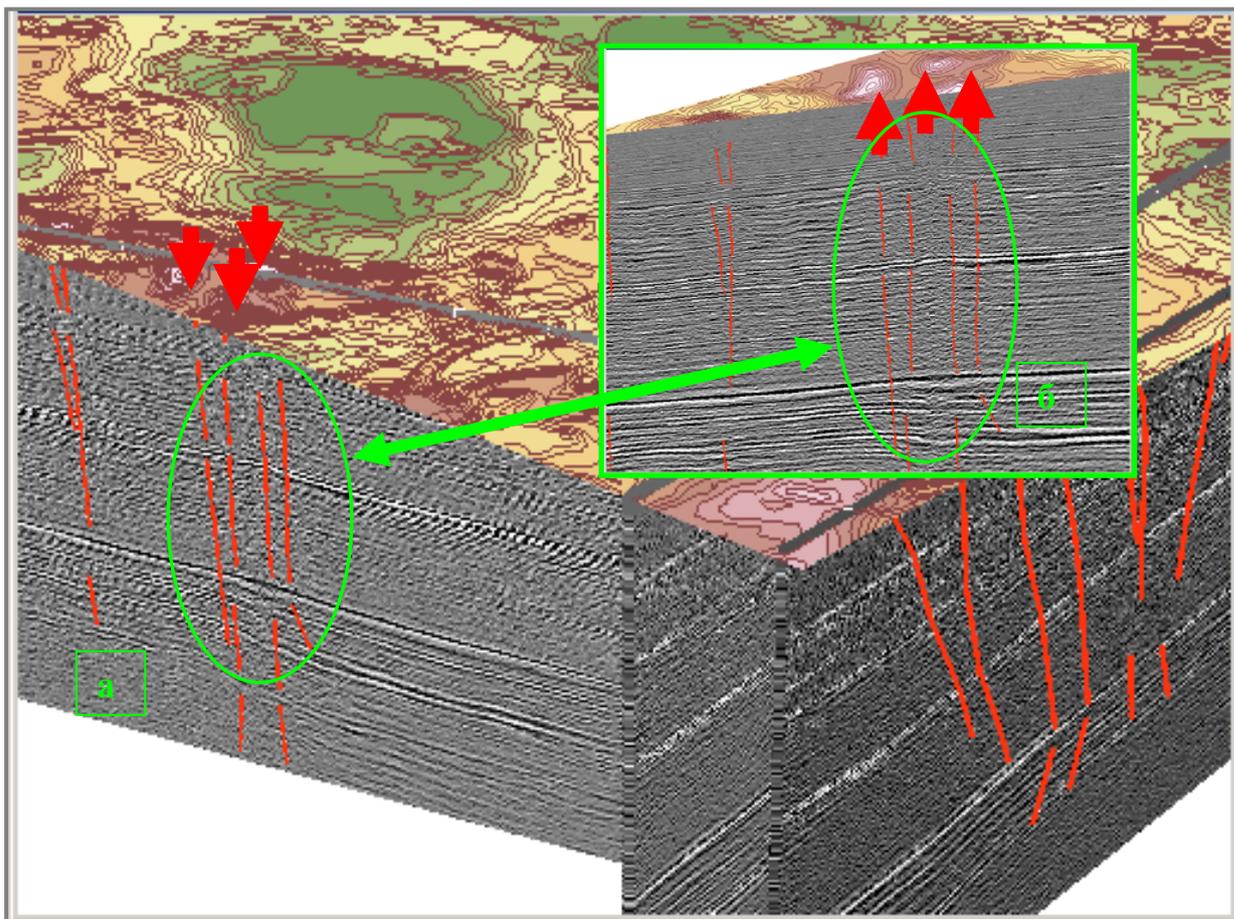


Рис. 5. Пример установления соответствия зон разрывных нарушений на территории Ярайнерского месторождения участкам тематического изображения.

Расчет *поисковых признаков* выполняется на основе выбора эталонного объекта. Эталонный объект может иметь в своем составе один или несколько участков территории, на которых расположены месторождения или выделены по данным сейсморазведки зоны трещиноватости. Расчет поисковых признаков и построение тематических карт требует тщательный выбор эталонных объектов и корректировку их границ. Для решения этой задачи используются данные сейсмогеологического моделирования, выполненного в специализированных системах обработки сейсмической информации. Эти данные конвертируются в геоинформационную систему вместе с другой геолого – геофизической информацией и результатами обработки данных ДЗЗ.

соответствующих им классов тематического изображения. Зоны тектонической трещиноватости в верхней части сейсмических разрезов прослеживаются на рисунке в виде участков нарушения корреляции сейсмических горизонтов. Причиной этого являются сдвиговые деформации, которые не сопровождаются значительными вертикальными смещениями блоков земной коры и не всегда проявляются на разрезах в виде вертикальных смещений сейсмических горизонтов.

Одним из статистических методов установления соответствия между классами тематического изображения и участками эталонных объектов является анализ частоты «попадания» элементарных участков (пикселей) тематического изображения на участки эталонных объектов с доказанной нефтегазоносностью. Продемонстрируем этот метод на примере территории Часельской группы месторождений Пур – Тазовской НГО.

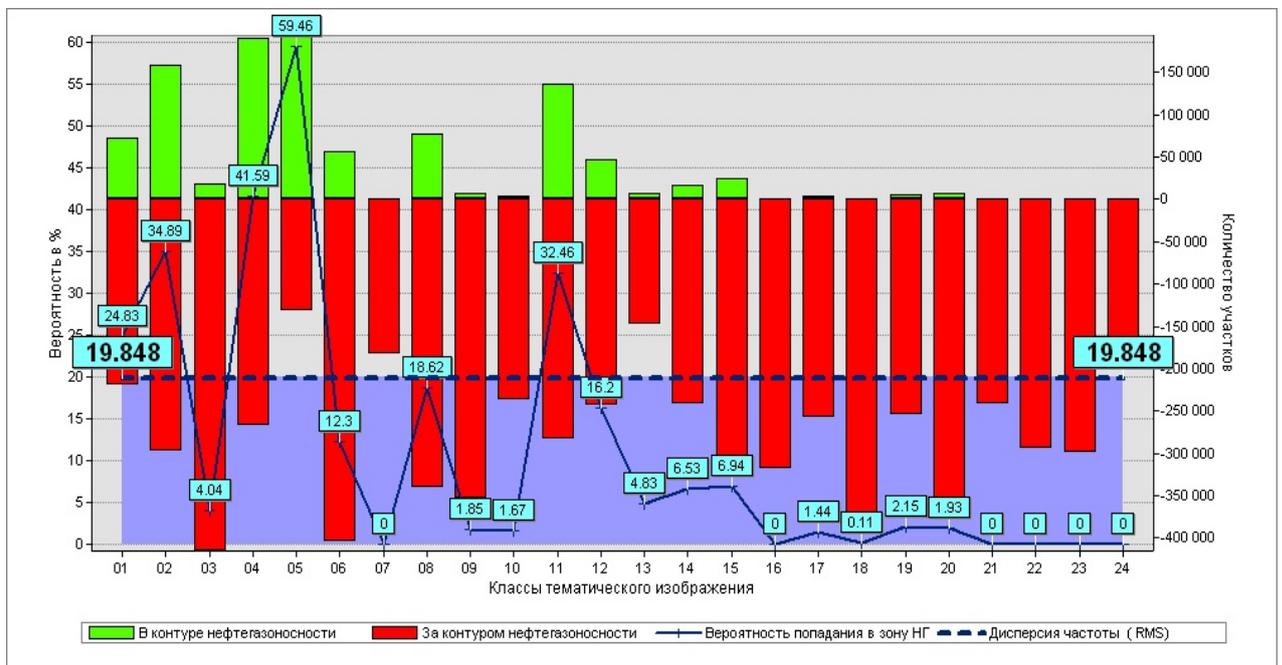


Рис. 7. Диаграмма принадлежности области доказанной нефтегазоносности элементарных участков территории Часельской группы месторождений.

Анализ частоты «попадания» элементарных участков в области с доказанной нефтегазоносностью, позволяет определить связь этих областей с определенными классами тематического изображения. На диаграмме (см. рис. 7) для каждого из 24 классов тематического изображения показано количество элементарных участков (пикселей), попавших в область доказанной *промышленной нефтегазоносности* (зеленым цветом) и оказавшихся за ее пределами этой области (красным цветом). Изображенный на этой диаграмме график (сплошная синяя линия) показывает для каждого из классов частоту попадания (в процентах) элементарных участков в области доказанной нефтегазоносности.

разделена на 14 классов по степени вероятности совпадения характеристик элементарных участков с поисковыми признаками. Соответствие классов построенного тематического изображения и вероятности совпадения с поисковыми признаками для каждого из 14 классов приведено в табл. 1. Первый класс соответствует вероятности совпадения параметров равной 99.5%, а для четырнадцатого класса вероятность равна нулю.

Погрешность выполненной оценки нефтегазоносности территории оценивалась как отношение разности теоретического и фактического количества элементарных участков, попавших в область доказанной нефтегазоносности, к общему числу элементарных участков для каждого из классов. Полученные результаты показывают, что погрешность минимальна для неперспективных участков и возрастает для участков, где возможно присутствие залежей углеводородов.

Таблица 1.

Погрешность оценки нефтегазоносности территории
Часельской группы месторождений.

| Классы | Вероятность НГ (теоретич.) | Количество элементарных участков: | | | Погрешность в % |
|--------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| | | общее | в зоне НГ (теоретич.) | в зоне НГ (фактическое) | |
| 1 | 99.5 | 4835 | 4811 | 3261 | 32.06 |
| 2 | 99.0 | 6824 | 6756 | 4460 | 33.65 |
| 3 | 97.5 | 26616 | 25951 | 15169 | 40.51 |
| 4 | 95.0 | 49754 | 47266 | 25263 | 44.22 |
| 5 | 90.0 | 103355 | 93020 | 49715 | 41.90 |
| 6 | 75.0 | 348606 | 261454 | 169048 | 26.51 |
| 7 | 50.0 | 663936 | 331968 | 268764 | 9.52 |
| 8 | 25.0 | 817457 | 204364 | 230482 | 3.19 |
| 9 | 10.0 | 728153 | 72815 | 130754 | 7.96 |
| 10 | 5.0 | 419025 | 20951 | 47018 | 6.22 |
| 11 | 2.5 | 315033 | 7876 | 26665 | 5.96 |
| 12 | 1.0 | 376616 | 3766 | 23739 | 5.30 |
| 13 | 0.5 | 240244 | 1201 | 11084 | 4.11 |
| 14 | 0.0 | 3631566 | 0 | 58320 | 1.61 |

Таким образом, поисковыми признаками, используемыми для оценки нефтегазоносности территории, являются параметры геофизических полей, космических снимков и результатов топогеодезических измерений, рассчитанные на эталонных участках и хранящиеся в сигнатурах эталонных объектов. Разработанная технология оценки перспектив нефтегазоносности территории методом эталонной классификации, позволяет выбрать эталонные объекты и рассчитать поисковые признаки на основе совместного анализа тематических изображений и данных сейсмогеологического моделирования в среде геоинформационных систем.

В четвертой главе «**Результаты опробования методики и технологии на примере оценки нефтегазоносности южного участка территории Надым-Пурской НГО**» рассматриваются результаты применения разработанной методики и технологии для решения задачи оценки перспектив нефтегазоносности южного участка территории Надым-Пурской НГО, расположенной на севере Западно – Сибирской плиты.

Подготовка данных ДЗЗ по территории Надым-Пурской НГО для классификации выполнена автором в системе Erdas Imagine. Для проведения морфометрических измерений рельефа Надым - Пурской НГО использовались цифровые топографические карты масштаба 1:200 000, совместно с результатами радарной съемки поверхности Земли из космоса. Неоднородность ландшафта и расчлененность рельефа, земной поверхности, связанная с современными тектоническими движениями, оценивалась в результате выделения и расчета плотности линеаментов на космических снимках и геофизических картах. Результаты обработки космических снимков и морфометрических данных использованы для выполнения комплексного анализа совместно с данными гравиметрической и магнитной съемки масштаба 1:200 000.

Окончательная обработка и подготовка этой информации к комплексному анализу на основе методов классификации выполнялись автором в геоинформационной системе ArcGIS. Для расчета поисковых признаков использовались разрывные нарушения, выделенные на сейсмогеологической модели южной части территории Надым – Пурской НГО созданной в программном комплексе DV-Discovery (Гогоненков Г.Н., Эльманович С.С. и др., 2010). Эта модель была конвертирована в среду системы ArcGIS и дополнена тематическими изображениями, построенными в результате комплексного анализа данных гравиразведки, магниторазведки, космической и топогеодезической съемки. В состав модели были включены все исходные данные, использованные для комплексного анализа. В результате анализа модели южного участка территории Надым - Пурской НГО были выделены зоны тектонической трещиноватости, связанные с разрывными нарушениями. Пример такой зоны представлен на рис. 5. Выбор эталонных объектов на этих участках и расчет сигнатур выполнен по методике, описанной в предыдущей главе.

Прогноз положения зон тектонической трещиноватости в южной части территории Надым - Пурской НГО выполнялся на основе анализа горизонтальных производных геофизических полей, так как наличие таких зон отражается на геофизических полях в виде участков с повышенными градиентами изменения значений. Зоны трещиноватости на изучаемой территории, как правило, приурочены к зонам неотектонической активности. Эти зоны связаны участками территории на которых наблюдаются повышенные плотности линеаментов, выделяемых на космических снимках и

топографических картах. По результатам линеamentного анализа были построены карты плотности, которые использовались при проведении комплексного анализа для прогноза положения зон трещиноватости на территории Надым - Пурской НГО.

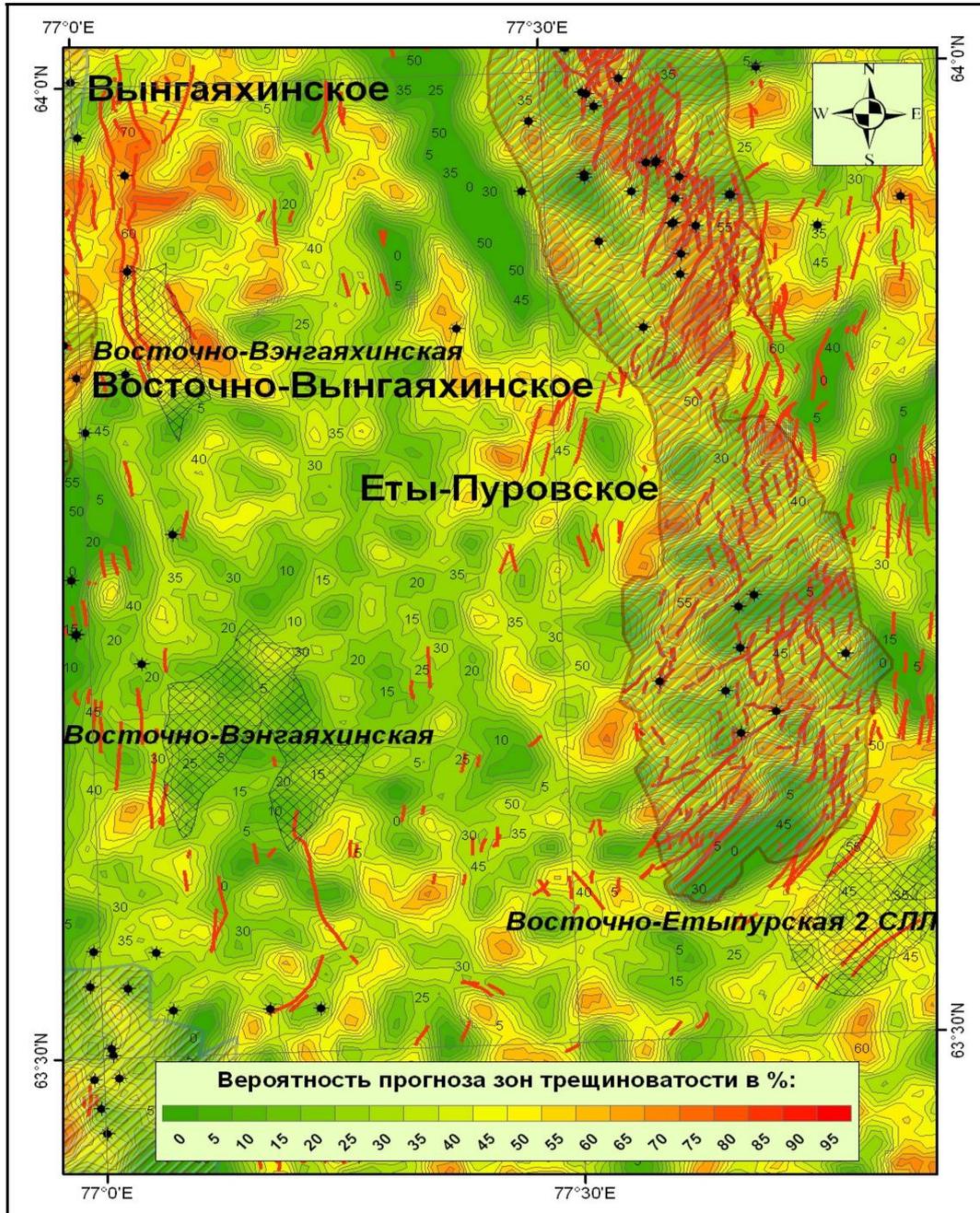


Рис. 9. Результаты прогноза положения зон трещиноватости на южном участке Надым-Пурской НГО.

Результаты прогноза положения зон трещиноватости полученные методом эталонной классификации на южном участке Надым-Пурской НГО представлены на рис.9. Цифрами и цветом на карте показана вероятность прогноза (с шагом 5%). Красными линиями обозначены проекции на дневную поверхность разрывных нарушений, выделенных по результатам сейсмогеологического моделирования на сейсмических горизонтах и использованных для расчета поисковых признаков.

Оценка перспектив нефтегазоносности южной части территории Надым - Пурской НГО выполнялась методом эталонной классификации на основе расчета поисковых признаков на участках с доказанной промышленной нефтегазоносностью. Результаты уточнения границ эталонных объектов (см. рис. 10) получены на основе анализа построенного методом автономной классификации тематического изображения.

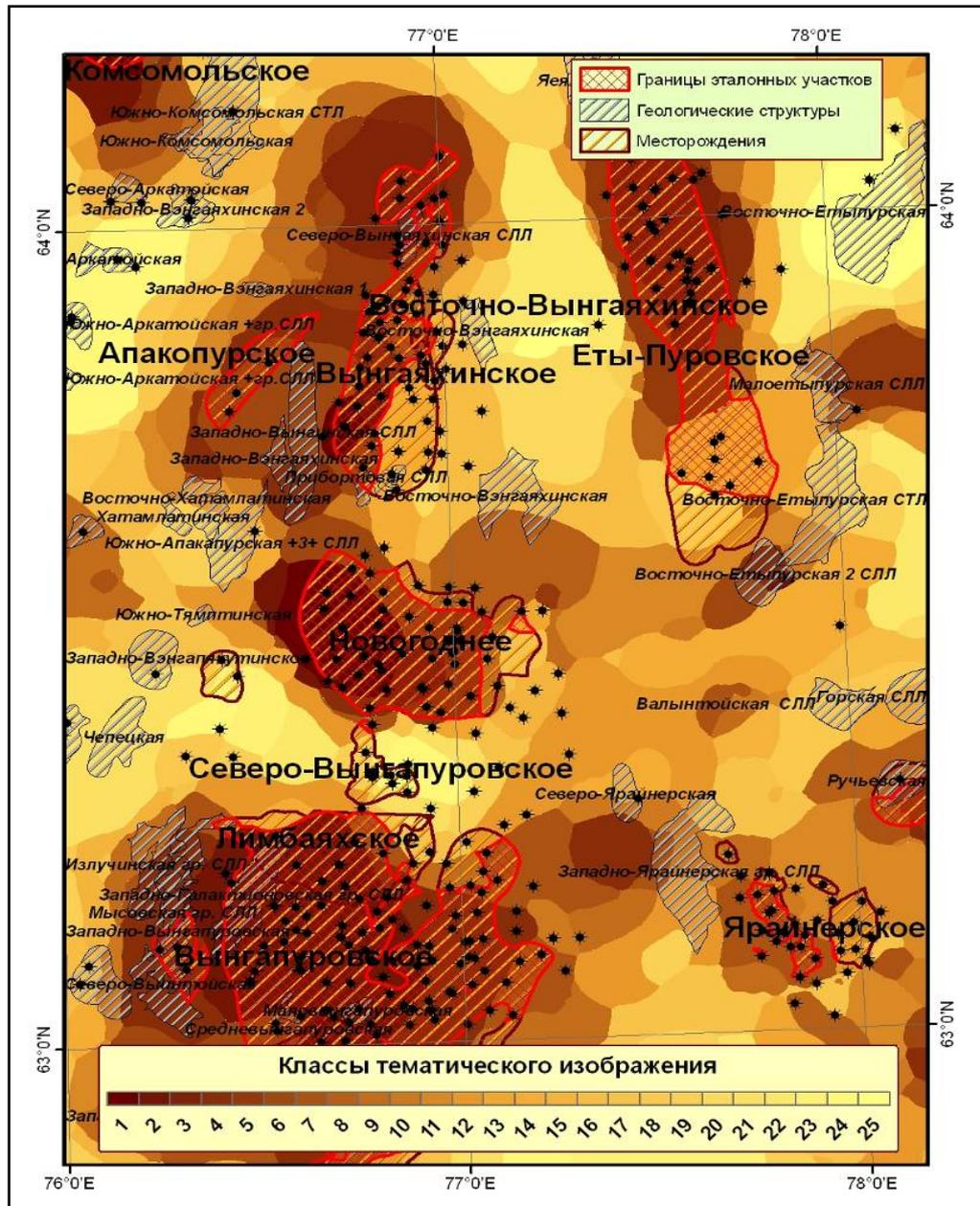


Рис. 10. Результаты уточнения границ эталонных объектов в южной части территории Надым - Пурской НГО.

Анализ изображения и построенных на его основе диаграмм показал, что вероятность попадания в область нефтегазоносности элементарных участков относящихся к классам 1-7 и 13 тематического изображения превышает дисперсию (~20%). Это значение вероятности использовалось при корректировке границ эталонных участков. Выполненные расчеты показали, что увеличение предельного значения более 20%

приводит к сокращению площади эталонных участков и соответствующей им области поисковых признаков в многомерном пространстве, что может привести к пропуску перспективных участков на исследуемой территории. Уменьшение предельного значения менее 20% приводит к расширению этой области, появлению ложных целевых объектов, следовательно - к уменьшению достоверности выполненного прогноза.

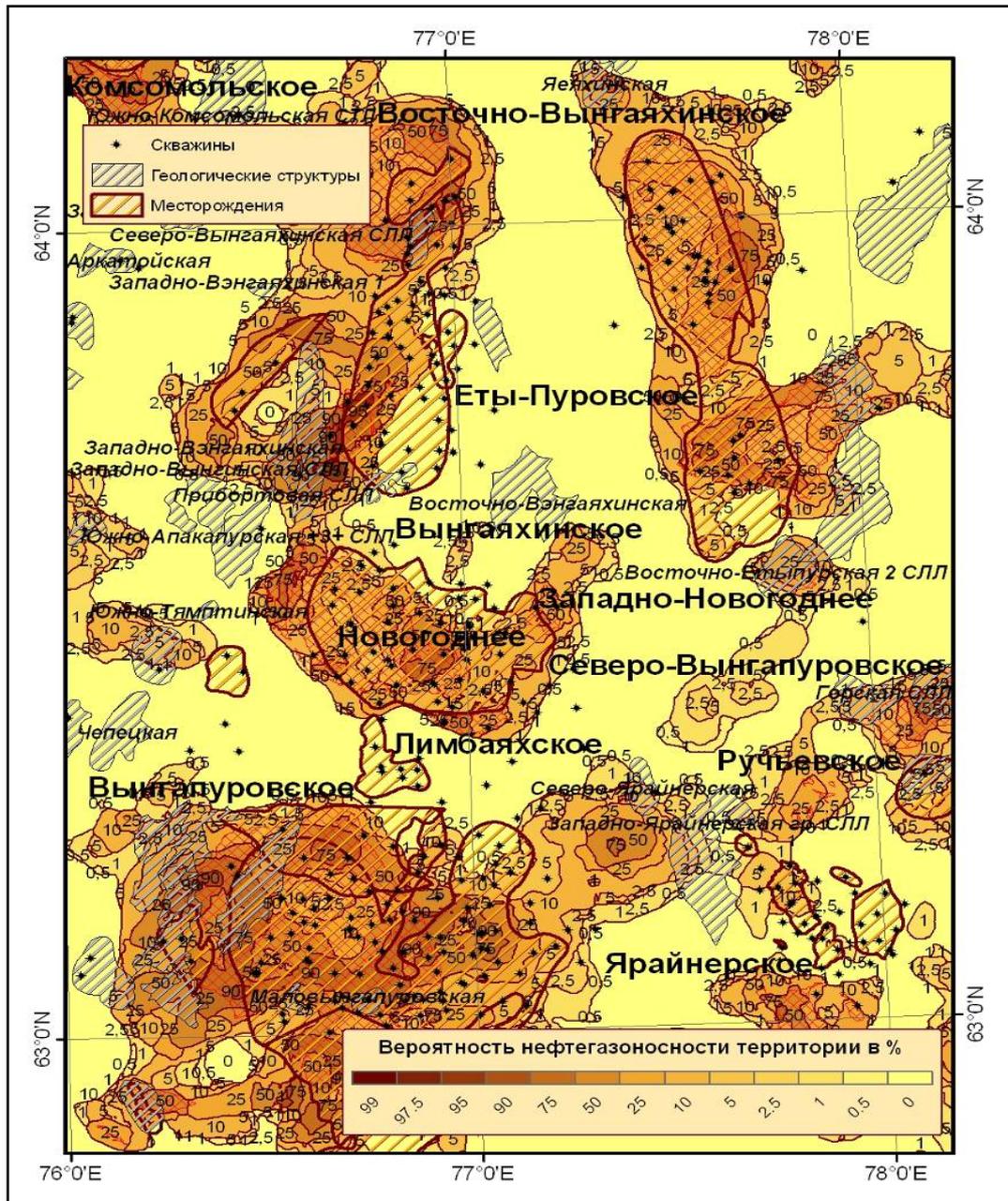


Рис. 11. Результаты оценки нефтегазоносности южной части территории Надым-Пурской НГО.

Результаты расчета поисковых признаков, в виде сигнатур эталонных объектов, были использованы при выполнении эталонной классификации методом *Максимального Правдоподобия*, в результате которой построена тематическая карта (см. рис. 11), содержащая оценку перспектив нефтегазоносности южной части территории Надым -

Пурской НГО. Участки территории Надым - Пурской НГО для которых вероятность нефтегазоносности высока, выделены на рисунке темным цветом. Эти участки были рекомендованы для проведения дополнительных геологоразведочных работ, конечно, если они не относились к участкам с доказанной нефтегазоносностью.

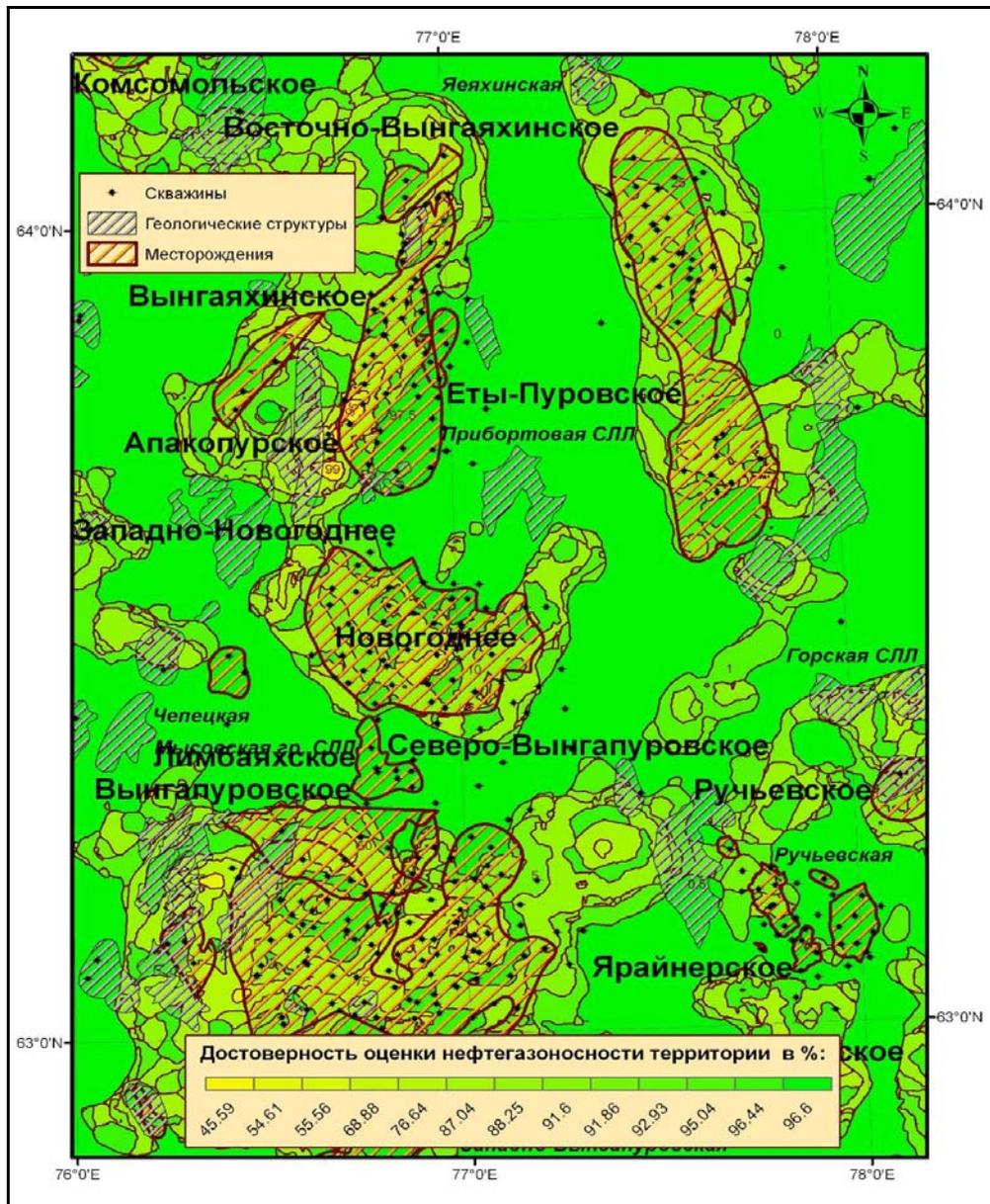


Рис. 12. Результаты расчета достоверности оценки перспектив нефтегазоносности южной части территории Надым-Пурской НГО.

Результаты расчета достоверности оценки перспектив нефтегазоносности участков территории Надым-Пурской НГО изображены на рис. 12. Расчеты и построения выполнены на основе сведений о погрешности оценки нефтегазоносности в табл. 2. Погрешность оценки нефтегазоносности рассчитывалась как отношение разности теоретического и фактического числа элементарных участков каждого из классов, попавших в область доказанной нефтегазоносности, к общему числу элементарных участков каждого из 14 классов, построенных методом эталонной классификации.

Анализ карты и сопоставление с результатами оценки нефтегазоносности показывают, что достоверность выполненной оценки выше для участков вероятность прогноза нефтегазоносности которых низкая. Например, для участков, вероятность нефтегазоносности которых ниже 50%, достоверность прогноза оценивается выше 87%. Таким образом, можно исключить из дальнейшего анализа участки территории Надым-Пурской НГО, вероятность нефтегазоносности которых незначительна (ниже 5%). Площадь таких участков составляет 71% от площади всей изучаемой территории.

Таблица 2.

Погрешность оценки нефтегазоносности южной части территории Надым - Пурской НГО.

| Классы | Вероятность НГ (теоретич.) | Количество элементарных участков: | | | Погрешность в % |
|--------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| | | общее | в зоне НГ (теоретич.) | в зоне НГ (фактическое) | |
| 2 | 99.0 | 18 | 18 | 10 | 44.44 |
| 3 | 97.5 | 392 | 382 | 260 | 31.12 |
| 4 | 95.0 | 2016 | 1915 | 818 | 54.41 |
| 5 | 90.0 | 2778 | 2500 | 1239 | 45.39 |
| 6 | 75.0 | 70297 | 52723 | 36301 | 23.36 |
| 7 | 50.0 | 147950 | 73975 | 54796 | 12.96 |
| 8 | 25.0 | 226177 | 56544 | 64590 | 3.56 |
| 9 | 10.0 | 328844 | 32884 | 71520 | 11.75 |
| 10 | 5.0 | 137844 | 6892 | 18112 | 8.14 |
| 11 | 2.5 | 88310 | 2208 | 9624 | 8.40 |
| 12 | 1.0 | 189934 | 1899 | 11320 | 4.96 |
| 13 | 0.5 | 26405 | 132 | 2000 | 7.07 |
| 14 | 0.0 | 1468415 | 0 | 49999 | 3.40 |

Таким образом, в четвёртой главе приведены результаты опробования разработанных методики и технологии оценки нефтегазоносности по комплексу поисковых признаков на примере участков территории Надым – Пурской НГО. Полученная информация позволила оценить нефтегазоносность этой территории и выбрать перспективные объекты для проведения детальных геологоразведочных работ.

В заключении диссертационной работы формулируются следующие основные результаты проведенных исследований:

1. Проведен анализ результатов предыдущих работ по обоснованию методологии оценки нефтегазоносности северной части территории Западной Сибири на основе комплексного анализа данных наземных и космических исследований. На основе результатов анализа обоснована система принципов и подходов к решению задачи выбора критериев оценки нефтегазоносности. В качестве геологической основы метода оценки выбрана глубинно – фильтрационная модель формирования месторождений.

2. Разработанная методика оценки перспектив нефтегазоносности территории основана на расчете критериев эталонной классификации по результатам совместного анализа в среде геоинформационных систем: тематических изображений, построенных методом автономной классификации, данных сейсмогеологического моделирования и другой геолого – геофизической информации.

3. Поисковыми признаками, используемыми для оценки нефтегазоносности территории и прогноза зон трещиноватости, являются параметры геофизических полей, космических снимков, топографических карт и их трансформант, рассчитанные на эталонных участках и хранящиеся в сигнатурах эталонных объектов.

4. Рассчитанные для эталонного участка с доказанной нефтегазоносностью поисковые признаки не являются универсальными, а могут использоваться только при оценке нефтегазоносности территории, на которой расположен этот участок, либо на территориях со сходными геологическими условиями.

5. Для повышения достоверности и качества оценки предложены и опробованы на реальных материалах различные приемы обработки информации в среде геоинформационных систем и подготовки данных для проведения комплексного анализа. Обоснованы связи построенных в результате анализа тематических карт (изображений) с зонами тектонической трещиноватости и залежами углеводородов, выделенных по результатам обработки данных объемной сейсморазведки и построения сейсмогеологических моделей. Сопоставление и анализ выполнялись на основе использования объемной модели, сформированной в среде геоинформационной системы ArcGIS.

6. Созданная методика апробирована на участках территории Надым - Пурской и Пур – Тазовской НГО, расположенных в северной части Западно Сибирской плиты. Результаты апробации показали высокую достоверность оценки нефтегазоносности территории этих участков. По результатам оценки были подготовлены рекомендации недропользователям по постановке геологоразведочных работ.

Основные результаты научных исследований, представленные в настоящей работе, опубликованы и неоднократно докладывались автором на конференциях.

Основные положения диссертации изложены в опубликованных работах:

1. Тимурзиев А.И., Шумейкин А.С. Прогнозирование нефтегазоносности недр и методика поисков месторождений на основе глубинно–фильтрационной модели нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М: ВНИИОЭНГ, 2010, №9. С.22-29.

2. Тимурзиев А.И., Шумейкин А.С. Результаты комплексирования аэрокосмических, грави-магнитометрических и геоморфологических методов при поисках и разведке залежей УВ в пределах Западной Сибири. Тезисы докладов Международной конференции «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе». М., РГУ нефти и газа, 2009, с.168-169.

3. Шумейкин А.С., Тимурзиев А.И., Методика комплексирования космических, грави-магнитометрических и топогеодезических данных при поисках и разведке залежей УВ в пределах Западной Сибири. Тезисы докладов Международной конференции «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе». М., РГУ нефти и газа, 2009, с.192-193.

4. Шумейкин А.С. Разработка метода прогноза нефтегазоносности и поиска месторождений на основе глубинно – фильтрационной модели образования и накопления УВ // Тр. V Международной межвузовской науч. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов «МОЛОДЫЕ - НАУКАМ О ЗЕМЛЕ». М., РГГРУ. 2010, С. 354.

5. Тимурзиев А.И., Шумейкин А.С. Методика и результаты комплексных аэрокосмических, магнито и гравиметрических исследований при поисках нефти (на примере Западной Сибири) // Тр. IX Международной конференции EAGE «Геоинформатика. Теоретические и прикладные аспекты». Киев, 2010, http://www.eage.org/files/accepted_papers.pdf.

6. Шумейкин А.С. Методика прогноза нефтегазоносности территории Западно - Сибирской плиты на основе комплексной обработки данных наземных и космических исследований. Новые информационные и геоинформационные технологии в геологии. Электронный сборник тезисов «Пятой Сибирской конференции молодых учёных по наукам о Земле», Новосибирск, 2010, http://sibconf.igm.nsc.ru/sbornik_2010/09_gis/661.pdf.

7. Шумейкин А.С. Методика оценки нефтегазоносности территории северной части Западно - Сибирской плиты на основе комплексной обработки данных наземных и космических исследований в среде геоинформационных систем. Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, 8-11 февраля 2011 г., ФГУП «ВСЕГЕИ». Санкт – Петербург, 2011, <http://www.vsegei.ru/ru/conf/summary/mnpk-11/Theses/Theses.php>.