

На правах рукописи

ЛАЗАРЕВ Федор Дмитриевич

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СКОПЛЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО ПРОГИБА)**

25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2001

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель – профессор, доктор геолого-минералогических наук Ерофеев Л.Я.

Официальные оппоненты: – доктор геолого-минералогических наук Запивалов Н.П.
–доцент, кандидат геолого-минералогических наук Устинова В.Н.

Ведущая организация – ВНИИ Разведочной геофизики
им. А.А. Логачева (ВИРГ – Рудгеофизика)

Защита диссертации состоится 28 декабря 2001 г. в 15.00 часов в 313 аудитории 10 корпуса на заседании диссертационного совета К 212.269.01 при Томском политехническом университете по адресу:
634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, д. 30.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан « 26 » ноября 2001г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



доцент, к. г.-м. н. А.А. Поцелуев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

С уменьшением количества структур антиклинального типа, вмещающих месторождения нефти и газа, и усложнением задач поиска, достоверность прогноза залежей углеводородов (УВ), опирающегося только на сейсморазведку, недостаточно высока. Поэтому в практике нефтегазопоисковых работ в последние годы отмечается устойчивое повышение интереса к таким «легким» методам как магнитометрия, гамма-спектрометрия, геохимия, теплотометрия, гравиметрия и др., которые в совокупности называют физико-химическими.

Оперативный, основательно аргументированный и экономически целесообразный прогноз скоплений УВ в настоящее время немыслим без применения *авиационного комплекса* геофизических методов, особенно в труднодоступных регионах Сибири. Оснащенные совершенным и наиболее полным на сегодняшний день комплектом оборудования, аэрометоды отличаются высокой разрешающей способностью и мобильностью, не требуют существенных финансовых затрат и становятся не только неотъемлемым, но и первым звеном технологической схемы поисковых работ на нефть и газ в различных регионах страны и мира.

Сложность геологического строения западной части Енисей-Хатангского прогиба, обширность перспективных земель на УВ, экстремальные климатические условия, сравнительно слабая геолого-геофизическая изученность обуславливают внедрение в практику нефтегазопоисковых работ этого региона комплекса дистанционных геофизических методов, которые способствуют выбору наиболее оптимальных направлений поисков и разведки скоплений УВ. Все это и определяет *актуальность* исследований.

Цель и задачи работы

Целью исследования является оценка возможностей комплексных геофизических аэрометодов (магнитометрия, гамма-спектрометрия, атмогеохимия, термометрия) и наземной гравиразведки для целей прогнозирования залежей УВ в условиях высоких широт России (на примере западной части Енисей-Хатангского прогиба) и разработка методики комплексной интерпретации полученных данных. В соответствии с поставленной целью автором решается ряд конкретных задач, основными из которых являются:

- систематизация критериев поисков залежей УВ на основе анализа результатов применения геофизических методов в различных нефтегазоносных провинциях;
- опробование методики полевых исследований на базе современного аппаратного комплекса в западной части Енисей-Хатангского прогиба;
- адаптация методики комплексной интерпретации геофизических полей, используемой при геологическом картировании и поисках твердых полез-

ных ископаемых, применительно к прогнозу залежей УВ в западной части Енисей-Хатангского прогиба;

- оценка достоверности прогноза залежей УВ на одной из площадей, расположенной в западной части Енисей-Хатангского прогиба (апробация научных выводов и рекомендаций).

Научная новизна

1. Выявлены и систематизированы поисковые критерии залежей УВ, проявляющиеся в геофизических полях в различных нефтегазоносных провинциях, в том числе и в условиях высоких широт России.

2. Разработана методика полевых исследований на базе современного аппаратурного комплекса, позволяющая фиксировать особенности изучаемых полей, обусловленных геологическим строением и наличием залежей УВ.

3. Создана и адаптирована к решению нефтегазопоисковых задач система интерпретации геофизических полей для условий высоких широт Западной Сибири.

Практическая значимость

- Разработана технология применения авиационного комплекса геофизических методов для прогноза залежей УВ в условиях Енисей-Хатангского прогиба.

- Даны оценка потенциальной нефтегазоносности и рекомендации для постановки детальных поисковых электро- и сейсморазведочных работ в южной и северной частях соответственно Малохетского вала и Большехетского межавала.

- Предложенная методика интерпретации рекомендуется к использованию при изучении геологического строения и нефтегазоносности мезокайнозойских осадочных бассейнов, обрамляющих Сибирскую платформу.

Защищаемые положения

1. В дистанционно наблюдаемых геофизических полях находят закономерное отображение основные элементы геологического строения западной части Енисей-Хатангского прогиба, в том числе и залежи углеводородов.

2. Рекомендуемая методика полевых исследований позволяет регистрировать геофизические поля с детальностью и точностью, достаточной для выявления аномалий, обусловленных геологическим строением и залежами УВ.

3. Разработанная система комплексной интерпретации позволяет изучать геологическое строение территорий и выявлять поисковые критерии, являющиеся основой прогноза залежей УВ.

4. Применение комплекса геофизических методов позволяет с высокой степенью достоверности осуществлять прогноз залежей УВ и, тем самым, повышать эффективность нефтегазопроисловых работ.

Реализация и апробация работы

Основные положения диссертации изложены в четырех производственных отчетах ДГУП ЦАГРЭ (ВСЕГЕИ). Они (положения) представлены в докладе на Конференции ОАО «Востокгазпром» в г. Томске, состоявшейся в мае 2000 года, обсуждались на Региональном совещании в ОАО «Сибирский научно-аналитический центр» («СибНАЦ») в г. Тюмени в апреле 2001 г., на рабочем совещании ОАО «Таймырская нефтяная компания» в июне 2001г., а также на Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири, 100 лет на службе науки и производства», прошедшей в сентябре 2001г. в г. Томске.

Публикации и личный вклад в решение проблемы

Диссертация основана на методических и экспериментальных исследованиях, выполненных автором, а также на результатах анализа литературных источников, прямо или косвенно освещающих рассматриваемую проблему. По результатам проведенных исследований опубликовано 5 печатных работ.

Объем и структура работы

Работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 140 страницах машинописного текста, 39 рисунков, 5 таблиц. Список литературы включает 130 наименований.

Диссертационная работа выполнена на кафедре геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Томского политехнического университета под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора Леонида Яковлевича Ерофеева, которому автор выражает признательность за помощь и требовательность, способствовавшие выполнению представленных исследований.

Автор искренне благодарит доцента этой кафедры к. г.-м. н. Г.Г. Номоконову, старших научных сотрудников М.И. Альтшулера (ВИРГ-Рудгеофизика), к. г.-м. н. И.А. Наторхина (ВНИИОкеангеология) за советы и критические замечания, которые были высказаны ими в процессе исследований, а также сотрудников ДГУП ЦАГРЭ (ВСЕГЕИ): ведущих геологов - к. г.-м. н. В.К. Старостина, Г.В. Шнейдера; нач. отряда - геолога П.В. Кирплюка, геофизика I кат. Л.К. Мельникову, нач. отряда - геофизика В.В. Ромашко за большую товарищескую помощь в проведении исследований. Особую признательность автор выражает профессору, д. г.-м. н. Л.П. Рихванову и главному геологу ОАО «Норильскгаз-

пром» А.А. Новожилову, без участия и помощи которых данное исследование вряд ли когда-либо увидело свет.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Развитие геофизических методов и критерии поисков залежей углеводородов по их данным

Набор признаков, показателей, примет, знаков, по которым в физико-химических полях отличают продуктивные в нефтегазоносном отношении структуры от пустых, представляет собой *совокупность критериев нефтегазоносности*. Знание этих критериев и их выявление является основой прогноза. При этом, как показала практика применения физико-химических методов в различных нефтегазоносных провинциях, степень важности критериев нефтегазоносности не столь существенна, т.к. при определенных условиях наиболее значимы одни критерии, при других условиях – другие; подход должен быть всегда конкретным, в зависимости от района, геологического разреза, тектонических условий и т.п. Причем, к критериям могут быть отнесены только выдержанные, статистически устойчивые признаки, переносимые из изученных районов с известными месторождениями к оценке новых площадей.

Эмпирической базой, на которую опирается прогноз, является достоверно установленный факт закономерного изменения физических свойств осадочных толщ под влиянием онтогенетического развития месторождений УВ. Фиксация этих изменений комплексом дистанционных физико-химических методов, их анализ и отождествление с «углеводородным дыханием недр» являются операциями по выявлению критериев поиска месторождений УВ.

В данной главе приведены сведения о практическом и теоретическом становлении геофизических методов при нефтегазопоскоковых работах в дистанционном (аэро-) и наземном вариантах: *атмогеохимия, магнитометрия, радиогеохимия, термометрия и гравиметрия*. Каждому из этих методов посвящен свой раздел, где рассмотрены причины возникновения физико-химических неоднородностей над залежами УВ, создающих в соответствующих полях определенные аномалии, являющиеся поисковыми критериями.

В разделах этой главы рассмотрены и использованы идеи, а также практические разработки многих исследователей, внесших значительный вклад в развитие и практическое применение рассматриваемых методов в нефтегазопоскоковой отрасли, в том числе Аверьяновой Е.Е., Агульника И.М., Алексеева Ф.А., Алукера Э.Д., Бабаева В.В., Березкина В.М., Богоявленского Л.Н., Гинсбурга Г.Д., Горного В.И., Готтиха Р.П., Зорькина Л.М., Комаровой А.К., Лаубенбаха А.И., Лялько В.И., Мавричева В.Г., Маловичко А.К., Немцова Л.Д., Петухова А.В., Соколова В.А., Слепака З.М., Шилина Б.В., Яковлева Б.А., Yanaki N.E., Gregory A.F., Pirson S.J., Sanders D.F., Sikk D.B. и др.

Выполненный анализ показал, что к настоящему времени строго детерминирован, теоретически обоснован и практикой работ подтвержден целый ряд физико-химических критериев поиска залежей УВ, которые сводятся к следующему. 1) Во всех геофизических полях залежи УВ с антиклинальным типом ловушек характеризуются кольцевыми аномалиями, а с неантиклинальным – линейными. 2) В аномальном магнитном поле (ΔT) залежи УВ зачастую проявляются высокочастотной составляющей, хорошо отражающей в плане локальные зоны нефтегазоносности; по периферии залежи, в некоторых случаях, отмечаются узкие локальные максимумы; всегда имеет место резкое усложнение структуры наблюдаемого поля, визуально фиксируемого в виде «раздувов», смещений и перегибов изолиний, а также изменением горизонтального градиента; к сводам продуктивных структур поле становится ровнее. 3) В тепловых полях над сводами залежей УВ структурного типа формируются положительные аномалии; зоны газоводонефтяных контактов отражаются пониженными и (или) отрицательными температурными значениями; тектонические нарушения могут отражаться положительными или отрицательными аномалиями линейного типа. 4) Залежи УВ в гравитационном поле (ΔG), как правило, выделяются относительным понижением поля на фоне его максимальных значений. 5) Почти 70% залежей УВ характеризуются пониженными значениями мощности экспозиционной дозы (МЭД), содержания урана (U) и (или) калия (K); как правило, зоны газоводонефтяных контактов имеют повышенные концентрации естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) и отличаются их повышенной неоднородностью; конкретная геологическая обстановка накладывает свой отпечаток на распределение этих элементов над залежами УВ.

Степень проявления критериев поиска залежей УВ в геофизических полях, в зависимости от конкретных геологических условий, может существенно меняться как в большую, так и в меньшую стороны и зачастую бывает соизмерима с чувствительностью и точностью применяемой аппаратуры.

Глава 2. Технические, методические и геологические аспекты полевых исследований

В *вводной* части этой главы рассматривается концепция корректировки производства геологоразведочных работ в нефтегазопроисковой отрасли, обусловленной необходимостью повышения достоверности прогноза. Наиболее актуальным в данном аспекте является создание рационального комплекса методов поиска месторождений УВ. При этом констатируется, что устоявшегося признанного всеми комплекса пока нет. По мнению автора исследования, в ближайшем будущем *базовый комплекс* будет сформирован на основе сейсморазведки, магниторазведки, гравитаразведки, гамма-спектрометрии, атмогеохимии, термометрии, электроразведки, космических методов и петрофизики.

С позиций рассматриваемой проблемы заслуживают внимания аэрометоды, позволяющие получать широкий набор полей, совмещенных во времени и

пространстве, дающих возможность всесторонне изучать обширные территории, чему способствует прогресс отечественного и зарубежного приборостроения.

В **первом разделе** приведены основные технические данные аэрокомплекса КАС-1, поскольку именно с этой аппаратурой, смонтированной на самолет АН-2, были проведены полевые исследования. Его отличием от комплексов предыдущих поколений является широкий набор измерительных модулей: двухканальный квантовый магнитометр; низкофоновый гамма-спектрометр полного спектра; лазерный газоанализатор углеводородов; измеритель температуры земной поверхности в инфракрасном диапазоне излучения; спутниковая навигационно-геодезическая система; датчики атмосферного давления, высоты и температуры; система сбора, управления, оперативной обработки и регистрации аэроданных. Все измерительные модули метрологически сертифицированы.

Во **втором разделе** дается пояснение причин выбора площади исследования. Во-первых, рассматриваемая территория в геологическом отношении является типовым объектом западной части Енисей-Хатангского прогиба, в ее пределах расположено Зимнее месторождение УВ. Во-вторых, это месторождение не эксплуатируется и располагается на достаточном расстоянии от разрабатываемых месторождений УВ, что исключает регистрацию физико-химических полей техногенного генезиса. В-третьих, существует необходимость получения дополнительных геолого-геофизических данных для сейсморазведочных работ, выполняющихся на этой площади.

Обосновывается методика полевых исследований (высота и система залетов, циклы регистрации магнитометра, гамма-спектрометра, газоанализатора и термометра, навигационных приборов, создание опорной магнитной сети, учет геомагнитных вариаций).

Пометодно излагается технология обработки полевых материалов в рамках ПМО АСОД - «Воздух» и OASIS montaj v. 4.2 (Geosoft Inc., 1998), позволявшая получить пакет кондиционных физико-химических полей: *аномального магнитного поля; содержания урана, калия, тория, радона (Rn); МЭД, метана и температуры*, эти данные положены в основу исследования.

Третий раздел посвящен геологическому строению района, его нефтегазонасности и непосредственно Зимнему месторождению. Площадь исследования располагается на северо-востоке Западно-Сибирской низменности, в юго-западной части Таймырского автономного округа, в 80 км западнее г. Дудинка. В районе открыт ряд месторождений УВ. Территория характеризуется относительно слабой и неравномерной геолого-геофизической изученностью и высокими перспективами обнаружения залежей нефти и газа.

В структурно-тектоническом отношении площадь исследования расположена в западной части Енисей-Хатангского прогиба, приурочена к южной части Малохетского вала, осложняющего Малохетско-Мессояхский мегавал. В составе осадочного чехла, в стратиграфическом диапазоне от нижней-средней юры до сеномана включительно, выделено четыре нефтегазоносных комплекса.

В пределах изучаемой территории размещается Зимнее месторождение с тремя залежами газа и конденсата. Газоводяной контакт (ГВК) залежи зимней

свиты проходит по изогипсе -2900 м, суточный дебит газа 50 тыс.м³. Залежь малышевской свиты буровыми работами оконтурена не полностью, ГВК установлен на отметке -1800 м, получен приток газа (с водой и конденсатом) с дебитом до 106 тыс.м³ в сутки. Залежь нижнехетской свиты водоплавающая, ГВК установлен на глубине -1720 м. Газ практически «сухой», содержание метана около 98%, суточный дебит -201,4 тыс.м³, температура 43⁰.

В северной части исследуемой территории расположено *Семеновское* локальное поднятие. Структура недоразведана, приток газа с конденсатом и пластовой водой получен только из горизонта зимней свиты.

Глава 3. Методика интерпретации физико-химических полей при изучении геологического строения и выявлении поисковых критериев УВ на примере Зимнего месторождения

Внедрение комплекса аэрогеофизических исследований в практику работ на нефть и газ произошло сравнительно недавно. Поэтому устоявшейся, общепринятой методики интерпретации пока нет. В то же время, в области комплексных аэроисследований, направленных на решение задач геологического картирования и прогноза твердых полезных ископаемых, накоплен значительный опыт. Это позволило отработать определенную систему методов и приемов интерпретации. Несмотря на то, что в нефтегазоносных провинциях элементы геологического строения проявляются в слабо интенсивных и более сглаженных геофизических полях, чем в складчатых областях, принципы такой интерпретации, по мнению автора исследования, приемлемы для решения ряда задач прогноза залежей нефти и газа. Концептуально эти принципы сводятся к следующему. На первом этапе путем расчета модуля горизонтального градиента полей ΔG и ΔT осуществляется выделение дизъюнктивных нарушений, определяющих тектонический каркас исследуемой территории. Второй этап направлен на трассирование и ранжирование этих нарушений по степени проявления в потенциальных полях с учетом аэро- и космических снимков. На третьем этапе создается модель физико-геологического разреза. Четвертый этап характеризуется изучением надпродуктивной части геологического разреза на основе средне- и высокочастотных составляющих потенциальных полей, данных радиогеохимии, атомно-геохимии и теплотрии. И, наконец, на пятом, завершающем этапе, выполняется синтез и анализ полученных данных с прогнозными выводами. Реализация каждого из этапов сопровождается выявлением поисковых критериев.

В *первом разделе* изложена методика локализации и ранжирования разнорядковых тектонических нарушений. На основе расчета модуля горизонтального градиента *региональной составляющей* ΔG выявлена система тектонических нарушений I порядка, создающая структурный каркас кристаллического фундамента и определяющая границы южной части Малохетского вала. В *исходном поле* ΔG этот вал отражается повышенными значениями, свидетельствующими о приподнятом положении крупных блоков, залегающих в его основании. Это указывает на связь формирования Зимнего месторождения УВ с кинематикой

региональных тектонических нарушений. Расчет модуля горизонтального градиента *исходного поля* ΔG позволил локализовать и протрассировать серию дизъюнктивных нарушений II и III порядков, совпадающих в плане и проявляющихся в морфологии современного рельефа. Это свидетельствует о их сквозном характере и указывает на тектоническую активность территории в позднемезозойский и новейший этапы тектогенеза. Установлено, что Зимнее месторождение УВ, как и многие другие в данном регионе, оказалось подверженным тектоническому воздействию, проявившемуся в виде дизъюнктивных нарушений, секущих его площадь.

Расчет модуля горизонтального градиента *исходного поля* ΔT позволил локализовать сеть малоглубинных тектонических нарушений с зонально-кольцевым расположением, рассеченных разнонаправленными и более мелкими дизъюнктивами. Их сочетание создает вид «битой тарелки» и отражает *рост структуры*. В то же время тектонические нарушения, отражающиеся только в поле ΔG , являются более мощными и более глубинными и являются причиной образования близповерхностных.

Далее приводятся результаты физико-геологического моделирования, выполненного на основе гравимагнитных данных с применением модуля GM-SJS пакета программ OASIS-montaj и позволившего отразить особенности строения трехслойного геологического разреза. Малохетский вал в разрезе представляет собой горст, ограниченный двумя крупными крутопадающими тектоническими нарушениями древнего заложения. По этим нарушениям северо-западное и юго-восточное крылья Малохетского вала опущены не менее чем на 300-400 м. В разрезе присутствуют более мелкие как оперяющие, так и имеющие самостоятельное значение дизъюнктивные нарушения, отчетливо фиксируемые в приповерхностной части осадочного чехла.

Зимнее месторождение в пределах горстовой структуры занимает крайнее юго-восточное положение и приурочено к зоне влияния тектонического нарушения, ограничивающего Малохетский вал с юго-востока. Месторождение, вероятно, находится в области флексуры. Мощность толщи терригенно-осадочных пород в пределах вала меньше, чем на сброшенных блоках.

Второй раздел главы посвящен методике изучения надпродуктивной части геологического разреза путем последовательного анализа высокочастотных составляющих гравитационного и магнитного полей, гамма-спектрометрии, газогеохимии и теплотметрии с привлечением геоморфологических данных.

Первые два метода дают возможность получить информацию о геологическом строении глубинной части надпродуктивной толщи, последние – выявить и локализовать физико-химические неоднородности в самой верхней части геологического разреза, прямо или косвенно связанные с глубинными зонами. Такой подход позволяет всесторонне изучать геологическое строение территорий, локализовать и синтезировать поисковые критерии нефтегазоносности.

Первая часть раздела посвящена методике выявления залежей УВ в поле силы тяжести на основе расчета его остаточной составляющей, что позволило выделить отрицательную аномалию ΔG , связать ее с наличием зоны разуплотне-

ния в толще разреза и высказать предположение о приуроченности ее к месторождению УВ. Исходя из выделенных тектонических нарушений II порядка, секущих месторождение, сделан вывод о его более сложном строении, чем предполагается по результатам сейсмической разведки и глубокого бурения.

Вторая часть раздела посвящена методике локализации залежей УВ в поле метана. Здесь вводится понятие **плотности экстремумов** этого газа.

Вначале анализируется исходное поле, выделенные в нем аномальные зоны связываются с тектоническими нарушениями и миграционными путями из осадочно-седиментационного бассейна. Указывается, что в *исходном* поле метана локализация Зимнего месторождения затруднительна. С позиций процесса массопереноса обосновывается реальность существования априорной модели газовых аномалий над залежами УВ, характеризующихся **неоднородностью и изрезанностью**. Для выделения таких аномалий предложена программа RIZMTD, входящая в состав ПМО АСОД - «Воздух» (автор Д.С. Зеленецкий). Она предназначена для расчета плотности экстремумов поля, заданного на плоскости по узлам регулярной прямоугольной сети с размерами ячейки $DX*DY$ в прямоугольном скользящем окне размером $RX*RY$. Механизм подсчета количества экстремумов реализован в площадном варианте, без учета амплитуды экстремумов, в виде:

$$PEXT = (KMIN + KMAX)/S,$$

где KMIN – количество локальных минимумов в окне;

KMAX – количество локальных максимумов в окне;

$S = RX*RY$ – площадь скользящего окна.

Результаты такого расчета позволили выделить контрастную аномалию повышенной плотности экстремумов, совпадающую с контуром месторождения, выходящую за его пределы в западном направлении, куда смещена продуктивная толща малышевской свиты. Выделено также еще несколько аномалий: одна в западном углу участка (незамкнутая) и три в восточной его части. В северном направлении от месторождения отмечена еще одна аномалия, менее интенсивная, но хорошо совпадающая с Семеновским локальным поднятием.

Сопоставление полученных аномалий с дизъюнктивной тектоникой (с рисунком «битой тарелки»), показало их соответствие, что указывает на флюидотранспортирующую роль тектонических нарушений. Сделан вывод, что повышенная плотность экстремумов поля метана позволяет отразить: а) элементы дизъюнктивной тектоники терригенно-осадочной толщи; б) положение Зимнего газового месторождения; в) наличие аномальных зон, перспективных на обнаружение скоплений углеводородов.

Третья часть раздела посвящена методике локализации залежей УВ в аномальном магнитном поле. Особенностью этого поля является повышенная **неоднородность** по всей площади. В пределах месторождения, а также на незначительном удалении от него в восточном и западном направлениях неоднородность еще выше. Несмотря на знание планового положения месторождения, определить его выраженность в *исходном* аномальном магнитном поле затруднительно. Это сделать удалось с помощью сглаживания *исходного* поля (путем пе-

ресчета в верхнее полупространство). В трансформированном поле локализована высоко градиентная зона, совпадающая с местоположением месторождения на склоне Малохетского вала.

Использование программы «фильтрация матричных данных в скользящем окне – FILTWN» (ПМО АСОД - «Воздух») позволило получить, по выражению американских геофизиков, «магнитную рябь» – ripples. Она представляет собой высокочастотный компонент поля ΔT (амплитудой – 10-50 нТл, шириной до 700-800 м) с зональным распределением, отражающим единую аномально-перспективную зону. Эта зона, вместе с площадью месторождения УВ, располагается в области разуплотнения, что усиливает ее прогнозную значимость.

Расчет градиента по направлению максимальной изменчивости поля ΔT по программе gradmt, входящей в состав ПМО АСОД - «Воздух», отразил миграционный шлейф флюидов УВ из зоны Долганской депрессии, являющейся осадочно-седиментационным бассейном и возможным поставщиком УВ.

Основной вывод аэромагнитных исследований: высокочастотный компонент поля ΔT является поисковым критерием залежей УВ, а высокоточные аэромагнитные исследования являются надежным нефтегазопроизводственным методом, способным решать задачи как регионального, так и локального прогноза.

Четвертая часть раздела посвящена методике выявления скоплений УВ на основе анализа распределений U, Th, K, Rn, МЭД. В начале этой части рассматриваются и анализируются исходные поля, которые сопоставляются с результатом ландшафтного районирования и тектоническим строением изучаемой территории. Большая распространенность ледниковых образований, плотная гидросеть и повышенная влажность земной поверхности в условиях высоких широт, к которым относится западная часть Енисей-Хатангского прогиба, весьма затуманивают эффект проявления залежей УВ, а также дизъюнктивной тектоники в наблюдаемых радиогеохимических полях, за исключением поля радона.

Если распределения концентраций U, Th, K и МЭД в общих чертах сохраняют подобие друг другу на исследуемой территории, то распределение Rn не имеет ничего общего с ними. Почти ортогонально относительно этих полей в запад-северо-западном направлении протягивается лентовидная аномалия Rn, имеющая небольшой перегиб в пределах Зимнего месторождения. Факт совпадения этой аномалии с фрагментами дизъюнктивных нарушений позволил предположить наличие здесь проницаемой зоны, которая служит транспортирующей артерией Rn и углеводородных флюидов и является зоной возможного разубоживания данного месторождения.

Из опубликованных материалов по этому вопросу следует, что флюиды ЕРЭ и УВ, поступающие из недр Земли в почвенный слой, нарушают в нем радиогеохимический баланс. В таком случае индикаторами залежей УВ являются не абсолютные концентрации радионуклидов, а зоны их перераспределения, отражающие характер и степень их воздействия на самый верхний слой земной поверхности. Радиогеохимические исследования в Западной Сибири над месторождениями УВ показали, что отношение Th/U, характеризующее степень нарушения корреляционных связей между этими элементами, позволяет выделять зо-

ны эпигенетического перераспределения, соответствующие положению залежей УВ, но апробация такого подхода не позволила локализовать Зимнее месторождение. Из этого сделан вывод: для условий Енисей-Хатангского прогиба Th/U показатель, в *наблюдаемых* его значениях, не может являться уверенным критерием поиска залежей УВ из-за геоморфологических факторов.

Далее сделано предположение, что зоны перераспределения ЕРЭ, отражающие положение залежей УВ, должны характеризоваться повышенной неоднородностью. Для локализации таких зон предложен способ расчета *плотности экстремумов* ЕРЭ. Полученные таким образом редуцированные поля отразили тектоническое строение территории, а самые интенсивные аномалии плотности экстремумов содержаний U и K , приуроченные к контуру месторождения, указали на высокую степень воздействия флюидов, мигрирующих из залежи, на зону гипергенеза.

В результате поочередного сопоставления карт плотностей экстремумов радиогеохимических полей (U , Th , K , Th/U , МЭД) с картой ландшафтного районирования установлено отсутствие связи между ними. Это указывает на то, что выбранный алгоритм интерпретации исходных радиогеохимических полей позволяет выявлять в них информацию, не зависящую от влияния ландшафтных условий.

Субкольцевое распределение плотности экстремумов отношения Th/U с его максимумом в пределах месторождения и на сопредельных участках, расположенных к югу, северо-востоку и северу, непосредственно примыкающих к нему, позволило сделать предположение о более широких площадных размерах месторождения. Этот вывод подкреплен фактом совпадения полученной аномалии с высокочастотной составляющей поля ΔT и зоной разуплотнения, выделенной по локальной составляющей поля ΔG .

Пятая часть раздела посвящена методике локализации скоплений УВ на основе теплового поля. Показано, что наблюдаемое тепловое поле Зимнего участка с мозаичным характером распределения от $3,8^{\circ}$ до $6,0^{\circ}\text{C}$ свидетельствует о слабом воздействии глубинных тепловых потоков на дневную поверхность. Путем сопоставления этого поля с данными ландшафтного районирования, а также с картиной расположения тектонических нарушений, выделенных по грави- и аэромагнитным данным, установлена *приуроченность тепловых аномалий к элементам гидросети и тектоники*. Такая же связь установлена с лентовидной аномалией радона, обусловленной разуплотненностью разреза. Далее выполнен анализ теплового поля с позиций отражения в нем Зимнего месторождения, позволивший заключить, что его локализация в *исходном* поле тепла затруднительна. Из этого сделан вывод: повсеместное распространение мощной криолитозоны и плотной гидросети в западной части Енисей-Хатангского прогиба деформирует и искажает распределение теплового поля на земной поверхности и тем самым снижает проявленность тектонических нарушений и залежей УВ.

Исходя из положения о том, что конвективный поток тепла, сопряженный с газовыми эманациями, изменяет температуру земной поверхности в тектонически ослабленных зонах сильнее, чем в ненарушенных, была произведена ин-

терпретация данных расчета *плотности экстремумов* поля тепла. В результате локализованы две аномалии. Первая, совпадающая с площадью Зимнего месторождения, позволяет допустить наличие причинно-следственной связи между ними, что служит основанием предположения о перспективности зоны, отвечающей от нее в восточном направлении. Высокие перспективы этой территории неоднократно отмечалась по данным других физико-химических полей, что является дополнительным аргументом в пользу приуроченности повышенной плотности экстремумов теплового поля к залежам УВ. Ореол максимальной высокой плотности экстремумов рассматриваемой аномалии совпадает с местоположением 2-х скважин, являющихся самыми продуктивными на этом месторождении, что в очередной раз указывает на наличие причинно-следственной связи теплового поля с залежами УВ. Вторая аномальная зона приурочена к Семеновскому локальному поднятию, в зимней свите этого поднятия обнаружены притоки газа с водой. Все эти факты позволяют *рассматривать плотность экстремумов теплового поля в качестве поискового критерия залежей УВ.*

4. Прогноз скоплений УВ по данным комплексных аэрогеофизических исследований

Раздельный анализ полей, позволяющий познать особенности геологического строения и выявить ряд прогнозных характеристик изучаемого объекта, для решения задач прогноза недостаточен, поскольку каждый из методов, взятый в отдельности, не защищен от влияния «помех». Поэтому в данной главе представлен способ выделения перспективных на УВ площадей на основе комплексного анализа, с учетом всей совокупности данных, полученных в результате раздельного исследования.

Вначале с целью максимально полной и достоверной локализации зон воздействия залежей УВ на самую верхнюю (поверхностную) часть разреза предложена методика *суммирования плотностей экстремумов*: метана, торий-уранового отношения и теплового поля с предварительным нормированием на стандартное отклонение. Указанная процедура была реализована в рамках ПМО АСОД-«Воздух». Полученное распределение контрастно и рельефно локализовало целостную зону, в пределах которой расположено Зимнее месторождение, с абсолютным максимумом в его контуре. Два других повышения выделены в восточной части площади, они непосредственно примыкают к месторождению. Менее интенсивные аномалии локализованы в южном, западном и северном направлениях от изучаемого объекта.

С целью проверки объективности и корректности такого подхода проведена его апробация на Шугуровской площади (Татарстан), в пределах которой локализованы нефтяные месторождения. При сопоставлении комплексных аномалий с плановым положением залежей УВ установлена пространственная приуроченность их друг к другу и выделена перспективная зона, которую другие исследователи также считают перспективной.

Аналогичная апробация выполнена на Большехетской площади, расположенной в западной части Енисей-Хатангского прогиба в 50-ти км на юг от Зимнего участка. В ее пределах расположено крупное нефтегазоконденсатное месторождение Сузун, а также 5 перспективных структур. В качестве эталона на этом участке выступает указанное месторождение, большая часть которого в поле суммарного показателя характеризуется аномально повышенными значениями. Вдоль западного и восточного склонов Большехетского мегавала локализован ряд линейных аномалий, возможно отражающий положение в толще разреза залежей неструктурного типа. Из этого сделан вывод: *суммарный показатель плотностей экстремумов метана, Th/U, урана, калия и теплового поля информативен при решении задач прогноза не только на газ, но и на нефть.*

На Зимней площади для усиления достоверности прогнозных выводов создана карта, синтезирующая четыре информационных слоя. *Первый* слой – это суммарный показатель плотностей экстремумов метана, Th/U и теплового поля, *второй* – высокочастотная составляющая поля ΔT , *третий* – аномально повышенные концентрации Rn, *четвертый* – локальная составляющая поля ΔG . Из анализа этой карты следует, что площадь месторождения отражается всей совокупностью аномальных геофизических полей, содержащих ряд критериев поиска залежей УВ. Таким же набором отличаются западная, северо-восточная и южная аномальные зоны. Подтверждением перспективности западной зоны служит факт простирания в этом направлении продуктивных пластов малышевской и зимней свит (по данным глубокого бурения). Отсутствие выдержанных по площади аномалий радона в пределах северо-восточной зоны может свидетельствовать о незначительной нарушенности осадочной толщи и не является признаком, уменьшающим ее перспективность. Область пониженных значений локальной составляющей поля ΔG , отражающая разуплотнение в толще разреза, объединяет вышеотмеченные зоны и усиливает их прогнозную значимость. Все это дает основание прогнозировать более широкие площадные размеры Зимнего месторождения, а с учетом особенностей структурного и тектонического строения этой территории – предполагать существование в его пределах более сложного, неструктурного, типа залежей.

В конце главы, на основании литературных источников, дана оценка достоверности сделанных прогнозных выводов. Изучая удачи и неудачи поисков УВ в нефтегазоносных бассейнах Северного, Западного и Центрального Техаса, Сандерс и Томпсон (1987) показали, что, при использовании магнитометрии, морфометрии и радиогеохимии, расчетный уровень успешного прогноза должен составить 42%, что было подтверждено буровыми работами.

В данном исследовании использовались 5 не связанных между собою методов: радиогеохимия, атмогеохимия, магнитометрия, гравиметрия и теплометрия. Допуская вероятность неудачи скважины, пробуренной по данным отдельно взятого метода, равной 0,8, комбинированный шанс успеха будет равен:

$$1.0 - (0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot 0.8) = 0,67 \text{ или } 67\%.$$

Основные выводы комплексного анализа:

- 1) По результатам исследования Зимнее месторождение занимает гораздо большую площадь, чем предполагается по данным сейсмической разведки и глубокого бурения.
- 2) Комплексный подход, основанный на применении многопараметровых геофизических аэрометодов, с учетом конкретной геологической ситуации региона, способен существенно повысить достоверность прогноза и эффективность поисковых работ на нефть и газ в условиях высоких широт Западной Сибири.

Заключение

В заключении сформулированы основные результаты представленной работы:

1. На основании обобщения и анализа данных по применению геофизических методов в различных нефтегазоносных провинциях, а также материалов собственного исследования определены критерии поиска УВ для условий западной части Енисей-Хатангского прогиба, выявляемые с помощью этих методов. С позиций флюидодинамики рассмотрены физико-химические модели залежей УВ, поясняющие причины образования аномалий над ними.
2. Система комплексной интерпретации позволяет эффективно изучать геологическое строение исследуемых территорий и выявлять поисковые критерии, необходимые для прогноза залежей УВ в высоких широтах Западной Сибири.
3. Ни один отдельно взятый метод не гарантирует высокую достоверность прогноза, поэтому с целью повышения его надежности необходимо использовать комплексный подход.
4. Учитывая высокий уровень развития приборостроения в области комплексных аэрометодов, современные методические приемы производства полевых и камеральных работ, а также результаты данного исследования, есть все основания утверждать, что эти методы, уже сегодня, в обязательном порядке необходимо включать в качестве опережающих в единый технологический цикл работ на нефть и газ не только в западной части Енисей-Хатангского прогиба, но и в других нефтегазоперспективных регионах страны.

Зарубежный опыт проведения поисковых работ на УВ подтверждает сделанные выводы об эффективности аэрогеофизических исследований и свидетельствует о том, что такие исследования с каждым годом находят все более широкое применение в различных нефтегазоносных провинциях. При этом соблюдается традиционная *стадийность* подготовки площадей по вводу их в поисковое бурение. Сначала этими «легкими», не требующими больших финансовых затрат, методами на максимально больших территориях, охватывающих региональные геологические структуры, выделяются наиболее перспективные зоны скопления УВ, а затем в их пределах методами сейсмической разведки уточняется структурный план территории, осуществляется прогноз типа ловушек и выбор места заложения поисковых скважин. Достоинствами этих методов

являются: 1) высокая мобильность (исследования обширных и труднодоступных территорий); 2) высокая разрешающая способность аппаратуры (регистрация слабых сигналов); 3) широкий спектр одновременно регистрируемых параметров (всесторонние исследования изучаемых территорий); 4) максимальная совместимость с экологическими требованиями; 5) относительно низкая, в сравнении с другими методами, капиталоемкость и высокая оперативность.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Прогнозно-поисковая эффективность применения комплексной аэрогеофизики и гравиметрии в потенциально золоторудных районах Таймырско-Североземельской провинции. / Сб. науч. труд. Недра Таймыра Вып.3. Норильск, 1999 г. (Соавторы: Альтшулер М.И., Ромашко В.В.).

2. Технология прогнозирования медно-никелевых и благородно-металлических рудных объектов по результатам комплексной аэрогеофизической съемки. / Тезисы докладов регионального совещания 18-23 октября 1999 г., Норильск (Соавтор - Альтшулер М.И.).

3. Предварительные результаты комплексных аэрогеофизических работ на Зимнем газовом месторождении. / Проблемы и пути эффективного освоения минерально-сырьевых ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Материалы юбилейной научно-практической конференции 16.05-18.05.2000 г. Томск (Соавтор - Кирплюк П.В.).

4. Использование радиоактивных элементов как индикаторов в нефтегазопоисковых работах. / Проблемы и пути эффективного освоения минерально-сырьевых ресурсов Сибири и Дальнего Востока. Материалы юбилейной научно-практической конференции 16.05-18.05.2000 г. Томск (Соавторы: Рихванов Л.П., Соболев И.С., D.Qin, Лященко Н.Г.).

5. Использование авиации при геохимических исследованиях в Сибири. Сб. науч. трудов Недр Таймыра. Вып.1, Норильск, 1995 г. (Соавторы: Самойлов А.Г., Шатков В.А., Сидоров И.И. и др.).