Д.М. Трофимов, М.Д. Каргер,
М.К. Шуваева

Методы дистанционного зондирования при разведке и разработке месторождений нефти и газа

Инфра-Инженерия
Москва
2015

УДК 622.323.002.5
ББК 33.131я73
М54

Трофимов Д.М., Каргер М.Д., Шуваева М.К.
М54 Методы дистанционного зондирования при разведке и разработке месторождений нефти и газа. – М.:Инфра-Инженерия, 2015. – 80 с.

ISBN 978-5-9729-0090-9

Рассмотрены современные методы дистанционного зондирования, существенно обогащающие традиционный информационный комплекс работ при разведке и разработке месторождений нефти и газа. Они способствуют повышению полноты извлекаемости углеводородов и представлены тремя видами съемок: многоспектральной, инфракрасной и радиолокационной. Каждая из них решает специализированную задачу. Первая выявляет зоны аномального просачивания углеводородов, вторая фиксирует повышенный тепловой поток, вызванный активными флюидо-термодинамическими процессами в залежах, а третья дает оценку динамического состояния резервуара и воздействия на него современных тектонических движений. Приводятся примеры практического использования дистанционных методов в комплексе работ по освоению месторождений нефти и газа в Тимано-Печорском, Западно-Сибирском и Сибирском нефтегазоносных бассейнах.

Книга предназначена для специалистов в области разведки и разработки месторождений нефти и газа, руководителей высшего и среднего звена нефтяных и газовых компаний, а также студентов и аспирантов высших учебных заведений нефтегазового профиля.

© Трофимов Д.М., Каргер М.Д., Шуваева М.К., 2015
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2015

ISBN 978-5-9729-0090-9

Введение

Нарастающие проблемы в нефтегазовой промышленности обусловлены многими факторами, основными из которых являются [1]:

- поздняя стадия разработки основных объектов нефтедобычи, характеризующаяся значительной выработанностью и обводненностью залежей углеводородов;
- снижение темпов роста добычи нефти и ее превышение относительно прироста запасов, ухудшение их структуры;
- прирост запасов в основном за счет доразведки и переоценки старых месторождений, открытие мелких залежей;

Ввод новых запасов, особенно в отдаленных регионах напрямую зависит от крупных инвестиций в геологоразведочные работы. В этих условиях особенно актуальным является внедрение инновационных малозатратных методов.

К числу таковых принадлежат методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), методика применения которых была разработана и апробирована много лет назад в аналоговом виде [2], а в настоящее время уже отработана в цифровой форме [3,4]. Эти методы уже давно используются за рубежом и применяются многими специализированными сервисными компаниями.

В нашей стране применение дистанционного зондирования при прогнозе нефтегазоносности ограничено, хотя известны примеры открытия месторождений нефти и газа с их участием в Тимано-Печорской, Западно-Сибирской и Сибирской провинциях [4]. Эта ситуация вопреки возможности получения экономического эффекта от использования данного метода не находит своего разрешения и объясняется в основном следующими причинами:

- психологическим недоверием к неизвестным методам, которые только в последние годы были введены в учебные планы некоторых вузов (МГУ, МГРУ, РГУНГ и др.);
- психологической сложностью смены устоявшейся технологии геологоразведочных работ, не прописываемой в лицензионных соглашениях;
- дезавуированием метода малокомпетентными специалистами, так как в СССР и России до последнего времени не было специализированной подготовки по данной дисциплине и фактически они являлись самоучками;
- наличием устойчивых коррупционных связей определенного уровня заказчиков

и исполнителей, выражающихся в предопределенности конкурсов и тендеров;

- отсутствием понимания и интереса у специалистов агентства «Роснедра» к внедрению методов дистанционного зондирования, не включающих их в практику поисковых работ на лицензионных участках.

В ряде случаев имеет место сочетание вышеуказанных причин. Итогом сложившейся ситуации является не только техническое отставание в использовании новейших технологий, но и упущенный экономический эффект.

Наука и практика, как живой организм, постоянно развиваются, не только углубляя и модернизируя уже используемые технологии, но и внедряя в производство принципиально новые методы исследований. Для нефтегазовой геологии – это появление дистанционного зондирования. Оно представляет собой комплекс взаимосвязанных методов исследований Земли, физически увязанных системой медленно и постоянно протекающих энергетических процессов. Они объединяют новейшую и современную микроамплитудную подвижность земной коры, деформирующую ловушки углеводородов, сопровождающуюся тепломассопереносом и миграцией нефти и газа к земной поверхности. Эти слабо отражающиеся на земной поверхности процессы не заметны глазу человека. Они регистрируются радиолокационной, многоспектральной и инфракрасной съемками, интерпретируются с целью прогноза ловушек углеводородов и оценки их нефтегазоносности совместно с геолого-геофизическими данными.

Предлагаемый комплекс работ с более разнообразными современными высокотехнологичными техническими средствами с максимальной полнотой фиксируют физически разные, ранее не изучавшиеся, но связанные между собой процессы в осадочном чехле. Они отражают переформирование ловушек и скоплений углеводородов, а также регистрирует их пространственное положение. При этом методы дистанционного зондирования используются и могут быть использованы для построения детальных структурных и структурно – тектонофизических карт резервуаров, карт мониторинга движения флюидов, и в комплексе с сейсморазведкой и бурением – при построении трехмерных фильтрационных моделей.

Технологии дистанционного зондирования базируются на новейших научных достижениях во многих областях и способны также решать ряд фундаментальных и прикладных проблем [4,5,6]:

- изучение с помощью радиолокационной интерферометрии геомеханических процессов, определяющих современную подвижность структур и разрывных нарушений осадочного чехла и влияющих на структуру резервуара, а соответственно на эффективность разработки месторождений нефти и газа [7,8];

- изучение и анализ термодинамических процессов с использованием тепловой инфракрасной съемки, влияющих на миграцию углеводородов к земной поверхности и вызывающих заражение почвенного и растительного покровов [9];

- изучение с помощью много- и гиперспектральных съемок биогеохимических факторов, определяющих изменение спектральных характеристик почвенно-растительного покрова под воздействием углеводородов [10,11].

В конечном счете эти технологии играют особенно важную роль как в изучении и обосновании ресурсной базы особенно слабо- и неизученных участков недр, так и освоении месторождений нефти и газа. Эти проблемы, как раньше, так и сейчас решались по данным бурения и сейсморазведки в условиях относительно низкой плотности дискретных геологических данных на уровне продуктивных толщ. Верхняя часть осадочного чехла, несущая большой объем геологической информации, оставалась неизученной. Традиционно имел место дефицит геологической информации, что сказывалось на величине коэффициента извлечения как нефти , так и газа. В настоящее время с помощью дистанционных методов представляется возможным решать эти проблемы и сверху вниз, обеспечивая более полное их решение в комплексе геолого-разведочных работ.

Предлагаемая читателям публикация основана на многолетних, экспериментальных, опытно-методических и практических исследованиях по использованию методов дистанционного зондирования в комплексе геолого-разведочных работ на нефть и газ и впервые показывает результативность их применения при разведке и разработке месторождений нефти и газа. Она сознательно дана в сжатом виде для ее упрощенного и ускоренного восприятия.

Основной целью, стоявшей перед авторами, являлась необходимость привлечения внимания специалистов к целесообразности и эффективности применения дистанционных методов при разведке и разработке месторождений углеводородов, а также желание снять накопленные в течение многих лет сомнения, по мере возможности развеять недоверие ряда специалистов нефтяной и газовой промышленности, разъяснить неясные вопросы в отношении физических основ методов дистанционного зондирования.

Необходимо подчеркнуть, что положительные результаты работ могут быть получены только при использовании современных специализированных программных продуктов для обработки и геологической интерпретации всего комплекса работ высококвалифицированными специалистами в области ДЗЗ и нефтегазовой геологии.

Авторы выражают глубокую благодарность Л.Б. Берману за помощь в работе и предоставленные материалы, а также А.В. Емельяновой, И.Н. Поташовой и С.А. Сидоровой за содействие в оформлении текста и рисунков. Данная работа подготовлена и опубликована сервисной компанией «Ресенойл».

I. Физические основы методов дистанционного зондирования и изучаемых геологических процессов

Физические основы дистанционного зондирования базируются на регистрации количественных данных отраженного, преломленного и эмиссионного излучения от земной поверхности, получаемых с авиационных или космических носителей аппаратуры. Информация по каждому методу сбрасывается по радиоканалам на приемные станции и после предварительной обработки может оперативно поступать к заказчику, которому также доступен огромный объем архивных данных по любому участку Земли. Эти данные представлены спектральными показателями, величинами теплового излучения Земли и регистрируемыми изменениями высотных отметок рельефа любого из исследуемых участков.

I.1. Физические основы методов дистанционного зондирования и возможности их использования при разведке и разработке месторождений нефти и газа

Современные дистанционные методы съемок из космоса позволяют проводить различные виды картирования земных покровов и протекающих процессов (геологическую, структурную, тектонофизическую, экологическую, геотермальную и др.), магнитную съемку крупных коровых объектов и измерения аномалий силы тяжести или геопотенциала с точностью до 1 мгал. Эти данные обеспечивают получение гигантского объема информации в цифровой форме в реальном масштабе времени.

Масштаб и точность принимаемой информации определяется величиной отражающей площадки (пикселом), соответствующей разрешающей способности на местности [12]. Современные возможности съемок из космоса обеспечивают разрешение на местности не меньшее, чем при аэросъемке в диапазоне от нескольких десятков сантиметров до сотни метров в виде непрерывного поля данных, что предопределяет решение широкого круга разномасштабных геологических задач. При этом представляется возможным получение информации в необходимое время и с определенной периодичностью, а также прослеживать ее изменение за выбираемый исполнителем диапазон времени. Эта специфика дистанционного зондирования обеспечивает уникальный инструментарий для изучения современного состояния поверхности Земли и протекающих процессов в осадочном чехле.

Второй уникальной особенностью рассматриваемых методов является использо-

вание широкого диапазона электромагнитного излучения – от ультрафиолетового до сверхвысокочастотного (радиоволнового) в широких интегрированных зонах, минимально дробных (от микро- до нанометров) и синтезированном виде, объединяющем различные виды съемок. Это позволяет максимально чутко фиксировать малейшие изменения спектральных характеристик земных покровов, обусловленных воздействием геологических, геохимических, гидрогеологических и геотермальных процессов в осадочном чехле.

Исходя из технической специфики регистрации разных диапазонов спектра выделяют съемки в видимом, инфракрасном тепловом и радиодиапазонах, которые могут представляться в виде широкой интегрированной зоны видимой области (как при фотографической съемке), так и более дробных, получаемых много- и гиперспектральными съемками [6]. Они дают возможность одновременного получения многообразной спектральной информации о земной поверхности по всем каналам видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

В гумидных областях растительность является основным и наиболее чутким индикатором геолого – гидрохимических процессов. Спектральные характеристики растений или яркости отражают их цветность, не воспринимаемую глазом человека. Они определяются, в основном, способностью листвы отражать, поглощать или пропускать солнечное излучение. Эти показатели зависят от длины волны, атмосферных условий, возможностей техники и корректируются в процессе обработки данных.

Согласно теории инфракрасного излучения этот диапазон длины волн делится на три зоны: ближнюю, среднюю и дальнюю. Последняя представляет наибольший интерес для изучения собственного излучения Земли, различных геологических объектов и месторождений углеводородов. Фиксируемый сигнал в дальнем инфракрасном или тепловом диапазоне представлен радиационными температурами, отражающими собственное излучение Земли, или, с учетом наземных измерений, градусами по шкале Цельсия. Он регистрируется современной дистанционной техникой и анализируется относительно фоновых значений при изучении месторождений углеводородов, что позволяет выявлять связанные с ними аномалии.

Радиолокационная съемка осуществляется на основе регистрации приемником радиоотражений излучаемых сигналов, направленных с самолета или спутника. Физические параметры радиолокационной аппаратуры характеризуются частотой, поляризацией и углом облучения. Частота энергетических импульсов достигает 1500 в секунду по каждому объекту. Он облучается более 1000 раз при проходах спутника. Все отраженные сигналы фиксируются по времени, фазе и интенсивности сигнала от земной поверхности. Наряду с другими параметрами, интенсивность определяется структурной скульптурностью рельефа. Извлечение наиболее полной информации от отражающего слоя, которым является земная поверхность, возможно при использовании нескольких информационных каналов в разных диапазонах электромагнитного спектра, различающихся параметрами зондирующих сигналов и поляризацией. То есть современные радиолокационные системы характеризуются съемками в разных диапазонах или многоканальностью [13].

Радиолокационная съемка с интерферометрической обработкой представляет собой инструмент для измерений рельефа и динамики подвижности земной поверхности. Она основана на точном определении координат, фиксируемых при отражении от каждого элемента изучаемого объекта за разные периоды времени при проходах спутника в интервале от 16 до 30 дней. Современная аппаратура обеспечивает субсантиметровую точность амплитудных колебаний и решение двух основных задач:

- измерение структуры рельефа и его динамики, то есть определение современной активности геологических объектов на земной поверхности за необходимый интервал времени;
- изучение свойств земной поверхности при поляриметрической обработке.

Важнейшим преимуществом радиолокационной съемки по сравнению со съемками в оптическом и инфракрасном диапазонах является ее всепогодность и возможность уменьшения экранирующего воздействия растительного покрова.

В условиях получения гигантского объема разнородной информации объективность решения конкретной задачи определяется ее четкой постановкой с учетом необходимого объема знаний, как по используемому методу съемки, так и по поверхностной оболочке (ландшафту) изучаемого объекта и его эволюции за рельефообразующий период. То есть, при геологической интерпретации комплекса дистанционных материалов осуществляется тематическая фильтрация данных, характеризующих геологические объекты.

I.2. Физические процессы в земной коре, определяющие возможность выявления структурных форм осадочного чехла дистанционными методами

Дистанционные методы благодаря высокому пространственному и спектральному разрешению дают возможность с высокой точностью диагностировать и картировать процессы, медленно и с небольшой амплитудой протекающие на земной поверхности: ее деформации и их направленность, тепловой поток и отражательные свойства поверхностных образований (горных пород, почв и растительности). Эти фиксируемые новейшие и современные процессы порождаются в основном комплексом эндогенных сил (внутриплитными напряжениями, расширением радиуса Земли величиной до 2 см/год, сменой полей напряжения и др.) и в меньшей степени внешним воздействием (ротацией и солнечно-лунными приливами). Они активизируют микро- и малоамплитудную подвижность структурных, вещественных и структурно-вещественных неоднородностей фундамента и осадочного чехла, которая регистрируется на земной поверхности в основном за счет вертикальной составляющей эндогенного воздействия.

Вертикальные движения земной поверхности на платформах по данным многих специалистов для неотектонического этапа оцениваются от 2 до 3,5 см/год, а для настоящего времени по результатам инструментальных наблюдений от 1 до 2,5 см/год в зависимости от геотектонического положения [14]. Это величина осредненных региональных движений, на фоне которых отмечается локальная подвижность структур-

а)

б)

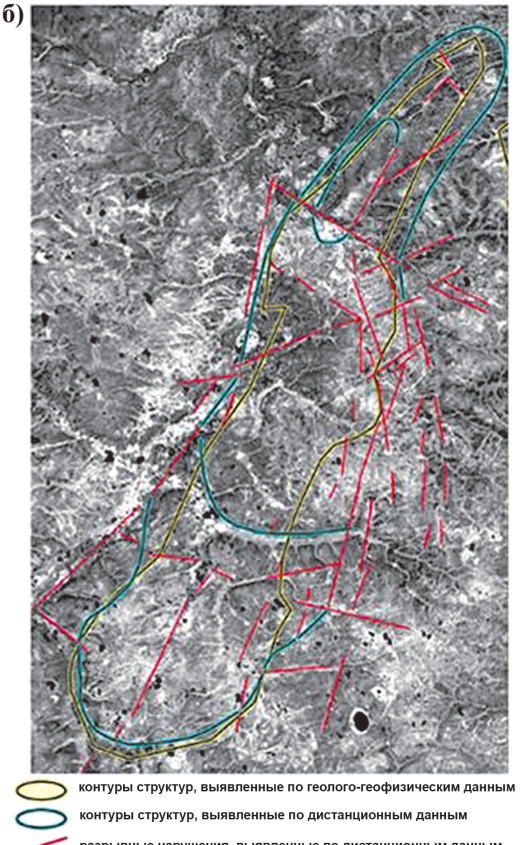


Рис.1. **Схемы проявления локальных поднятий и осложняющей их тектонической мегатрещиноватости на аэро (а) и космическом (б) снимках геологически открытых и закрытых регионов.**

а) Жилянская структура (Актюбинское Приуралье)

б) Среднеботуобинское поднятие (Восточная Сибирь).

ных ловушек, устанавливаемая по данным радиолокационных съемок [5].

Длительное увеличение радиуса Земли вызывает растяжение верхней оболочки, что приводит к открытию ослабленных зон чехла и фундамента, связанных с разрывными нарушениями, и препарированию различного типа неоднородностей под воздействием эрозионных и гидрогеологических факторов. Это было доказано экспериментальными дистанционными и сейсморазведочными работами на нефтегазовых месторождениях Тимано-Печорского бассейна. Они позволили установить, что 60-70% ослабленных зон или нарушений, выявленных по космическим данным, с наибольшей отчетливостью фиксируются сейсморазведкой в верхней части осадочного чехла до глубин 500-1000 м, где уменьшается степень всестороннего сжатия.

Вертикальные движения вызывают усиление на уровне фона локально ограниченных эрозионных процессов в виде плоскостного смыва, препарирующего в своде поднятия более древние отложения, или уменьшения мощности покровных осадков (рис.1). Положительные движения приводят к формированию закономерной системы эрозионной сети, наследующей ранее сформировавшуюся трещиноватость вследствие воздымания локальных поднятий. Эти процессы активизируются при скорости локальных вертикальных движений, превышающей региональные движения. Сочетание индивидуальной подвижности поднятия и препарирующих эрозионных процессов приводят к проявлению на земной поверхности его структурно-деформационного образа через геоморфологические признаки, которые распознаются только на высокоразрешающих снимках.

Дополнительными признаками растущего на современном этапе поднятия являются особенности растительного покрова, проявляющиеся в том числе за счет изменения водного баланса, питания и освещенности, что фиксируется по данным многоспектральных съемок. Значимость гидрогеологического фактора в локализации поднятий определяется их направленным вертикальным движением, вызывающим изменение уровня грунтовых вод, разгрузка которых производится по разрывным нарушениям. Регистрация этого явления на уровне фона возможна при благоприятных условиях (ослабленного воздействия маскирующей растительности) и осуществляется с помощью тепловой инфракрасной съемки, фиксирующей слабые положительные тепловые аномалии, обусловленные меньшей обводненностью, или отрицательные - при разгрузке по разрывам.

Наиболее убедительной является статистическая связь локальных поднятий, установленных по геофизическим и дистанционным данным по Тимано-Печорскому, Западно-Сибирскому, Восточно-Сибирскому и другим нефтегазоносным бассейнам [15].

Основным объектом изучения геолого – разведочных работ является антиклинальная ловушка, представляющая собой поднятие в осадочном чехле, которое может содержать залежь углеводородов. Она представляет собой структурную неоднородность в чехле, часто отражающуюся в литологическом составе пород, и возможно в фундаменте. Эта неоднородность в условиях всестороннего сжатия, периодической смены полей напряжения и современного расширения радиуса земного шара (2 см/

год по данным НАСА) сохраняет свою форму и активность. Подобного типа ловушки формируются при преобладающей вертикальной составляющей тектонических движений, надежнее устанавливаемых дистанционными методами.

Эти неоднородности, заложенные на каком-то из геотектонических этапов, продолжают существовать в ходе геологической истории, часто вплоть до настоящего времени, представляя собой матрицу осадочного чехла. Она под воздействием мало- и микроамплитудных движений и палеоэрозионных процессов во времени видоизменяет свой морфологический облик, сохраняя свое пространственное положение на платформах, несколько смещаясь в складчатых областях.

Степень отражения структурных форм чехла на дистанционных материалах зависит от соотношения скоростей региональных и локальных вертикальных движений. Вследствие воздействия этих факторов и длительных периодических и знакопеременных микроамплитудных подвижек первичный структурно-деформационный образ поднятия находит аномалийное отражение в рельефе земной поверхности, формируя его геоморфологическую (ландшафтную) и цифровую модель рельефа, картируемую дистанционными методами (рис.2).

Показатели сходимости моделей, устанавливаемых методами, имеющими существенно различающиеся физические основы и соответственно разную глубинность, находятся в интервале от 60 до 90% при выборке около 1000 объектов [16]. Эти данные свидетельствуют о том, что большинство локальных поднятий, заложенных на разных геотектонических этапах, отражаются на земной поверхности под воздей-

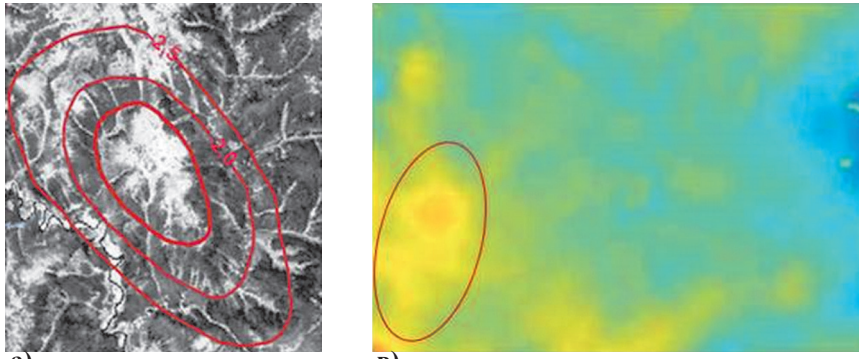
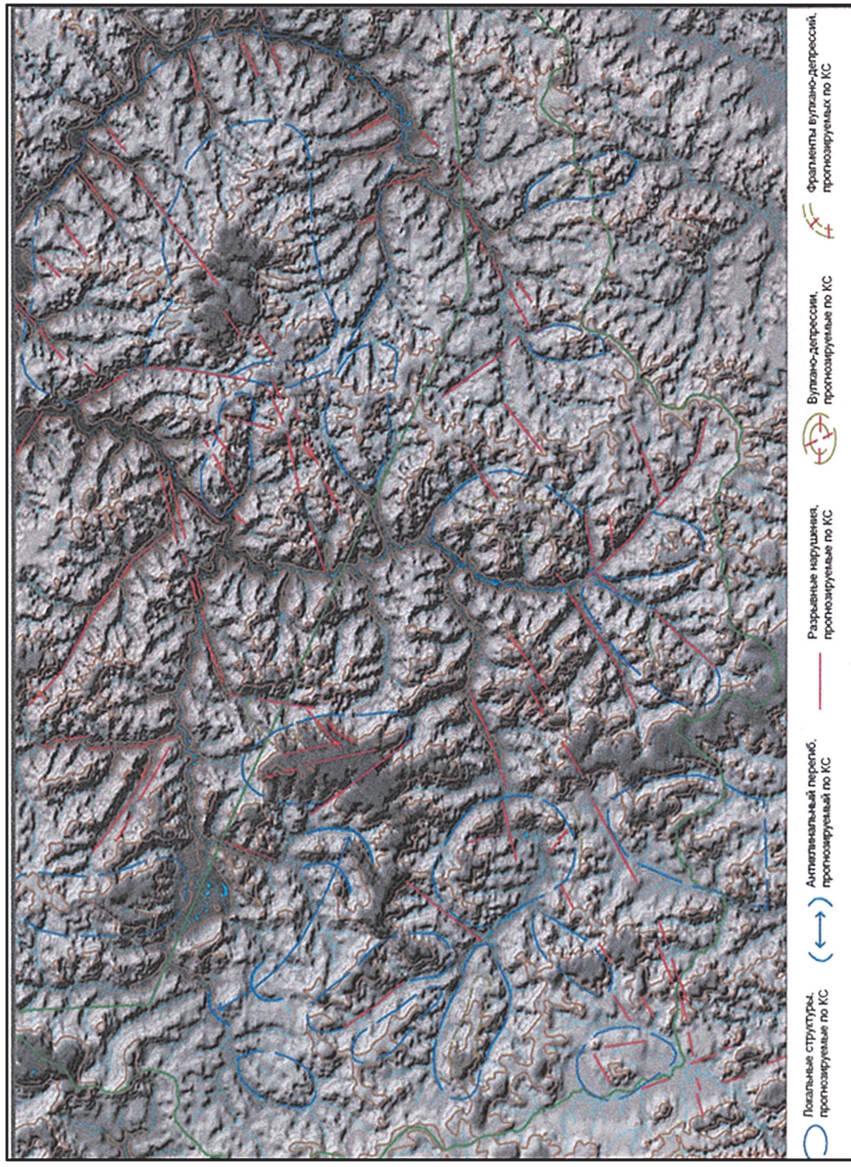


Рис.2. **Ландшафтная (а), трехмерная (б) и цифровая (в) модели локальных поднятий.**
а) Локальное поднятие с геоморфологическими признакам (Тимано-Печорский бассейн).
б) Трехмерная модель поднятия, полученная по снимкам спутника Terra (Aster) Камовского свода Сибирского бассейна.
в) Цифровая модель рельефа нефтяного месторождения в Западной Сибири в условных цветах (по Д.Б. Никольскому).


Локальные структуры, прогнозируемые по КС
Антиклинальный перегиб, прогнозируемый по КС
Разрывные нарушения, прогнозируемые по КС
Вулкано-депрессии, прогнозируемые по КС
Фрагменты вулкано-депрессий, прогнозируемых по КС

б)

ствием преобладающих положительных вертикальных движений. Их регистрация стала возможной с появлением высокоразрешающих космических снимков, фиксирующих и измеряющих современную региональную и локальную микроамплитудную подвижность земной коры, влияющую на гидротермодинамический режим осадочного чехла и отдельных структур.

Другой вид неоднородности связан с разрывными нарушениями, представляющими собой ослабленные зоны в фундаменте и осадочном чехле. Они с некоторой периодичностью активизируются и подновляются под воздействием тектонических движений, внутриплитных разрядок и возможно внешнего воздействия (ротационных и других сил).

На этапах разведки и разработки задачей дистанционных методов является прогнозирование внутренней структуры месторождений. Иными словами - прогноз и картирование структурных неоднородностей: разрывных нарушений и разноразмерных блоков, а также связанных с ними литолого – фациальных особенностей. В связи с ограниченными возможностями геофизических методов при выделении современно активных мало – и микроамплитудных нарушений, принебрежением ими или нежеланием их замечать, встает вопрос о необходимости картирования тонкой структуры резервуаров, осложненной данными нарушениями. Это в дальнейшем отражается при построении фильтрационной модели, а в конечном счете – на полноте извлекаемости запасов углеводородов и осложнении системы разработки.

В современной постоянно проявляющейся геодинамической активности изменения полей напряжения и разного вида воздействий разрывные нарушения меняют свою проницаемость, которая не может не сказываться на фильтрационно-емкостных свойствах резервуара. Кроме того, даже небольшие подвижки по нарушениям с разными кинематическими характеристиками и по разделяемым ими блокам оказывают гидродинамическое влияние на флюидно-газовую систему продуктивного комплекса. Исходя из этого, целесообразность изучения медленно протекающих микро- и малоамплитудных процессов, имеет не только практическую, но и теоретическую значимость для более глубокого познания временных интервалов формирования ловушек и залежей углеводородов.

I.3. Физические процессы в осадочном чехле, определяющие возможность прогноза скоплений углеводородов дистанционными методами.

Предпосылкой прогноза нефтегазоносности локальных структур является их подвижность и активные осложняющие тектонические нарушения. Это явление вызывает нарушение флюидно-газовой среды в осадочном чехле и влияет на активизацию процессов тепломассопереноса. Они приводят к перемещению вверх по разрезу флюидов, переносящих нефть и газ. Скорость вертикальной фильтрации подземных вод определяется разностью давлений, изменяющихся при воздымании структур, появлении сквозных нарушений и физическими свойствами пород. Этот процесс сопровождается эндо- и экотермическими реакциями в осадочном чехле и на земной

поверхности, влияющими на деструкцию нефтей, эпигенетические изменения пород, адиабатическую компрессию газов и др. Подобные реакции вызывают проявление на земной поверхности геотермальных, гидрохимических, биохимических и геохимических аномалий, используемых в качестве поисковых признаков нефти и газа. Их результатом являются диагностируемые минералогические изменения почв и приповерхностных пород. Они в свою очередь, являясь основным источником питания растений, вызывают изменение их отражательных свойств за счет регенерации хлорофиллов и каротиноидов, фиксирующихся в определенных узких диапазонах спектра и не заметных глазу человека.

Прогнозирование нефтегазоносности локальных поднятий было обосновано экспериментальными и опытно-методическими работами, установившими:

- воздействие нефтей на почвенно-растительный покров и определенный диапазон спектра, в котором фиксируются изменения спектральных характеристик при специализированной тематической обработке многоканальных снимков [9];

- наличие легких газов в почве и пространственной корреляции между их аномалийными концентрациями и спектральными аномалиями над газовыми месторождениями [4];

- возможность картирования следов углеводородов в почвенно-растительном покрове и их пространственную связь со структурными ловушками [17].

Возможность решения задачи прогноза нефтегазоносности стала реальной с появлением высокоразрешающих много- и гиперспектральных съемок со спутников Landsat, Aster, Gipparion и др., способных регистрировать незаметную глазу человека реакцию почв и растительности на углеводородное заражение.

Определение воздействия нефти на растительный покров изучалось экспериментальным путем с помощью анализа связей ее концентрации в почве и геоботаническими изменениями растительности, а также построением натурной модели нефтяного месторождения и его спектрометрической съемки.

Полученные авторами и другими специалистами результаты показали, что отмечается определенная связь между просачиваниями нефти, мигрирующими к земной поверхности газами и изменениями спектральных характеристик растительного покрова [10]. Эти данные явились обоснованием для использования много- и гиперспектральных съемок для оценки перспектив нефтегазоносности.

Кроме того, полученные статистические показатели по Западно-Сибирскому нефтегазоносному бассейну показывают, что поднятия, активные на рельефообразующем этапе (включает неотектонический и современный периоды времени) и выявленные дистанционными методами, пространственно связаны с 85% месторождений нефти и газа [16].

Приведенные данные свидетельствуют о наличии между активными локальными поднятиями и залежами углеводородов пространственной связи, объясняемой эффектом их длительной индивидуальной подвижности во времени с сопутствующими ей физико - химическими процессами в осадочном чехле. Они определяют формирование месторождений нефти и газа, оставляя следы на земной поверхности, рас-

познаваемые с помощью комплекса высокоразрешающих методов дистанционного зондирования.

Значимость получаемых данных при разведке и разработке месторождений углеводородов дает возможность картировать аномалийные проявления углеводородов, что может свидетельствовать о разгрузке резервуаров и особенностях их гидродинамических режимов.

II. Решаемые геологические задачи и используемые виды дистанционного зондирования при разведке и разработке месторождений нефти и газа

Еще 20-25 лет назад нельзя было представить, что съемки из космоса с высот сотен киллометров можно будет практически использовать даже на поисковом этапе работ, а в настоящее время они уже внедряются при разведке и разработке месторождений нефти и газа. Этой проблеме и посвящается данная публикация. Ее целью является, в условиях сложившейся традиционной методики работ, повышение извлекаемости углеводородов. Эта цель реализуется путем решения следующих задач:

- выявления детальной структуры резервуара и его осложненности микро- и малоамплитудными разрывными нарушениями различных кинематических типов, которые не всегда и однозначно устанавливаются сейсморазведкой;
- оценки их значимости и влияния на фильтрационные свойства резервуаров;
- выявления причин и возможностей ускоренного обводнения;
- оценки направленности и распространения заводнения, а также его мониторинг.

Эти задачи решались в процессе работ при разработке нефтяных и газовых месторождений: Ловинского, Тобой-Мядсейского, Баяндыского, Ямбургского и других, а также в процессе специализированного мониторинга эксплуатации подземного газового хранилища Карадаг. Они реализовывались с помощью трех видов съемок:

- радиолокационной съемки и ее специализированной интерферометрической обработки, позволяющей выявлять подвижные мало- и микроамплитудные разрывные нарушения и блоки;
- тепловой инфракрасной съемки, фиксирующей разгрузку глубинного теплового потока и флюидов, поступающих по сквозным нарушениям и являющимися каналами связи между продуктивными горизонтами и земной поверхностью;
- многоспектральной съемки, позволяющей устанавливать длительно действующие каналы, вдоль которых регистрируются следы мигрирующих к земной поверхности углеводородов.

Так как каждый вид исследований не имеет однозначных доказательств достовер-

ности получаемых результатов, то их комплексирование и оценка коррелируемости комплекса интерпретируемых данных существенно повышает достоверность прогноза и результативность работ. При этом особую значимость имеют мало- и микроамплитудные подвижки новейшего и современного этапов развития, остающихся иногда вне разрешающих возможностей геофизических методов.

II.1. К истории изучения воздействия новейших и современных тектонических движений на добычу углеводородов

Необходимость оценки воздействия новейших и современных движений определяется несколькими основными факторами. Стала реальностью возможность производить оценку современных микроамплитудных движений на больших площадях в различные периоды времени. Интерес к этим исследованиям в мире постоянно растет с увеличением количества публикаций [21-32]. Кроме того, по мнению ряда специалистов они увязываются с молодым возрастом формирования залежей нефти и газа [22,23]. В связи с микро- и малоамплитудной подвижностью структур за рассматриваемый период времени необходимо оценить современный уровень представлений по воздействию тектонических движений на нефтегазоносность.

В соответствии с первым фактором можно предполагать, что за период времени между образованием ловушек и скоплений нефти и газа первые могли быть существенно переформированы под воздействием постоянно действующих тектонических движений, размах которых в течение разновременных интервалов геологической истории как бы уменьшался. Использование карт новейших движений не позволяло достоверно оценить их амплитуду, так как эти карты строились по малопригодным для решения данной задачи топокартам. То есть, даже наиболее амплитудные ловушки, фиксируемые сейсморазведкой, постоянно претерпевали существенные изменения. Надо иметь ввиду, что комплекс отложений, отвечающих рельефообразующему или неотектоническому этапу не может быть детально определен, чтобы оценить степень воздействия на поисковые объекты за эти огромные периоды времени.

Наиболее полезные и обстоятельные работы по рассматриваемой тематике были опубликованы в 90-х годах В.А. Сидоровым, Ю.О. Кузьминым и их соавторами [24-26]. В них рассматривались не только тектоническое или геодинамическое влияние, в частности сейсмогенное, но и внешние факторы, сказывающиеся на колебаниях уровней флюидов и дебитах скважин. Измерительной основой являлись высокоточные геодезические измерения на различных полигонах, в том числе и на нефтегазоносных территориях. Они позволили перейти к оценке современных микроамплитудных подвижек по дискретной системе профилей за определенные периоды времени. В условиях относительно небольших полигонов и межпрофильной интерполяции данных пространственное представление о воздействии современных тектонических движений получается не совсем объективным. Необходимо иметь в виду, что интервалы между съемками являются длительными, а работы высокозатратными.

Главным выводом из проведенных работ является установление факта микроамплитудного характера современных вертикальных движений. Было установлено, что скорость движений разрывных дислокаций существенно превышает средние смещения земной поверхности. С помощью различных геоморфолого-геодезических методов стало возможным определять тенденции унаследованных положительных и отрицательных вертикальных движений для крупных регионов.

Особенный интерес представляют результаты работ Ю.О. Кузьмина [24], установившего закономерности подвижек по крупным современно активным разломам сейсмических и асейсмичных областей, с большей амплитудой в пределах последних. Им были выявлены интенсивные локальные аномалии вертикальных и горизонтальных движений с амплитудой до 55 мм/год, являющиеся короткопериодичными (0,1 – 1 год) и обладающие пульсационно-знакопеременной направленностью. Они пространственно локализованы в диапазоне 0,1 – 1,0 км., характеризуются дифференцированной подвижностью и преобладающей приуроченностью к просадкам земной поверхности.

Итогом работ было установление общерегиональных новейших и современных движений, а также подвижность земной коры по крупным разрывным нарушениям. Связь этих смещений с нефтегазоносностью отдельных ловушек или месторождений углеводородов осталась неясной в связи с разным масштабом изучаемых явлений.

С целью изучения режима работы современно активных разрывных нарушений проводились детальные исследования с использованием GPS геодезического класса [27]. Они характеризуются следующими параметрами:

- амплитудой горизонтальных и вертикальных движений в интервале 35-40 мм/год, при максимуме последних до 100 мм.;
- знакопеременностью подвижек;
- определенными частотными характеристиками в широком спектре;
- гармониками с продолжительностью периодов в среднем от 30 до 60 мин.

Эти данные численно характеризуют современную активность разрывных нарушений, проявления которых, по – видимому, обусловлены сменой полей напряжения и постепенным разрушением ослабленных зон, активно промываемых поверхностными водами. То есть, постоянные дислокационные процессы, генерируемые подвижками блоков земной коры, находят четкое отражение на земной поверхности и позволяют прогнозировать сквозные каналы.

Возможность изучать и проводить мониторинг пространственно-геодинамических процессов на месторождениях углеводородов и подземных хранилищах газа возникла только с появлением высокоразрешающих радиолокационных методов.

II.2. Перспективы использования радиолокационных съемок при разведке и разработке месторождений нефти и газа

Данный вид съемки характеризуется наиболее активным развитием, расширяющимся в последние годы использованием в различных областях науки и практике работ, но крайне редко применяемым в нефтегазовой геологии.Уникальность радиолокационной съемки заключается в высочайшей точности измерений структуры рельефа земной поверхности (с помощью построения цифровой модели рельефа) и ее современной динамики за определенные периоды времени. Другими словами – изучение проявлений трехмерной микроамплитудной подвижности геологических объектов позволяет оценить их современную дифференцированную геодинамическую активность [13].

Как известно, тектонические движения, в том числе и современные, определяют процессы в земной коре, как механические, трансформирующие ловушки углеводородов, так и флюидотермодинамические, оказывающие воздействие на тепломассоперенос, влияющий на переформирование залежей нефти и газа.

Основные результаты, полученные благодаря использованию радиолокационной интерферометрии, сводились к изучению проседания земной поверхности над разрабатываемыми месторождениями нефти и газа [26-32], вспучиванию поверхности вследствие подземной газификации битуминозных песков и оседанию при активном отборе подземных вод и других полезных ископаемых. Приведенные примеры, в основном, показывали возможности регистрации техногенных движений, то есть установления свершившихся явлений. Однако возможности рассмотренных методов намного шире - от получения новой научной информации до прогнозирования геологических событий в нефтегазовой области и их мониторинга в процессе разработки месторождений углеводородов и эксплуатации подземных хранилищ газа.

Геологические возможности радиолокационных съемок, оцененные по результатам опытно-методических работ, позволяют использовать их при решении следующих задач:

- выделении современно активных разрывных нарушений со свойственной им кинематикой, так как с ними связаны каналы или барьеры в резервуарах;
- выявление делимости ловушек углеводородов на блоки мало- и микроамплитудными нарушениями, не всегда фиксируемыми сейсморазведкой;
- оценке воздействия тектонических и техногенных подвижек на резервуары и мониторинге этих явлений.

Выявление делимости ловушек углеводородов и их резервуаров, не всегда находящих отражения на детальных структурных картах, проводилось по радиолокационным и дублировалось по многоспектральным снимкам. С одной стороны осуществлялась их взаимопроверка, а с другой использовалась переинтерпретация геофизических и буровых материалов. Для выявления мало- и микроамплитудных нарушений сейсморазведка при стандартной обработке мало эффективна, что приве-

ло к появлению термина «внесейсмические нарушения», а данные бурения при небольшом количестве скважин также могут не дать определенного ответа.

В этих условиях априори принимается схема делимости резервуара по дистанционной информации с последующим комплексным анализом всех накопленных геолого-геофизических данных. Другой вариант – использование радиолокационной и многоспектральной съемок для оценки кинематических особенностей разрывных нарушений с последующей проверкой данными бурения (рис. 3).

Опыт работ по ряду месторождений показывает, что к категории не всегда устанавливаемых сейсморазведкой нарушений относятся чаще сдвиги, секущие поперек или диагонально структуры (рис. 3,4).

Определение дифференцированных подвижек блоков, разделяемых нарушениями и осложняющих ловушки углеводородов осуществляется с помощью многопроходной радиолокационной интерферометрии за выбранные периоды времени (месяцы или годы). Так как современные движения имеют субсантиметровую амплитуду в вертикальном направлении, то их знак для лучшего восприятия цветокодируется в миллиметровой шкале (рис. 5).

Необходимо подчеркнуть, что для регионов испытывающих поднятия, дифференцированность проявляется слабее, чем для стабильных или опускающихся территорий. В качестве дополнительной информации при оценке знака вертикальных движений используются детальные снимки, на которых определяется кинематика разрывных нарушений, разделяющих выявленные блоки.

Построенная схема делимости ловушки на уровне земной поверхности проектируется на резервуар и проверяется в процессе разведки и опытной эксплуатации (рис.6). Выделение современно активных разрывных нарушений с оценкой их кинематических особенностей проводится с помощью радиолокационной интерферометрии и анализа многоспектральных снимков для прогноза каналов и барьеров в резервуарах. Они, как правило, отражаются сменой знака движений крыльев разрывов, определяемых на детальных снимках через мелкую эрозионную сеть или выявляются при построении цифровых моделей рельефа. В некоторых случаях эти нарушения выделяются на многоспектральных изображениях прерывистыми, визуально фиксируемыми линейными зонами. В рельефе они в основном проявляются в виде серии просадок или уступов с разными углами наклона земной поверхности к оси разрывов, отражающимися разнонаправленным течением эрозионной сети (рис. 7).

Однозначное соответствие нарушений каналам в резервуарах определяется по наличию вдоль них повышенного теплового потока на уровне фона и линейных спектральных аномалий, вызванных более высоким содержанием легких углеводородов (рис. 8).

Проблема выделения непроницаемых или разнопроницаемых барьеров, приуроченных к нарушениям, сложнее, так как при этом большую роль могут играть литологические факторы. В определенной степени они могут развиваться в зонах сжатия и вдоль сдвиговых смещений. Признаками может служить отсутствие линейных тепловых и спектральных аномалий. Однако, окончательное заключение может быть

Рис. 3. **Космический снимок и структурно-тектонофизическая модель поднятия (Русское месторождение Западно-Сибирский бассейн).**

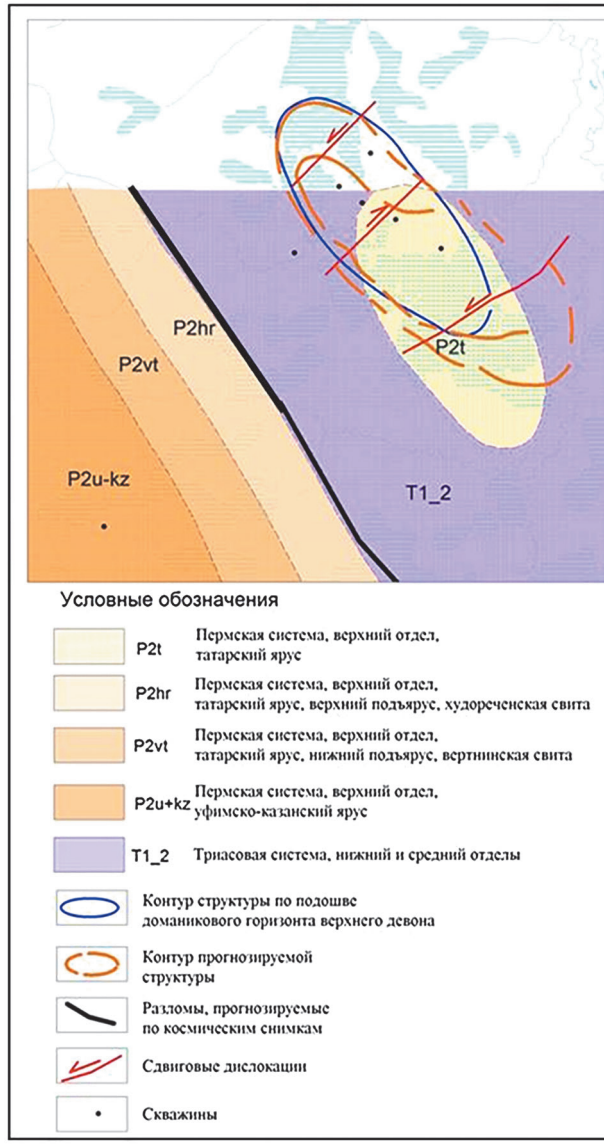


Рис. 4. **Сдвиговые дислокации на Южно-Лиственичном поднятии (месторождении) на фоне геологической карты (Тимано-Печорский бассейн)**

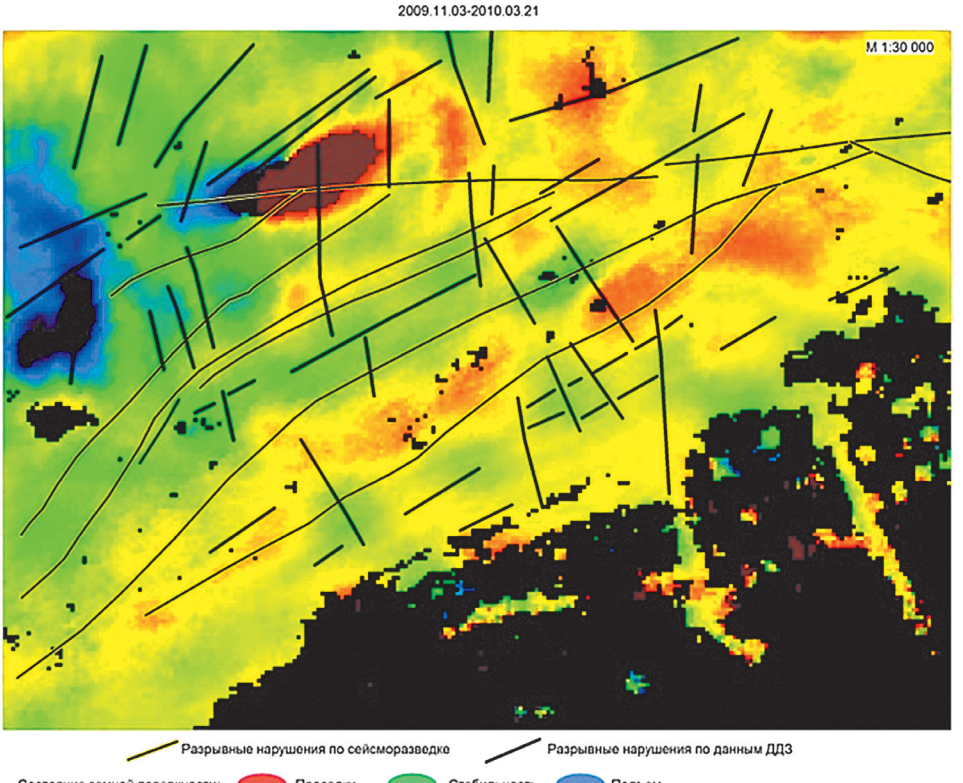


Рис. 5. **Разноамплитудные подвижки блоков, осложняющих резервуар подземного газового хранилища Карадаг (Апшерон) и установленные методом радиолокационной интерферометрии за полугодовой период времени отбора газа (03.11.2009 – 21.03.2010).**

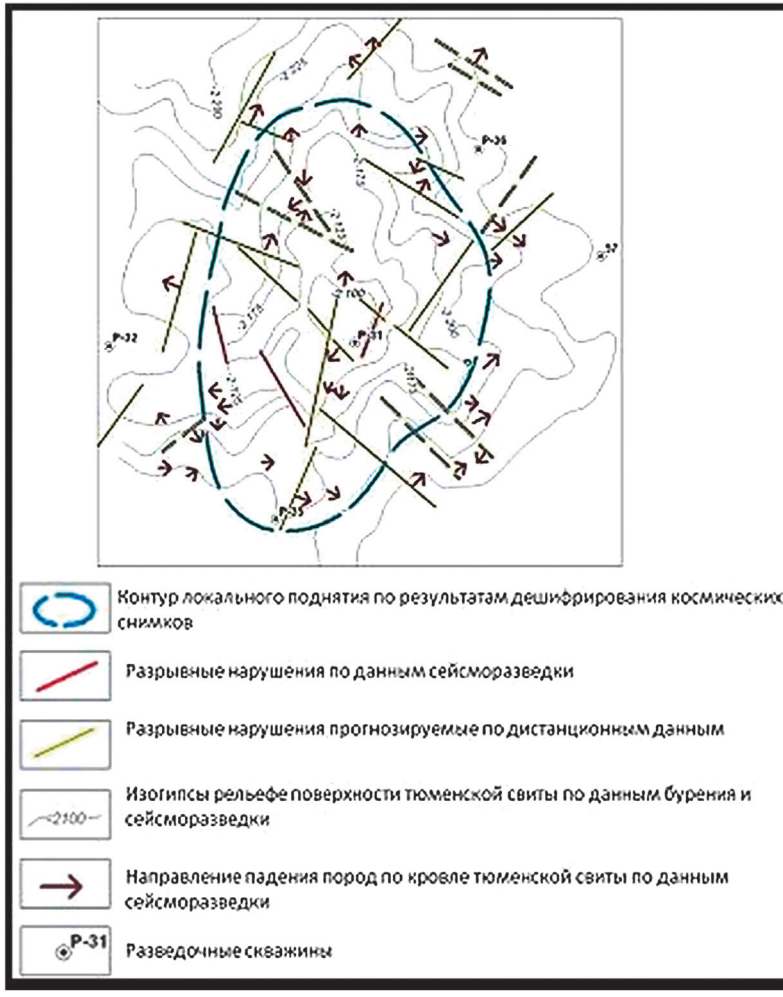


Рис. 6. **Сопоставление результатов делимости резервуара Ловинского месторождения по дистанционным и сейсморазведочным данным (Западно-Сибирский бассейн).**

Рис.7. **Типы отражения новейших и современных разрывных нарушений на космических снимках:**
а) просадки; б) уступы.

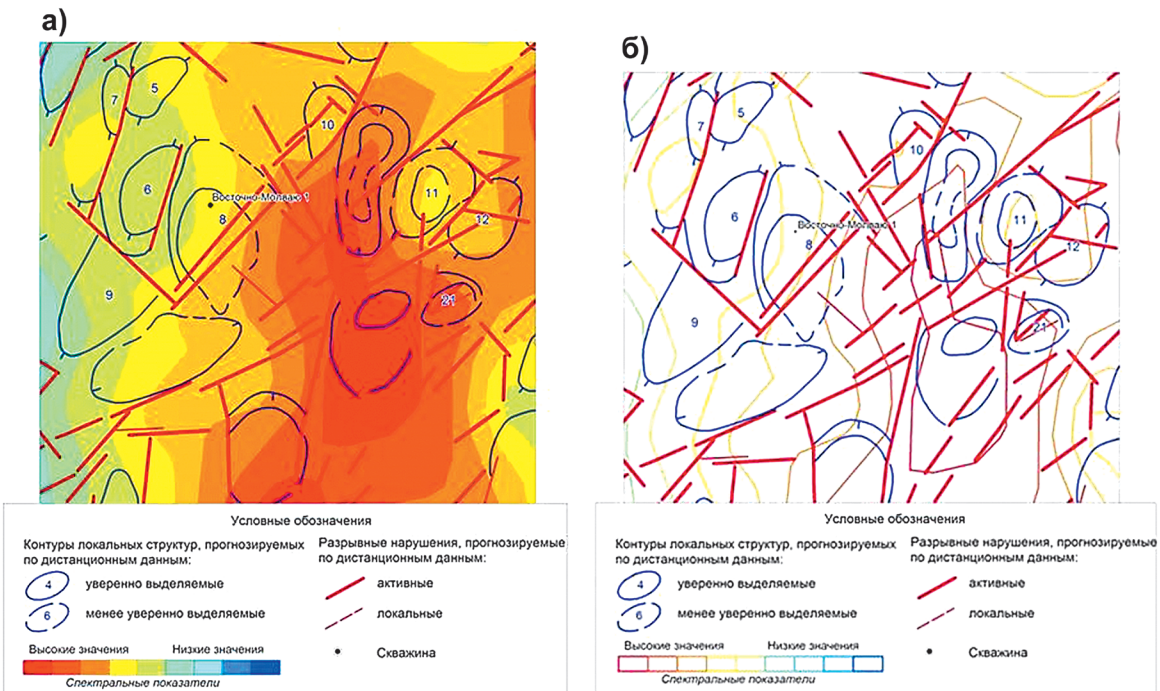


Рис. 8. **Проявление теплового потока (а) и просачивания углеводородов (б) в зоне разрывных нарушений, осложняющих локальное поднятие (Тимано-Печорский бассейн).**

получено по результатам бурения при оценке давлений, состава углеводородов, разного положения ВНК и др.

Воздействие тектонических и техногенных подвижек на резервуары оценивается, в основном, с помощью радиолокационной интерферометрии. В первом случае проводится анализ направленности региональных движений. На их фоне рассматривается подвижность блоков, коррелируемых со структурной характеристикой ловушки, находящейся на этапе разведки, то есть, не затронутой техногенными процессами. За период разработки и в результате отбора углеводородов формируются чаши проседания, на фоне которой выделяются современные нарушения (рис. 9).

С целью оценки техногенного воздействия на рельеф и его динамику во времени производится картирование радиолокационной съемкой подземных хранилищ газа либо длительно разрабатываемых месторождений. В первом, своего рода эталонном объекте – подземном хранилище газа, эффект очевиден для полугодовых периодов закачек и отбора газа (рис. 10). В данном случае коррелирующим фактором является синхронность повышения и уменьшения давления в резервуаре и микроамплитудная подвижность блоков земной поверхности, соответствующим блокам резервуара.

Динамическое воздействие при использовании вторичных методов заводнения также может находить отражение на материалах дистанционных съемок. Оно выражается двояко. По выявляемым каналам, пересекающим залежь, быстро распространяется вытесняющая жидкость, разрезая ее на части. Во-вторых, может фиксироваться фронт заводнения и производиться его мониторинг, синхронизируя стадии разработки и радиолокационные съемки.

То есть, несмотря на консолидированность осадочного чехла и его мощность, возможности локальной релаксации техногенно создаваемых напряжений в виде изгибания земной поверхности трудно предполагать. Более вероятна и доказуема разрядка динамического воздействия в вертикальном направлении через дифференциацию блоковых подвижек, обусловленных относительной хрупкостью осадочных пород. Расположенные выше неконсолидированные образования облекают структуру консолидированной части чехла, частично маскируя ее. Однако она просматривается на дистанционных материалах путем регистрации мало- и микроамплитудных подвижек. Тектогенные формы рельефа, скульптурируются эрозионными процессами. При этом необходимо иметь в виду, что скорость плоскостной эрозии рельефа на порядки меньше скорости современных вертикальных тектонических движений.

Отдельные проявления новейших разрывных нарушений и их связи с каналами и барьерами были выявлены многими специалистами по результатам геологоразведочных работ [34-36]. По этой теме защищены десятки кандидатских и докторских диссертаций, опубликованы сотни работ. Однако, систематических исследований в данном направлении не проводилось, так как они обычно привязывались только к выявленным сейсморазведкой ловушкам и осложняющих их разрывным дислокациям. Новые геологические возможности радиолокационной интерферометрии было бы в высшей степени рационально использовать при разведочных и эксплуатационных работах.

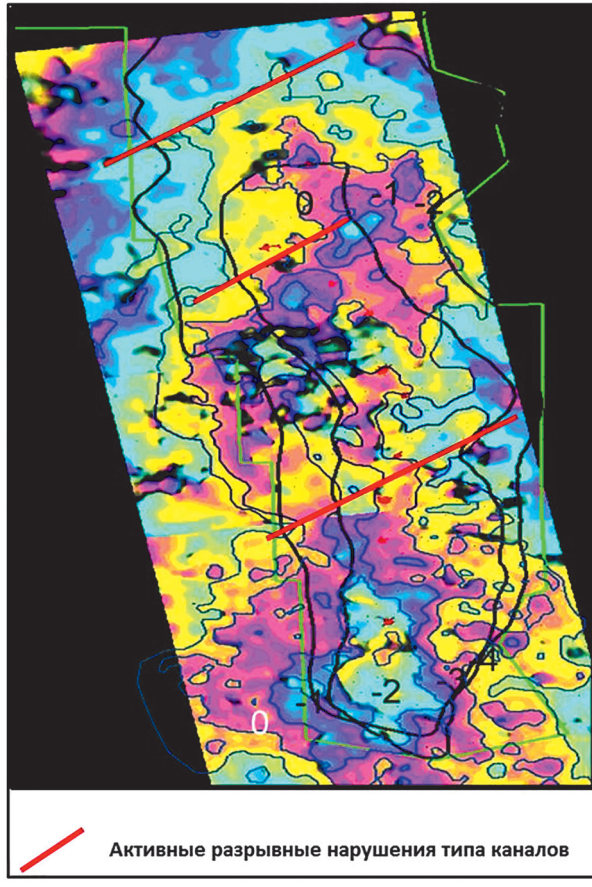


Рис. 9. **Схема современных опусканий и дифференцированных движений на Уренгойском газоконденсатном месторождении, вызванных техногенными причинами отбора газа [33].**

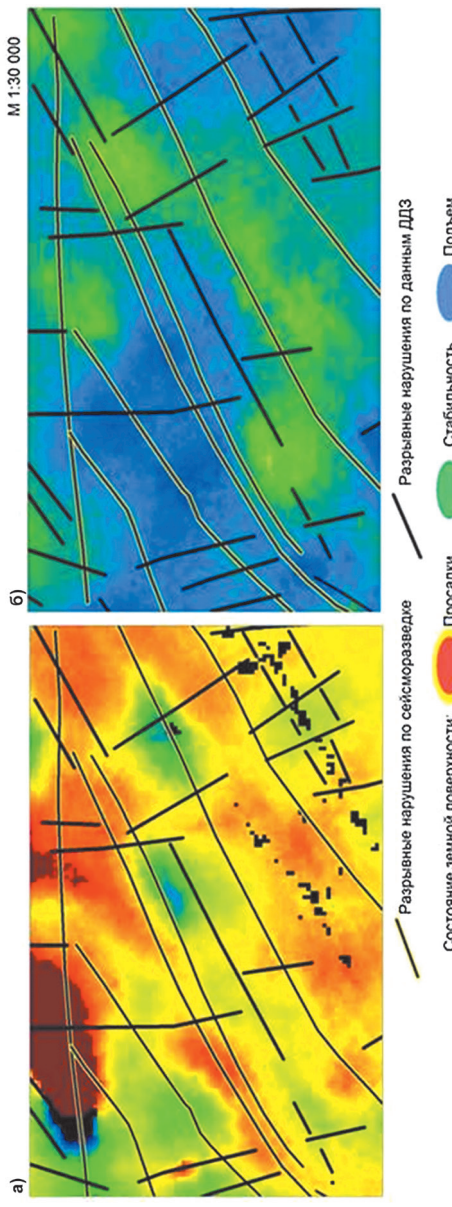


Рис. 10. **Подвижки блоков, осложняющих структуру резервуара, вызванных отбором (а) и закачкой газа (б) на Карадагском газовом хранилище.**

II.3. Использование тепловой инфракрасной съемки для регистрации теплового потока, связанного с месторождениями нефти и газа

Оценка возможности использования тепловых инфракрасных съемок базировалась на теоретических расчетах, моделировании и практических исследованиях [37-40]. Наибольший интерес для нефтегазовой геологии представляет дальний инфракрасный диапазон, в первую очередь, для месторождений углеводородов, которые выделяются небольшими значениями температур на земной поверхности относительно фона в пределах их ареалов.

С середины прошлого века начались опытно-методические наземные и аэросъемки по оценке возможностей практического использования этого метода при поисках нефти и газа. Появление высокоразрешающей аппаратуры для съемок с аэро- и космических носителей позволило начать более широкие исследования по данной проблеме. Наибольший вклад был внесен украинскими специалистами [38-40]. По результатам работ этого этапа было установлено:

- антиклинальные ловушки на уровне фона характеризуются повышенными температурами [40];
- значения температур, измеренных наземными датчиками над месторождениями углеводородов превышают средние величины от долей до первых градусов [38];
- за счет жизнедеятельности почвенных бактерий, питающихся мигрирующими к поверхности углеводородами, происходит дополнительное выделение тепла [38].

Следующий этап исследований, начатый в 2000-х годах, основывался на скоординированной системе аэро- и космических съемок, использовании поверхностных датчиков, метеостанций, бурении специализированных скважин с измерительной, длительно действующей аппаратурой и изучении термокаротажа поисковых и разведочных скважин. Этот системный подход показал, что регистрируемая температура на разных горизонтах нефтяных и газовых месторождений в разные периоды времени удовлетворительно коррелируется. В процессе этих работ проводилась оценка возможных помех, связанных с рельефом местности, типами почв и растительности, увлажненностью и другими метеопараметрами.

По итогам работ были сделаны следующие выводы, которые могут быть индикаторами тепловых процессов в резервуарах:

- температурные кривые, построенные по дистанционным и скважинным данным, отражают формы структурных ловушек и осложняющих их нарушений (рис. 11);
- разрывные нарушения характеризуются температурными показателями на 3-5º С выше, чем собственно нефтегазоносные структуры (рис. 11);
- отмечается положительная корреляционная связь между температурами, установленными по скважинам и фиксируемыми с авиационных или космических аппаратов (рис. 12);
- несмотря на резкие колебания сезонных температур за весене-осенний период, являющийся оптимальным для инфракрасных съемок, среднемесячные температуры ловушек превышают фоновые в диапазоне от 1 до 6º С (табл.1).

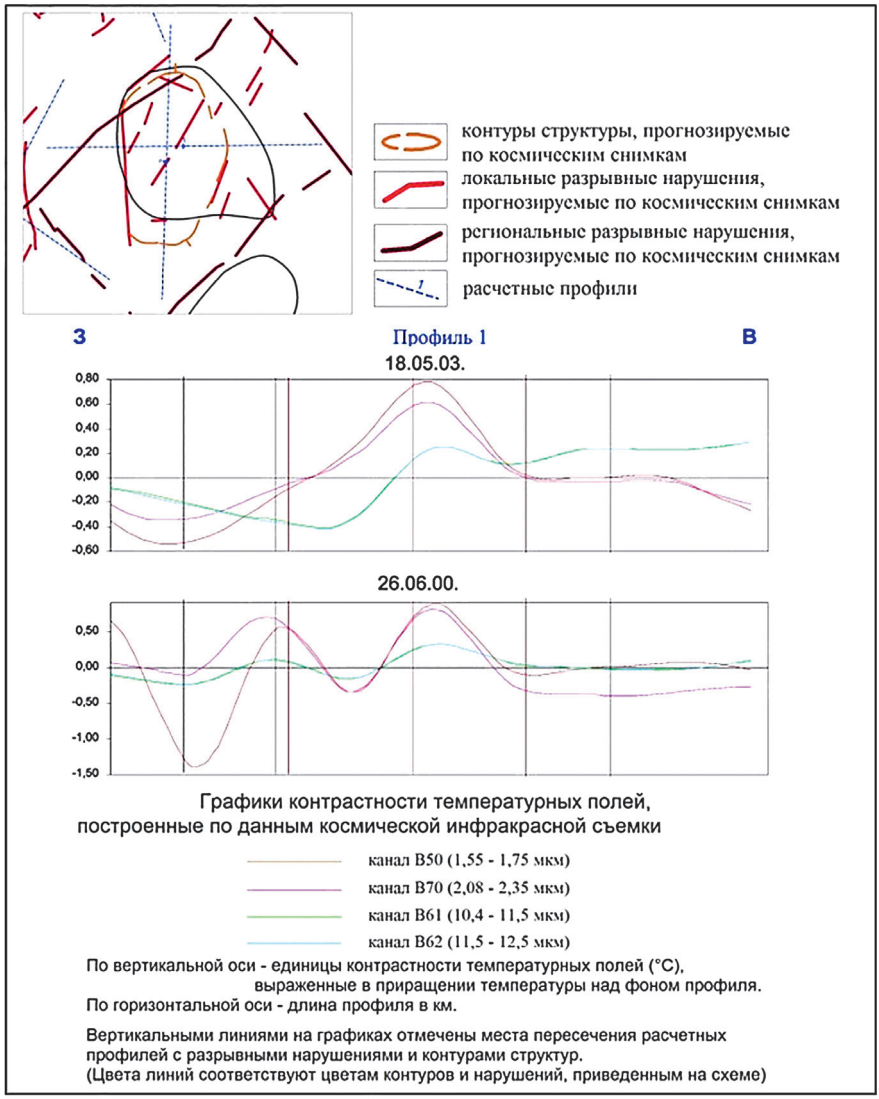


Рис. 11. **Структурная схема Печоро-Кожвинского нефтегазового месторождения и графики контрастности разновременных температурных полей.**

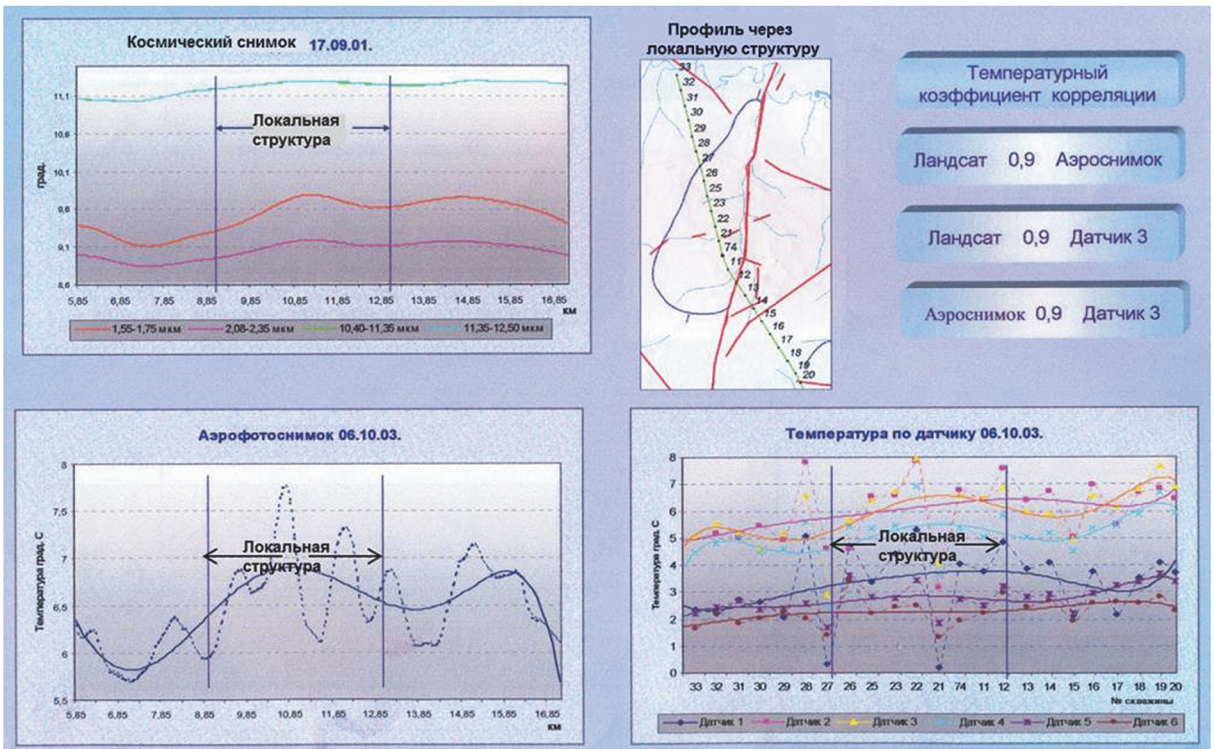


Рис.12. **Оценка температурных значений полученных дистанционными и наземными методами.**

Таблица 1

Превышение средних температур, измеренных поверхностными датчиками на нефтегазовых и газовых месторождений на уровне фона (Тимано-Печорский бассейн)

Название месторождения	Временной интервал измерений	Превышение температуры по месторождению над фоновой областью
Западно-Печорогородское	09.04.-25.07.2003	0,5-5,0º С
Печорогородское нефтяное	09.04.-07.10.2003	6,0º С
Северо-Югидское газовое	20.05.-07.10.2003	1,0-3,0º С вне зависимости от времени суток

Основным механизмом проявления теплового потока от своих источников к земной поверхности является конвективный тепломассоперенос. Он сопровождается выносом углеводородов через систему малоамплитудных нарушений и сопровождающих их зон трещиноватости, осложняющих ловушки. Важнейшим фактором в этом процессе является возраст геотемпературных аномалий, как правило, исчисляемых миллионами лет и обеспечивающий постоянный прогрев столба пород над месторождениями. Другими факторами формирования тепловых аномалий являются:

- превышение температуры в структурной ловушке на 1-12º С относительно уровня фона;
- геотермическая реакция с выделением тепла при взаимодействии нефти и воды;
- повышение температуры в почвенном слое под воздействием интенсивных процессов жизнедеятельности организмов, окисляющих мигрирующие из залежей углеводороды.

Суммарное и длительное действие перечисленных факторов обеспечивает прирост локального теплового потока над фоновым тепловым потоком из недр Земли по отдельным локальным поднятиям. Его разгрузка на земной поверхности существенно выше по активным разрывным нарушениям, чем над месторождениями в среднем. Это указывает на существование прямой связи между продуктивными горизонтами и поверхностью земли, осуществляющейся по сквозным зонам в чехле и каналам в резервуарах. Они также влияют на распределение в них фильтрационно-емкостных свойств, выражающихся в линейных зонах снижения пластовых давлений и дебитов скважин [8]. В течение геологического времени под воздействием изменений полей напряжения и текущих литогенетических процессов, сквозные каналы изменяют свою проницаемость вплоть до формирования разнопроницаемых барьеров.

При разработке с заводнением вытесняющая жидкость по каналам движется быстрее и разрезает залежи на части. Это приводит к преждевременному перемешиванию нефти с водой и соответственно отбору этой смеси. Скважины, расположенные в зоне сквозных каналов или в пределах узлов их пересечения при интенсивных методах разработки начинают раньше обводняться. Характерно, что большинство этих зон приурочены к активным мало- или микроамплитудным нарушениям. Таким образом, появление новой технологии обработки инфракрасных данных обеспечивает

бесконтактное и опережающее получение сведений о термодинамическом режиме поисковых и разведываемых объектов до начала сейсморазведочных работ.

II.4. Использование многоспектральной съемки при разведке и разработке месторождений нефти и газа

Многоспектральные съемки дают возможность одновременного получения спектральной информации земной поверхности на разные по площади территории и по многим каналам (количество каналов для спутника «Landsat-8» – 8, а по другим существенно больше). Каждый из них обеспечивает получение оригинальных данных в узком диапазоне электромагнитного спектра, которые могут обрабатываться отдельно или в обобщенной синтезированной форме. Многоспектральные съемки несут информацию о состоянии земных покровов (почв, горных пород, их обводненности, и растительного покрова), существенно зависящих от геохимической специализации недр.

Путем экспериментальных и опытно-методических работ установлено, что мигрирующие к поверхности углеводороды вызывают изменение химического состава почв и грунтовых вод, оказывая угнетающее действие на растительность. Узкие спектральные диапазоны регистрации подобного воздействия для ряда каналов установлены и являются диагностическими признаками углеводородного просачивания. Оно пространственно связано со скоплениями нефти и газа, а также путями их проникновения к земной поверхности [17]. Наиболее распространенными из них являются разрывные нарушения, являющиеся каналами связи с продуктивными горизонтами. Ареалы и зоны просачивания углеводородов отражаются в виде определенных и статистически обоснованных аномалий, выделяемых с помощью специализированной тематической обработки съемок из космоса и геофизической информации (рис. 13). Для их типизации в различных геологических условиях проводится сопоставление с месторождениями и пустыми разбуренными структурами, что существенно повышает достоверность прогноза.

Многоспектральные съемки могут использоваться при решении следующих задач:

- прогнозировании разрывных нарушений и зон трещиноватости, сопровождающихся повышенной геохимической и углеводородной активностью (рис. 14);
- прогнозе дислоцированности ловушек углеводородов за новейший этап развития (рис. 15,16).

Анализ многоспектральных съемок используется для контроля и проверки информации, получаемой радиолокационной и тепловой инфракрасной съемками.

Прогноз разрывных нарушений и сопровождающих их зон трещиноватости, проверяемых различными методами и сопровождаемых повышенной геохимической активностью служит подтверждением наличия сквозных дизъюнктивов. При оценке степени активности учитывается их геотемпературные характеристики, кинематика или соответствия зонам растяжения или сжатия. Проведенные работы показали реальность решения этой задачи (рис.17).

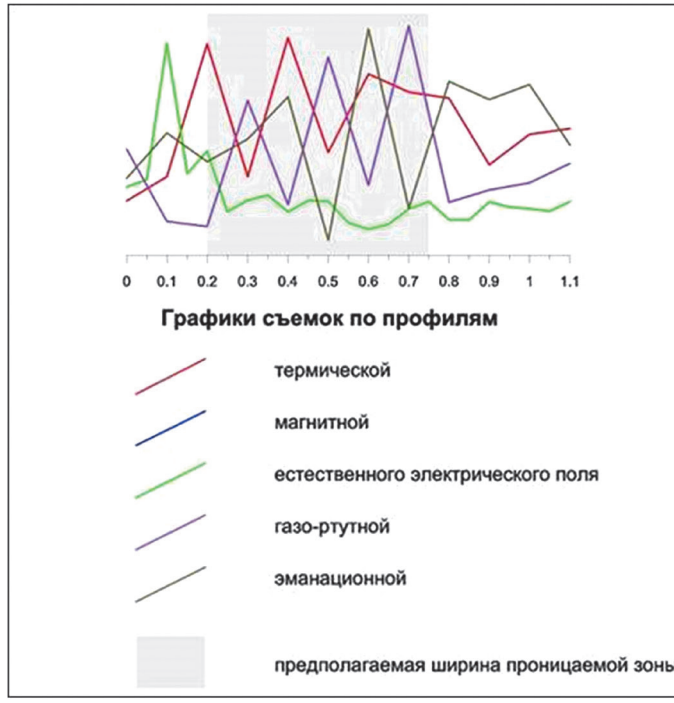


Рис. 13. **Комплексный геолого-геохимический профиль через зону растяжения Печоро-Кожвинского месторождения**

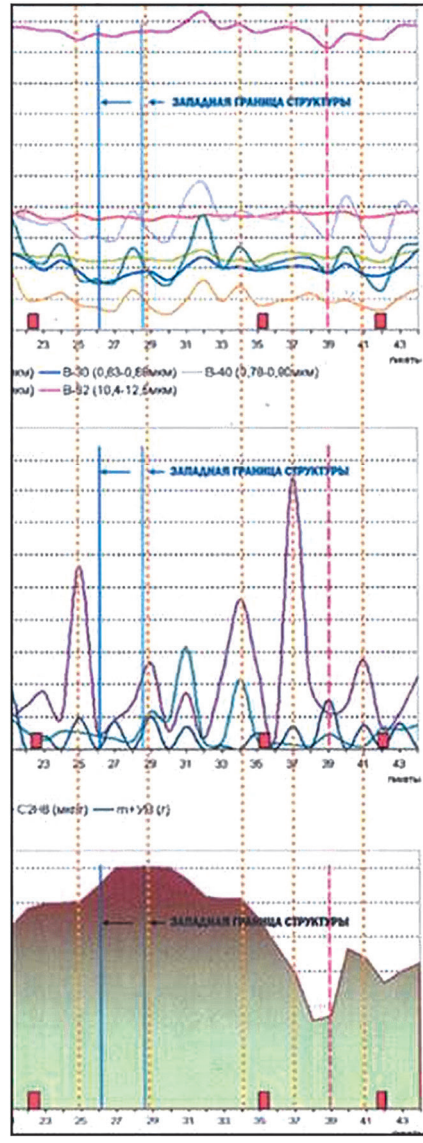


Рис. 14. **Сопоставление спектрометрических, геотемпературных данных, геохимических измерений и рельефа земной поверхности по профилю через Северо-Югидское газовое месторождение**

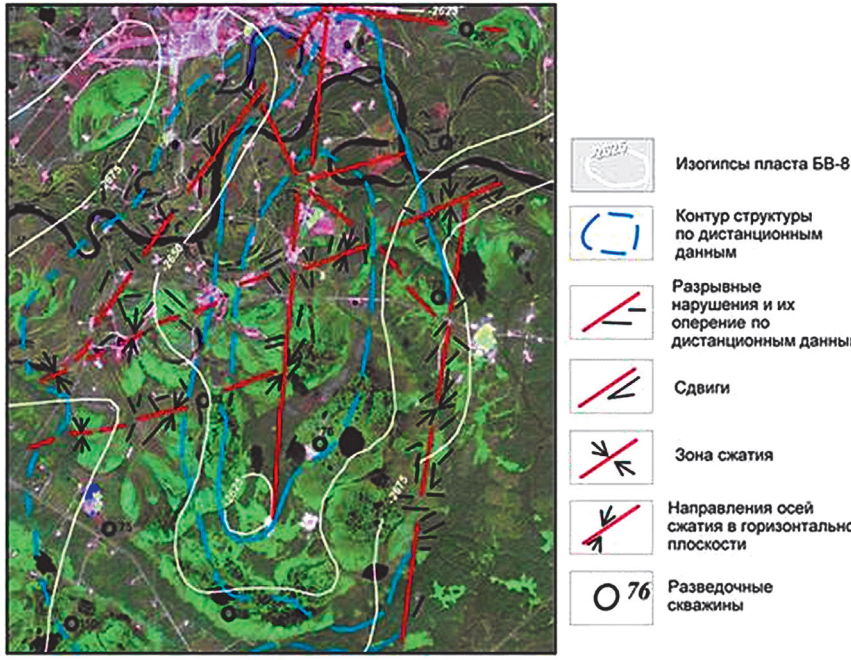
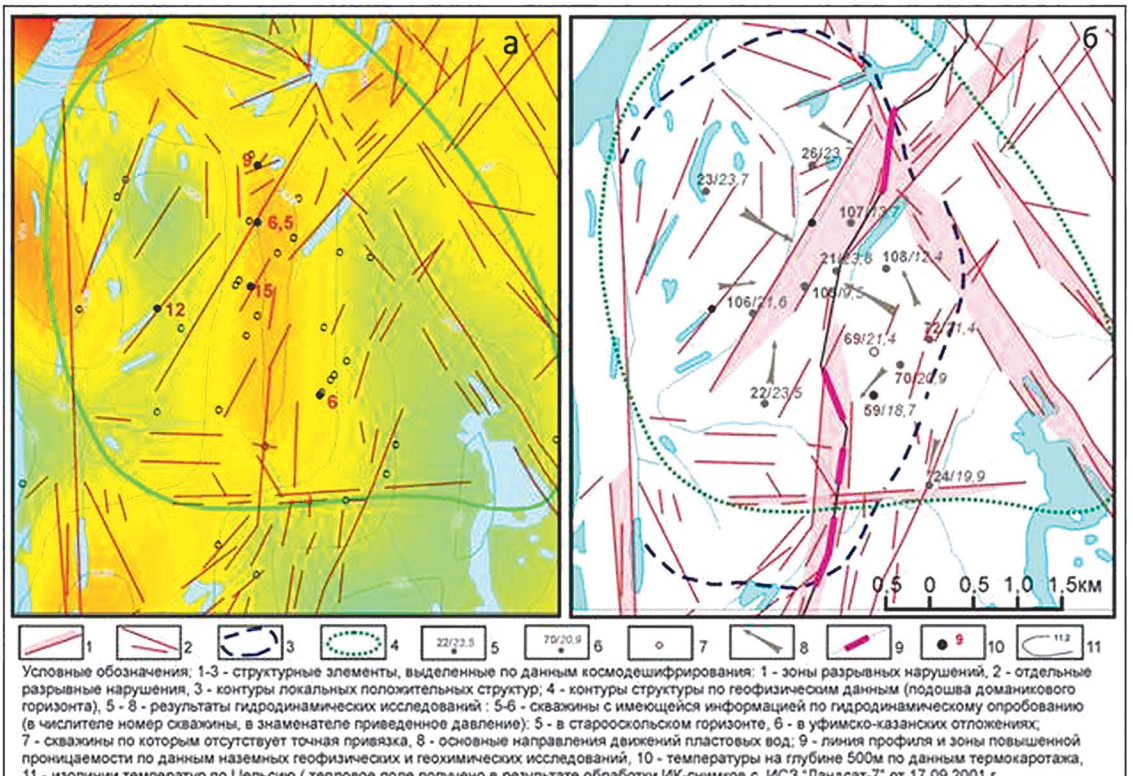


Рис. 15. **Структурная схема Южно-Покачевского нефтяного месторождения, составленная по данным сейсморазведочных и дистанционных работ на фоне синтезированного многоспектрального снимка**

Рис. 16. **Сопоставление структурной модели Покачевского месторождения по дистанционным данным и результатам разведочных работ**



Условные обозначения: 1-3 - структурные элементы, выделенные по данным космодешифрирования: 1 - зоны разрывных нарушений, 2 - отдельные разрывные нарушения, 3 - контуры локальных положительных структур; 4 - контуры структуры по геофизическим данным (подошва доманикового горизонта), 5 - 8 - результаты гидродинамических исследований : 5-6 - скважины с имеющейся информацией по гидродинамическому опробованию (в числителе номер скважины, в знаменателе приведенное давление): 5 - в старооскольском горизонте, 6 - в уфимско-казанских отложениях; 7 - скважины по которым отсутствует точная привязка, 8 - основные направления движений пластовых вод; 9 - линия профиля и зоны повышенной проницаемости по данным наземных геофизических и геохимических исследований, 10 - температуры на глубине 500м по данным термокаротажа, 11 - изолинии температур по Цельсию (тепловое поле получено в результате обработки ИК-снимков с ИСЗ "Ландсат-7" от 17.09.2001 г.

Рис. 17. **Зона растяжения на Печоро-Кожвинском месторождении, отражающаяся повышенным тепловым потоком и проявленная по гидродинамическим измерениям в скважинах:**

а) структурная схема и тепловое поле по данным ИК –съемок; б) результаты гидродинамического анализа.

Еще одним вопросом, решаемом многоспектральной съемкой, является оценка возраста активизации нарушений. Если, сейсморазведка, в основном, регистрирует палеотектонический возраст заложения ловушек, то установление их молодого возраста с помощью дистанционного зондирования свидетельствует о малоамплитудных постструктурообразующих дислокациях резервуаров, часто остающихся вне чувствительности геофизических методов. Тем не менее, в период разведки и разработки эти нарушения должны быть проверены, так как они могут проявляться в виде осложнений гидродинамического режима, связанного с напряженным состоянием и кинематическими особенностями нарушений.

Прогноз дислоцированности ловушек углеводородов, установленный дистанционными данными при своевременной его проверке, может помочь избежать ошибок при планировании разведочных работ, повысить их эффективность и, соответственно, разработки.

С целью вероятностной оценки перспективности ловушек производится анализ сопредельных эталонных объектов, которыми являются открытые месторождения нефти и газа. Распределение на них аномалийных участков может свидетельствовать о различной вертикальной просачиваемости углеводородов, возможно связанной с активностью подвижек структур или их нарушенностью.

Таким образом, многоспектральная информация, обработанная с помощью специализированных программ с учетом многофакторного анализа используется в качестве одного из комплекса методов дистанционного зондирования. Она повышает достоверность прогноза и может быть также использована для контроля экологического состояния лицензионных участков.

II.5. Комплексное использование методов дистанционного зондирования для решения некоторых задач при разведке месторождений нефти и газа

В последние годы наметилась тенденция пропускать этап разведки после открытия залежей углеводородов и сразу приступать к эксплуатационному разбуриванию, что часто приводит к заниженной извлекаемости запасов нефти и газа. Это в первую очередь относится к сложнопостроенным месторождениям, которые могут оказаться недоразведанными и доразведка будет проводиться в процессе разработки. Данная ситуация объясняется существующей тенденцией к упрощению структуры разведуемых ловушек и пренебрежением к осложняющим их малоамплитудным разрывным нарушениям, которые затрудняют подсчет запасов и составление техсхем разработки. В ряде случаев недостаточная разведанность приводит к нерентабельности эксплуатации и, в конечном счете, списанию запасов.

В условиях некоторой размытости границ разведки и разработки целесообразно использовать малозатратные дистанционные методы для повышения объективности оценки извлекаемых запасов углеводородов и непродуктивных затрат.

Опыт работ на стадии завершения разведочного этапа показал, что основной информационный вклад дистанционных методов приходится на доизучение структуры

ловушек и, следовательно, резервуаров. Это происходит за счет выявления мало- и микроамплитудных нарушений, активно проявивших себя на новейшем и современном этапах развития со свойственными им кинематическими особенностями. Они могут способствовать формированию постпалеотектонических каналов и барьеров после заполнения ловушек углеводородами и соответственно влиять на фильтрационные свойства резервуаров.

При сопоставлении структурных моделей, построенных по сейсморазведочным и дистанционным данным обращает на себя внимание их общее пространственное подобие с различием в отдельных элементах, касающихся как разрывных нарушений, так и современного контура поднятия, а также осложняющих его блоков. Проиллюстрируем высказанные положения на ряде примеров в период проведения этих работ.

На этапе разведки Южно-Покачевское месторождение представлялось в виде простого по строению поднятия пликативного типа. Результаты дистанционных работ показали, что при конформности контуров локального поднятия по двум методам, оно интенсивно разбито разноориентированными разрывными нарушениями, активизированными на рельефообразующем этапе. Структура пересечена продольным малоамплитудным разрывом и небольшим по размерам блоком в ее западной части (рис. 15). При структурно-тектонофизическом анализе было установлено, что ряд нарушений находятся в состоянии сжатия. Это позволяет предполагать их связь с барьерами различной проницаемости.

Выявленные разрывные нарушения на Покачевском месторождении контролируют положение внутренних контуров нефтеносности, как на северо-западном и юго-восточном крыле, так и в середине ловушки (рис. 15). Фиксируемое погружение структуры к северо-востоку по данным сейсморазведки объясняется прогнозируемым разрывом, регистрирующим ступенчатое опускание. Необходимо отметить, что к области пересечения нарушений приурочены наиболее опущенные участки. В целом дистанционные данные удовлетворительно соответствуют результатам работ по уточнению строения резервуара. На Покачевской структуре, выявленной сейсморазведкой как поднятие пликативного типа, были установлены три небольших купола. По результатам бурения было высказано предположение о наклонном положении ВНК (рис. 16). По дистанционным работам было установлено, что купола отделены друг от друга разрывными нарушениями и имеют ступенчатое расположение. Эти данные объясняют разное положение ВНК, которое не было установлено по результатам разведки. Поперечные к Покачевской структуре нарушения приурочены к минимальным толщинам пласта Ю1 с худшими фильтрационно-емкостными свойствами относительно центральной части куполов. Это характерно и для вышележащих залежей нефти. Результаты бурения указывали на необходимость доразведки этого объекта, в первую очередь в восточной части, где контур нефтеносности не замкнут, а по дистанционным данным зафиксирован положительный структурный элемент.

Структурная ловушка Покамасовского месторождения по пласту Ю1 имеет блоковое строение. По результатам анализа дистанционных материалов в пределах залежи отмечается серия разрывных нарушений, однако их роль при формировании

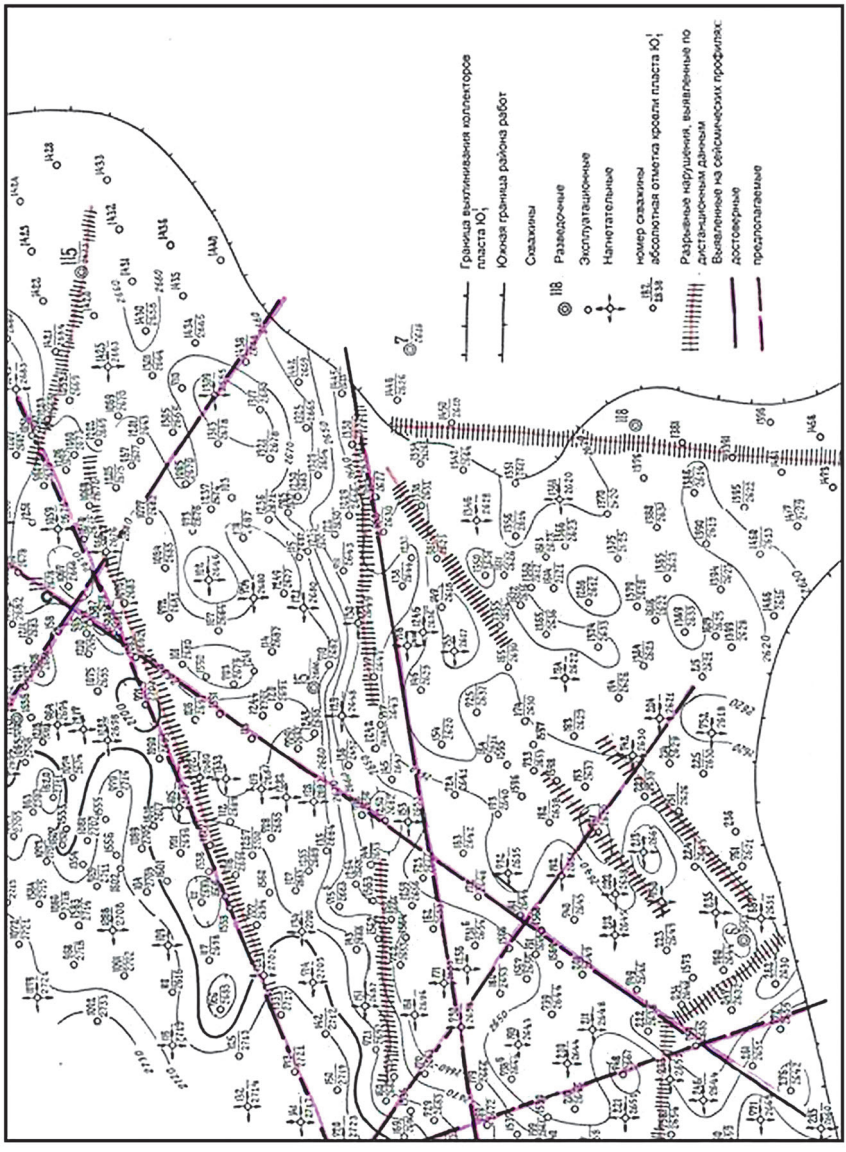


Рис. 18. **Фрагмент структурной карты по кровле пласта Ю1 Покамасовского месторождения с элементами разрывной тектоники**

структуры существенно различается (рис. 18). В центральной части прослеживается нарушение субширотного простирания, выделяемое по сейсморазведке и дистанционному зондированию. Вдоль одного из них отмечается относительно резкое понижение кровли пласта, а с другим связана приуроченность к резким изменениям изогипс. В центральной части прослеживалось субмеридиональное нарушение, к которому тяготеет граница выклинивания пласта. На месторождении были проведены специальные исследования с закачкой индикатора. Наблюдение за характером его распространения по площади, подтвердили влияние выявленных нарушений на фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) резервуара (рис.19). Это следует из аномально быстрого перемещения индикатора вблизи нарушения.

Опыт работ на этих и других месторождениях показал, что дистанционные методы информативны при детализации структурного плана, выявлении и локализации разрывных нарушений разного порядка, их активности, неоднородностей или блоков, а также зон с различными фильтрационными и емкостными характеристиками.

Современный анализ сейсморазведочных, промысловых и дистанционных данных позволяет более обосновано трассировать разрывные нарушения, оценивать сте-

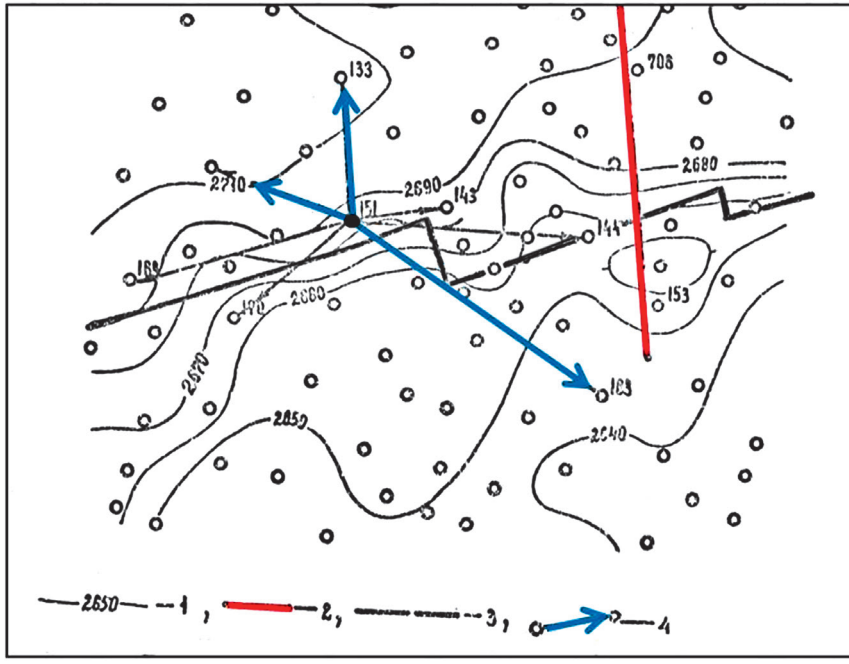


Рис. 19. **Фрагмент структурной карты Покамасовского месторождения по кровле пласта Ю1 с элементами гидродинамического анализа**

пень их активности на различных этапах формирования ловушки и, соответственно, прогнозировать вариации ФЕС в пределах изучаемого объекта. То есть на этапе разведки на основе получаемых данных целесообразно построение статичной модели, которая на этапе разработки преобразуется в динамическую с учетом современной активности структурных элементов резервуара, устанавливаемой методами радиолокационной интерферометрии.

II.6. Комплексное использование методов дистанционного зондирования для решения некоторых задач при разработке месторождений нефти и газа

Целесообразность изучения динамики современных тектонических и техногенных движений заключается в том, что они не могут не оказывать влияние на процесс разработки залежей, так как способствуют изменению поведения фильтрационно-емкостных свойств резервуара.

Одновременное использование полного комплекса дистанционных методов позволяет решать задачи прогноза неоднородностей резервуара: выделения разноразмерных блоков, каналов и барьеров [8,44] и теоретически темпов обводнения и заводнения.

Первичным является прогноз активных разрывных нарушений, сопровождающихся зонами тектонической трещиноватости, работающими в период разработки. Формирование этих зон объясняется накопленной усталостью в связи с периодичностью колебаний и сменой знака подвижек, что приводит к их повышенной раздробленности и промыванию поверхностными водами.

Вторичным под воздействием отбора больших объемов углеводородов является снижение пластового давления, что приводит к формированию ареала оседания с амплитудами от первых десятков сантиметров до первых метров и оживлению подвижек по разрывам под влиянием техногенных сил [42].

Проведенные комплексные работы с целью решения этих задач на газовых и нефтяных месторождениях показали эффективность использования рассматриваемых методов в условиях трудноизвлекаемых и сложнопостроенных коллекторов [8,41-44].

Приведенные в разделах 2.2 – 2.4 примеры целесообразности использования методов дистанционного зондирования, в основном, относились к методике выявления сквозных каналов в резервуарах, являющейся более простой и достоверной. Методика прогноза разнопроницаемых фильтрационных барьеров (при разных давлениях) сложнее, в связи с меньшим объемом информации.

II.6.1. Разработка методики изучения резервуаров с использованием дистанционных методов при техногенном воздействии на них

С этой целью были проведены опытно-методические работы и мониторинг происходивших процессов на подземном хранилище газа (ПХГ) Карадаг (Апшеронский полуостров). Выбор этого объекта для проведения исследований определялся тем, что он расположен в тектонически активной области, с одной стороны, и находит-

ся под постоянным техногенным воздействием – с другой стороны. Техногенное воздействие или закачки и отбор газа для корректности эксперимента были синхронизированы со съемками. Специфика комплекса проведенных всех видов работ и полученных уникальных результатов показывает реальность использования предлагаемой методики при разработке месторождений нефти и газа. Рассмотрим этот пример более подробно.

Опыт работ показывает, что почти в каждой ловушке имеются разрывные нарушения разной длины, ширины и амплитуды смещений. Они способны экранировать потоки фильтрации пластовых флюидов и газов, становиться их проводниками и приводить к раздроблению резервуаров на разобщенные блоки. Связанные с разрывными нарушениями фильтрационные барьеры широко распространены, но трудны для обнаружения традиционными методами, в том числе вследствие дискретности получаемых данных по отдельным профилям и скважинам. Для решения этой задачи делаются попытки выявления субсейсмических дислокаций. Особое место среди субсейсмических нарушений занимают те, которые в процессе разработки залежи меняют проницаемость с «проницаемый» на «запечатанный» или наоборот. До начала разработки, запечатанный барьер может быть идентифицирован по перепаду пластового давления поперек соответствующего нарушения. В ходе разработки это может быть надежно установлено по линиям тока пластовых флюидов. Нарушения подобного типа можно называть разнопроницаемыми фильтрационными барьерами. Среди них на данном уровне исследований различаются два типа, отличающиеся направлениями реверса: «проницаемый барьер превращается в запечатанный» (первый тип) и «запечатанный барьер превращается в проницаемый» (второй тип). Причины, определяющие экранирующие свойства разлома, заключены в его геологической истории и природе. Основные факторы, влияющие на герметичность барьеров:

– строение зоны разрыва;
– литология разломной брекчии и вмещающих пород;
– тип пластового флюида и насыщения;
– напряженное состояние.

Первые три фактора поддаются оценке по промыслово-геофизическим, промысловым и сейсморазведочным данным. Четвертый фактор представляет наибольший интерес. Напряженное состояние разлома определяет открытость трещин, сжатость, литологию разломной брекчии и, следовательно, проводимость и проницаемость разлома. Многочисленные наблюдения указывают на то, что этот фактор является переменным во времени. Именно это явление – меняющиеся во времени условия сжатия-растяжения – продуцирует барьеры. Можно сделать вывод, что резкие перемены проницаемости обоих типов являются результатом тех изменений, которые происходят в течение разработки залежей.

Барьеры чаще проявляются в виде первого типа. То есть они проницаемы и, соответственно, не заметны до, в течение и некоторое время после начала разработки. Но в ходе разработки, если таковая сопровождается неравномерным падением давления в залежи, меняется ее напряженное состояние таким образом, что в итоге прежде «не-

заметные» нарушения становятся непроницаемыми. Анализ информации по данному вопросу на примере газовых залежей указывает на необходимость раннего обнаружения барьеров [43].

Рассмотрим ПХГ Карадаг, детально изученное сейсморазведочными, геохимическими, промысловыми и дистанционными работами с целью выявления фильтрационных барьеров.

Многопластовое нефтегазовое месторождение Карадаг [43], ныне подземное хранилище газа (ПХГ), приурочено к ЮВ крылу сложно построенной складки, в своде которой находится грязевой вулкан. Основным объектом разработки в прошлом были горизонты VII+VIIa Продуктивной толщи. Ныне эти горизонты вмещают резервуар ПХГ.

Газоконденсатная залежь с нефтяной оторочкой в горизонтах VII+VIIa (рис. 20) расположена на литологически экранированной моноклинали, с этажом газоносности около 1 км. В начальный период разработки пластовые давления здесь варьировали от 30 до 40.5 МПа в апикальных и приподошвенных частях структуры, соответственно. В северо-восточной части ПХГ установлено нарушение сбросового типа (рис. 20). В период разработки устойчиво сохранялась разность давлений порядка 4 – 5 МПа по обе стороны сброса. Разработка залежи велась в режиме истощения с начала 1950-х годов вплоть до начала 1980-х годов. К моменту истощения залежи и остановки добычи апикальное пластовое давление снизилось приблизительно до 0.4 МПа, т.е. в 10 раз по отношению к первоначальному.

В начале 1980-х годов в резервуаре было создано подземное хранилище газа. С тех пор пластовое давление претерпевает регулярные подъемы и спады – соответственно, в периоды закачки газа и отбора газа. До 2005 года годовые перепады давления достигали 0.6 МПа, ныне они составляют прибл. 1.2 МПа. Уже в первые годы работы ПХГ выяснилось, что вышеупомянутый сброс стал газопроницаем, т.е. как бы исчез, стал барьером второго типа. Как показал опыт эксплуатации, в залежи возникли части, плохо или вовсе не сообщающиеся гидродинамически. Были все основания полагать, что второй тип порожден ослаблением напряженного состояния сброса, вызванным вариациями пластового давления. И как ответ на новое напряженное состояние возникли новые барьеры первого типа, которые требовалось выявить.

Для выявления новых барьеров была применена технология их раннего обнаружения, в которой одно из ключевых мест принадлежит дифференциальной радиолокационной интерферометрии. Она использует разнообразные методы, группирующиеся следующим образом.

(1) Картирование поверхностных деформационных и геохимических аномалий, как наземных откликов на геодинамические и флюидодинамические события в недрах.

(2) 3D картирование в резервуаре и смежной толще тектонических дислокаций, как картируемых по сейсморазведке, так и субсейсмических с использованием геомоделирования, на основе геолого-геофизических и промысловых данных, ГИС и испытаний скважин.

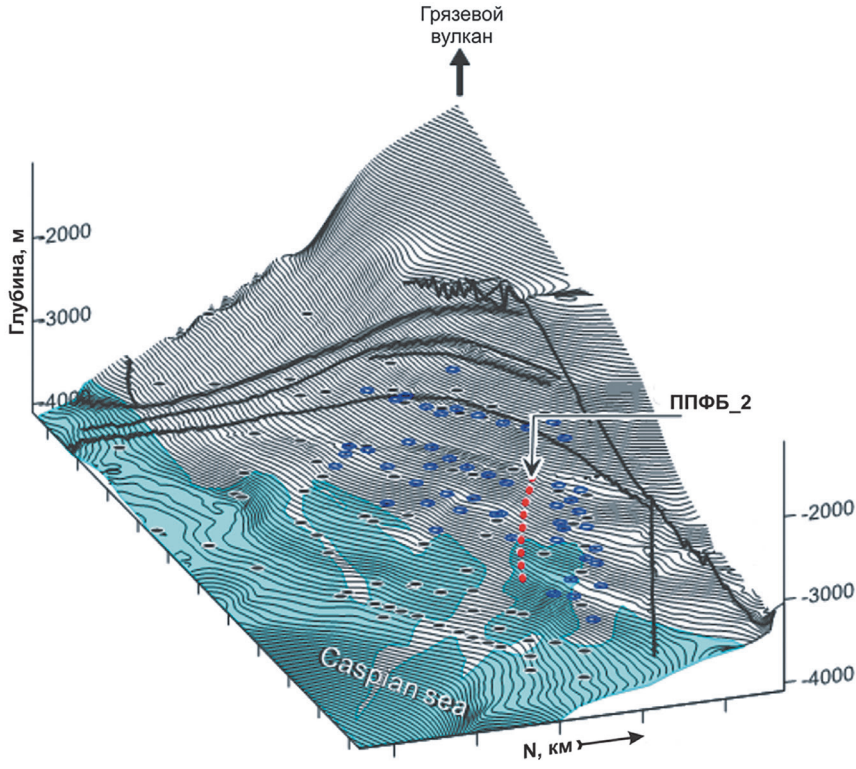


Рис.20. **Объемный вид структурной карты кровли горизонта VII, Карадаг (по данным 3D сейсморазведки 2009 г). Стрелка вверху – грязевой вулкан. Черные линии – разрывные нарушения. Красный пунктир – фильтрационный барьер. Точки – скважины.**

(3) Выделение барьеров среди прочих дислокаций с применением анализа пластовых давлений, геохимии флюидов, межскважинных исследований и др.

Следует подчеркнуть, что методы первой группы успешно работают при полном отсутствии разведочных данных. Они способны дать первое приближение сетки барьеров на исследуемой площади. Как показывает опыт, наиболее информативны интерферометрия и наземная газовая съемка.

Вся доступная информация по месторождению и ПХГ Карадаг была привлечена и переинтерпретирована – сейсмическая, промыслово-геофизическая и промысловая в комплексе с дистанционной и наземной газовой съемкой.

Газовая съемка велась в сезон закачки газа, т.е. на фоне роста давлений в резервуаре. Объект опробования - почвенный субстрат на глубине 1 м. Отбиралась как сорбированная фаза, так и подпочвенный воздух. Опробование последнего было обусловлено необходимостью синхронизации данных съемки с режимом работы закачки.

На рис. 21 представлена одна из интерферограмм, соответствующая сезону закачки. Для простоты она прорисована в виде затененного рельефа с размахом от - 3 до +3 см, соответственно, просадок и подъемов земной поверхности. На его фоне схематически прорисованы границы между подвижными блоками земной поверхности. Они проведены с учетом всех интерферограмм. Важно отметить, что благодаря этим данным, была обнаружена картина, напоминающая клавиши рояля: подвижные блоки меняют направление движения синхронно со сменой режима ПХГ.

Границы представляют собой наземные продолжения фильтрационных барьеров, которые есть в резервуаре на глубинах 3±0.5 км (рис.21). Этот факт установлен по ретроспективным данным динамики обводнения горизонта VIIa (2 на рис. 21), по ретро-полям изобар и по результатам нынешних газогидродинамических исследований. Часть барьеров можно уверенно считать непроницаемыми, в то время как другие, по всей видимости, фрагментарно проницаемы в настоящее время.

О генезисе барьеров можно судить по результатам литофациального анализа. Субширотные, идущие по простиранию линии являются малоамплитудными конседиментационными нарушениями типа флексур; некоторые из них слабо выражены сейсмически. Субмеридиональные, идущие вкрест простирания линии приурочены к фациальным переходам в бортах фаций авандельты. В большинстве своем они являются субсейсмическими нарушениями.

Результаты геохимической съемки показывают, что барьеры «коренятся» глубоко под рассматриваемым горизонтом и «дотягиваются» до земной поверхности (рис. 22). Толща чехла целиком как будто состоит из призм или блоков, ограненных нарушениями. Барьеры каналируют потоки газовых эманаций и тем самым удерживают геохимические индивидуальности, которыми эти призмы обладают.

Подводя итог изложенным данным, можно констатировать, что барьеры приурочены к относительно малым по размерам, активным нарушениям, находящимся в переменно-напряженном состоянии. Они разграничивают дифференцированно подвижные блоки и действуют как проводники восходящих газово-жидких потоков из глубин до земной поверхности.

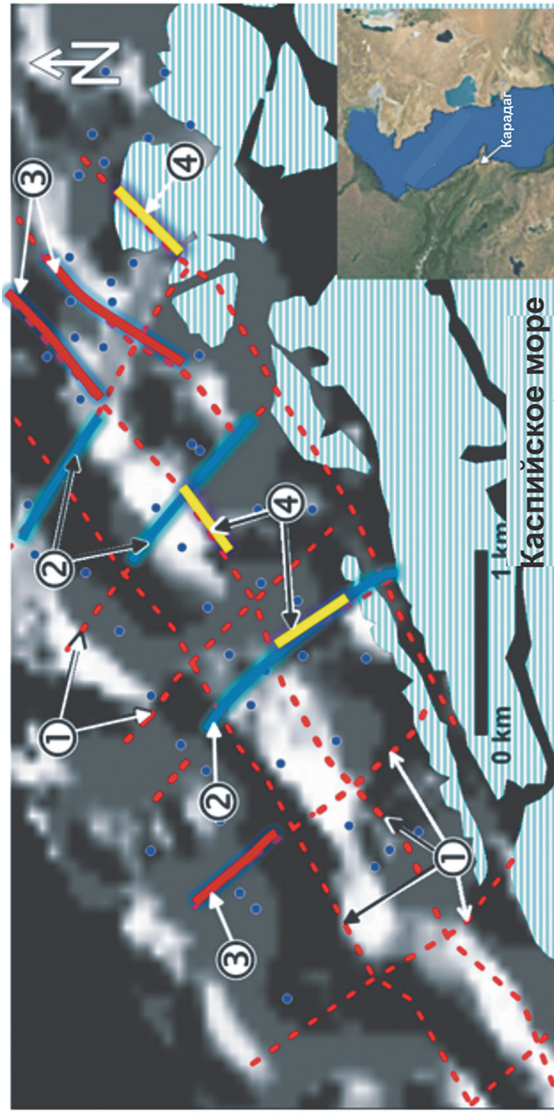


Рис. 21. **Интерферограммы по данным ALOS PALSAR за 2010-03-21 и 2010-12-22 и схематическая сетка фильтрационных барьеров на ПХГ Карадаг**

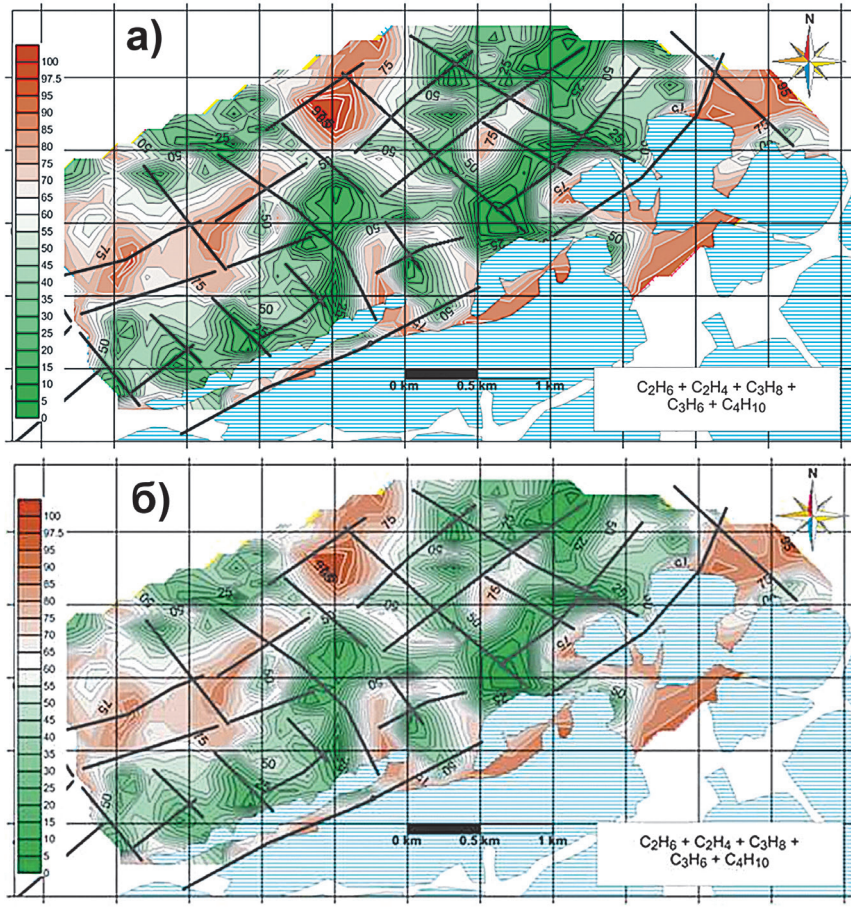


Рис. 22. **Содержания сумм легких углеводородов в подпочвенном воздухе над ПХГ Карадаг:**
a) Абиогенный индекс природного газа;
b) Индекс газового конденсата.
Изолинии – процентили эмпирического распределения.
Черные линии – фильтрационные барьеры.

На ПХГ Карадаг была выявлена своеобразная мозаично-шарнирная система, которая содержит залежи углеводородов и пронизывается эманациями летучих углеводородов. Вследствие периодически повторяющихся этапов отбора/закачки газа система находится в искусственно активизированном состоянии. Благодаря этому амплитуды смещений ее элементов относительно велики и поэтому доступны для измерений используемыми методами.

Приведенные работы показали эффективность предлагаемой авторами методики работ, которая может использоваться при разведочных и эксплуатационных работах на месторождениях углеводородов.

II.6.2. Некоторые результаты использования дистанционных методов при разработке месторождений нефти и газа

В качестве примеров использования дистанционных методов и оценки их сравнительной информативности с традиционным комплексом работ, рассмотрим результаты, полученные при разработке нефтегазконденсатного Ямбургского, нефтяных Ловинского, Баяндыского и Тобой - Мядсейского, газонефтяного Русского месторождений. Оба комплекса работ проводились независимо в разные интервалы времени и затем получаемые данные одноактно сопоставлялись. Намного эффективней мог быть длительный мониторинг.

Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение

На Ямбургском месторождении был проведен наиболее детальный анализ возможностей использования дистанционных методов при разработке. Это объясняется тем, что оно наиболее детально изучено всеми видами геофизических методов и огромным объемом разведочного и эксплуатационного бурения. Перед проведенными исследованиями стояла задача оценить информативность радиолокационной интерферометрии и проверить полученные результаты с помощью промысловых данных, так как сейсморазведка оказалась недостаточно эффективной при изучении детальной структуры сеноманского резервуара.

Ловушка по сейсморазведочным данным на начальном этапе работ представляла собой пликативное поднятие, осложненное несколькими разрывными нарушениями (рис. 23). Результаты грави- и магнитометрических работ практически не дали новой информации.

По дистанционным данным месторождение разбито системой разрывных нарушений, которые являлись первоочередными объектами комплексных исследований. По итогам этих работ представлялось возможным выделенные по геофизическим данным разрывные нарушения подразделять на погребенные или пассивные в современной структуре резервуара и активизированные, то есть на момент разработки имеющие гидродинамическое значение. В дополнение к этому, можно было подразделять установленные дизъюнктивные нарушения на барьеры и каналы, которые делят резервуар на разноразмерные блоки и играют определяющую роль при добыче углеводородов (рис. 24).

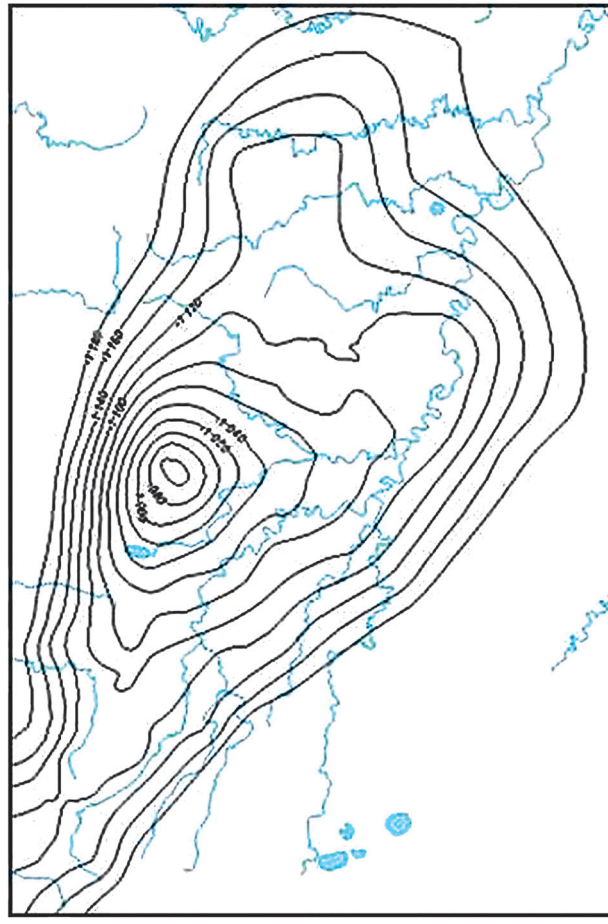


Рис. 23. **Структура Ямбургского месторождения по данным сейсморазведки**

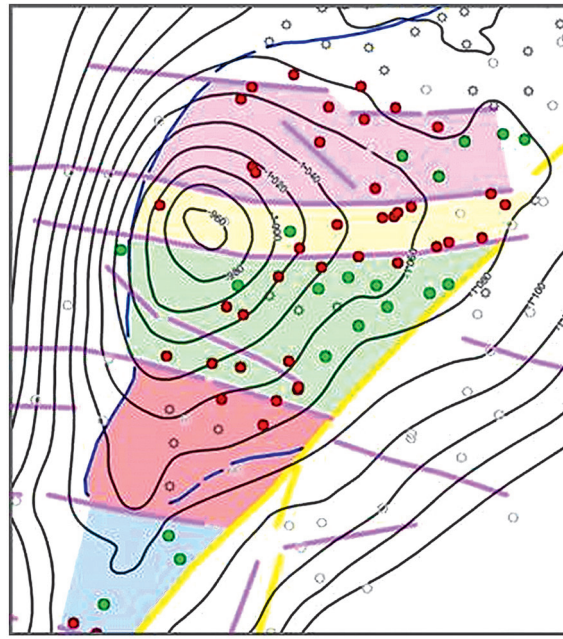


Рис. 24. **Блочная структура Ямбургского месторождения по данным дистанционных и сейсморазведочных методов**

По результатам структурного анализа дистанционных материалов в пределах Ямбургского месторождения были выделены разноранговые дизъюнктивные дислокации трех типов: зоны, состоящие из большого количества субпараллельных небольших разрывов в пределах ловушки, протяженные или выходящие за пределы поднятия, и локальные нарушения. Были получены некоторые статистические показатели по их изучению промысловыми данными по парам скважин, расположенных с двух сторон от рассматриваемых нарушений [8]. Нарушения, выделенные дистанционными методами при суммарном использовании анализа 91 пары на первом этапе работ, в 96% случаев разделяют скважины с разными положениями ГВК. Из них 79% приходится на зоны активных нарушений и 12% на прочие разрывы. Перепады ГВК в парах: средние – 4,3 м, максимальные – до 10,5 м. Полученные данные отражают определенные закономерности структурного контроля резервуара разрывными нарушениями, представляющими собой в большинстве случаев барьеры. Вдоль них также отмечается снижение продуктивности скважин.

В качестве примера детализации одной из зон разрывных нарушений приведены результаты исследования 22 кустов добывающих скважин.

Изучалась зона широтной ориентировки в центральной части месторождения, которая наиболее ярко отражается на дистанционных материалах и характеризуется современной активностью. Она только фрагментарно нашла отражение в установленной сейсморазведкой структуре резервуара и характеризуется следующими показателями:

- в 9 кустах расположены наиболее высокопродуктивные скважины;
- в 6 кустах расположены продуктивные скважины;
- в 7 кустах нет высокопродуктивных скважин.

В пределах всех кустов добывающих скважин имеют место значительные вариации продуктивности скважин. Это указывает на то, что субвертикальные каналы с высокой раскрытостью расположены лишь в пределах ограниченного объема резервуара этой зоны (рис.25).

В этой же зоне расположены 7 пьезометров, в которых контролировалось давление в законтурных частях резервуара. Судя по его динамике, 5 пьезометров расположены в частях резервуара с высокой раскрытостью субвертикальных каналов. Таким образом, прогноз положения субвертикальных каналов может быть сделан на уровне относительно крупных элементов резервуара.

Проблемой разработки Ямбургского месторождения при текущей газоотдаче являлось снижение темпа добычи и ускорение ввода дожимных компрессоров, так как выявились следующие факты:

- газонасыщенные объемы залежи дренируются частично и неравномерно в связи с недоразведанностью;
- соответственно, проект разработки требует корректировки и бурения дополнительных добычных скважин в плохо дренируемых блоках.

Эти результаты объяснялись принятием для разработки фильтрационной модели, основанной на квазиоднородных свойствах резервуара и недооценке его блочной

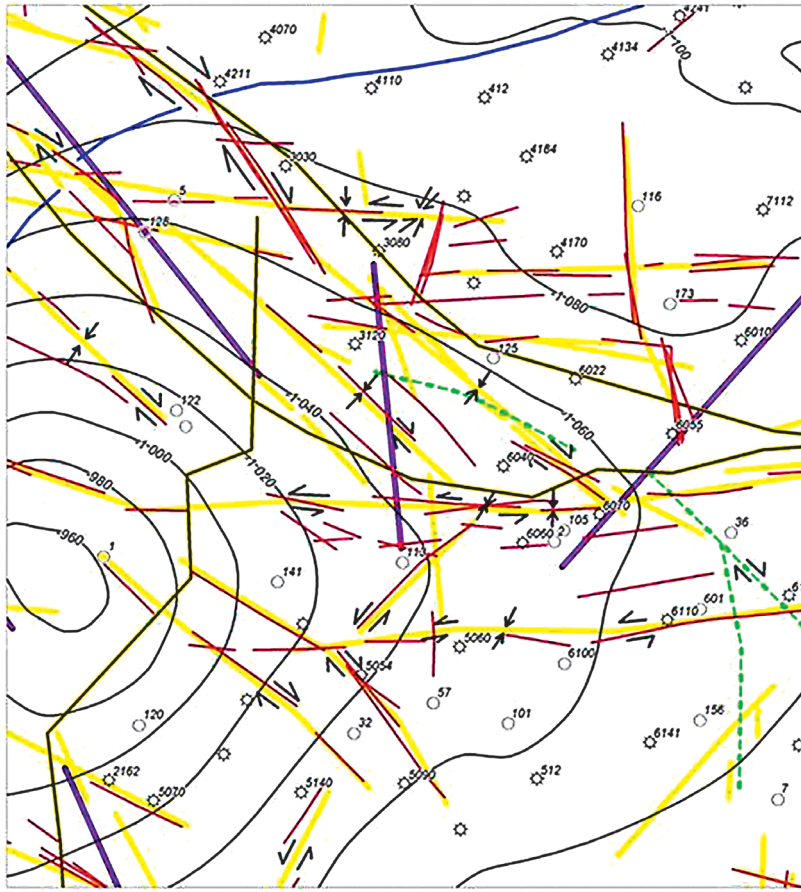


Рис. 25. **Фрагмент схемы блочной структуры Ямбургского месторождения по дистанционным и геофизическим данным**

структуры. То есть, была выбрана гидродинамическая модель единого резервуара в рамках закона Дарси с разработкой в режиме истощения.

По дистанционным данным структура месторождения оказалась значительно более сложной и разбитой на ряд блоков, характеризующихся свойственными им фильтрационно-емкостными свойствами, разделенными слабопроницаемыми барьерами и каналами. Для доказательства этих результатов Л.Б. Берманом проводилась переинтерпретация скважин и анализ всех промысловых материалов за продолжительный период разработки. Именно данные бурения позволили доказать существование мало- и микроамплитудных разрывных нарушений и показать их значимость при проведении эксплуатационных работ в комплексе с радиолокационной интерферометрией.

Блочное строение резервуара проявилось в неравномерном снижении пластового давления. В некоторых зонах отбора газа отмечались минимальные величины пластового давления, а в переферийных частях сохранялось начальное пластовое давление, а также были выявлены не дренируемые участки. В процессе разработки величины продуктивности добывающих скважин, расположенных около активных нарушений снижались или были стабильны. Максимальное снижение отмечено в кустах скважин, находящихся вблизи систем нарушений широтного, северо-восточного и северо-западного направлений (рис.25). Снижение продуктивности скважин имело место и для скважин, находящихся вдоль разрывных нарушений, где фиксировались прорывы законтурных вод. Это же явление отмечалось приблизительно в 50% кустов добывающих скважин, что, вероятно, обуславливалось локальным ухудшением фильтрационных свойств в частях резервуара, через которые имел место подток газа в зоны отбора [8].

Проведенный анализ динамики фильтрационного сопротивления может быть объяснен наличием низкопроницаемых барьеров в зонах разрывных нарушений. Эти барьеры разделяют резервуар на отдельные блоки, фильтрация через которые происходит при повышенных градиентах давления. В некоторых частях резервуара проявляются субвертикальные каналы, приуроченные к нарушениям, обеспечивавшим гидродинамическую связь между продуктивной и законтурной частями.

Рассмотрим конкретные примеры. В пределах резервуара различие в положении поверхности начального ГВК не превышало 20 м. Более глубокое положение этого контакта наблюдалось севернее широтной зоны активных нарушений, которые разделяют центральную и северную части Ямбургского поднятия (рис. 25). Его скачки с амплитудой около 5 м в различных частях резервуара приурочены к выделенным дизъюнктивам (табл. 2, 3, 4).

Избирательное внедрение законтурных вод определило наличие пластовой воды в ряде добывающих скважин, зафиксированной по результатам повторного НК в зоне широтных нарушений (кусты 1070, 1080, 1140), колебания в контакте составляют 10,35 и 50 м. на 6,10 и 15 годах разработки.

По результатам проведенных исследований блочное строение, выявленное по дистанционным данным, подтверждается:

Таблица 2

Изменение положения ГВК в районе тектонических нарушений

№№	№№ скважин	ΔI, км	ΔH, м	-Hw1,м	-Hw2,м	Ориентировка нарушений
1	4044-3020	9	4	1176	175	широтное
2	4044-4064	10	6	1176	1178	меридиональное
3	7051-7040	3,5	8	1177,7	1173,4	меридиональное
4	7051-7034	6	5,5	1177,7	1176	меридиональное

Таблица 3

Положение ГВК ниже абсолютной отметки

№ скважины	Абсолютная отметка кровли	Вероятное положение ГВК	Примечание
64	1114,1	1168,1-71,3	1181,5 - вода
3020	1062,5	1167,3-70	1175,3 - вода
3120	1054,8	1163,2-67,4	1167,6 - вода
4124	1093,8	1166,5	1170,9 - вода
7014	1096,4	1168	1183,6 - вода
7051	1080,3	1172,3-73,5	1177,7 - вода
7120	1087,7	1168	1176,0 - вода

Таблица 4

Установленные барьеры по изменению ГВК по площади между скважинами

№№ скважин	
4044	3020,406
7051	7040,7034
1050	5070
1090	5080
61	3150,3170
4160	4124,4281
4134	7014,7024
65	7051,7120
64	4064,7040
3150	61,3120

1. Высокой локальной подвижностью газа и воды по субвертикальным каналам. Все рассмотренные обводненные добывающие скважины находятся вблизи от нарушений (удаленность около 1 км). Внедрение подошвенных законтурных вод происходит в основном по субвертикальным каналам.

2. Движением воды по субвертикальным каналам происходит при относительно небольших градиентах давления, существенно различных в разных каналах. Это обуславливает разновременность обводнения добывающих скважин даже одного куста.

3. Влиянием на показатели темпа внедрения законтурных вод в разных участках резервуара от темпа отбора газа из ближайших скважин. Наиболее глубокие воронки пониженного давления в законтурной части резервуара расположены под зонами

отбора, для которых характерна более высокая концентрация активных нарушений.

4. Наличием низкопроницаемых барьеров в резервуаре определявшим небольшие внедрения законтурных вод, обуславливающих газовый режим разработки месторождения.

По данным «Газпром добыча Ямбург» в 2009 г. доля газа, добытая из ранее застойных зон составила 30% от суммарной годовой добычи газа и достигла приблизительно 35 млрд. м^3 в год. Прирост величины дренируемых запасов составил примерно 1 трлн. м^3 [8]. Все дополнительные добывающие скважины введены в эксплуатацию в частях резервуара, отделенных разрывными нарушениями от зон отбора газа, которые были предусмотрены в начальном проекте разработки.

Проведенная работа позволяет сделать ряд выводов:

1. В процессе разработки изменяется направление движения газов и воды и их интенсивность. Это определяется следующими факторами:

- снижением фильтрационных свойств барьеров, разделяющих небольшие блоки, что приводит к различному росту перепадов давления на разных барьерах.

- интенсивностью внедрения законтурных вод в разных частях резервуара, которая контролируется наличием и распределением субвертикальных каналов и разнопроницаемых барьеров между продуктивной и законтурной зонами.

2. Барьеры и субвертикальные каналы в основном приурочены к активным малоамплитудным тектоническим нарушениям, о чем свидетельствуют следующие данные:

- начальная поверхность ГВК не горизонтальна а изменяется скачкообразно, величина колебаний контакта в среднем имеет амплитуду около 5 м, пространственно эти явления приурочены к активным нарушениям;

- физико-химические свойства пластовых флюидов различны в разных частях резервуара, что наиболее четко проявляется в газоконденсатных и нефтегазовых залежах;

- границы депрессионных воронок приурочены к зонам малоамплитудных нарушений, так же как и активное поступление законтурных вод;

- начальная продуктивность добывающих скважин, расположенных около нарушений, была значительно выше, чем более удаленных;

- для кустов добывающих скважин, находящихся вблизи нарушений, характерен больший разброс величин продуктивности, чем для более удаленных;

- в период падающей добычи газа аномально высокий темп снижения пластового давления в зоне его отбора наблюдался на участках, отделенных от основного объема резервуара разрывными нарушениями, что отмечалось в наблюдательных скважинах.

Основные выводы по выполненной работе сводятся к следующему:

- при различных темпах отбора газа сохраняется постоянная разница давлений между буферными частями резервуара и зонами отбора, разделенными барьерами;

- депрессионные воронки разделены частями залежи, в которых установлены нарушения;

- основные внедрения вод происходят скачкообразно в виде локальных прорывов

в зонах нарушений по вертикальным каналам, связывающим газовую и водоносную часть резервуара.

Приведенные данные указывают на целесообразность и эффективность использования дистанционных методов в процессе разведочных и эксплуатационных работ. Пример Ямбурга наиболее детально и комплексно изученного дистанционными и геолого-геофизическими методами, не единичен. Подобные данные получены по Уренгойскому и Медвежьему газоконденсатным месторождениям [41]. Основной смысл подобных комплексных исследований, проведенных впервые, заключается в повышении извлекаемости углеводородов относительно традиционных методов разработки месторождений нефти и газа.

Баяндыское нефтяное месторождение

Это месторождение открыто в 2006 году в Денисовской впадине Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. В верхнедевонских карбонатах с трещинно-поровым резервуаром ловушка представляет собой структурный залив, а по форме – подковообразное поднятие. Она с трех сторон ограничена разрывными нарушениями с амплитудой порядка 60 м. Внутри ловушки разрывных нарушений сейсморазведкой не выявлено, а по дистанционным методам они были спрогнозированы [44].

Необходимо подчеркнуть, что краевые, более амплитудные разрывы почти идентичны, несколько различаясь пространственным положением за счет наклона сместителя (рис. 26). Более того, западное нарушение по обоим методам представляет собой сдвиг одинаковой направленности (рис. 27). Внутренние, менее амплитудные разрывы, более ярко отражающиеся на космоснимках, не выявлены сейсморазведкой 3Д (рис. 26), хотя небольшие осложнения отмечаются на сейсмопрофилях.

Внутренние нарушения как отражают тещиноватость карбонатного массива, так и характеризуются новейшей активностью. В пределах прогнозируемых зон трещиноватости расположены скважины №1,10,11,12,14.

Нарушение СЗ ориентировки отделяет северный воздымающийся блок, от южного опускающегося или стабильного на фоне первого. Нарушение СВ простирания отделяет блок не затронутой активными разрывами, где отмечается низкая трещиноватость и отсутствие притока жидкости.

Анализ продуктивности добывающих скважин показал, что высокие притоки нефти получены из скважин, которые расположены в зонах развития активных субвертикальных каналов (скв. №№1,10,11).

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что сейсморазведка 3Д не всегда способна выявлять мало- и микроамплитудные нарушения, подтверждаемые данными бурения. Не исключено их сознательное игнорирование, несмотря на то, что они могут представлять интерес для детального изучения структуры резервуара и влиять на полноту извлечения углеводородов.

Рис. 26. **Структурная схема по кровле отложений D3zd Баяндыского нефтяного месторождения по данным сейсморазведочных и дистанционных работ**

Рис. 27. **Сдвиговое нарушение западного ограничения Баяндыского месторождения по данным сейсморазведочных и дистанционных методов**

Ловинское нефтяное месторождение

Дистанционные методы впервые были применены при разработке Ловинского месторождения и частично Уренгойского в конце 80-х гг. в комплексе с геолого-геофизической информацией [42]. В ходе разведочных работ на первом выяснилось, что продуктивные пласты характеризуются изменчивостью эффективных мощностей и фильтрационно-емкостных свойств. Поэтому гидропроводность основного пласта Ю2-3 тюменской свиты и начальные дебиты скважины резко варьировали по площади от первых единиц до 250 т/с. Эти данные показали, что имела место недоразведованность месторождения, в связи с чем ГКЗ была рекомендована его доразведка.

В процессе эксплуатационного разбуривания центрального участка месторождения были установлены факты гидродинамической разобщенности основного пласта между соседними скважинами и значительный диапозон изменений дебитов. Комплексный анализ полученной информации дал возможность выявить значительное воздействие тектонической нарушенности на распределение в разрезе высокоемких коллекторов. На временных разрезах фиксировались ряд нарушений, наиболее четко проявляющихся в фундаменте. Однако протрассировать выявленные на отдельных профилях разрывы в чехле, оказалось затруднительно при существовавшей системе наблюдений. С целью решения данной задачи были использованные аэро- и космические съемки. Для оценки достоверности дистанционной информации сопоставлялся полный комплекс данных. При этом было установлено, что положение трех спрогнозированных локальных поднятий (Ловинского, Средне и Западно-Ловинских) подтверждается данными сейсморазведки и бурения.

Выявленные основные системы нарушений ССВ и ЗСЗ ориентировки контролируют основные структурные элементы фундамента и осадочного чехла. Первая система соответствует зонам уменьшенных толщин тюменской свиты.

Сопоставление разрывных нарушений по сейсморазведке и дистанционным методам показывают, что они в целом совпадают, и подтверждены гидродинамическим анализом (рис. 6, 28). Эти данные явились доказательством целесообразности использования методов дистанционного зондирования. Было установлено, что дислокации ССВ и ЗСЗ простирания являются конседиментационными, контролируют палео рельеф, условия осадконакопления тюменской свиты и ее литологическую характеристику. Эти нарушения приурочены к наиболее активным зонам, где расположены наиболее высокодебитные скважины, что помимо коллекторских свойств объясняется формированием трещиноватых участков под воздействием новейших и современных тектонических движений.

Конечным результатом комплексного анализа являлось выделение типов зон, различающихся промышленной значимостью тюменских отложений с построением карт эффективных нефтенасыщенных толщин, концентрации извлекаемых активных запасов и потенциальной продуктивности скважин (рис. 29). При этом рассматривалось два варианта: пликативный и блоковый. Сопоставление построенных карт с результатами контроля за разработкой показал, что второй в большей степени согласуется с промысловыми данными. Для проверки участков различной промышленной

Рис. 28. **Схема гидродинамических связей по скважинам в результате 3,5 лет эксплуатации Ловинского месторождения**

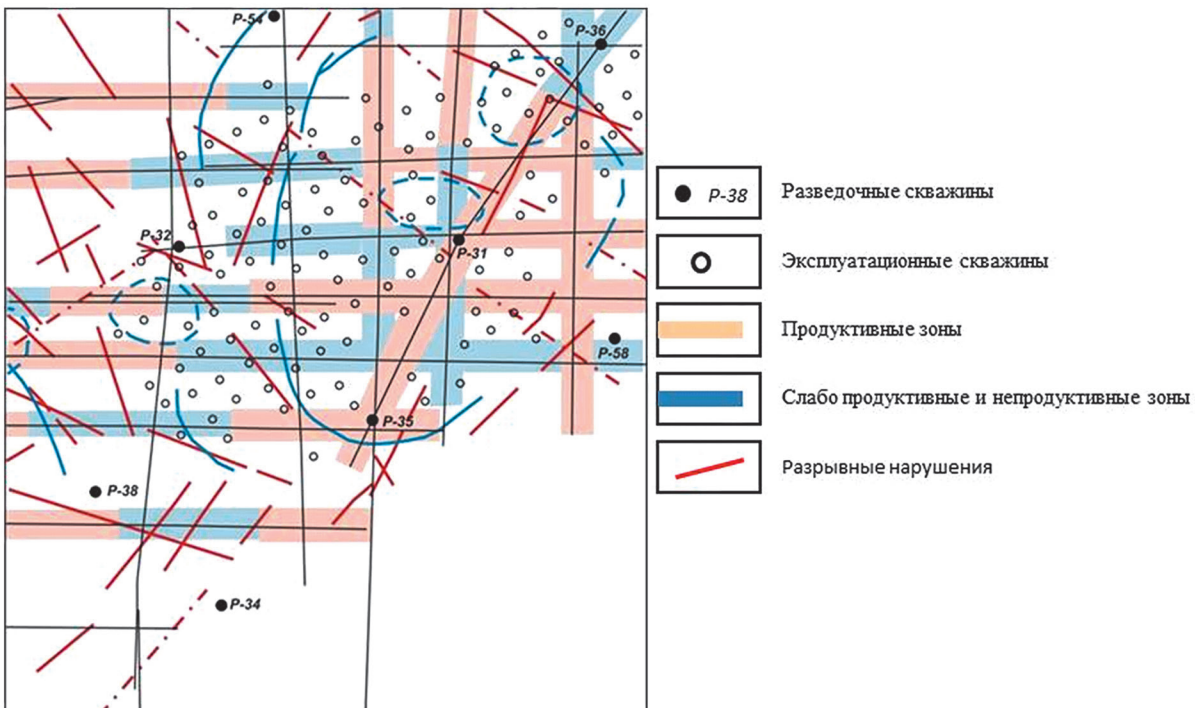


Рис. 29. **Схема прогноза продуктивности эксплуатационных скважин Ловинского месторождения с учетом данных дистанционного зондирования.**

Рис. 30. **Сопоставление разрывных нарушений и сопровождающих их зон трещиноватости по сейсморазведке методом дуплексных волн (МДВ) и дистанционным методам (ДМ) Тобой – Мядсейского месторождения**

значимости был проведен анализ данных о продуктивности и концентрации активных запасов по результатам эксплуатационного бурения в зонах, выделенным дистанционными методами. Прогноз оказался удовлетворительным.

Тобой - Мядсейское нефтяное месторождение

С целью оптимального расположения эксплуатационных скважин на этом объекте были проведены сейсморазведочные работы с делатансионной обработкой данных и дистанционные исследования. Основное различие в полученных результатах заключается а трассировании преимущественно продольных нарушений первыми и поперечных – вторыми (рис. 30). Продольный тип нарушений теоретически отвечает зонам растяжений, а поперечный – сжатия, сопровождаемого сдвигами. Необходимо подчеркнуть, что последние значительно реже выявляются сейсморазведкой, однако те и другие сопровождаются зонами трещиноватости. Об этом свидетельствует дебит скважин №12,17,20, расположенных вблизи поперечных нарушений. Неоднократно приведенные примеры лишний раз свидетельствуют о целесообразности комплексирования сейсморазведочных и дистанционных работ, если акционеры и специалисты заинтересованы в экономической эффективности разработки.

Русское газонефтяное месторождение

Целью изучения Русского месторождения является оценка информативности дистанционных методов в сравнении с результатами сейсморазведочных работ методом 3Д. Здесь проведен их полный комплекс, включая построение моделей разломов, в том числе разломов.

В первую очередь сравнительный анализ данных, полученных двумя методами, проводился в области структурных построений. В отношении контура локального поднятия результаты были довольно близки. То же в общем плане относится и к разрывным нарушениям с некоторыми отличиями пространственного положения, но при доминировании субмеридиональных дислокаций (рис. 31). Отличие заключается в отсутствии на сейсморазведочных материалах нарушений северо-восточного простирания, интерпретируемых по дистанционным данным как сдвиги более молодого возраста в сравнении с субмеридиональной системой разрывов, унаследовано отражающих рифтогенный этап развития.

При рассмотрении всех нарушений, выделенных по данным сейсморазведки по итогам переинтерпретации, очевидна интенсивная раздробленность всего резервуара на палеотектоническом этапе формирования структуры. По результатам дистанционного зондирования установлены древние омоложенные разрывы и новообразованные, которые по всей вероятности, могут быть отнесены к сквозным каналам. При сходном пространственном положении эти отличия могут представлять интерес при разработке. Кроме того, представлялось возможным выделить три продольных в разной степени активизированных блока (рис. 28). Последний делится, в свою очередь, поперечными сдвигами еще на три более мелких блока.

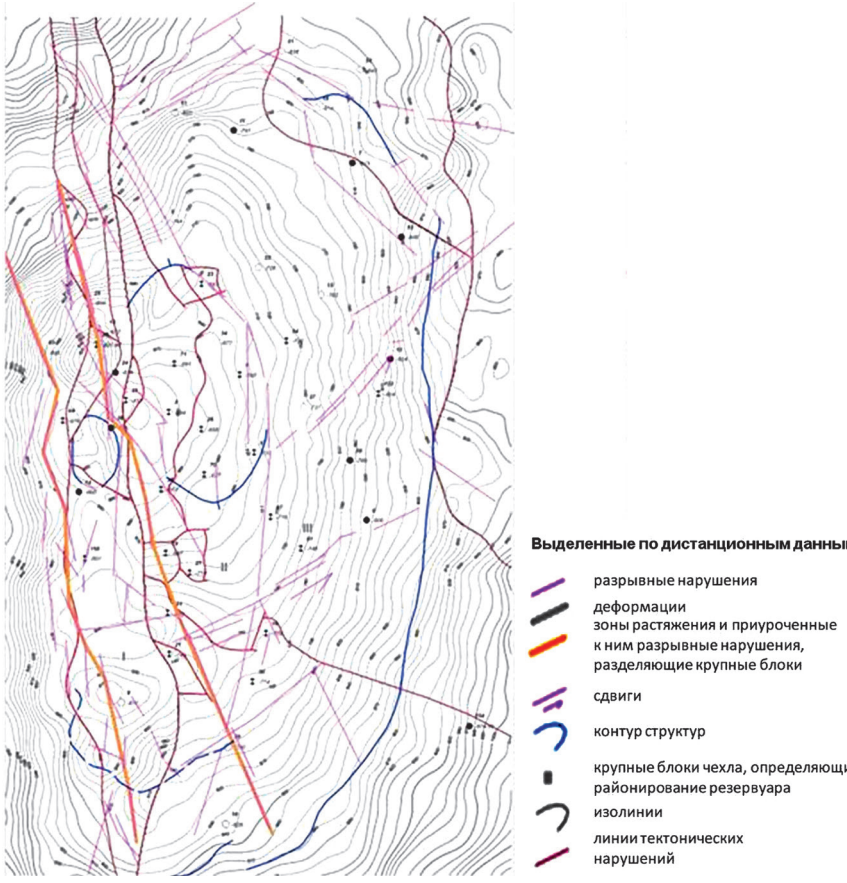


Рис. 31. **Структурная карта Русского месторождения, составленная по сейсморазведочным, буровым и дистанционным данным**

Анализ всех сейсморазведочных и промысловых данных позволил сделать ряд выводов:

- нефтяные скважины, в основном, локализуются в западном активном блоке;
- часть нефтяных скважин локализуется в северо-восточной части месторождения и тяготеют к молодым или омоложенным нарушениям;
- газовые скважины преимущественно расположены во втором блоке, который по дистанционным данным является наиболее современно активным.

Приведенные данные по результатам использования дистанционных методов в комплексе разведочных и эксплуатационных работ позволяют сделать ряд выводов.

Для разделения тектонически обусловленных каналов и барьеров, выявленных дистанционными или сейсморазведочными методами определяется:

- степень современной активности отражающих их разрывных нарушений;
- наличие теплового потока выше, равное или ниже фонового;
- спектральные аномалии, отражающие проявление углеводородов на поверхности.

Соответственно показатели, характеризующие нарушения превышающие фоновые значения, с наибольшей вероятностью могут отвечать каналам, а равные или уменьшенные – барьерам. Последние, имеющие субвертикальную ориентировку, перекрывают движение флюидов в продуктивных горизонтах. Возможны несколько вариантов: смещение по разрывам, экранирование плоскости смещения выдавленными из соседних пластов глинами или другими слабо проницающими породами, проявление химических реакций вмещающих пород и флюидов, или положение в зоне интенсивного сжатия.

Необходимо подчеркнуть, что выявляемые каналы и барьеры, носят прогнозный характер и должны проверяться традиционными методами в процессе разбуривания месторождений, вводимых в разработку.

Методы дистанционного зондирования до настоящего времени применявшиеся на поисковом этапе, могут быть использованы при планировании разведочных и эксплуатационных работ. На этой стадии производится комплексная переинтерпретация всего массива геологических данных для построения трехмерной структурной модели месторождения.

Стадия размещения разведочных скважин преследует цель проверки данных о неоднородностях резервуара и оценки их возможного воздействия при разработке. При низкой плотности скважин необходимой является проверка нескольких структурных элементов резервуара: наличие каналов, барьеров и разноразмерных блоков. В условиях ограниченных возможностей сейсморазведки дополнительная информация может быть получена электроразведкой. Эти данные необходимы для составления прогнозной фильтрационной модели резервуара.

В процессе разработки разведочная модель уточняется. При этом проводится анализ техногенного воздействия на подвижность отдельных структурных элементов в начале разработки и в ее процессе. В первую очередь это анализ вертикальных и горизонтальных движений с целью корректировки поведения резервуара и его мо-

ниторинга, в том числе при условии заводнения. В этом случае начинают активно работать каналы, характеризуясь повышенным тепловым потокам.

Особую роль играет оценка расположения и поведения барьеров, которые могут ограничивать застойные зоны, где отбор углеводородов будет затруднен в зависимости от степени их проницаемости и величины пластовых давлений. Интенсивность просадок и стабильность отдельных блоков, устанавливаемых в процессе мониторинга, будет свидетельствовать о степени интенсивности отбора углеводородов.

Необходимо подчеркнуть, что стоимость дистанционных работ, сопровождающих разведку и разработку, на порядки ниже обычных затрат на эти работы. При этом необходимо учитывать экономический эффект от повышения извлекаемых углеводородов при комплексном использовании дистанционных и геолого-геофизических данных.

Заключение

Традиционный подход к изучению структуры резервуара, особенно сложных и малоамплитудных ловушек углеводородов ограничен, с одной стороны, разрешающими характеристиками используемых методов и дискретным расположением источников информации, с другой стороны – стремлением к упрощению строения резервуаров, и его относительной однородности или фильтрационно-емкостных свойств, обеспечивающих действенность закон Дарси. Появление новых высокоразрешающих, малозатратных и оперативных методов дистанционного зондирования обеспечивает получение априорной информации для оптимального размещения сейсмопрофилей, разведочных и эксплуатационных скважин.

Комплекс методов дистанционного зондирования включает многоспектральную съемку для картирования зон и ареалов просачивания углеводородов на земной поверхности; тепловую инфракрасную съемку для проявления аномального теплового потока на месторождениях, свидетельствующего о сквозных нарушениях; радиолокационную интерферометрию для оценки современной подвижности структурных элементов резервуара, связанных с тектогенными и техногенными причинами. Получаемая информация, интерпретируемая в комплексе с геолого-геофизическими данными, существенно обогащает объем сведений о строении месторождений, в конечном счете влияющий на повышение извлекаемости углеводородов.

Необходимо отметить, что дистанционные методы, фиксирующие на поисковом этапе сформированный к настоящему времени структурный облик ловушки и, следовательно, резервуара обеспечивают информацию и для разведочного этапа. То есть предлагаемая технология работ определяет необходимость сопровождения дистанционными методами работы от поисков до разработки.

Методика применения дистанционного зондирования апробирована на ряде разведываемых и эксплуатируемых месторождениях нефти и газа, показав, таким образом, целесообразность и эффективность их использования. Экономический эффект от данного вида комплексирования заключается в некотором сокращении объема геолого-разведочных работ и увеличении КИН.

Литература

1. Максимов В.М. О современном состоянии нефтедобычи, коэффициентах извлечения нефти и методах нефтеотдачи. Электронный журнал нефти и газа. 2011.

2. Трофимов Д.М., Полканова Л.П. Аэрокосмические методы на региональном этапе геолого – разведочных работ на нефть и газ. М., Недра, 1988.

3. Перцов А.В. Задачи преобразования аэро- и космической информации аналоговыми и цифровыми методами в процессе геолого-съемочных и поисковых работ. В сб. «Методы обработки аэро- и космической информации при геолого-съемочных и поисковых работах» Л., Недра, 1987.

4. Трофимов Д.М., Евдокименков В.Н., Шуваева М.К. Современные методы и алгоритмы обработки космической, геолого-геофизической и геохимической информации. М., Физматлит, 2012.

5. Каргер М.Д., Трофимов Д.М., Мясников И.Ф. и др. Новый инструмент изучения резервуаров подземных газовых хранилищ – радиолокационная интерферометрия. Наука и техника в газовой промышленности. 2014, №8.

6. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. М., «Мир», 1988.

7. Трофимов Д.М., Никольский Д.Б., Захаров А.И. Возможности и результаты практического использования спутниковой радиолокационной съемки и интерферометрии при геологоразведочных работах на нефть и газ. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009, №1.

8. Берман Л.Б., Захаров А.И. Вклад космической радиолокационной интерферометрии в изучение крупных месторождений Ямала: на примере Ямбургского месторождения. Земля из космоса. 2011, вып. 8.

9. Лялько В.Н., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. Использование тепловой и спектрометрической съемки для поисков нефтегазовых залежей. Киев, ИГН АН УССР, 1981.

10. Трофимов Д.М., Евдокименков В.Н., Малышев В.В. Методика оценки перспектив нефтегазоносности структурных ловушек, выявленных и подготовленных к поисковому бурению, по космическим и геолого-геофизическим данным. Геоматика, 2009, 1(2).

11. Райкунов Г.Г., Иванов В.В., Кузнецов Н.И. и др. Методы комплексного многокретериального анализа ДЗЗ и результатов геохимических исследований как новый вид нефтегазопоисковых работ. Геоматика, 2009, 1(2).

12. Денисов Ю.В., Емельянова А.В. О картографической точности геолого-структурных построений и космических данных при нефтегазопоисковых работах. В сб.

Прогнозирование структур осадочного чехла юга Восточной Сибири. Королев, 2010.

13. Захаров А.И., Яковлев О.И., Смирнов В.М. Спутниковый мониторинг Земли. Радиолокационное зондирование поверхности. М, Красанд, 2012.

14. Никонов А.А. Современные тектонические движения. М. Наука, 1979.

15. Трофимов Д.М. Эволюция космических методов, результаты их использования в нефтегазопоисковых работах за период 1987-2007 гг. и потенциальные возможности в будущем. Геоматика, 2009, 1(2).

16. Трофимов Д.М. Опыт и результаты использования дистанционных методов в комплексе региональных и нефтегазопоисковых работ в Сибири. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2011, №2(6).

17. Трофимов Д.М., Серебряков В.Б., Шуваева М.К., Хромова И.Ю. Оценка методики прогноза нефтегазоносности северо-западной Колумбии по дистанционным и геофизическим данным. Геоматика, 2011, 1(10).

18. Kontny B., Cacoń S., Koštak B., Stemberk J. Methodic analysis of data obtained by monitoring micro-tectonic movements with TM-71 crack gauges in the Polish Sudeten. - Acta Geodyn. Geomater., 2005, Vol.2, No.3 (139), p. 57-67.

19. Sashourin A.D., Panzhin A.A., Kostrukova N.K., Kostrukov O.M. Field investigation of dynamic displacement in zone of tectonic breaking. /Rock mechanics - a challenge for society: Proceedings of the ISRM regional symposium EUROK 2001. Espoo, Finland 3-7 June 2001/ Balkema 2001. p. 157-162.

20. Stemberk J., Košťák B., Cacoń S. A tectonic pressure pulse and increased geodynamic activity recorded from the long-term monitoring of faults in Europe. – Tectonophysics, 2010, Vol. 487, p. 1-12.

21. TOPO-EUROPE: The geoscience of coupled deep Earth-Surface processes/ S.A.P.L. Cloetingh, P.A. Ziegler, P.J.F. Bogaard et al. (33 authors). - Global and Planetary Change, 2007, Vol. 58, Is. 1–4, p. 1–118.

22. Амурский Г.И. и др. Изучение тектоники нефтегазоносных областей с использованием космических снимков. М., Недра, 1985.

23. Удод Г.Ф. Локальные структуры Печорской плиты в связи с нефтегазоносностью. Л., Наука, 1979.

24. Кузьмин Ю.О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности зонах платформенных разломов. В об: Геологическое изучение и использование недр. Геоинформмарк, 1996, Вып.4.

25. Касьянова Н.А., Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса. М., Геоинформмарк, 1996.

26. Сидоров В.А., Багдасарова М.В., Атанасян С.В. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М., Наука, 1989.

27. Панжин А.А. Экспериментальные исследования динамики смещений в разломных зонах. РФФИ, 2002.

28. Филатов А.В., Евтюшкин А.В., Васильев Ю.В. Многолетний геодинамический мониторинг нефтегазовых месторождений Западной Сибири методом спутниковой радиолокационной интерферометрии. - Современные проблемы дистан-

ционного зондирования Земли из космоса, 2012, т.9, № 2. - с. 39-47.

29. Wiesmann A., Wegmuller U., Werner C., Strozzi T. Subsidence monitoring over oil fields with L-band SAR interferometry. - Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International. Vol. 3, p. 1546 - 1548.

30. Khakim M.Y.N. , Tsuji T. , Matsuoka T. Detection of localized surface uplift by differential SAR interfer-ometry at the Hangingstone oil sand field, Alberta, Canada. - Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of. 2013, Vol. PP, Is. 99, p. 1-11.

31. Zhao Q., Lin H., Zhang Y., Jiang L., Chen F., Cheng S. Analysis of active ground subsidence zones in Guangzhou city using ASAR persistent scatterer interferometry. – In Urban Remote Sensing Event, 2009 Joint. Shanghai , 2011. - P. 1-5.

32. Fielding J., Blom G., Goldstein M. Rapid subsidence over oil fields measured by SAR interferometry. Geophys. Res. Lett..1998. 25, №17, с. 3215-3218.

33. Кантемиров Ю.И. Обзор основных методик обработки радарных данных ДЗЗ и их реализации в программном комплексе SARscape. Геоматика, 2012, 1 (14).

34. Афонин Д.Г. Совершенствование разработки трудноизвлекаемых запасов на основе комплексного анализа о сдвиговых дислокациях юрских залежей. Автореферат кандидатской диссертации. Тюмень, 2009.

35. Беспалова С.Н., Бакуев О.В. Оценка влияния разломов на геологические особенности залежей и продуктивность коллекторов газовых месторождений Западной Сибири. Геология нефти и газа. 1995, №7.

36. Сапрыкина А.Ю. Особенности строения и формирования нефтяных залежей в связи с дизъюнктивно – блоковым строением верхнеюрских и неокомских резервуаров широтного Приобья. Афтореферат кандидатской диссертации. Тюмень, 2002.

37. Горный В.Н., Шилин Б.В., Ясинский Г.Н. Тепловая аэрокосмическая съемка. М., Недра, 1993.

38. Осадчий В.Г., Лурье А.М., Ерофеев В.Ф. Геотермические критерии нефтегазоносности недр. Киев, «Наукова Думка», 1976.

39. Лялько В.Н., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. и др. Геотермические поиски полезных ископаемых. Киев, «Наукова Думка» 1979.

40. Чекалюк Э.Б., Федорцев М.М., Осадчий В.Г. Полевая геотермическая съемка. Киев, «Наукова Думка», 1972.

41. Берман Л.Б., Каргер М.Д., Рыжик В.М. Применение космических данных для выявления блочной структуры резервуара с целью повышения полноты извлечения углеводородов. В сб. Прогнозирование структур осадочного чехла юга Восточной Сибири. Королев, 2010.

42. Берман Л.Б., Величкина Н.Ф., Закревский К.Е. и др. Особенности комплексного изучения сложнопостроенных залежей нефти аэрокосмическими методами (на примере доразведки Ловинского месторождения). Прогнозирование структур осадочного чехла на основе комплексной интерпретации и обработке на ЭВМ аэрокосмических и геолого-геофизических данных. М., ВНИГНИ, 1990.

43. Karger, M., Trofimov, D. , Eminov, A. , Myasnikov, I., Zakharov, A. The early

detection of semi-permeable filtration barriers by using SAR interferometry. - Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International, pp. 250 – 253, DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6946404.

44. Shuvaeva M., Trofimov D., Zakharov A. Structural model of oil field limestone reservoir in Denisov depression based on Alos Palsar images and seismic exploration data. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS, 2012.

Для записей

Для записей

Для записей

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

I. Физические основы методов дистанционного зондирования и изучаемых геологических процессов 6

I.1. Физические основы методов дистанционного зондирования и возможности их использования при разведке и разработке месторождений нефти и газа 6

I.2. Физические процессы в земной коре, определяющие возможность выявления структурных форм осадочного чехла дистанционными методами 8

I.3. Физические процессы в осадочном чехле, определяющие возможность прогноза скоплений углеводородов дистанционными методами. 13

II. Решаемые геологические задачи и используемые виды дистанционного зондирования при разведке и разработке месторождений нефти и газа 16

II.1. К истории изучения воздействия новейших и современных тектонических движений на добычу углеводородов 17

II.2. Перспективы использования радиолокационных съемок при разведке и разработке месторождений нефти и газа 19

II.3. Использование тепловой инфракрасной съемки для регистрации теплового потока, связанного с месторождениями нефти и газа 30
II.4. Использование многоспектральной съемки при разведке и разработке месторождений нефти и газа 34
II.5. Комплексное использование методов дистанционного зондирования для решения некоторых задач при разведке месторождений нефти и газа 40
II.6. Комплексное использование методов дистанционного зондирования для решения некоторых задач при разработке месторождений нефти и газа 44
II.6.1. Разработка методики изучения резервуаров с использованием дистанционных методов при техногенном воздействии на них 44
II.6.2. Некоторые результаты использования дистанционных методов при разработке месторождений нефти и газа 51
Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение 51
Баяндыское нефтяное месторождение 59
Ловинское нефтяное месторождение 62
Тобой - Мядсейское нефтяное месторождение 66
Русское газонефтяное месторождение 66

Заключение 70

Литература 71

Д.М. Трофимов,
М.Д. Каргер,
М.К. Шуваева

МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Руководитель проекта
А.Н. Соловьев

Главный редактор
В.В. Космин

Верстка
А.Н. Зайцев

Подписано в печать 17.02.2015.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».
Объем 5 печ. л.
Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство «Инфра-Инженерия»
Тел.: 8(911)512-48-48
Тел./факс: 8(8172)75-15-54
E-mail: infra-e@yandex.ru
www.infra-e.ru

Издательство «Инфра-Инженерия»
приглашает к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы