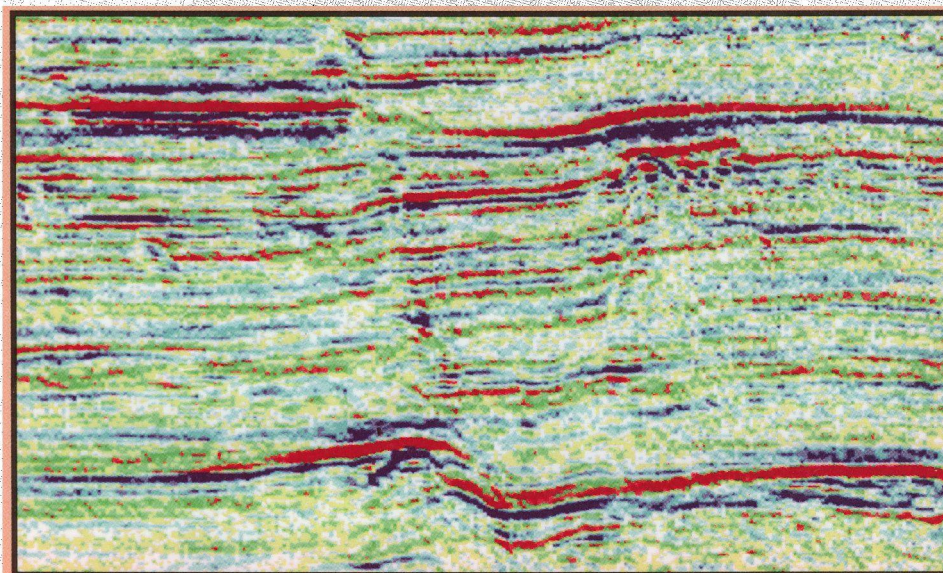


И.А. Мушин, Ю.С. Корольков, А.А. Чернов

**ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ
ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ
МЕТОДАМИ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ**



НАУЧНЫЙ МИР

И.А. Мушин, Ю.С. Корольков, А.А. Чернов

**ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ
ДИЗЪЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ
МЕТОДАМИ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

**Москва
Научный мир
2001**

ББК 26.324

М 93

УДК 551.24

М 93 Мушин И.А., Корольков Ю.С., Чернов А.А. Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики. – М.: Научный мир, 2001. – 120 с.

ISBN 5-89176-152-1

ББК 26.324

Дан анализ всех видов геофизической информации, позволяющей выделять и картировать дизъюнктивные дислокации. Показано, что геологические модели месторождений углеводородов не могут быть построены без учета дизъюнктивных дислокаций. Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области геологии и геофизики, занимающихся изучением осадочных бассейнов и связанных с ними месторождений нефти и газа.

Книга написана при участии Г.А. Белоусова, И.А. Гарагаша, А.С. Горюнова, Е.С. Киселёва, Е.А. Козлова, В.В. Макарова, А.В. Овчаренко, А.С. Сафонова, М.В. Страхаля, Б.К. Фролова.

Редактор – д.г.-м.н. А.В. Овчаренко.

Табл. – 11, ил. – 90, спис. лит. – 57.

Mushin I.A., Korol'kov Yu.S., Chernov A.A. Revelation and mapping of disjunctive dislocations by the methods of exploration geophysics. – М.: Scientific World, 2001. – 120 p.

The book illuminates all types of geophysical information that is useful in determination of disjunctive dislocations. It stresses that these dislocations are to be concerned in geological modeling of hydrocarbon reservoirs. The book is oriented for a wide range of specialists in both geology and geophysics, especially for those who study sedimentary basins as well as with oil and gas deposits.

The book is written under participation of G.A. Belousov, I.A. Garagash, A.S. Goryunov, E.S. Kiselev, E.A. Kozlov, V.V. Makarov, A.V. Ovcharenko, A.S. Safonov, M.V. Strakhal', B.K. Frolov.

Editor – doc.geol.-min.sci. A.V. Ovcharenko.

Tab. – 11, il. – 90, lit. – 57.

ISBN 5-89176-152-1

© Коллектив авторов, 2001.

© Научный мир, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Методологические (структурно-формационные) основы выявления и картирования дизъюнктивных дислокаций (ДД)	7
1.1. Геологические модели месторождений на этапах геолого-разведочных работ (ГРР)	7
1.2. Методология изучения дизъюнктивных дислокаций геофизическими методами	8
1.3. Методология структурно-формационной интерпретации (СФИ)	12
Глава 2. Геологические предпосылки применения комплекса геофизических методов для выявления и картирования дизъюнктивных дислокаций при подсчете запасов углеводородов (УВ)	18
2.1. Общие сведения	18
2.2. Геологические предпосылки применения сейсморазведки	23
2.3. Геологические предпосылки применения гравиразведочных и магниторазведочных методов	29
2.4. Геологические предпосылки выделения дизъюнктивных дислокаций в электромагнитных полях	30
Глава 3. Физические характеристики дизъюнктивных дислокаций	32
3.1. Сейсмогеологические характеристики дизъюнктивных дислокаций	32
3.2. Электрические характеристики дизъюнктивных дислокаций	38
3.3. Плотностные характеристики дизъюнктивных дислокаций в сочетании с характеристиками геологических тел, к которым они приурочены	39
Глава 4. Моделирование дизъюнктивных дислокаций для различных типов разреза	44
4.1. Моделирование сейсмических полей	44
4.2. Моделирование электромагнитных полей	53
4.3. Моделирование гравитационных полей для различных кинематических типов дизъюнктивных дислокаций	56
Глава 5. Проявление признаков дизъюнктивных дислокаций в результатах геофизических исследований	63
5.1. Экспериментальные примеры проявления признаков дизъюнктивных дислокаций на сейсмических материалах	63
5.2. Экспериментальные примеры проявления признаков дизъюнктивных дислокаций на материалах электроразведки	71
5.3. Экспериментальные примеры проявления признаков дизъюнктивных дислокаций на материалах гравиразведки	76
Глава 6. Методика геофизических исследований при картировании дизъюнктивных дислокаций	81
6.1. Методика и технология сейсморазведки при картировании дизъюнктивных дислокаций	81
6.2. Методика электроразведки при выявлении и картировании дизъюнктивных дислокаций	98
6.3. Методы выявления и картирования нарушений по грави- и магнитометрическим данным	102
Глава 7. Методика выявления и картирования дизъюнктивных дислокаций (выводы и рекомендации)	107
Литература	117

ВВЕДЕНИЕ

Дизъюнктивные дислокации (ДД) осадочной толщи и фундамента являются важнейшими компонентами геологических разрезов, влияющими как на формирование ловушек нефти и газа, так и на распределение емкостных свойств природных резервуаров. Эта их роль при проведении геологоразведочных работ (ГРР) по достоинству оценивалась и ранее. Однако именно в последние годы актуальность и практическая значимость проблемы выявления и картирования дизъюнктивов разных рангов и масштабов – от макроразломов регионального уровня до микронарушений, смыкающихся с трещиноватостью отложений, – существенно возросла, что обусловлено следующими основными причинами.

В последние 10 лет произошел перенос центра тяжести ГРР на этапы доразведки и эксплуатации месторождений, а также существенно увеличилось количество различного рода неструктурных ловушек, обязанных своим генезисом преимущественному развитию в нефтегазоносных комплексах ДД. Важнейшими задачами на этих этапах становится определение влияния ДД на распределение емкостных характеристик коллекторских толщ, их экранирующей или проводящей роли, выявление зон АВПД и напряженного состояния разреза и т.п.

В общемировых балансовых запасах нефти и газа все в большей степени начинают преобладать неантиклинальные ловушки УВ, среди которых значительное место принадлежит комплексным структурно-тектоническим, литолого-тектоническим и тектонически экранированным ловушкам более сложного типа. Тем самым, надежное картирование ДД при построении детальных геологических моделей месторождений становится необходимым условием их успешной разведки и эксплуатации.

Существующие в настоящее время методы геологической интерпретации геофизических данных, так называемые геодинамические методы (сейсмо- и секвентстратиграфия, структурно-формационная интерпретация), основываются на опережающем изучении генезиса изучаемого разреза. Геодинамические модели месторождений УВ в принципе не могут быть построены без учета формирующего их тектогенеза, без выявления и картирования соответствующих дислокаций разреза.

В геологической науке уже давно существуют проверенные практикой методики по типизации и по построению детальной иерархической классификации дизъюнктивов [Геологические тела..., 1986; Забродин, 1981]. Изучены соотношения различных видов дислокаций слоистых структур осадочного чехла (дизъюнктивных, пликативных, инъективных). Разработаны разнообразные методы палеорекоonstrukций, обеспечивающие получение сингенетических разрезов и последующий переход к палеофациальному анализу.

В области интерпретации геофизических – сейсмических, электроразведочных и гравиразведочных данных, напротив, фактически отсутствуют достаточная и геологически обоснованная систематизация и регламентация приемов и методик выделения, трассирования и картирования ДД. До настоящего времени существуют принципиальные противо-

речия между геофизиками, прежде всего сейсмиками, выделяющими обычно значительное количество нарушений, и геологами-разработчиками месторождений, для которых такое выделение крайне осложняет оценку промышленных запасов залежей и последующее проектирование разработки и часто представляется мало обоснованным.

В связи с этим необходимо развитие методов, позволяющих повысить надежность и достоверность выявления ДД по геофизическим данным. В рамках этой задачи необходимо разработать методики разделения влияния на сейсмические отображения поверхностных и глубинных факторов, а также дизъюнктивных, пликативных и инъективных дислокаций (в том числе соляных штоков, органогенных построек (ОП), крутых складок и флексур и т.п.).

Все еще сложную проблему представляет увязка нарушений, выделяемых по сейсмическим данным и данным ГИС и бурения. Для повышения надежности выявления и картирования нарушений все в больших объемах используются комплексы геофизических методов на различных этапах ГРП – гравиразведка, электроразведка, магнитометрия, дистанционные космо- и аэрометоды. Методику такого комплексирования также нельзя считать полностью разработанной.

Подсчет запасов – это не одномоментная процедура, выполняемая по месторождению нефти и газа на каком-либо одном определенном этапе его разведки. Фактически он является более или менее перманентным процессом, сопровождающим “жизнь” месторождения, в особенности крупного или уникального, с момента его открытия до завершения разработки. Поэтому на самом деле существуют различные виды и подвиды подсчета запасов на разных этапах – от первых оценок размеров месторождения до стадий его разведки, доразведки, разработки и мониторинга.

Эти этапы различаются степенью изученности месторождения и, соответственно, степенью детальности его геологической модели, пополняемой по мере его доразведки и разработки новыми данными: бурения, опробования скважин, ГИС, 3D и 4D сейсморазведки и т.п.

На стадиях доразведки и ввода в эксплуатацию в последнее время все в больших объемах применяется сейсморазведка 3D. Как показывает опыт ее применения, современные методы обработки наблюдений 3D на порядок увеличивают общее число выделяемых нарушений. Это еще в большей степени осложняет их включение в модель месторождений, что требует их четкой ранговой систематизации, определенной генерализации и специальных методов интерпретации. При этом также трансформируются представления о признаках и методах выделения, трассирования и картирования дизъюнктивных нарушений по сейсмическим данным.

С расширением внедрения объемной (3D) сейсморазведки эти методы и технологии уже получили принципиально новое развитие. Максимально плотные объемные системы наблюдений в сочетании с прецезионными специальными методами обработки изменили существующие ранее представления по многим важнейшим позициям:

- наблюдения 3D показывают, прежде всего, что реально существующих ДД значительно больше, чем ранее представлялось,
- оказалось, что реальные макро и микроструктуры ДД и различных их сочетаний в разрезе и в плане существенно отличаются от общепринятых,
- определилась необходимость пересмотра и ревизии традиционных приемов выделения и трассирования ДД,
- очевидной стала необходимость построения ранговых систем ДД, без чего их детальная геологическая интерпретация вряд ли возможна,

- ввиду тесной связи реальной системы ДД с распределением напряженности в разрезе оценка последней должна быть существенно усовершенствована и детализирована,

- еще более острой стала проблема согласования дизъюнктивов, выделяемых непосредственно по сейсмическим данным, и по данным бурения и ГИС.

Цель исследований, результаты которых положены в основу настоящей монографии, состояла в разработке методики выявления и картирования дизъюнктивных дислокаций осадочной толщи и фундамента, главным образом, при подсчете запасов УВ, т.е. на стадиях разведки и доразведки месторождений. Методика исследований была ориентирована на создание геологических моделей месторождений УВ, которые не могут быть построены без учета формирующего их тектогенеза. Создание такой методики предполагало также регламентацию достаточной и геологически обоснованной совокупности приемов выделения, трассирования и картирования дизъюнктивных дислокаций различного генезиса по комплексу геофизических данных.

Главное содержание информации о ДД, требующейся на стадии подсчета запасов УВ по месторождениям:

- достоверность наличия ДД, оценка которой базируется на предварительном изучении геолого-геофизических условий проведения работ и специальном анализе сопутствующих и мешающих геологических факторов;
- характеристики (параметры) ДД, влияющие на распределение коллекторских свойств, тектонических экранов, типы ловушек УВ;
- собственно картирование ДД по совокупности признаков их обнаружения и корреляции, с учетом их амплитуд и протяженности, устойчивости прослеживания в плане и по вертикали, согласованности с геологической моделью месторождения;
- обоснование ДД по независимым данным, т.е. с привлечением сейсморазведки, гравитационной и электроразведки, дистанционных методов в комплексе с ГИС и бурением;
- специальный анализ ДД в совокупности с данными по ВНК и ГВК, опробования скважин, данных о пластовых давлениях в соседних блоках, гидропрослушивания и т.п., т.е. с привлечением результатов бурения, опробования и ГИС;
- подготовка подсчетного плана, состоящая в комплексировании всех данных, в уточнении категориальности (C_1 , C_2 , C_3) в зависимости от соотношения ДД и скважин в плане, а также построения, как правило, двух карт – результативной геологической с нанесением всех выявленных нарушений и собственно подсчетного плана, на котором выделены только нарушения, реально влияющие на подсчет запасов.

В свете вышеизложенного конкретными задачами исследований, результаты которых составляют главное содержание монографии, являлись:

- обобщение и систематизация геологических знаний о ДД;
 - формирование базы данных о физических и петрофизических свойствах ДД различного генезиса;
 - анализ и обобщение результатов физического, математического и натурного моделирования геофизических полей в зонах ДД;
 - выявление комплекса признаков обнаружения ДД по различным геофизическим методам и по их совокупности;
 - разработка методики выявления, прослеживания и картирования ДД по отдельным методам и по их комплексу на основе признаков их обнаружения на различных этапах и стадиях ГРП и, прежде всего, при подсчете запасов УВ.
-

ГЛАВА 1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ (СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННЫЕ) ОСНОВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ И КАРТИРОВАНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ (ДД)

1.1. Геологические модели месторождений на этапах геолого-разведочных работ (ГРР)

Как уже отмечалось во введении, этапы ГРР различаются степенью изученности месторождения и, соответственно, степенью детальности его геологической модели, пополняемой по мере его доразведки и разработки новыми данными: бурения, ГИС, 3D и 4D сейсморазведки и т.п.

Сложившиеся представления о соотношении этапов ГРР с типами используемых геологических моделей представлены в табл. 1.1. [Мушин, 1999].

Таблица 1.1.

Этапы ГРР	Объекты	Модели	Результаты
Региональный	Нефте-газоносные бассейны (НГБ), зоны нефтегазо-накопления, крупные ловушки УВ	Структурные, стратиграфические, структурно-формационные, литофациальные, емкостные, фильтрационные	Регионально-зональный прогноз УВ, рекомендации на параметрическое бурение
Поисковый	Зоны нефтегазонакопления, ловушки УВ	Структурные, стратиграфические, структурно-формационные, литофациальные, емкостные, фильтрационные	Рекомендации на поисковое бурение, открытие месторождений
Разведочный	Открытые месторождения	Структурные, стратиграфические, структурно-формационные, литофациальные, емкостные, фильтрационные	Подсчет запасов, проект эксплуатации
Эксплуатационный	Разведанные месторождения	Структурные, стратиграфические, структурно-формационные, литофациальные, емкостные, фильтрационные	Разработка, мониторинг

Примечание. Жирным шрифтом выделены основные модели для различных этапов ГРР.

В геологоразведочном процессе поисков, разведки и подготовки к эксплуатации месторождений нефти и газа сложилась такая последовательность моделей:

- *структурные*, описывающие пликтивную и дизъюнктивную морфологию исследуемых объектов;
- *стратиграфические*, отражающие временную последовательность напластований, временные соотношения выделяемых геологических тел;
- *структурно-формационные*, описывающие внутреннюю структуру объектов, типы их слоистости, связи их структурных и вещественных характеристик;
- *литофациальные*, определяющие условия осадконакопления и литологический состав отложений на основе анализа генезиса геологических тел, представленных в структурно-формационных моделях;
- *емкостные*, в которых структурно-формационные и литофациальные особенности на основе комплексирования с данными ГИС и бурения характеризуют коллекторские свойства: пористость, проницаемость, эффективную нефтегазо-насыщенную мощность и т.п.;
- *фильтрационные*, позволяющие выполнять геофлюидное моделирование резервуара на стадиях подсчета запасов, проектирования и разработки месторождений (мониторинг) с учетом проницаемости, коллекторских свойств, роли экранов, свойств флюида и т.д.

Легко заметить, что единая совокупность моделей многократно повторяется на всех этапах ГРП. Последовательное (без пропусков) построение и уточнение этих моделей составляет главное содержание геофизических работ на нефть и газ.

Правда, как и показано в табл. 1.1, на каждом из этапов делается акцент на определенные типы моделей. В частности, структурообразующие ДД и морфоструктура основных комплексов отложений должны быть выявлены и определены при построении структурно-тектонической модели на первых этапах ГРП. Вместе с тем, дизъюнктивные дислокации являются неотъемлемыми элементами всех перечисленных выше типов моделей – от регионального этапа, когда рассматриваются формирующие основную морфоструктуру разреза макроразломы, до эксплуатационного, на котором ДД малого масштаба могут контролировать фильтрационные процессы в природном резервуаре (рис. 1.2).

В соответствии с табл. 1.1, ДД крупного масштаба выделяют уже на региональном этапе исследований (рис. 1.1).

Методология изучения ДД на различных этапах ГРП имеет как общие черты, так и некую специфику. Поэтому в дальнейшем изложении внимание акцентируется, главным образом, **на разведочном этапе ГРП**, главным результатом которого является подсчет запасов по разведанному месторождению. К этому этапу определенные типы моделей месторождения уже должны быть построены (структурная, стратиграфическая, структурно-формационная). При последующем построении емкостных и фильтрационных моделей все перечисленные модели также могут подвергаться итеративному уточнению.

1.2. Методология изучения дизъюнктивных деформаций геофизическими методами

Выявление, трассирование и картирование дизъюнктивных дислокаций геофизическими методами – грави- и магниторазведкой, электро- и сейсморазведкой – имеет свою историю и, соответственно, сложившиеся методические приемы и технологии.

В гравитационном поле практически всегда отображается любое нарушение сплошности, будь то трансконтинентальный разлом или трещина – во всех случаях зона наруше-

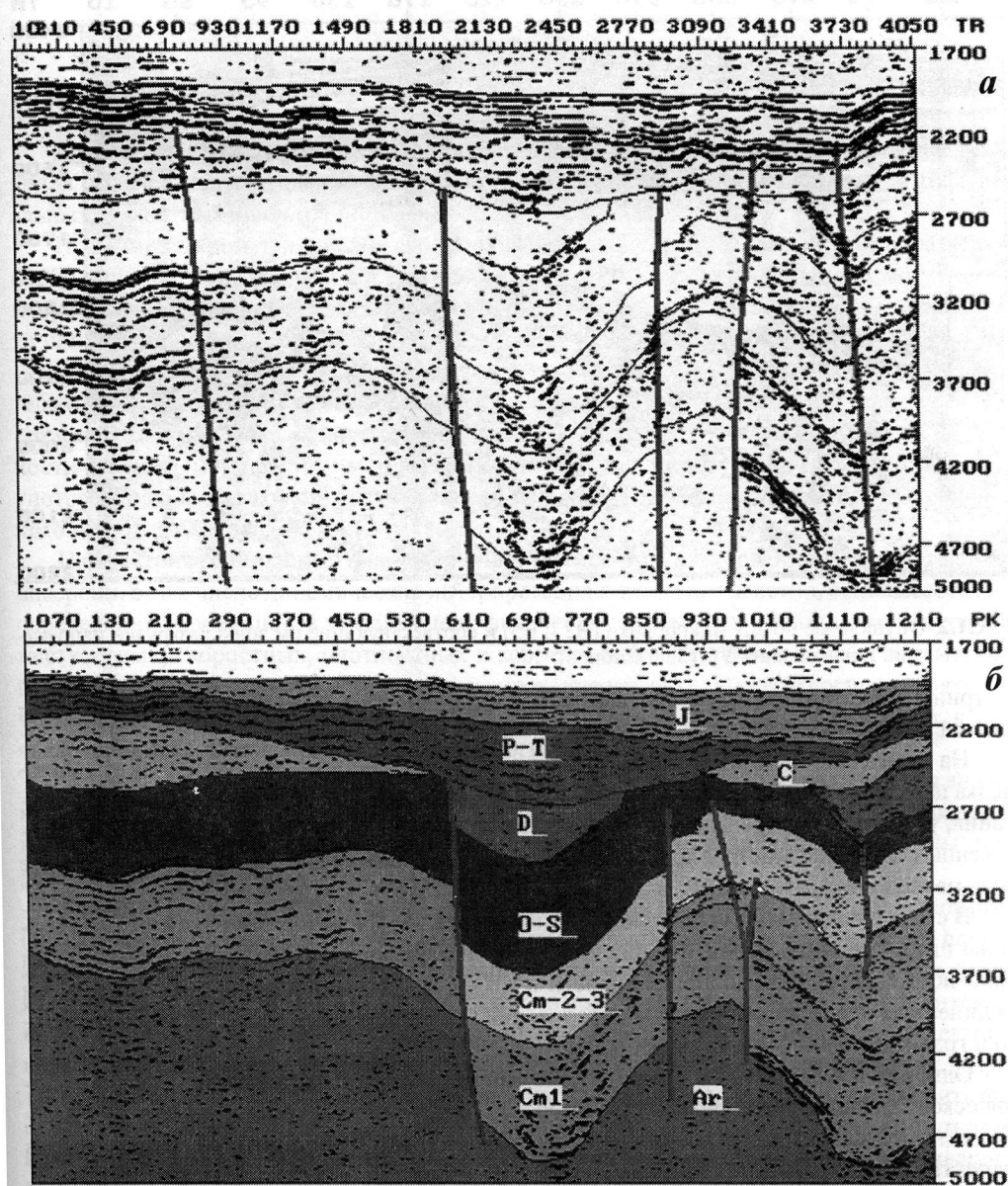


Рис.1.1. Разломы и структурно-формационный разрез по региональному профилю «Восток» (Томская обл.): а – региональные разломы в толще палеозойских отложений, б – структурно-формационный разрез

ния характеризуется определенной степенью дефицита плотности. Однако наиболее выраженные эффекты связаны с вертикальными смещениями пород, обуславливающими контрастные изменения эффективной плотности отложений по латерали.

На **региональном этапе** исследований с использованием результатов предшествующих дистанционных наблюдений (космо- и аэрометодами) по данным грави- и магнито-

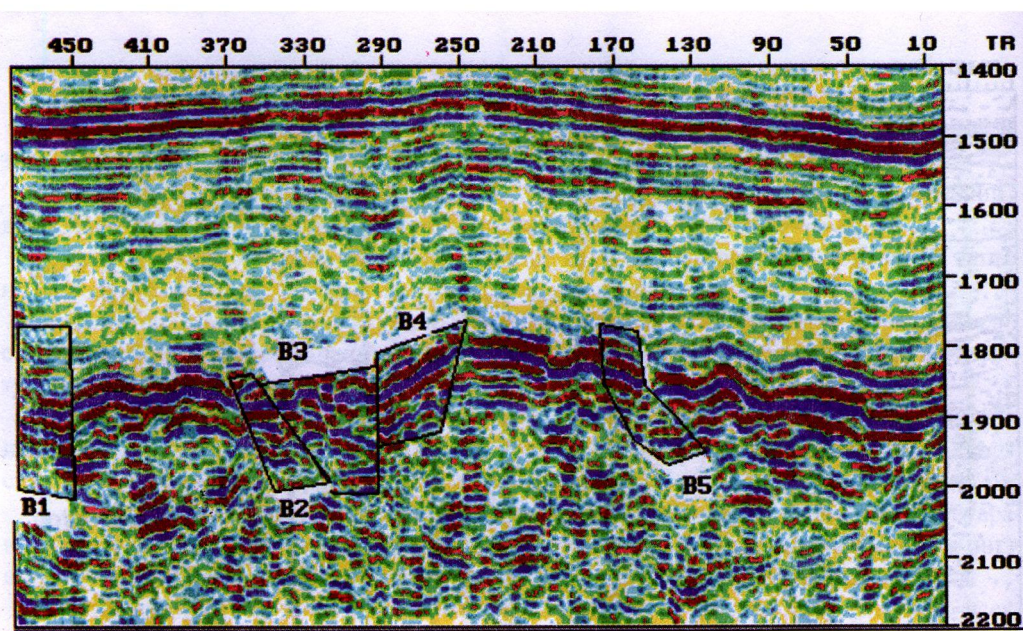


Рис.1.2. Опущенные по ДД микроблоки (B2 и B5) и соответствующие им зоны разгрузки напряжений и накопления УВ (Зап. Сибирь)

метрии осуществляется тектоническое районирование, картирование линеаментов, нарушений, тектонических зон.

На **поисково-оценочном этапе** магнито- и, в особенности, высокоточная гравиразведка наряду с изучением нарушений играют важную роль при определении условий залегания, уточнении распределения литологических неоднородностей, при прогнозе количественных оценок параметров коллекторов. Результаты решения этих задач используют также и на **разведочном этапе ГРП**.

В связи с недостатком априорных данных в грави- и магниторазведке используют методы интерпретации, не требующие информации о физических свойствах горных пород (плотности, магнитной восприимчивости и т.п.), основанные на различных линейных и нелинейных преобразованиях и на определении местоположения особых точек магнитного и гравитационного аномальных полей.

Одной из важнейших и широко применяемых процедур является грави- и магнитометрическое моделирование, результаты которого служат главным критерием при оценке соответствия сделанных построений наблюдаемым данным. Принципиально важно, когда в качестве структурной основы таких моделей используют сейсмические построения, тем самым реализуется эффективное комплексирование методов.

Электроразведка в зонах дизъюнктивных дислокаций отмечает дифференциацию отложений по электропроводности, поляризуемости, магнитной и диэлектрической проницаемости. Существенно, что перепады электрических характеристик пород в зонах ДД могут достигать до трех порядков по электропроводности и до одного порядка по диэлектрической проницаемости и поляризуемости. В связи с этим электромагнитное зондирование является исключительно чувствительным инструментом по обнаружению и прослеживанию ДД разных рангов и масштабов:

- на региональном этапе ГРР – МТЗ, ГМТЗ, ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП;
- на поисково-разведочных – ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВРЭ-ВП;
- на разведочно-эксплуатационных этапах – наземная ВРЭ-ВП и наземно-скважинная ВРЭ-ВП, ЗС-ЗИ.

Данные электроразведки должны непременно использоваться при построении всех видов моделей месторождений УВ (структурных, структурно-формационных, литофациальных, емкостных, фильтрационных).

При комплексном применении сейсморазведки и высокоразрешающей электроразведки (ВРЭ) наряду с повышением достоверности выделения и трассирования ДД могут быть получены чрезвычайно важные при подсчете запасов УВ оценки их флюидопроводимости или экранирующих свойств [Сафонов, 1995].

Основным источником данных о дизъюнктивных дислокациях разного ранга и масштаба несомненно является сейсморазведка. По мере ее развития постоянно совершенствуются методы выделения ДД, растет надежность и детальность их картирования. Особенности применяемой при этом методологии легко сформулировать в рамках двух наиболее употребительных подходов к прогнозированию геологического разреза: **параметрического и генетического**.

Параметрическое прогнозирование (ППР, прямое прогнозирование, различные виды инверсии, в том числе динамическая интерпретация и т.п.), как известно, основывается на определении совокупности эффективных физических параметров разреза – структурных, жесткостных, скоростных, плотностных и корреляционно связанных с ними параметров пористости, песчанистости и т.п., комплексирование которых позволяет осуществлять качественный или количественный (как правило, статистический, корреляционный, в том числе на основе методов распознавания) прогноз скоплений УВ.

В рамках параметрического подхода изучение дизъюнктивов имеет важнейшее значение при структурном картировании. Кроме того, на структурных же соотношениях строится оценка их проводящих или экранирующих свойств, контролирующих процессы миграции и накопления УВ.

Главным и общепринятым положением методологии генетического прогнозирования (сейсмо-секвентстратиграфического, структурно-формационного и т.п.) является **опережающее изучение истории формирования (генезиса) геологического разреза**. Опыт изучения самых разнообразных по типу разрезов показывает, что седиментационно-тектоническая история их формирования редко обходится без дизъюнктивных этапов тектогенеза. Изучение генезиса разрезов неизбежно включает создание сингенетических разрезов, т.е. применение палеотектонических реконструкций, позволяющих восстановить фациальные условия осадконакопления в геологической истории. **Палеофациальный анализ может быть выполнен только на основе опережающего палеотектонического анализа** (рис.1.3).

Восстанавливаемая дизъюнктивная (разумеется, и пликативная) история развития разреза одновременно является базой для изучения распределения напряженности в разрезе на различных этапах его генезиса. Палеолитофациальные и седиментационно-емкостные модели, а также модели распределения напряженности в разрезах на различных этапах их формирования в совокупности позволяют выйти на прогноз зон генерации, путей миграции и локальных областей накопления УВ.

Перечисленные этапы генерализованно описывают граф генетического прогнозирования.

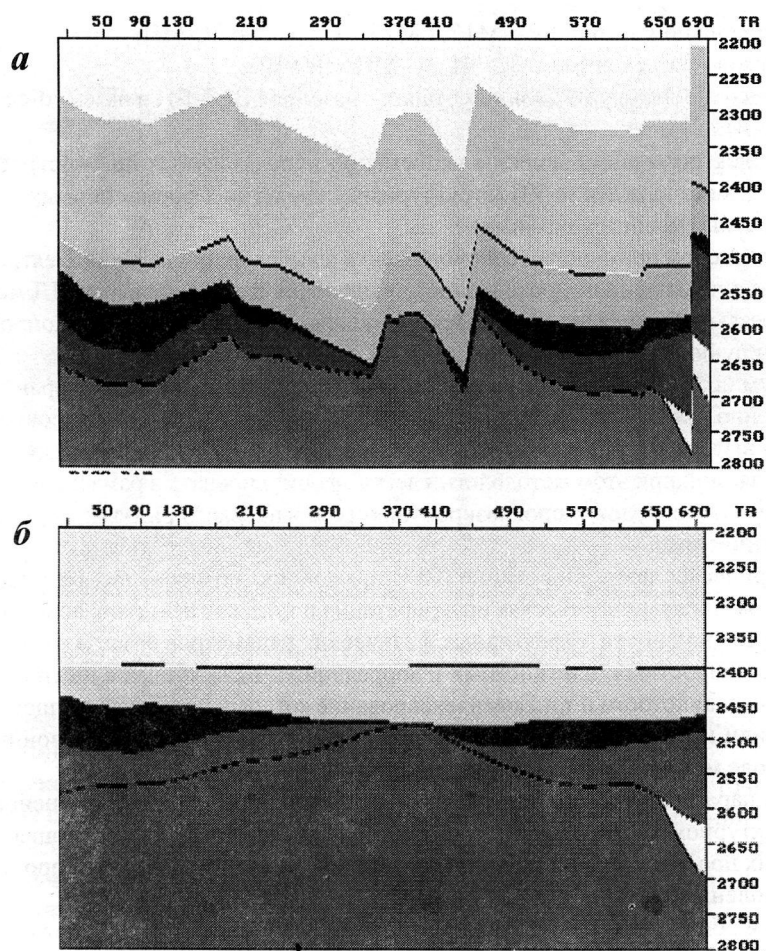


Рис.1.3. Разрезы: а – исходный структурно-формационный разрез, б – прогнозный палеофациальный

Таким образом, как при генетическом, так и при параметрическом прогнозировании, а также при разумном и эффективном сочетании этих подходов роль изучения дизъюнктивной тектоники чрезвычайно велика.

1.3. Методология структурно-формационной интерпретации (СФИ)

За последние 12-15 лет разработана методология структурно-формационной интерпретации [Мушин и др., 1990], позволяющая с единых позиций выполнять иерархическое структурирование как самих слоистых осадочных толщ, так и их дизъюнктивных, пликативных и инъективных дислокаций. В рамках этого подхода каждому геологическому разрезу может соответствовать множество рисунков сейсмической записи, специальным образом подчеркивающих те или иные свойства разреза:

- его иерархическую структуру,

- морфологию его основных границ,
- внутреннее строение слагающих его тел,
- ранговую совокупность дизъюнктивных нарушений,
- типы слоистости, цикличности и т.д.

В итоге окончательный сейсмогеологический разрез как бы интегрирует все эти свойства, выявленные на различных отображениях. Построение такого разреза неизбежно включает две стадии – **анализ**, назначение которого, главным образом, состоит в поиске необходимой и достаточной совокупности сейсмических отображений разреза, позволяющих наиболее полно изучить его разнообразные свойства, **синтез**, цель которого – интегрирование, согласование, взаимоувязка всех отображений и выявленных свойств, как параметрических, так и генетических, в виде единого сейсмогеологического разреза (схемы, карты, объемной модели).

Именно такой подход и составляет основу методологии СФИ. Перечислим ее широко апробированные возможности:

1. Детальное расчленение и выявление иерархической структуры геологических разрезов терригенных и карбонатных пород (рис. 1.4).
2. Количественно обоснованная увязка сейсморазведки и ГИС с прогнозированием псевдокривых ГИС по сейсмическим данным (рис. 1.5).
3. Структурно-формационный, фациальный, циклический анализы данных 2D и 3D сейсморазведки и ГИС с использованием спектрально-временных представлений (СВАН) и выявлением иерархической структуры разрезов терригенных и карбонатных пород (рис.1.6).

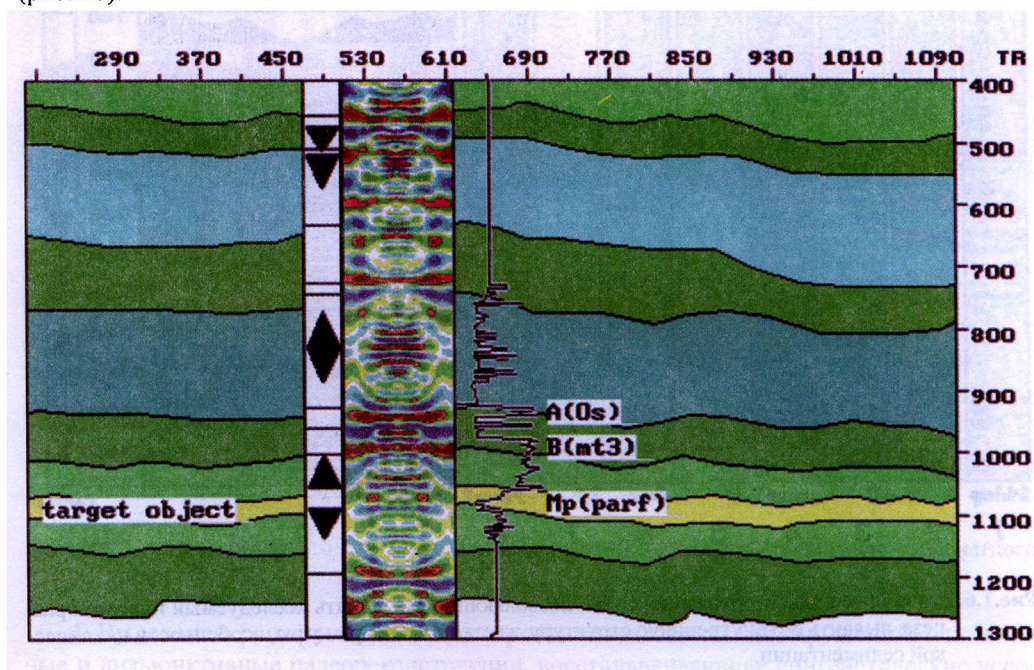


Рис.1.4. Пример расчленения сейсмического разреза

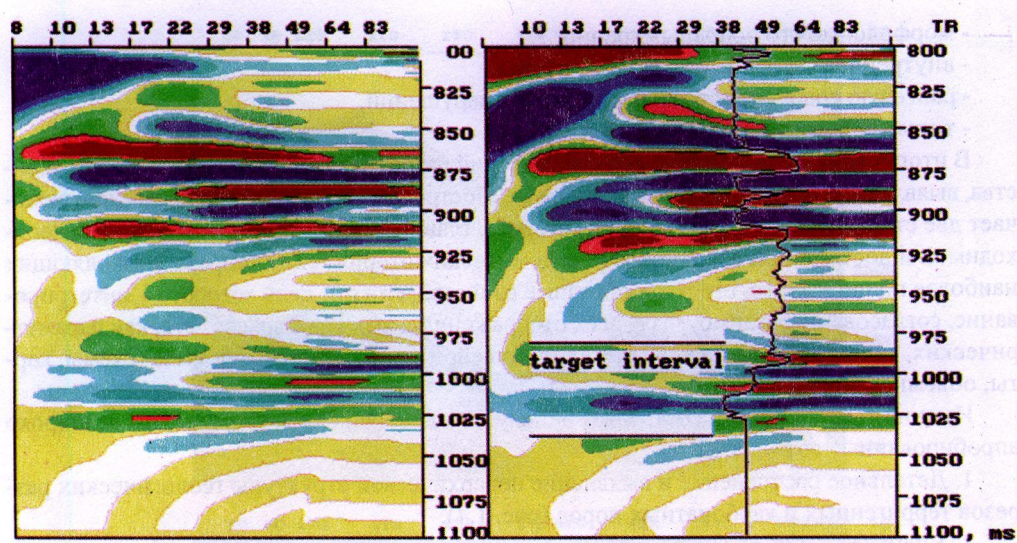


Рис.1.5. Спектрально-временной анализ (СВАН), обеспечивающий оптимальную увязку данных ОГТ и ГИС

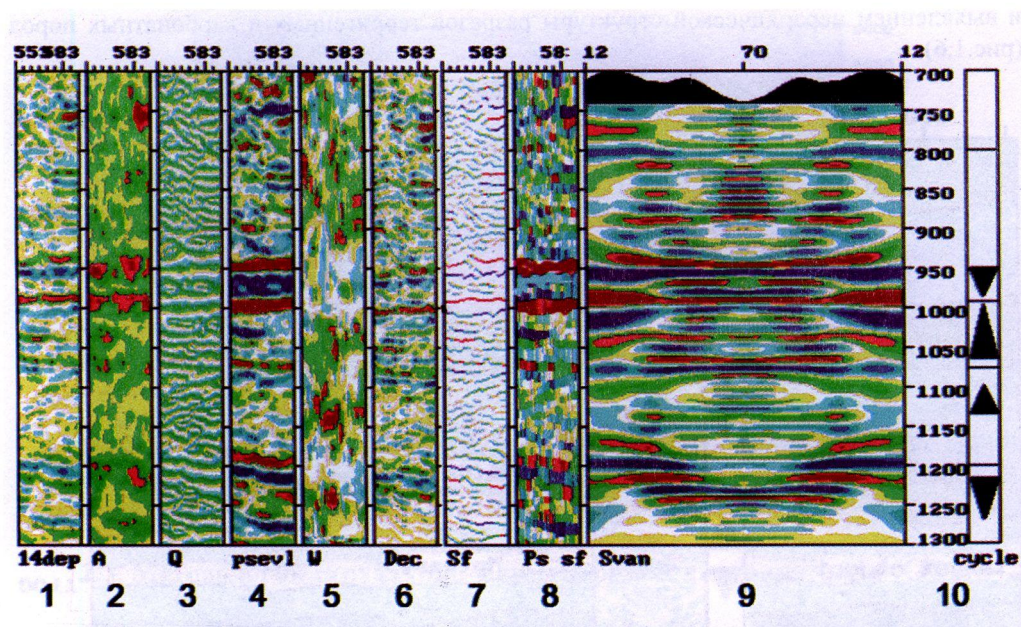


Рис.1.6. Различные виды отображения СФИ, позволяющие расчленить исследуемый интервал разреза, выявить его внутреннюю структуру, жесткостные параметры, особенности циклической седиментации.

1 – исходный разрез, 2 – мгновенные амплитуды, 3 – мгновенные фазы, 4 – псевдоскоростное преобразование, 5 – мгновенные частоты, 6 – SF-деконволюция, 7 – выделение экстремумов после дискриминации по амплитуде, 8 – псевдоскорости в «пластовом» варианте, 9 – СВАН-колонка, 10 – колонка сейсмоциклов

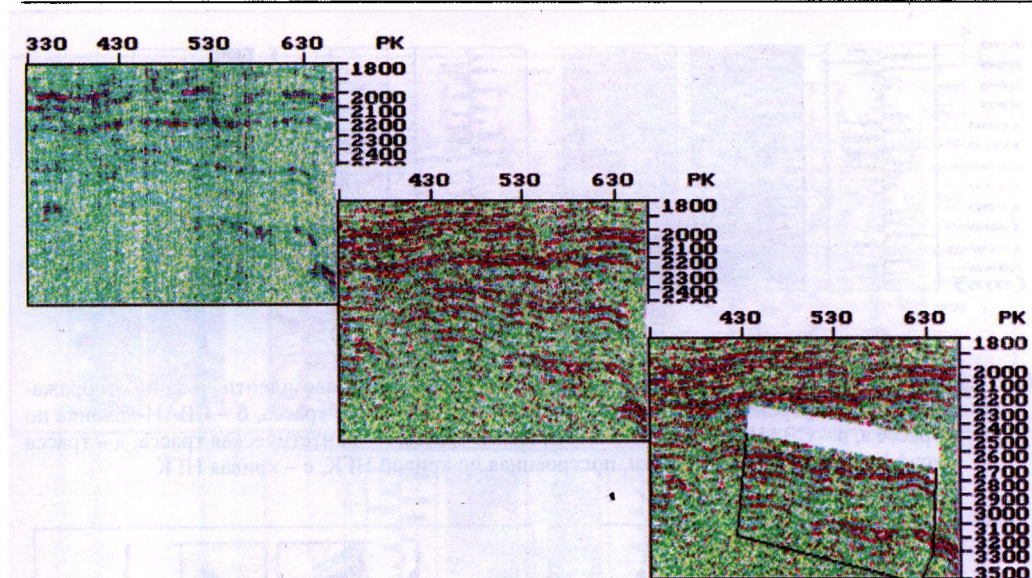


Рис.1.7. Обоснование дизъюнктивной палеорекострукции: а – исходный разрез, б – СФ-преобразование разреза (псевдоскоростное) для выявления внутренней структуры палеозойских отложений, в – дизъюнктивная реконструкция, восстанавливающая сингенетический разрез

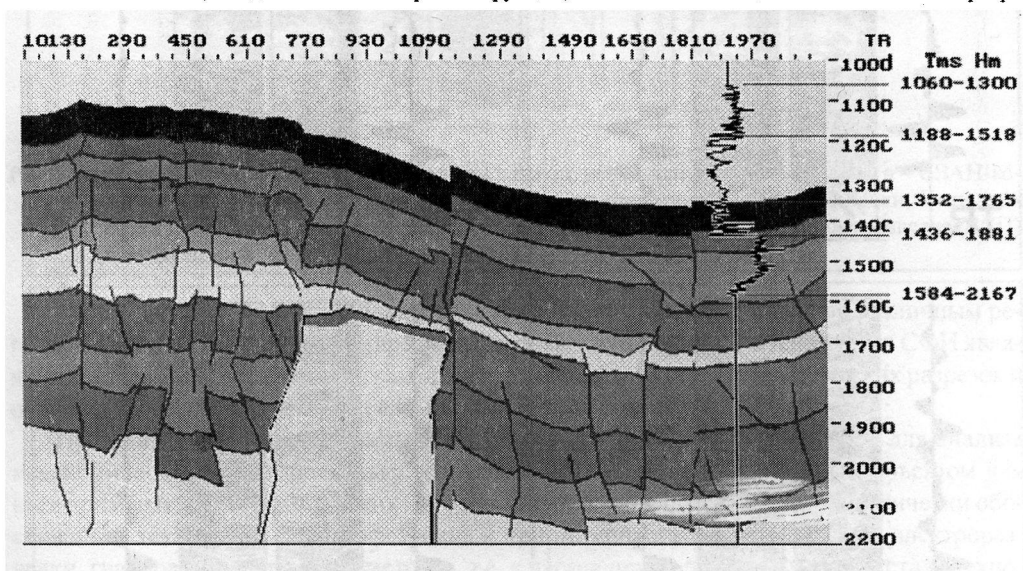


Рис. 1.8. Пример детального СФ-анализа тектонических дислокаций терригенно-карбонатного разреза

4. Выделение, ранжирование и трассирование тектонических нарушений, пликативные и дизъюнктивные палеорекострукции, восстанавливающие сингенетические условия седиментации, моделирование геологических процессов, позволяющее определить наиболее реалистичные сценарии генезиса изучаемых геологических объектов и их генетически обусловленные свойства (рис.1.7, 1.8).

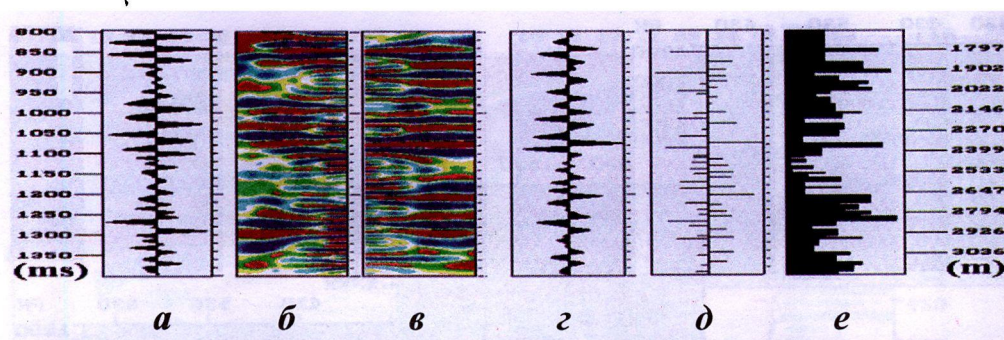


Рис. 1.9. Пример увязки данных сейсморазведки и НГК (ГИС) на основе идентификации отображаемой ими внутренней структуры разреза: а – сейсмическая трасса, б – СВАН-колонка по трассе а, в – СВАН-колонка по синтетической трассе, г – синтетическая трасса, д – трасса коэффициентов контрастности, построенная по кривой НГК, е – кривая НГК

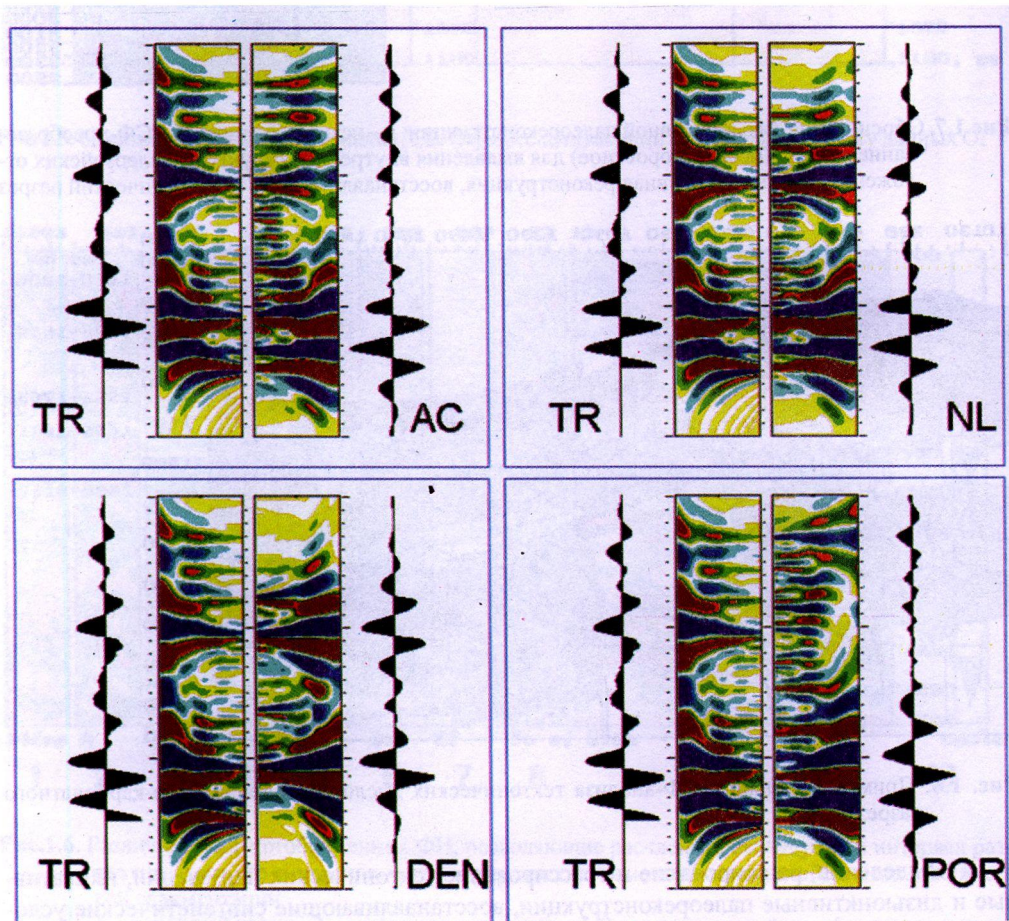


Рис.1.10. Идентификация внутренней структуры разреза по данным сейсморазведки (TR) и результатам ГИС - АК (AC), нейтронный (NL), плотность (DEN), пористость (POR)

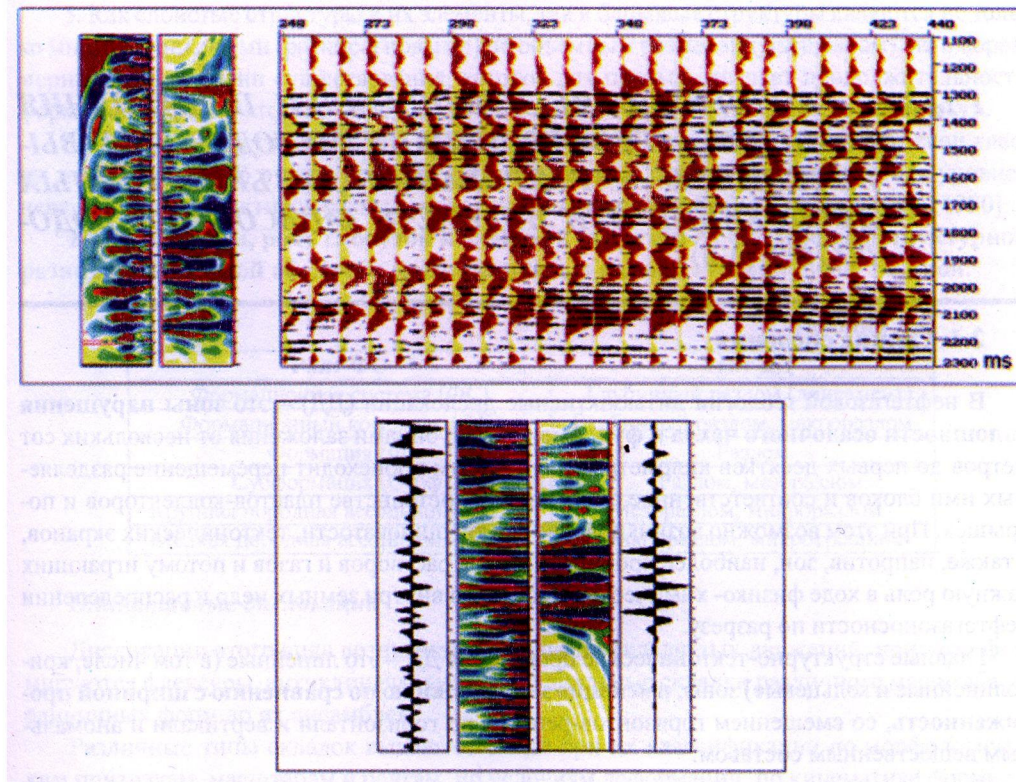


Рис.1.11. Идентичность внутренней структуры разреза, устанавливаемая по данным: а – СВАН-колонок по сейсмической трассе и кривой высокоразрешающей электроразведки, б – по разрезам мгновенных амплитуд для тех же методов, в – по скважинной сейсморазведке (ВСП) и наблюдениям скважинного гравиметра

Таким образом, на значительном объеме сейсмических материалов по различным регионам России и других стран мира было показано, что методика и технология СФИ являются мощным инструментом для анализа внутренней структуры геологических разрезов и одновременно для изучения ее седиментационно-тектонического генезиса.

Представлялось целесообразным опробовать развитые средства СФИ и для анализа несейсмических полей, поскольку геологический разрез является единым объектом для всех применяемых геофизических методов. Опробование показало, что геологически обоснованная технология СФИ эффективна и при интерпретации данных ГИС, электроразведки, гравиразведки и других методов, т.е. к настоящему времени СФИ уже стала технологической базой для их комплексирования (рис.1.9-1.11).

Таким образом, методология комплексирования геофизических методов была predetermined: работы выполнены по комплексу данных ГИС, сейсморазведки, гравиразведки и электроразведки на основе единого структурно-формационного подхода к их интерпретации.

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И КАРТИРОВАНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ (УВ)

2.1. Общие сведения

В нефтегазовой геологии дизъюнктивные дислокации (ДД) – это **зоны нарушения сплошности осадочного чехла и фундамента** с глубинами заложения от нескольких сот метров до первых десятков километров, по которым происходит перемещение разделяемых ими блоков и соответственное смещение в пространстве пластов-коллекторов и покрышек. При этом возможно возникновение зон трещиноватости, тектонических экранов, а также, напротив, зон, наиболее проницаемых для растворов и газов и потому играющих важную роль в ходе физико-химических процессов внутри земных недр и распределении нефтегазоносности по разрезу.

Главные структурно-тектонические проявления ДД – это линейные (в том числе, криволинейные и кольцевые) зоны, **имеющие значительную по сравнению с шириной протяженность**, со смещением горизонтов-реперов по горизонтали и вертикали и аномальным вещественным составом.

Дизъюнктивные дислокации

Дизъюнктивные (разрывные) дислокации (ДД) являются усложнением основной слоистой структуры отложений.

Сопоставление слоистой и блоковой (дизъюнктивной) структур отложений приводит к следующим выводам [Косыгин, 1983]:

1. Слоистая структура образуется путем последовательного формирования ее элементов (слоев, поверхностей напластования), блоковая же структура образуется в уже сформированной среде.

2. Смежные элементы слоистой структуры после их формирования в процессе дальнейшего развития слоистой структуры не перемещаются друг относительно друга (если не считать особых типов дислокаций – межпластовых сдвигов); в противоположность этому смежные блоки блоковой структуры обязательно перемещаются друг относительно друга в течение некоторого времени, которое может быть небольшим (например, отвечающим времени цементации), но может быть и огромным (1,5-2 млрд. лет – разломы, ограничивающие Сибирскую платформу, древние зоны разломов Балтийского щита и др.).

3. Не существует безамплитудных дизъюнктивов (ДД) как геологических границ – постулат М.В. Гзовского [Гзовский, 1975].

4. В моделях участков геологического пространства всякий ДД может быть представлен геологической границей (дизъюнктивная геологическая граница) [Забродин, 1981; Косыгин, 1983].

5. Как слоистые структуры и их элементы, так и блоковые структуры являются не только многопорядковыми (разноразновыми) по объемным размерам (масштабам), но и соразмерными по времени существования, которое для первых отвечает продолжительности формирования, для вторых – продолжительности времени тектонической активности.

6. Классам геологических тел – формационным объектам (ФО) – отвечают свои классы нарушений (ДД) в виде геологических разделов. Соотношение ФО разных уровней иерархии и дизъюнктивов разных рангов представлено в табл.2.1. [Мушин и др., 1990].

Таким образом, роль слоистой и блоковой структур в общем морфоструктурном развитии осадочной оболочки можно считать в равной степени существенной.

Таблица 2.1.

Ранг ФО	Ранг ДД
Формационная система (ФС)	Глубинный разлом (линеament)
Формационный комплекс (ФК)	Глубинный разлом, макроразлом
Формация (Ф)	Разлом
Субформация (Субф)	Разлом, мезоразлом
Крупная породная ассоциация (КПА)	Мезоразлом, микроразлом
Мелкая породная ассоциация (МПА)	Микроразлом, микротрещина

Пликативные дислокации

Дислокации этого вида возникают в результате складчатых движений, при этом формируются флексуры, антиклинальные и синклинальные складки различного масштаба, от единичных форм до их ансамблей.

Различные типы складок выделяют также при их классификации по морфологическим признакам, масштабам и рангам, по условиям деформации, по кинематике формирования, по генезису (складкообразующим процессам) и т.п. При этом выделяют складчатость тектонического (эндогенную) и нетектонического (экзогенную) происхождения (в том числе конседиментационную и постседиментационную).

Складчатость можно рассматривать как универсальное явление, ее исследование может стать одной из важных основ для реконструкции геодинамической истории осадочных отложений.

Пликативные дислокации не нарушают связей слоистой структуры, поэтому не разделяют (в отличие от дизъюнктивных) осадочную оболочку на участки, подобные блокам. Исследование пликативных дислокаций способствует выяснению динамики развития геологической структуры в пределах блоков, ограниченных дизъюнктивными границами.

По мере приближения радиусов кривизны складок R к глубине их залегания h на немигрированных временных разрезах начинает сказываться сейсмический снос: “антиклинали” становятся шире, а “синклинали” уже, чем в действительности. При $R=h$ “синклинали” стягиваются в точку, если профиль проложен вкрест простирания, а при $R < h$ на месте синклиналей (или вообще вогнутых участков отражающих границ) появляются хорошо знакомые сейсморазведчикам “петли”. Эти волновые сейсмические элементы порой неотличимы от дифрагированных волн, обусловленных концевыми частями границ, ограниченных дизъюнктивами. Данный случай является примером сложных сейсмогеологических помех, снижающих надежность выявления и трассирования ДД.

При несовпадении направления профиля с направлением падения эти явления выражены слабее. При этом обычная профильная миграция не ликвидирует сейсмический снос

полностью, в связи с чем структурные формы остаются искаженными и после такой миграции. Лишь трехмерная миграция при площадной съемке гарантирует устранение искажений.

Поисковое значение изучения морфологии складок общеизвестно, т.к. именно к их определенным частям (перегибам антиклиналей) приурочены залежи нефти и газа. Поиск и картирование антиклинальных складок до настоящего времени остается важнейшей задачей структурной сейсморазведки.

Вместе с тем, как уже отмечалось выше, складки большой кривизны при определенных их соотношениях с глубинами залегания обуславливают эффекты, аналогичные ДД, что необходимо учитывать при интерпретации сейсмических данных.

Инъективные дислокации

К инъективным относят формы дислокаций, связанные с внедрением (или проникновением) вещества одного (или одних) геологического тела (слоев) в пространство, занимаемое другими геологическими телами (слоями) [Дорофеева и др., 1979] – диапировые складки, магматические интрузивные тела, трещинные магматические и соляные инъекции и т. п.

Подобно дизъюнктивным, инъективные дислокации сопровождаются разрывами сплошности слоистой структуры. Но в отличие от дизъюнктивных дислокаций они обязательно сопровождаются образованием в результате аккумуляции вещества, проникающего из одних слоев в другие, новых геологических тел с самостоятельной формой залегания.

Класс инъективных дислокаций объединяет две основные группы: 1) группу дислокаций, связанных с перемещением осадочных пород или осадочного материала (диапировые ядра, соляные массивы и др.); 2) группу дислокаций, связанных с перемещением магматических масс. Дислокации обеих групп обладают некоторыми общими чертами, что позволяет использовать сравнительный метод при исследовании создающих их процессов.

С перемещением материала нижних слоев в пространство верхних связано возникновение различных компенсационных опусканий, сопутствующих некоторым видам инъективных дислокаций (например, краевые синклинали на соляных куполах, синклинальные вдавленности на грязевых вулканах, вулcano-тектонические депрессии и т.п.).

Если пликативные и дизъюнктивные дислокации являются повсеместными в осадочной оболочке, то распространение инъективных дислокаций более ограничено. Так, соляные и глинистые диапиры известны лишь в некоторых районах и появление их всегда связано с наличием соответствующих осадочных формаций и благоприятных тектонических условий.

По своим размерам геологические тела (ФО), связанные с инъективными дислокациями, охватывают значительно меньший диапазон порядков размеров, чем пликативные и дизъюнктивные формы. Размеры их, как правило, не превышают (по Ю. А. Косыгину) третьего-четвертого порядка, что по введенной нами иерархии ФО соответствует рангам крупных формаций и формационных комплексов.

До недавнего времени при построении геологических моделей инъективные объекты представляли, как правило, в виде однородных тел. Исследования последних лет свидетельствуют о тесной связи морфологии инъективных объектов с их внутренним строением и вещественным составом.

Кинематические типы ДД

Кинематический тип ДД определяют по типу амплитуды (т.е. в зависимости от того, вдоль какой координатной оси амплитуда определяется) и ориентировки сместителя (идеализированное представление ДД в виде куса поверхности, по которому соприкасаются ее крылья). Соответственно, при восстановлении кинематики ДД учитывают только относительные перемещения его крыльев.

Выделяют восемь основных кинематических типов ДД (рис.2.1):

сброс – крутизна сместителя $45-90^\circ$, смещение висячего крыла в отрицательном направлении оси С;

взброс – $10-45^\circ$, в положительном направлении оси С;

выдвиг – $10-45^\circ$, в отрицательном по С;

надвиг – $10-45^\circ$, в положительном по С;

сдвиг – $10-90^\circ$, смещение крыльев вдоль оси А;

раздвиг – любой угол, смещение вдоль оси В;

шарьяж (покров) – $0-10^\circ$, смещение в плоскости АС;

взрез – 90° , при любом смещении по С.

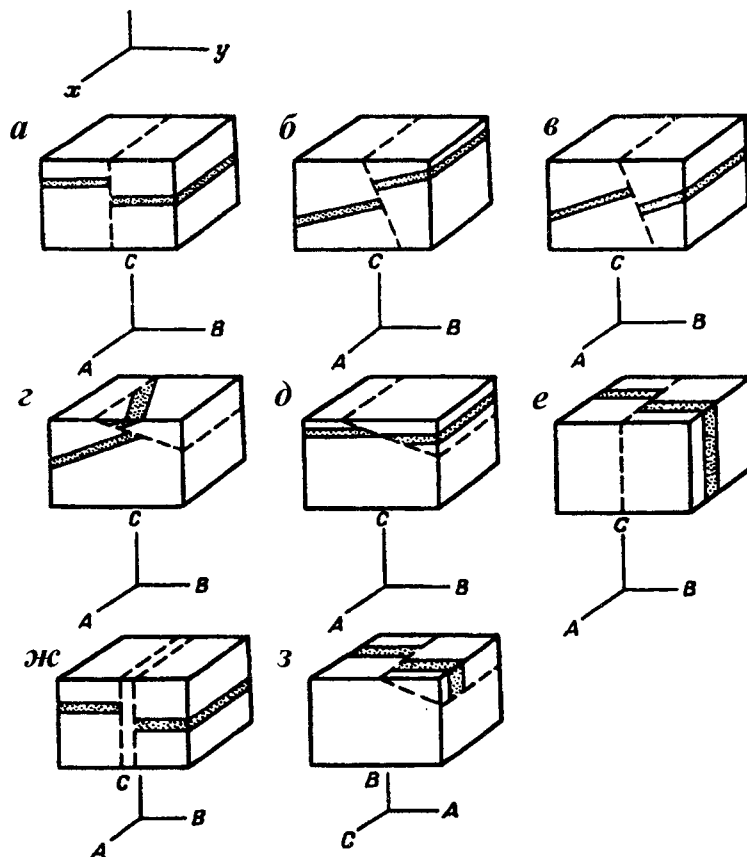


Рис. 2.1. Кинематические типы ДД по В.Ю.Забродину [Забродин, 1981]: а – взрез, б – сброс, в – взброс, г – надвиг, д – выдвиг, е – сдвиг, ж – раздвиг, з – шарьяж (покров)

Основным элементом является взрез. Подвергая его вращению или параллельному переносу (трансляции), получают все кинематические типы и их комбинации. Существенно, что реальные ДД очень часто представляют собой совокупность, порой достаточно большую, различных кинематических типов, без явного преобладания какого-либо из них. Выявление и определение этих типов по простиранию ДД является одним из путей восстановления истории его формирования.

Систематизация ДД по их границам и по вещественному составу

Наиболее простое подразделение ДД по типам их границ показано на рис. 2.2 и сводится к следующему:

1. **Ранговые границы** – ДД пересекают ранговое геологическое тело на всю его мощность или пересекают целую группу одноранговых естественных геологических тел.

2. **Частные границы** – выделяют внутри рангового геологического тела его часть, всегда меньшую по размерам и включаемую в объем этого рангового тела (например, трещины отдельности). Разновидностью могут служить ДД, полностью локализованные внутри какого-либо рангового тела, но не выделяющие его частей (единичные ДД, внутрипластовые трещины).

3. **Внеранговые границы** – ДД, пересекающие какую-либо границу между контактирующими ранговыми геологическими телами, не пересекая ни одного из этих тел на всю мощность.

Безотносительно к рангу ДД их тела могут быть представлены в виде одного из следующих “чистых” типов или их комбинаций.

Тела наполнения – вещественный состав представлен рыхлым, несцементированным материалом. Таковы различные глинки трения, разнородный обломочный материал, осыпавшийся в приоткрывающиеся во время землетрясений полости в зонах разломов.

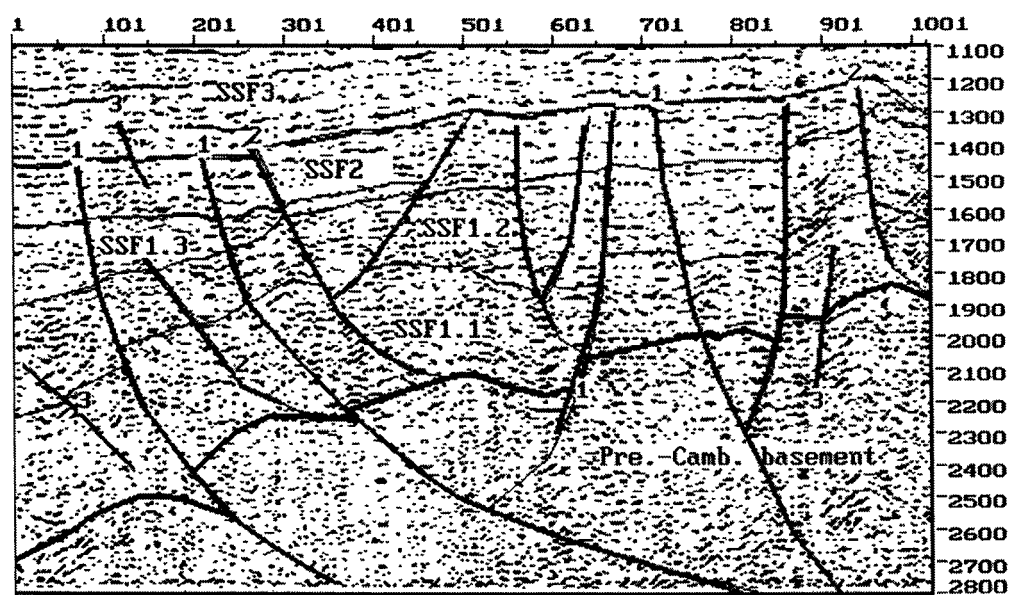


Рис. 2.2. Подразделение ДД по типам границ: 1 – ранговые, 2 – частные, 3 – внеранговые

Тела выполнения – вещественный состав представлен магматическими, метасоматическими или гидротермально-пневматолитовыми образованиями различного состава: жилы, дайки, тела интрузивных формаций, например, линейные тела гранитных батолитов.

Тела преобразования – состоят из преобразованного вещества геологических тел, расчлененных дизъюнктивом (рыхлый материал сюда не включается). Таковы катаклазиты, милониты, гемикластиты и другие катакластические породы, динамоморфические формации [Геологические тела..., 1986; Забродин, 1981]. Частным случаем этого типа тел ДД являются полосы и зоны трещиноватых геологических образований (ЗТ),

“Антитела” – зияющие полости. Этот тип не имеет самостоятельного значения, а представляет лишь промежуточный этап существования ДД, обладающих раздвиговой амплитудой.

Перечисленные типы в чистом виде встречаются крайне редко. Как правило, реальные ДД являются комбинациями различных типов.

Морфологический классификатор ДД

На основании вышеизложенного все основные геологические характеристики ДД в виде морфологического классификатора обобщены в табл. 2.2. Он, в частности, может быть использован при систематизации данных о ДД по нефтегазоносному бассейну, региону, району, участку и конкретному месторождению.

2.2. Геологические предпосылки применения сейсморазведки

Становление и развитие сейсморазведки происходило, прежде всего, как важнейшего инструмента структурной геологии. Специфические свойства сейсморазведки оказались в высшей степени пригодны для пространственной корреляции реперных горизонтов, для изучения морфологии и толщины крупных геологических комплексов, а также для выявления и трассирования дизъюнктивных нарушений. Измеряемые при этом параметры – глубина, мощность, угол наклона, кривизна поверхностей, степень смещения по сбрасывателям и т.п./– объекты структурной геологии. Их определение – это задача из области кинематической обработки и интерпретации сейсмических данных.

Именно в области структурной геологии эффективность сейсморазведки многократно доказана практикой. По крайней мере, при поисках и разведке структурных (антиклинальных) ловушек нефти и газа, в том числе и осложненных ДД, сейсморазведка несомненно сыграла и продолжает играть решающую роль.

В итоге уже более 50 лет назад сейсмические разрезы стали обязательными атрибутами паспортов структур, подготовленных к глубокому бурению. Важнейший подсчетный параметр – геометрия залежей УВ, приуроченных к антиклинальным ловушкам, определялся с обязательным использованием структурных карт, построенных по сейсмическим данным. Именно структурная сейсморазведка уже на первом этапе своего развития позволяла существенно сократить количество скважин, необходимых для картирования контуров сводовых залежей на стадиях их разведки и доразведки.

Начало нового этапа (семидесятые годы – по настоящее время) ознаменовалось цифровой революцией в сейсморазведке, обеспечившей резкое повышение качества результатов сейсмических данных. Качественно новые возможности сейсморазведки исторически появились именно к тому моменту, когда фонд антиклинальных ловушек УВ во мно-

Таблица 2.2.

Морфологический классификатор ДД

Основание деления	Классы и виды							
Типы дислокаций	Дизъюнктивные	Инъективные	Пликативные					
Кинематический тип	Взрез	Сброс	Взброс	Выдвиг	Надвиг	Сдвиг	Раздвиг	Шарьяж
Ранг	Глубинный разлом, линеамент	Глубинный разлом, макроразлом	Разлом	Мезоразлом	Микро-разлом	Макро-трещина	—	—
Вещественные элементы тела ДД	Наполнения	Выполнения	Преобразования	Антитела (полости)	—	—	—	—
Форма в разрезе	Линейные	Ломаные	Кривые	Листрические	Древо-видные	—	—	—
Форма в плане	Линейные	Кольцевые	Кулисообразные	—	—	—	—	—
Соотношение с седиментацией	Постседиментационные	Конседиментационные	—	—	—	—	—	—
Масштабы	Ранговые	Частные	Внеранговые	—	—	—	—	—
Типы напряженности	Сжатие	Растяжение	Комплексные	—	—	—	—	—
Комплексные ДД	Горсты	Грабены	Сбросовые ступени	—	—	—	—	—
Отношение к флюидопотокам	Проводящие	Экранирующие	—	—	—	—	—	—
Типы генезиса	Собственно тектонический	Уплотнения	Оползневой	Смешанный	—	—	—	—
Петрофизические свойства	Жесткость	Скорость	Плотность	Сопротивление	—	—	—	—

Примечание. Прочерк – отсутствие параметров или информации по ним.

гих, в особенности в старых нефтяных регионах, был фактически исчерпан и резко возросла актуальность поиска и разведки неантиклинальных ловушек различного типа. Эти новые нефтегазовые объекты характеризуются, как известно, резкой неоднородностью и сложным пространственным распределением емкостных свойств коллектора, а также существенно более сложными условиями литологического и тектонического экранирования. Поэтому все средства современной сейсморазведки оказались как нельзя более кстати – она оказалась наиболее развитым геофизическим инструментом для изучения сложных ловушек УВ на всех стадиях ГРП.

Сейсмогеологические характеристики ДД, изучаемые сейсморазведкой

Опираясь на основные геологические характеристики ДД, представленные в морфологическом классификаторе (см. табл.2.2), рассмотрим возможности их проявления в сейсмических волновых полях.

Кинематические характеристики ДД

Плоскость сбрасывателя ДД, как правило, **не является отражающей поверхностью** для сейсморазведки – это наиболее важное обстоятельство, обуславливающее практическую методику трассирования нарушения по разрезу. В редких случаях, когда удастся (предположительно) зарегистрировать отраженные от ДД волны, в том числе частично-кратные – дуплекс-волны, что происходит при малых наклонах сбрасывателя (надвиги, шарьяжи), их прослеживание по вертикали и по профилю все равно остается проблематичным.

Тем не менее, линия сбрасывателя на сейсмических разрезах всегда намечается интерпретатором по ряду следующих признаков:

- к зоне ДД приурочены существенные неоднородности разреза (окончания отражающих горизонтов, потеря сплошности, продукты разрушения, фации заполнения и т.п.), с которыми связаны волны иных типов: дифрагированные, обменные, боковые (не в плоскости профиля) и пр.;
- собственно нарушение сплошности среды, обуславливающее отсутствие сколько-нибудь коррелирующихся компонент в зоне ДД, этот признак наиболее эффективно отображается в разрезах когерентности;
- наличие смещений или резкое изменение угла наклона по группе горизонтов, характеризующих одновозрастное ранговое геологическое тело и т.п.

Кинематический тип ДД опознается, таким образом, по направлению смещения одновозрастных интервалов разреза по сбрасывателю, опосредованно намечаемому по перечисленным выше признакам. Сам факт и направление смещения требуют, как правило, дополнительных доказательств, в качестве которых используют обычно палеотектонические реконструкции (см.гл.6).

Ранги и масштабы ДД

Ранговая систематизация выявленных ДД, особенно в сильно нарушенных зонах, является важнейшим условием построения обоснованной тектонической модели объекта. Именно в СФИ такое ранжирование приобретает достаточно надежное обоснование. Используется **главный принцип**, зафиксированный в табл. 2.1: ранги ДД согласуются с рангами формационных объектов (ФО), пересекаемыми этими ДД. Таким образом, **расчленение разреза на ФО различного ранга и масштаба обеспечивает последующее ранжирование ДД** (рис.2.3).

В соответствии с этим принципом выделяют упомянутые выше ранговые, частные и внеранговые границы ДД. Наряду с этим используют также и дополнительные признаки для отнесения ДД к тому или иному рангу, в том числе: протяженность ДД по разрезу и в плане; “ветвление” ДД снизу вверх по разрезу – от более крупных к более мелким рангам (рис. 2.4); величины смещений по плоскости сбрасывателя, как правило, по ДД высокого ранга; установленное правило, в соответствии с которым одноранговые одновозрастные ДД не пересекаются и др.

Вещественные элементы зоны ДД

Как уже отмечалось, главные особенности вещественного состава зоны ДД определяются типом его формирования: наполнения, выполнения, преобразования. Качественное описание соответствующих этим типам жесткостных характеристик разреза дается в гл.3.

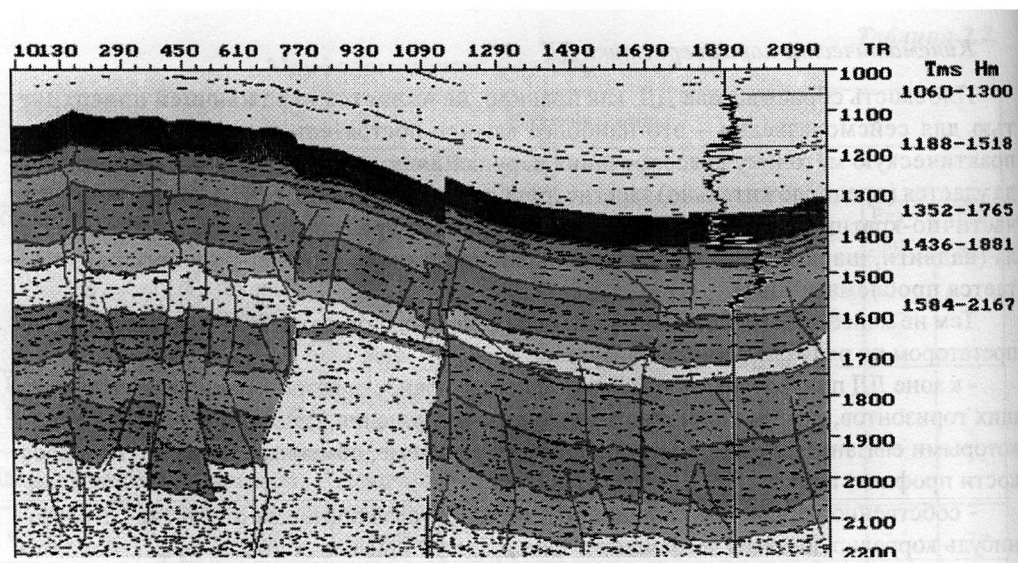


Рис. 2.3. Пример расчленения разреза на сеймоформации и его ранжирования (КНР)

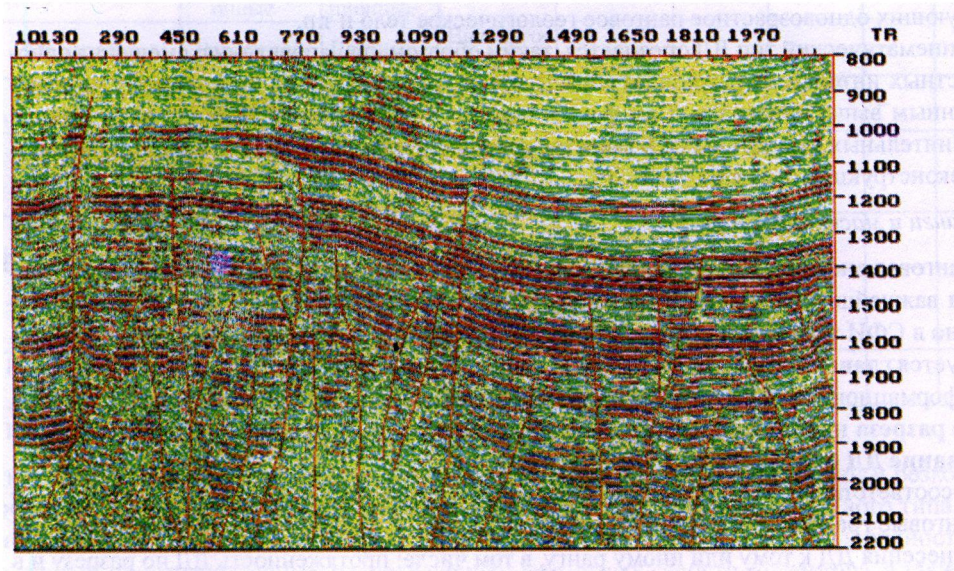


Рис. 2.4. Генерализация рис.2.3 после соответствующего ранжирования ДД

Форма ДД в разрезе и в плане

До настоящего времени при выявлении и трассировании сейморазведкой ДД по разрезу и в плане их преобладающей формой является линейная. Вместе с тем, неоднократно выделялись и криволинейные (например, листрические), ломанные, древовидные, кольцевые и другие формы ДД. Все эти формы реально существуют в природе (см. морфологический классификатор), однако важно отметить особенности их проявления в сейсмических отображениях.

Так, явное преобладание линейных форм ДД в сейсморазведке в значительной степени связано с тем, что до недавнего времени на сейсмических разрезах линиями выделяли не столько реальные зоны ДД или линии сбрасывателя (т.к. эти объекты, как правило, не создают отраженных волн), сколько предполагаемые их положения. В силу этого всегда происходила некая генерализованная линейная аппроксимация этих зон.

Между тем, как известно, границы ДД редко бывают непрерывными и чисто линейными (рис. 2.5, 2.6). Это обуславливается генезисом ДД, охватывающим обычно значительные интервалы геологического времени.

В последние годы, прежде всего с расширением внедрения процедур объемной миграции по исходным сейсмическим данным 3D (до суммирования), эти особенности генезиса ДД начали проявляться. Существенное повышение пространственной разрешенности и улучшение фокусировки отраженных и дифрагированных волн, достигаемое при объемной миграции до суммирования, привело к возможности выявлять сложную внутреннюю структуру ДД, в частности, весьма часто встречающуюся их **кулисообразную** форму и в разрезе, и в плане. Вместе с тем, здесь наметилась и проблема, связанная с тем, что сейсморазведка часто подчеркивает лишь определенное направление элементов сбрасывателя,

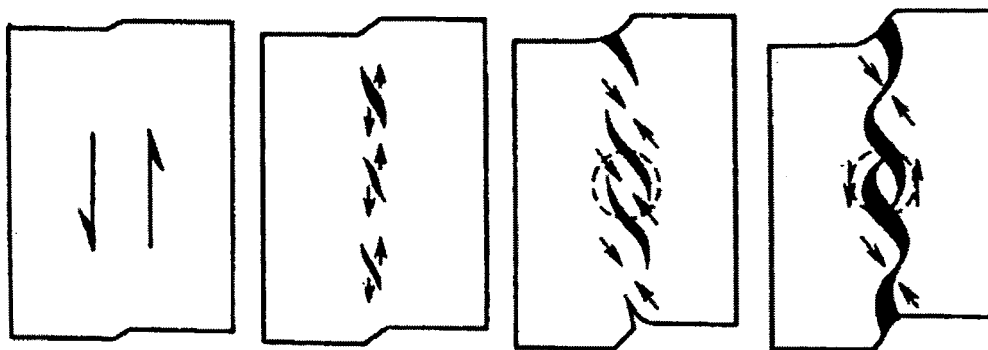


Рис. 2.5. Схема последовательных стадий развития трещин отрыва в условиях горизонтального сдвига (по М.В. Гзовскому)

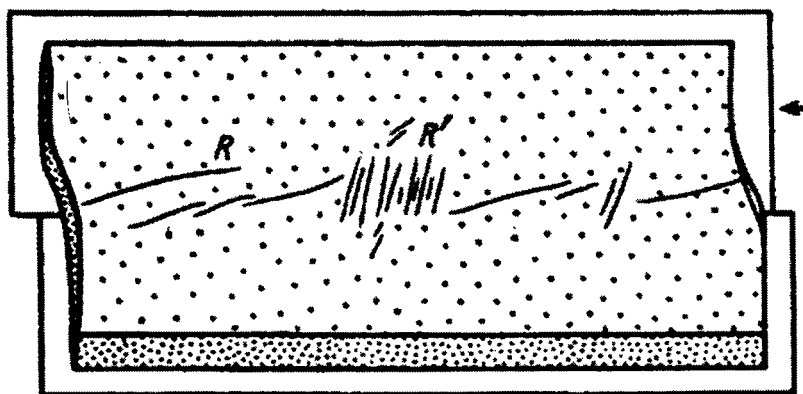


Рис. 2.6. Развитие двух систем трещин скалывания в условиях простого сдвига (по С. Стоянову)

ослабляя другие, в особенности при применении азимутального подсвечивания. Это может приводить и к ложным вариантам трассирования ДД.

Второй важный аспект связан с реальными изменениями кинематического типа ДД вдоль их простираия по разрезу и в пространстве. Вследствие этого, форма ДД также может существенно изменяться. Это существенно осложняет выделение и систематизацию ДД по сейсмическим данным, поскольку становится трудно различать ДД с меняющейся формой и совокупности ДД разного генезиса. Как уже отмечалось, эффективным средством в этих случаях является СФ-ранжирование ДД одновременное с СФ-расчленением разреза. Совместный анализ формирования ДД и пересекаемого ими разреза – единственный путь к достоверному выявлению и картированию нарушений, т.к. в длительной истории их развития отмечаются эпохи “залечивания” ДД, “оживления” старых нарушений, либо наложение ДД новой генерации на старые, зафиксированные в разрезе. При этом, тектогенез может охватывать как весь разрез, так и лишь отдельные его интервалы. Все эти факторы приводят к случаям пересечения в разрезе ДД разного направления, времени заложения и генезиса.

Соотношение с седиментацией

Как известно, различают пост- и конседиментационные ДД. Далее предстоит еще неоднократно возвращение к характеристикам этих типов нарушений. Тем не менее остановимся пока на двух важных аспектах.

Прежде всего, сама возможность отнесения ДД к тому или иному типу (пост- и конседиментационному) зависит от детальности исследования. В силу того, что нарушения могут быть только уже накопленные отложения, при анализе на микроуровне все ДД, как правило, являются постседиментационными. По мере же увеличения глубинности разреза все большее число ДД может идентифицироваться как конседиментационные, т.к. фактически здесь уже имеет место последовательность элементарных постседиментационных, но различающихся по масштабам и времени ДД. Случаи же единовременных нарушений, охватывающих значительные толщи, существенно более редки.

Своеобразные соотношения ДД с седиментацией нарушенных ими толщ часто проявляются при анализе соседних блоков. Различаются случаи, когда в процессе формирования разреза блоки двигаются совместно при равных смещениях по разделяющему их сбрасывателю, либо движения блоков одно- или разнонаправленные, но с существенно различными амплитудами смещений, наконец, один из блоков стабилен во времени, т.е. не испытывает перемещений, в отличие от соседнего мобильного блока.

Важно отметить, что эти случаи часто удается различать по типам седиментационной слоистости соответствующих блоков, отображаемой и на сейсмических разрезах.

Сейсмогеологические факторы, препятствующие выявлению ДД сейсморазведкой

При сейсмических работах существует значительное количество факторов, снижающих надежность выделения ДД, основные виды которых:

- осложнение поверхностных сейсмогеологических условий, в том числе геоморфологии участка (реки, болота, зоны вечномёрзлых пород, неоднородности рельефа и т.п.);
- снижение качества сейсмического материала, обусловленное различного рода помехами сейсмического и несейсмического происхождения, в том числе и геологическими причинами;

- неоднородности перекрывающей объект толщи разреза, обусловленные пликативными и инъективными дислокациями, седиментационными телами типа диапиров и органических построек и др.

Перечисленные виды факторов, осложняющих выделение ДД, будут рассмотрены более детально при их моделировании (гл.4).

2.3. Геологические предпосылки применения гравиразведочных и магниторазведочных методов

Любое нарушение сплошности залегания пород, будь то трансконтинентальный разлом или трещина, неизбежно отражается в гравитационном поле. Это происходит прежде всего в силу того, что зона разлома, нарушения представляет собой ослабленный участок с повышенной трещиноватостью, характеризуемый в той или иной степени дефицитом плотности. Это обстоятельство обуславливает минимальное значение гравитационной составляющей. Как правило, гравитационный эффект, вызываемый дизъюнктивными нарушениями любого порядка, во много раз усиливается за счет смещения пород вдоль линий раскалывания, ослабленных зон, что порождает разность значений плотности (поскольку последняя различна в смещенных блоках). **Наиболее выраженные эффекты обуславливаются вертикальными смещениями пород.** В силу изложенного гравиразведка всегда широко использовалась при картировании нарушений любого масштаба.

На региональном этапе исследований с помощью грави- и магниторазведки осуществляется тектоническое районирование, картирование различных нарушений, выделение линеаментов, тектонических зон, изучение внутреннего строения консолидированной земной коры, определение положения ДД различных порядков и рангов. Из геологических задач, успешно решаемых гравиразведкой, прежде всего следует отметить выявление и изучение разломов земной коры, играющих исключительно важную роль в формировании и размещении нефтегазовых месторождений. При этом могут определяться приподнятые и опущенные блоки, а также блоки надвигового типа, субвертикальные зоны неоднородностей, располагающиеся по краям структур и часто пронизывающие всю осадочную толщу [Березкин, 1988].

При изучении разломов, нарушений и дислокаций измеренные гравитационное и магнитное аномальные поля используются в качестве компонент комплекса геолого-геофизических данных. В силу высокой производительности, экологической чистоты и относительно низкой стоимости эти методы следует использовать на самых ранних этапах работ с целью рационального размещения сетей наблюдений и организации исследований более дорогими методами. Измерения изменений вертикального градиента силы тяжести, его отклонения от декларируемой величины 0.3086 являются важным инструментом изучения геологического строения и в первую очередь дизъюнктивных нарушений [Антонов, Слюсарев, 1993].

На поисково-оценочном этапе исследований магнито- и особенно гравиразведка играет весьма важную роль при определении условий залегания и других геолого-геофизических свойств изучаемых объектов, уточнении распределения литологических неоднородностей, детализации выявленных перспективных ловушек (что позволяет прогнозировать пространственное положение залежей), оконтуривании залежей, прогнозе количественных оценок параметров коллекторов. Решение всех перечисленных задач включает в себя картирование ДД различного уровня – от макроразломов до определения степени трещи-

новатости пород изучаемых участков. Аналогичные задачи решаются также на этапе до-разведки месторождений. Как известно, степень газонасыщенности пород существенно влияет на величины аномалий силы тяжести и их вариации, при этом особенности последних определяются наличием и характером дизъюнктивных нарушений и трещиноватости [Витвицкий, Волгина, 1993].

2.4. Геологические предпосылки выделения ДД в электромагнитных полях

Усложнение основной слоистой структуры, нарушение ее сплошности за счет ДД непременно находят четкое отражение в данных электроразведки.

В зонах ДД в процессе физико-химических процессов происходит вертикальная и латеральная дифференциация как вмещающих пород, так и насыщающих их подземных вод и углеводородов, а также соответствующая дифференциация пород по электромагнитным свойствам (параметрам): электропроводности, поляризуемости, диэлектрической проницаемости.

В зависимости от режима развития глубинные разломы могут создавать зоны переток по всему осадочному чехлу (возрожденные разломы) или же только по нижним гидрогеологическим комплексам. С учетом этого разломы подразделяются на полностью проводящие и частично проводящие, что естественно сказывается на электрических свойствах пород. Разломы могут оказывать экранирующее влияние на гидрогеологический комплекс и его физические (в том числе электрические) характеристики. Флюидопроводящие разломы являются ослабленными участками земной коры, создают депрессии пластовых давлений в водонапорной системе и способствуют движению водных масс в сторону этих участков и разгрузку в них, что обуславливает создание электрических аномалий по сопротивлению (проводимости) и вызванной поляризации (ВП). Горизонты, в которых происходит разгрузка мигрирующих снизу вверх флюидов, рассматриваются как зона рассеяния.

Влияние деятельности глубинных разломов приводит к возникновению систем микро- и макротрещин, прослеживаемых не только в плотных карбонатных или сульфатных породах, но также и в терригенных песчано-глинистых образованиях осадочной толщи. Зоны трещиноватости (ЗТ), заполненные флюидами, всегда создают электрические аномалии разной интенсивности.

В приразломной зоне установлены изменения минерального состава и структурно-текстурных особенностей, тесно связанных с глубиной заложения ДД и ЗТ в земной коре и верхней мантии [Разломообразование..., 1991, 1992, 1994], температурой, давлением, флюидизацией и др. Имеет место перекристаллизация, вторичная пористость, доломитизация, сульфатизация, кальцитизация, пиритизация. Пневматолито-гидротермальная деятельность в зоне ДД (в том числе ЗТ) и тесно связанные с нею геохимические и металлогенические процессы приводят к закономерному зональному размещению в зоне разлома вторичных кварцитов, скарнов, гидротермально измененных карбонатов с одновременным обогащением их пиритом и другими рудными минералами. Подчас значительные объемы пород, захваченные эпигенетическими изменениями, сказываются на измеряемых электрических параметрах (проводимости, ВП).

Выделяются углеводородные (УВ) ореолы внедрения. Большинство выделяемых нефтегазоносных бассейнов, богатых углеводородами, являются не нефтегазопроизводящи-

ми, а нефтегазоносными ловушками. Постоянство температуры в земной коре и сохранение УВ обусловлены так называемым “радиаторным” эффектом [Тарасенко, 1998], получаемым от циркуляции флюидов.

В нижних пластах осадочной толщи могут концентрироваться залежи нефти и конденсата в непосредственной близости от зоны разлома, а газ мигрирует по верхним пластам вверх по их восстанию, ступенчато приближаясь к дневной поверхности. Постседиментационное влияние региональных разломов на покрывки приводит к нарушению герметичности последних и увеличению вертикального диапазона нефтегазоносности. Общеизвестно, что области и зоны концентрации УВ, месторождения УВ обуславливают наличие аномалий сопротивления и ВП [Методические рекомендации..., 1997; 1988].

ГЛАВА 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ

Изучение физических характеристик ДД до настоящего времени представляет серьезную проблему. Прямые определения физических свойств любого геологического объекта производятся при его вскрытии либо на естественном обнажении, либо скважиной. С этой точки зрения ДД является крайне неблагоприятным объектом, поскольку даже в сильно нарушенных дизъюнктивными зонах вскрытие ДД вертикальными скважинами является скорее случайным, нежели закономерным явлением. Кроме того, даже при вскрытии скважиной, определенные трудности возникают с отбором из интервала ДД кернового материала, необходимого для петрофизических определений.

Возможно, ситуация существенно изменится, когда появится достаточное количество **горизонтальных и существенно наклонных скважин**. Вероятность подсечения квази-вертикальных ДД при этом сильно возрастет. Однако пока объемы горизонтального бурения очень невелики. Кроме того, ГИС, а тем более отбор керна в горизонтальных скважинах все еще представляют значительную проблему.

В связи с вышеизложенным представленные ниже физические характеристики ДД основываются, как правило, на материалах полевых экспериментов, прежде всего, в рудной и инженерной геофизике, физического и натурного моделирования и в существенно меньшей степени на данных непосредственного измерения в скважинах и по керну.

3.1. Сейсмогеологические характеристики дизъюнктивных дислокаций

На основании обобщения значительного объема экспериментального и модельного сейсмического материала могут быть сформулированы следующие **основные характеристики ДД**, одновременно используемые на практике и как **признаки их обнаружения**.

Структурные (кинематические) характеристики

Учитывая, что сейсморазведка до настоящего времени остается прежде всего методом решения задач структурной геологии, именно **структурные характеристики ДД** изучены наиболее подробно. К числу этих характеристик (признаков) относятся:

1. Разрывы корреляции сейсмических горизонтов (рис.3.1) – этот признак практически всегда сопровождает **нарушение сплошности** разреза, обусловленное наличием ДД. Латеральные протяженности зон перерывов корреляции при этом могут быть существенно различными, что зависит от ранга и масштаба ДД, от его микроструктуры, вещественного состава, а также и от ряда сейсмогеологических факторов. К сожалению, указанный признак ДД не всегда является однозначным, поскольку разрывы корреляции в сейсморазведке могут быть связаны со множеством иных (отличных от ДД) факторов.

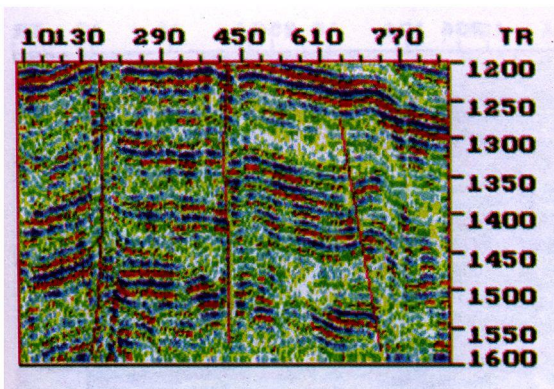


Рис. 3.1. Разрывы корреляции трассируемых осадочных комплексов

амплитуды. Очень часто смещения по малоамплитудным ДД не могут быть выявлены сейсморазведкой.

Направления смещения обычно определяются:

- по форме изгиба горизонтов на плоскости ДД;
- собственно по направлению смещения одновозрастных горизонтов или всего геологического тела, ограниченного ДД, (постседиментационные нарушения) – (рис. 3.3);
- по тренду изгиба и смещения одновозрастных групп горизонтов (конседиментационный случай) – (рис. 3.4).

3. Резкое изменение наклонов горизонтов и/или их групп в зоне ДД – этот признак обусловлен взаимным перемещением по плоскости сбрасывателя ДД соседствующих геологических тел (рис. 3.5). Эти перемещения не могут быть строго одной направленности,

2. Наличие смещений горизонтов и/или их групп по различным направлениям (X,Y,Z) в трехмерном пространстве – этот признак фактически базируется на известном постулате М.В. Гзовского [Гзовский, 1975], согласно которому не существует безамплитудных дизъюнктивов (ДД) как геологических границ (рис. 3.2). Однако при известной и ограниченной вертикальной разрешающей способности сейсморазведки сама возможность установить смещение зависит от его

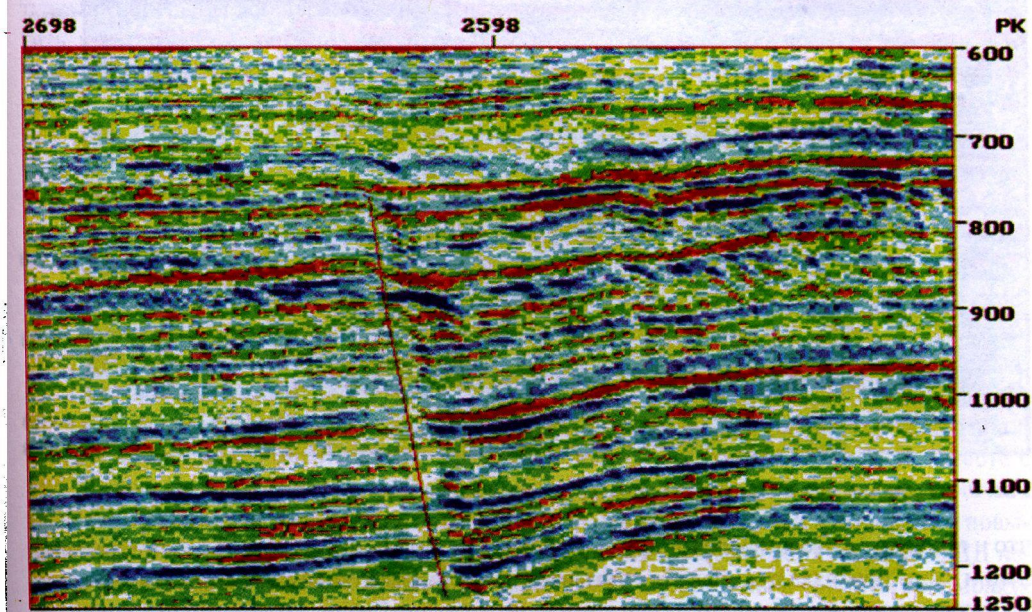


Рис. 3.2. Затухание амплитуды смещения горизонтов вдоль конседиментационной ДД

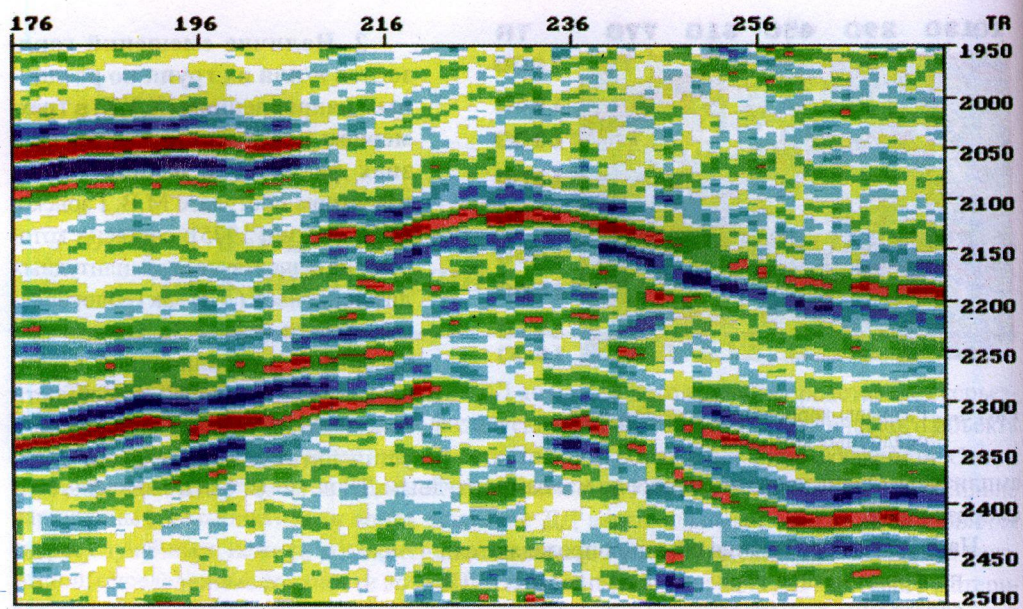


Рис. 3.3. Система постседиментационных ДД, осложнённых резким несогласием

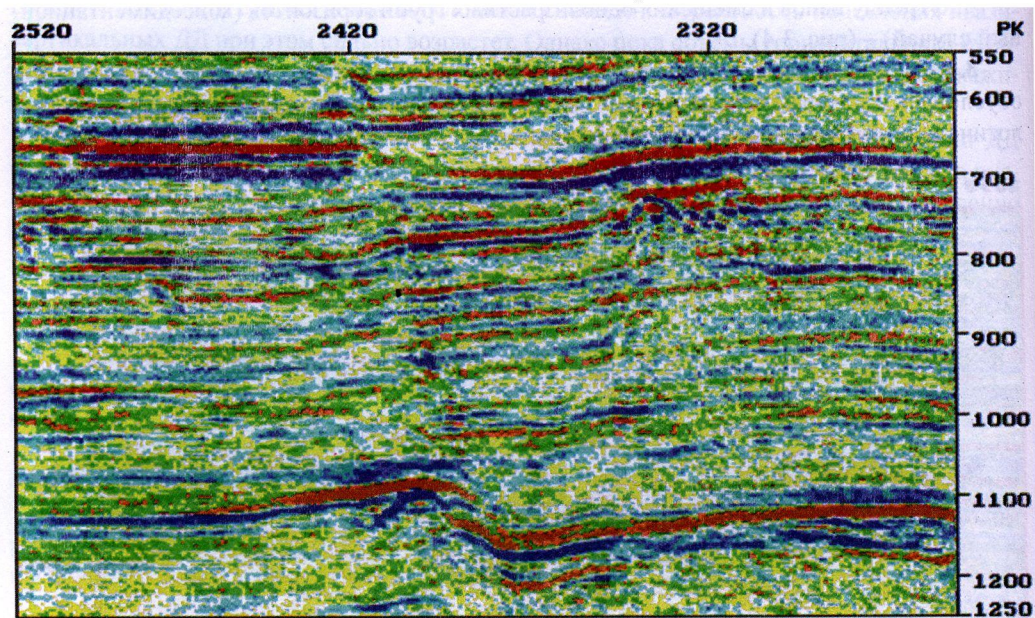


Рис. 3.4. Тренд изгиба и смещение одновозрастных горизонтов

что и приводит к рассогласованности углов наклона слагающих эти тела слоев. При выявлении этого признака приходится учитывать уже и горизонтальную (латеральную) разрешающую способность сейсморазведки (например, зону Френеля), обуславливающую неизбежное сглаживание резких изменений углов наклона горизонтов.

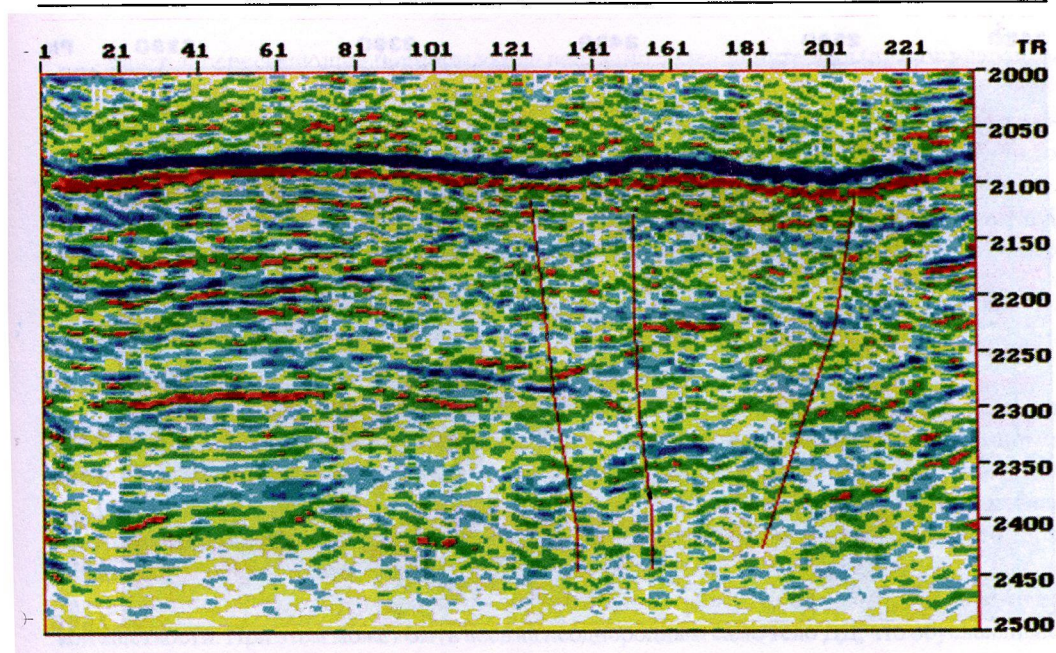


Рис. 3.5. Резкое изменение наклонов горизонтов в зонах ДД

Волновые (динамические) характеристики

К таким характеристикам относятся:

1. Резкое изменение амплитуд в зоне ДД – этот признак, так же как и основной структурный (перерывы корреляции), обусловлен нарушением сплошности среды. Надо отметить, что характер изменения амплитуд может быть разным – чаще всего **ослабление динамики записи**, но встречаются случаи и ее улучшения. По-видимому, это связано с особенностями внутренней структуры и вещественного состава ДД разного генезиса. Сам по себе эффект, как правило, проявляется в локальных интервалах по профилю и глубине. Поэтому для его выявления целесообразно применять дифференциальные оценки типа “мгновенных амплитуд” по Гильберту [Сейсмическая томография, 1983; Мушин и др., 1990] – (рис.3.6).

2. Резкое снижение когерентности сейсмической записи – наиболее устойчивый признак дизъюнктивных нарушений, в той или иной степени всегда обуславливающих перерывы в прослеживании горизонтов. Именно появление в последнее время специальных программных **средств оценки когерентности** (см. гл. 6) способствовало более надежному выделению и трассированию нарушений по разрезам 2D и сечениям 3D сейморазведки.

3. Понижение частоты – этот признак обусловлен прежде всего изменением типа и степени слоистости – разрушением седиментационной слоистости в зоне ДД. Вместе с тем, поскольку внутренняя структура и вещественный состав ДД в зависимости от его типа часто бывают весьма неоднородны, иногда отмечаются и случаи аномального повышения частот в интервале нарушения. При анализе всех динамических признаков ДД необходимо иметь в виду, что их проявления связаны не с абсолютным уровнем сейсмоакустических характеристик, а со **степенью их контрастности** в исследуемых интервалах разреза.

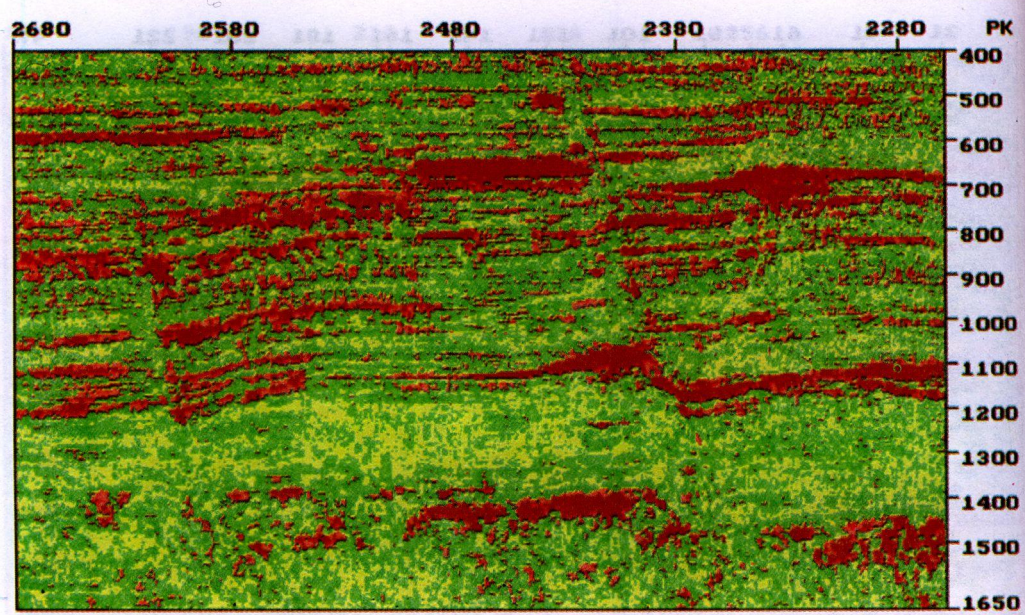


Рис. 3.6. Разрез мгновенных амплитуд

4. Регистрация в зонах ДД волн иной природы – дифрагированных, обменных, преломленных, и т.п. Этот признак связан с контрастностью контакта ненарушенной и нарушенной частей разреза. При этом дифрагированные волны обусловлены в первую очередь концевыми частями горизонтов, примыкающих к зоне ДД, т.е. зоне их отсутствия. При определенных условиях поверхности сбрасывателей ДД сами могут служить отражателями или границами преломления. При применении сейсмической миграции разрезов многие из указанных волновых явлений нивелируются и не могут быть установлены визуально. Поэтому в процессе анализа целесообразно использовать как мигрированные, так и немигрированные разрезы [Мушйн и др., 1990].

Сейсмоформационные характеристики

В их рамках обычно интегрируются структурные, внутрискрутурные, вещественные и литофациальные, т.е. все основные свойства ДД. Именно при СФ-анализе реализуется наиболее эффективное ранжирование ДД, поскольку здесь разработаны специальные методы рангового расчленения разреза и, тем самым, ранг нарушенных геологических тел и соответствующий ранг ДД определяется с использованием этих методов.

Ранговое ранжирование ДД – обобщение опыта применения СФА показывает, что наиболее часто встречаются ДД:

- ранга 1, пересекающие, как правило, весь разрез или большую его часть, что отвечает в геологической классификации ранговым ДД;
- ранга 2, пересекающие ранговые тела, включая целевой, покрывающий и подстилающий его интервалы разреза (аналог частных границ ДД в геологической классификации);
- ранга 3, пересекающие попарно либо целевой и покрывающий, либо целевой и подстилающий его интервалы (разновидность частных границ);

- ранга 4, пересекающие полностью или частично целевой интервал (аналог внеанго-вых границ ДД).

Ранжирование ДД позволяет систематизировать и привести в соответствие с выделяемыми осадочными комплексами совокупность нарушений, что особенно важно при их значительном количестве в разрезе.

Кроме того, удастся фиксировать важные правила выделения и трассирования ДД. Например, на практике используется следующее положение: **одновозрастные и одноранговые ДД не пересекаются.**

Вещественные (формационные) характеристики

По этим признакам выделяют следующие зоны ДД:

1. *Пониженной жесткости*, что отвечает в геологической классификации телам наполнения, представленным рыхлым, несцементированным материалом. Согласно многим известным публикациям [Кузин, 2001], понижение скорости в зоне ДД может достигать 30-35% по сравнению со вмещающей средой. Определенные аномалии жесткости наблюдаются при многоволновых исследованиях. Очевидно при этом, что вдоль плоскости сбрасывателя ДД акустическая контрастность может существенно меняться, поскольку на контакте с телом ДД находятся сменяющиеся по вертикали отложения различной акустической жесткости. При этом может быть весьма неоднородным само тело ДД, что обуславливает внутри него очаги высокоамплитудных колебаний.

2. *Относительно повышенной акустической жесткости*, отвечающие телам выполнения, представленным магматическими, метасоматическими и другими образованиями различного состава. Существенно, что эта повышенная на границах ДД контрастность часто не проявляется в волновом поле, регистрируемом на поверхности, и соответствующие зоны отображаются как зоны резкого ослабления сейсмической записи (см. результаты моделирования в гл.4). Причинами этого являются квазивертикальность границ ДД и большая однородность тела ДД, обусловленная метасоматическими, гидротермальными и другими процессами.

3. *Переменной жесткости*, отвечающие телам, представленным преобразованным веществом геологических интервалов, рассеченных дизъюнктивом. Зоны ДД в данном случае являются весьма неоднородными и часто трещиноватыми, что обуславливает в них формирование наиболее сложных сейсмических отображений.

Важной характеристикой ДД является их состояние *in situ*. Здесь различают “живущие” и “залеченные” ДД. Согласно ряду исследований, эти по сути временные характеристики ДД могут быть скоррелированы со свойствами их проводимости, а именно: “живущие” – проводящие, “залеченные” – непроводящие, изолирующие.

Характеристики внутренней структуры отложений вблизи ДД

Важным ресурсом СФА при выделении и трассировании ДД является возможность изучать типы слоистости и цикличности отложений вблизи ДД. В соседствующих блоках отложений могут наблюдаться:

- идентичная слоистость и цикличность, что свидетельствует о совместных и одинаковых движениях блоков в геологической истории формирования разреза;
- различные слоистость и цикличность, свойственные блокам различного генезиса;
- отсутствие явно выраженной слоистости (цикличности) в одном из блоков, что как правило, свидетельствует о его стабильности, в отличие от мобильного соседствующего блока.

Указанные особенности позволяют более надежно идентифицировать пост-конседиментационные ДД.

Для **постседиментационных ДД** характерны:

- смежные блоки по разные стороны ДД в пределах одной структуры,
- смещение по ДД тел единой структуры с одинаковой амплитудой по всему телу, т.е. амплитуды смещений по горизонтам тела строго равны.

Для **конседиментационных ДД** характерны:

- по разные стороны ДД расположены тела разной структуры,
- смещения по сбрасывателю ДД могут меняться от горизонта к горизонту и, таким образом, амплитуды сдвигов по ним могут различаться.

Именно для конседиментационных ДД (значительно реже для постседиментационных) на практике могут наблюдаться случаи, когда нарушение сплошности среды (горизонтов) по ДД отмечается не на всем её протяжении. Тем самым, как бы не выполняется главный принцип трассирования ДД: **нарушение может пересекать отдельные горизонты без явного их разрыва и/или смещения.**

Эти случаи, однако, находят вполне правдоподобное объяснение для сред, содержащих явно выраженные компетентные и некомпетентные толщи: первые подвергаются дизъюнктивному разрыву, в то время как вторые (например, глинистые, галогенные) могут сохранять свою сплошность или “залечиваться” в последующем седиментационно-тектоническом процессе.

3.2. Электрические характеристики дизъюнктивных дислокаций

Признаки обнаружения разломов и зон трещиноватости в электромагнитных полях рассматриваются с учетом соответствующих характеристик геологических тел (формационных объектов), к которым они приурочены. Электроразведочные критерии выделения ДД и ЗТ определяются их геолого-структурными признаками с учетом соответствующих характеристик формационных объектов. Они обуславливаются как структурно-тектоническими особенностями нарушений, так и различием электрических свойств пород в разломной зоне и во вмещающей среде [Разломообразование..., 1991, 1992, 1994].

Удельное электрическое сопротивление (ρ) горных пород и обобщенная характеристика толщи пород – суммарная продольная проводимость (S) определяются прежде всего свойствами электролита, а также их объемным содержанием, т.е. пористостью и геометрией порового пространства [Ваньян, 1994]. Низкоомные минералы и породы создают аномалии повышенной проводимости.

Относительно высокая электропроводность отдельных горизонтов осадочной толщи, верхних слоев консолидированной земной коры и секущих их разломов связывается с наличием минерализованных растворов, заполняющих микротрещины и зоны трещиноватости, а также электроннопроводящих минералов (графит, пирит и др.).

В приразломной части геологического разреза могут регистрироваться поляризационные процессы внутри двойного слоя двухфазных твердо-жидких сред. Их масштабы и особенности тесно связаны как с типом горных пород, структурно-тектоническими особенностями, так и с источником воздействующего электромагнитного поля [Комаров, 1994; Методические рекомендации..., 1988; Сафонов, 1995; Сафонов и др., 1994]. Пиритизация и графитизация песчано-глинистых пород и трещиноватых известняков обуславливают появление аномалий повышенных значений вызванной поляризации. Перемещение флюидов

дов по разломам и зонам трещиноватости сопровождается зачастую образованием сульфидной минерализации, которая обуславливает активизацию процессов вызванной поляризации [Методические рекомендации..., 1988].

Естественно, что флюидопроводящие разломы и зоны трещиноватости [Хаин, Соколов, 1994] должны выделяться при проведении электроразведки как аномалии пониженного сопротивления и повышенной вызванной поляризации. Частично проводящие разломы могут не создавать заметных электрических аномалий. Признаком флюидопроводящих ДД являются зональные линейные аномалии электропроводности и ВП. Увеличению вертикального диапазона нефтегазоносности может сопутствовать рост величины сопротивления соответствующей толщи пород. УВ в зонах ДД и трещиноватости могут создавать аномалии повышенного сопротивления и ВП.

ДД являются типичными неоднородностями геоэлектрического разреза, которые отличаются по своим электромагнитным свойствам от вмещающей (часто горизонтально-слоистой) среды [Методические рекомендации..., 1988]. Причем, это могут быть как макронеоднородности (в виде аномалий электропроводности, ВП), так и микронеоднород-

Таблица 3.1.

Геологические, структурно-тектонические признаки ДД и соответствующие электроразведочные аномалии

Геологические и структурно-тектонические признаки ДД и ЗТ	Аномалии сопротивления проводимости и поляризуемости	Источник данных
Зоны нарушения сплошности осадочного чехла и фундамента	Аномалии сопротивлений или проводимости, аномалии ВП	[Губатенко и др., 1992; Дунаева и др., 1998; Методические рекомендации..., 1997]
Блочные структуры	Аномалии сопротивлений или проводимости	[Губатенко и др., 1992; Дунаева и др., 1998; Методические рекомендации..., 1997]
Линейные протяженные зоны специфических литолого-фациальных характеристик горных пород	Полосовые аномалии сопротивления или проводимости, аномалии ВП (в плане или по разрезу)	[Дунаева и др., 1998; Касьянова, 1995; Методические рекомендации..., 1997]
Внутренняя структура ДД в виде флюидонасыщенных зон дробления, трещиноватости	Линейные аномалии повышенной проводимости, аномалии вызванной поляризации (в плане и по разрезу)	[Ваньян, 1994; 1997; Орлов, Шилина, 1998; Хаин, Соколов, 1994]
Приразломные зоны вторичных изменений горных пород	Линейные аномалии сопротивления, проводимости и ВП (в плане и по разрезу)	[Методические рекомендации по прогнозированию..., 1998]
ДД с повышенной пиритизацией	Аномалии сопротивлений, проводимости и ВП	[Комаров, 1994; Методические рекомендации..., 1997]
Углеводороды в зонах ДД	Аномалии повышенного сопротивления, возможны аномалии ВП	[Методические рекомендации..., 1997; Методические рекомендации по прогнозированию..., 1998]

ности (определяются приближенно анизотропией, частотной дисперсией электропроводимости и диэлектрической проницаемостью).

В связи с существенным изменением геоэлектрических характеристик как в разных крыльях разлома или разломной зоны, так и внутри них, признаком ДД могут служить линейные (в плане) аномалии пониженных или повышенных значений электрического сопротивления, вызванной поляризации и других электромагнитных параметров.

Геологические и структурно-тектонические признаки ДД проявляются в виде характерных электроразведочных аномалий (табл. 3.1).

3.3. Плотностные характеристики дизъюнктивных дислокаций в сочетании с характеристиками геологических тел, к которым они приурочены

Плотностные характеристики дизъюнктивных нарушений определяются значениями плотностей пород, в которых эти нарушения существуют. В зависимости от контрастности плотностей разреза находится, соответственно, возможность картирования нарушений. Приуроченность залежей УВ к зонам повышенной трещиноватости, контролируемая ловушек теми или иными дизъюнктивами делает задачу выявления и картирования последних исключительно важной. Как правило, разрезы месторождений обладают достаточно контрастным плотностным распределением.

Для каждой нефтяной провинции характерен свой плотностной разрез. При наличии нескольких плотностных границ гравитационный эффект от ДД, прослеживающийся в некотором интервале глубин, будет представлять собой суммарный эффект от изменения рельефа всех плотностных контактов. При несоответствии структурных планов или их смещении по горизонтали эффект от одной границы может быть скомпенсирован эффектом от другой, т.е. отображение ДД или локальных структур в наблюдаемом поле в значительной мере обуславливается характеристиками существующих дислокаций. Оценка гравитационного влияния структуры за счет смещений по линиям дислокации и градиентного изменения плотности пород с глубиной залегания, осуществленная с помощью формулы В.А.Болдыревой [Болдырева и др., 1990; 1991] (применительно к условиям Южного Мангышлака) представлена в таблице 3.2.

По результатам моделирования гравитационного влияния структуры за счет градиентного изменения плотности пород с глубиной показано, что вертикальная градиентность плотностного разреза в сочетании со смещением по линиям дислокации может обусловить аномалию от структуры до нескольких десятых долей миллигала, если структура прослеживается от глубоких горизонтов, выходящая к дневной поверхности. Если же структура выходящая на глубинах одного километра и глубже, то эффект от 0.1 мгал и более может обеспечить нарушение амплитудой от 10-15 м на фоне структуры размерами не менее 10 км по простиранию и 100 м по мощности. Т.е. эффект от малоразмерных дислокаций за счет нарушений вертикальной градиентности плотностного разреза настолько мал, что при современном техническом уровне не может быть зафиксирован. При размерах же структур более 10 км и 100 м, соответственно, указанный эффект усилит влияние от структуры. Примером может служить Арстановская структура (Ю. Мангышлак), где расчетный эффект от разуплотнения верхне-юрских отложений ($0.15 \text{ г/см}^3 - 0.2 \text{ г/см}^3$) равен 1.15 мгал; (по данным гравитационного моделирования эффект приращения градиентного изменения плотности с глубиной составляет до 0.3 мгал). [Болдырева и др., 1990, 1991, 1997].

Таблица 3.2.
Оценка гравитационного влияния структуры

Протя- женность, км	Мощ- ность, м	Глубина, на кото- рой структура выполаживается, км	Нижняя глубина залегания, км	Аномалия, мгЛ
10	50	0	3	0.26
10	100	0	3	0.45
5	50	0	3	0.13
5	50	0	3	0.25
10	50	0	3	0.07
10	100	1	3	0.15
5	50	1	3	0.03
5	100	1	3	0.06
5	50	1	4	0.03
5	100	1	4	0.06
10	50	1	4	0.06
10	100	2	4	0.12
5	50	2	4	0.04
5	100	2	4	0.07
10	50	2	4	0.01
10	100	2	4	0.02

Для большинства регионов характерны локальные нефтяные структуры с горизонтальными размерами 5-10 км и амплитудами 50-100 м и более. Для таких параметров локальных структур определены (аналогичным образом) величины гравитационных эффектов при амплитуде смещения по разрыву 10 м (табл.3.3). Данные таблицы показывают, что при эффективной плотности пород в $0.2-0.3 \text{ г/см}^3$ эффект от структуры, обусловленный дислокацией, по горизонту на глубине 2-3 км будет изменяться от 0.01 до 0.17 мгал, если амплитуда структуры составляет 50м и от 0.04 до 0.34 мгал при амплитуде в 100м. Т.е. эффект от малоразмерной структуры ($L = 4-5 \text{ км}$, $dZ = 50 \text{ м}$) по одному стратиграфическому комплексу при глубине залегания его 2-3 км находится на пределе точности гравиметрических измерений или ниже ее. То же самое относится и к ДД, залегающим глубже трех километров: эффекты от них при залегании на глубинах около 4 км современной высокоточной гравиметрической съемкой можно зафиксировать лишь в том случае, если амплитуда смещения превышает 20 м при избыточной плотности 0.3 г/см^3 , а от смещений по поверхности стратиграфического комплекса, залегающего на глубине 5 км – при амплитуде смещения не менее 400 м.

Для того, чтобы составить представление о плотностных характеристиках дизъюнктивных нарушений рассмотрим их на примере типичных объектов исследований по ряду регионов.

В большинстве регионов продуктивные структуры на основании статистического анализа плотностей пород, определенных по керновому материалу, а на некоторых площадях по данным гамма-гамма каротажа, гравитационного каротажа, характеризуются эффективной плотностью $0.2-0.3 \text{ г/см}^3$. В некоторых регионах она может достигать существенно больших величин.

Таблица 3.3.

Связь гравитационного поля со структурами

Плотность, г/см ³	Мощность, м	Глубина, км	Протяжен- ность, км	Аномалия, мгал
0.1	100	2	5	0.034
0.1	100	2	10	0.119
0.1	100	3	5	0.01
0.1	100	3	10	0.063
0.1	100	4	5	0.002
0.1	100	4	10	0.034
0.1	100	5	5	0.001
0.1	100	10	10	0.018

Например, в Саратовском Поволжье эффективная плотность карбонатного комплекса повышается до 0.75 г/см³. Очевидно, что в этом случае (с учетом вышеприведенных табличных данных) практически любые значимые ДД найдут отражение в аномальном гравитационном поле и будут выявлены при интерпретации результатов высокоточной гравиразведки. Но подобная ситуация носит исключительный характер. Несравненно чаще встречаются случаи, когда эффекты от ДД затушевываются влиянием латеральных изменений плотностных свойств и вариаций мощности изучаемого пласта.

В районах Западной Сибири большим дефицитом плотности по отношению к вмещающим породам характеризуется баженовская свита. Дефицит плотности баженовских аргиллитов по сравнению с вмещающими породами подачимовской пачки и абалакской свиты составляет: для продуктивных пород – 0.25 г/см³ (скв.51), – 0.40 г/см³ (скв.32), для непродуктивных – 0.15 г/см³. Однако баженовская свита неоднородна по литолого-петрографическому составу, плотности и коллекторским свойствам. По результатам литолого-петрографических исследований [Дорофеева и др., 1979] в свите выделяются десять литологических разновидностей (типов) в зависимости от количественного соотношения кремнистых, глинистых, карбонатных компонентов и ОВ, которые объединяются в несколько групп пород. В подошвенной части свиты и пластах Р₁, Р₂ преобладают карбонатизированные, иногда кремнистые породы.

Неоднородность литолого-петрографического состава свиты проявляется в плотностных и коллекторских свойствах слагающих ее пород. Открытая пористость баженовских аргиллитов изменяется от 2% до 16%, плотность – от 2.0 до 2.75 г/см³. Однако для большинства измерений интервал вариаций плотности сужается и составляет для всех типов пород ≈ 2.15 г/см³ – 2.40 г/см³. В то же время в литературе неизвестны плотностные характеристики собственно зон ДД. В подобных условиях повышенной плотностной неоднородности картирование ДД с реальными амплитудами в баженовской свите средствами только высокоточной гравиразведки не представляется возможным.

Геологический разрез Приобской площади содержит четыре основных субгоризонтальных плотностных контакта, приуроченных к:

1 – кровле кузнецовской свиты ($\Delta\delta = +0.18$ г/см³); 2 – кровле ханты-мансийской свиты ($\Delta\delta = +0.14$ г/см³); 3 – кровле алымской свиты ($\Delta\delta = +0.12$ г/см³); 4 – кровле доюрского фундамента ($\Delta\delta = +0.15 \div +0.30$ г/см³).

Гравитационный эффект от этих плотностных контактов будет зависеть от величин эффективных плотностей и амплитуд нарушений рельефа их поверхностей.

По подавляющему числу определений плотность пород битуминозных аргиллитов, равна 2.24 г/см^3 . Отмечается сдвиг кривой распределения и плотностей пород 1-4 типов по отношению к кривым других типов в сторону уменьшения плотности. Судя по кривым распределения, в реальном разрезе возможны разные сочетания плотностей, при этом эффективная плотность между разуплотненными и уплотненными участками в среднем может достигать $0.2 \text{ г/см}^3 - 0.3 \text{ г/см}^3$, колеблясь в сторону увеличения или уменьшения. Отмечается сдвиг кривой распределения плотностей пород из высокодебитных скважин по отношению к кривой распределения из сухих скважин в сторону уменьшения плотности в среднем на 0.1 г/см^3 , разница же в плотностях продуктивных и непродуктивных пород может колебаться в пределах от 0.05 до 0.40 г/см^3 и выше.

На известных газоконденсатных месторождениях эффективная плотность флюида составляет $-0.1 \div -0.15 \text{ г/см}^3$. Она может быть определена по формуле:

$$\sigma_{\text{ф}} = k (\sigma_{\text{ф}} - \sigma_{\text{в}}),$$

где k – коэффициент пористости, $\sigma_{\text{ф}}$ – плотность флюида, $\sigma_{\text{в}}$ – плотность воды.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ РАЗРЕЗА

Главная цель моделирования, выполненного в рамках данной работы, состояла в обосновании признаков обнаружения ДД, пригодных для их выявления и картирования.

4.1. Моделирование сейсмических полей

Сейсмическое моделирование волновых полей, обусловленных различными элементами исследуемых геологических разрезов, в том числе и ДД, проводилось практически на протяжении всего времени существования метода [Кулагин и др., 1994]. На различных этапах развития сейсморазведки осуществлялось обобщение результатов такого моделирования, а также массовых материалов экспериментальных наблюдений. В итоге постепенно сложились устойчивые представления о признаках обнаружения ДД, основные из которых фактически уже сформулированы в главе 3. Приведем их в виде таблицы 4.1.

Следует особо подчеркнуть, что **совокупность известных признаков ДД на практике проявляется далеко не всегда**. Причинами этого, конечно, может служить уникальность проявления каждого ДД как геологического объекта – многообразие их типов, морфологии, вещественного состава и внутренней структуры, генезиса, характера фиксации в разрезе и трансформаций в последующей геологической истории. Все эти особенности в конечном счете могут быть изучены на моделях. Но часто и при этом не удается добиться подобия модельных и реальных волновых отображений ДД. Следовательно, причины сво-

Таблица 4.1.

Признаки обнаружения ДД

Виды признаков ДД	Физико-геологические причины	Собственно признаки
Структурные (кинематические)	Нарушение сплошности разреза, смещения по вертикали и латерали, разнонаправленность смещений др.	Разрывы корреляции горизонтов, наличие смещений горизонтов, изменение углов наклона
Волновые (динамические)	Нарушение сплошности и седиментационной слоистости, нарушение регулярности отражателей, переменная акустическая контрастность в зоне ДД	Резкие изменения амплитуд, снижение когерентности, снижение частоты, регистрация волн иной природы
Сейсмоформационные	Иерархическое строение разреза, вещественный состав, внутренняя структура отложений и ее изменения	Ранговые признаки ДД, контрасты акустических жесткостей, смена типов сеймослоистости и сейсмоцикличности

еобразия в проявлении признаков ДД заключаются не только в особенностях их собственного геологического строения. Существуют группы различных факторов, сильно влияющих на проявления ДД в сейсмическом волновом поле. Эти факторы к настоящему времени также уже изучены. Главными из них являются:

- осложнения поверхностных условий работ – геоморфологии исследуемых участков: наличие реки, болот, зоны вечномёрзлых пород, других неоднородностей верхней части разреза (ВЧР) и т.п.;
- общее снижение качества сейсмического материала, обусловленное различными помехами сейсмического и несейсмического происхождения;
- неоднородности перекрывающей объект толщи разреза, обусловленные пликативными и инъективными дислокациями, седиментационными телами типа органогенных построек и др.

Перечисленные факторы в существенной мере обуславливают степень надежности выявления ДД, оценка и повышение которой составляет, вероятно, главную задачу настоящих исследований. Поэтому остановимся на указанных факторах более детально.

Поверхностные условия

Осложнения, связанные с поверхностными условиями, проявляются на сейсмических отображениях (исходных сейсмограммах, временных и мигрированных разрезах) в стохастических или/и коррелированных флуктуациях кинематических (времени, скорости, углы наклона) и динамических (амплитуды, частоты, поляриность) параметров.

На рис.4.1 представлена простейшая модель, имитирующая недоучтенные среднечастотные статические поправки, обусловленные ВЧР(а, б). При внесении в модель шумовой компоненты (в) и последующей когерентной фильтрации (г), имитирующей присущее сейсмике сглаживание сигнала по латерали (зона Френеля), получаем результирующий вид разреза, на котором уже проявляются некоторые признаки ложных ДД.

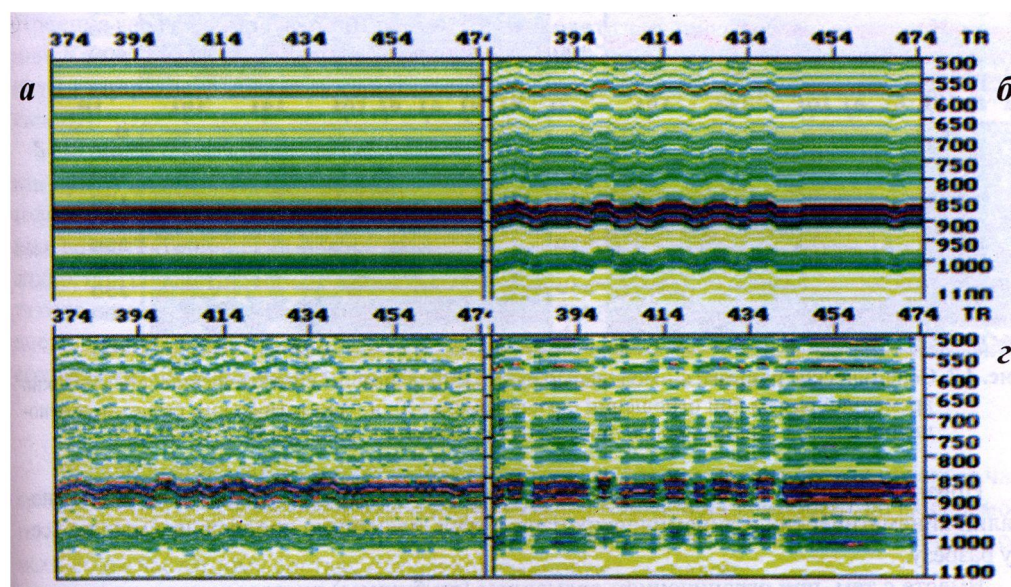


Рис. 4.1. Примеры моделирования помех, обусловленных влиянием верхней части разреза

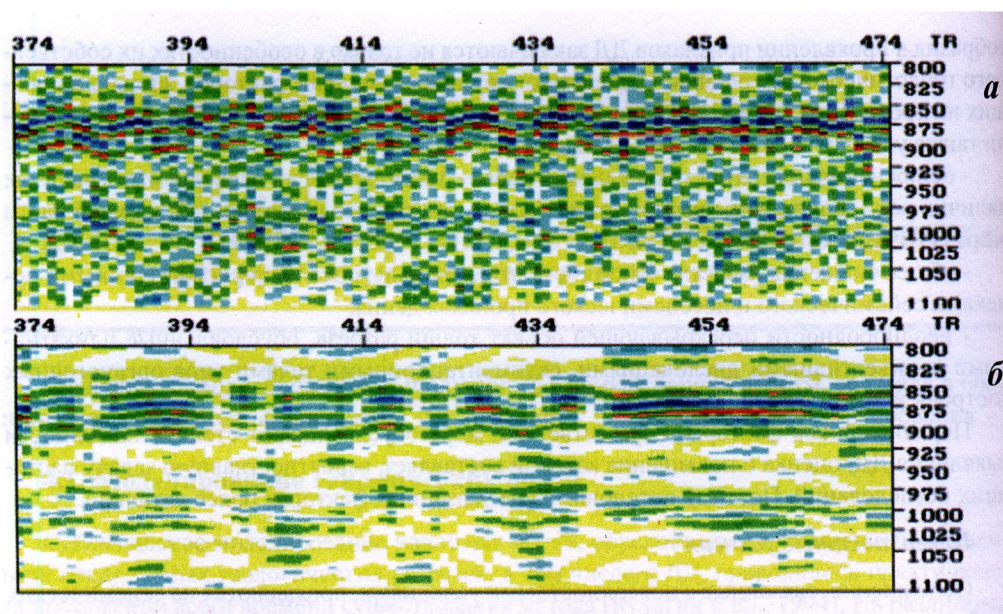


Рис. 4.2. Примеры моделирования помех, обусловленных влиянием верхней части разреза

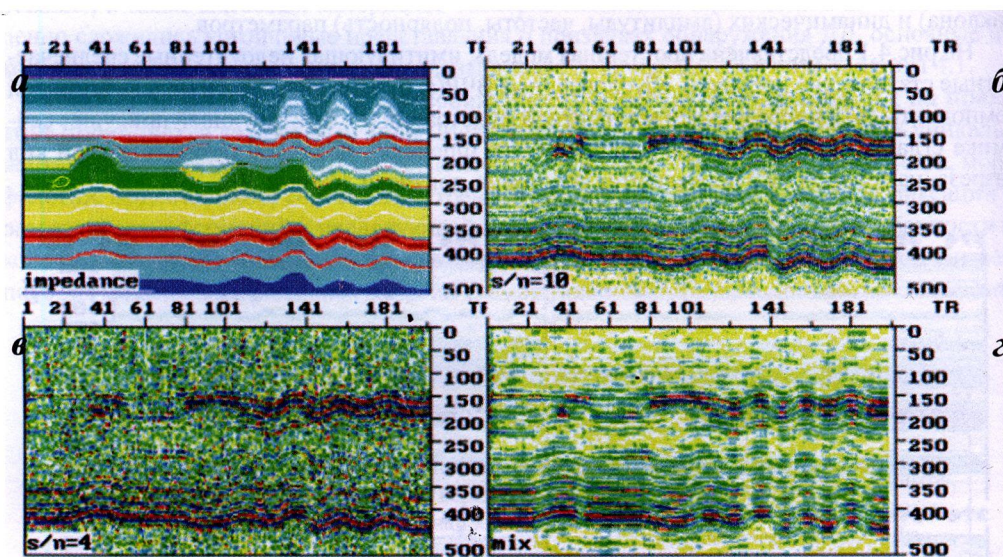


Рис. 4.3. Сейсмические разрезы: а – модельный разрез импеданса; б – синтетический сейсмический временной разрез при отношении сигнал/помеха=10; в – синтетический разрез при отношении $s/p=4$; г – разрез после применения когерентной фильтрации (смешения)

Признаки данного типа помех вполне очевидны – это строго вертикальные зоны аномалий кинематических и динамических параметров, идентично прослеживаемые по всему разрезу.

Вместе с тем, при ограниченном временном (глубинном) интервале анализа выявление помех подобного рода может стать проблематичным (рис. 4.2 а, б).

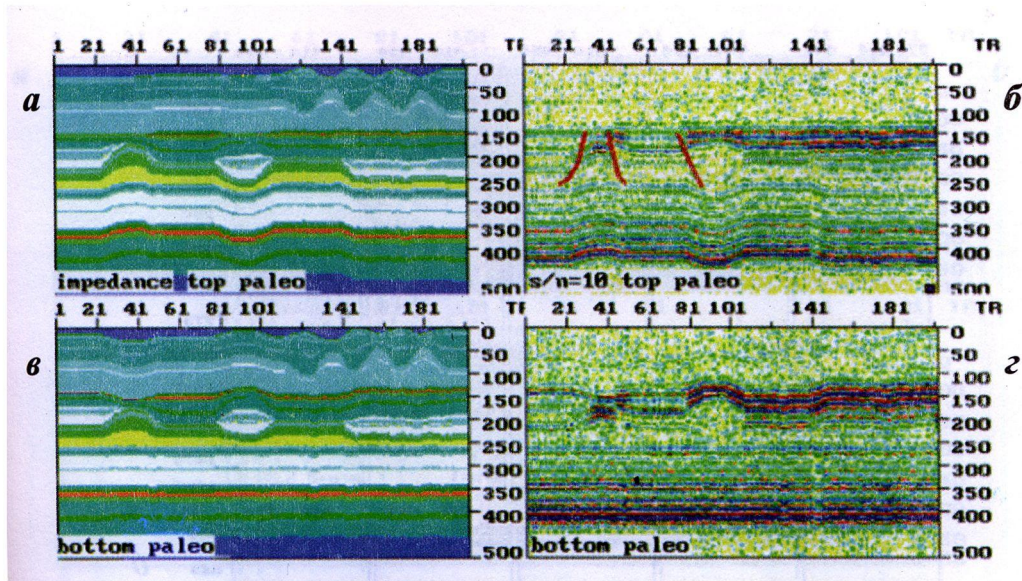


Рис. 4.4. Разрез импеданса (а) и синтетический разрез (б) после “палеорекострукции” по границе в ВЧР; в, г – то же по поверхности подстилающей толщи

Характерно, что при когерентном сглаживании разреза при наличии коррелированных помех ложные ДД могут иметь уже и наклонные поверхности “сбрасывателей” (см. рис. 4.2 б). Таким образом, для уверенного распознавания помех такого рода анализ разрезов должен быть разномасштабным, включая и обязательное рассмотрение всего разреза в целом.

На рис. 4.3 рассмотрен более сложный пример, в котором существенной сложностью строения характеризуются ВЧР, промежуточная (по отношению к объекту) толщина отложений. Как видно из рисунка, и по верхней части разреза и, что особенно существенно, по интервалу регистрации отражений от объекта реализуются условия для выделения ложных ДД.

На рис. 4.4 представлена та же модель, что и на предыдущем рисунке. Здесь реализован прием анализа, позволяющий оценить достоверность дислоцированности изучаемой толщи. Этим приемом служит “палеорекострукция”, которая в отличие от общеизвестных палеотектонических реконструкций носит скорее “технологический” характер. Как видно, при реконструкции по границе в ВЧР степень осложнения разреза в интервале объекта остается прежней, что приводит к выделению ложных ДД. При реконструкции поверхности подстилающей толщи становится очевидным, что сложности морфологии объекта скорее всего обусловлены строением ВЧР и промежуточной толщи.

Влияние помех на ДД

Моделирование помех и оценка их влияния на выявление геологических объектов часто проводится генерализованно, без ранжирования мешающих компонент по их сейсмогеологическому генезису. Для правдоподобных оценок бывает достаточно различать помехи по их частотному составу и коррелированности с сигналом.

На рис. 4.5 представлены выборки некоррелированных с сигналом помех низко (а) и высокочастотного (б) состава при различных соотношениях с/п (сигнал/помеха).

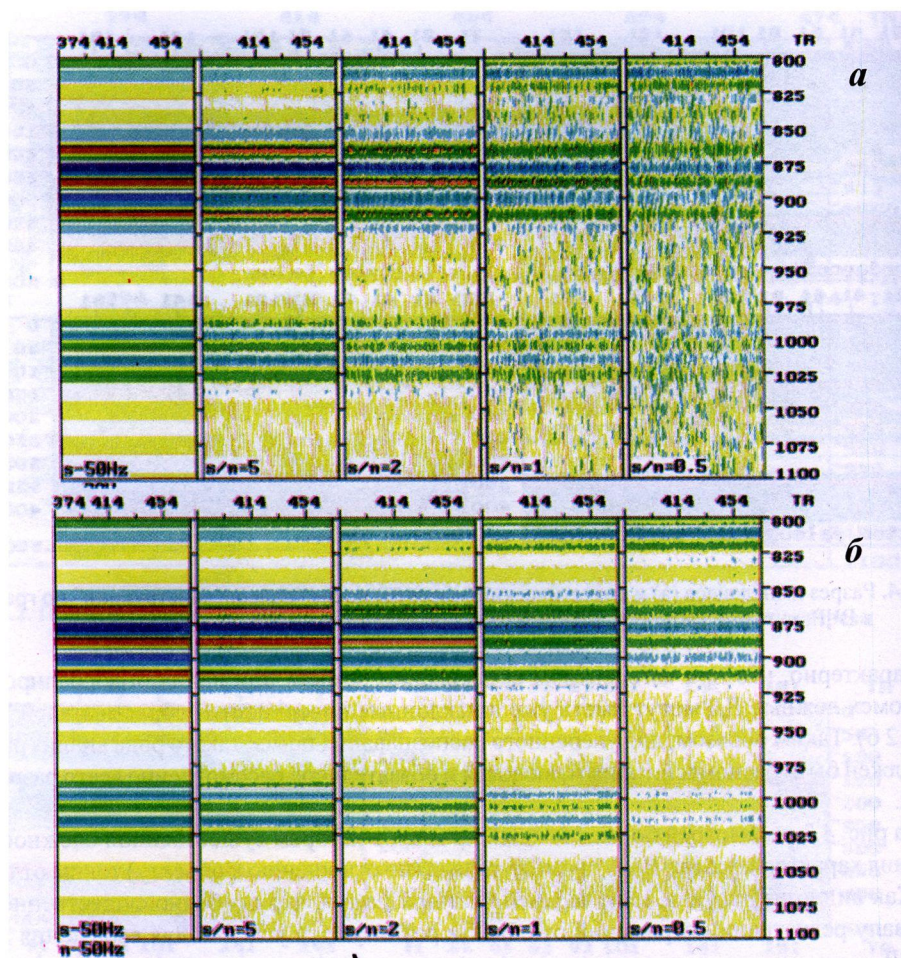


Рис. 4.5. Влияние помех: а – максимум спектра сигнала-50 Гц, помехи- 30 Гц, б – максимумы спектра сигнала и помех - 50 Гц

Эти же выборки могут быть использованы в дальнейшем для генерации помех, коррелированных с сигналом, например, путем применения когерентных фильтров различной направленности.

На рис. 4.6 представлены модельные разрезы акустического импеданса для ДД наполнения и выполнения, а также соответствующие синтетические разрезы при высоком отношении сигнал/помеха. Можно видеть, что стандартные признаки обнаружения ДД в этих случаях имеют различия, в основном, по динамическим признакам. Большая дисперсия контрастности в случае вещественного состава типа наполнения проявляется в наличии в зоне ДД некоррелированных, но вполне интенсивных колебаний. При повышенной контрастности зоне ДД отвечает полное ослабление записи.

На рис. 4.7 отмеченные признаки проявляются более значимо при применении псевдоскоростного преобразования. При наложении более существенных по уровню помех ($s/p = 2$) фактически не только нивелируются различия в проявлении признаков для двух рассмотренных случаев, но и сам факт выделения ДД становится проблематичным.

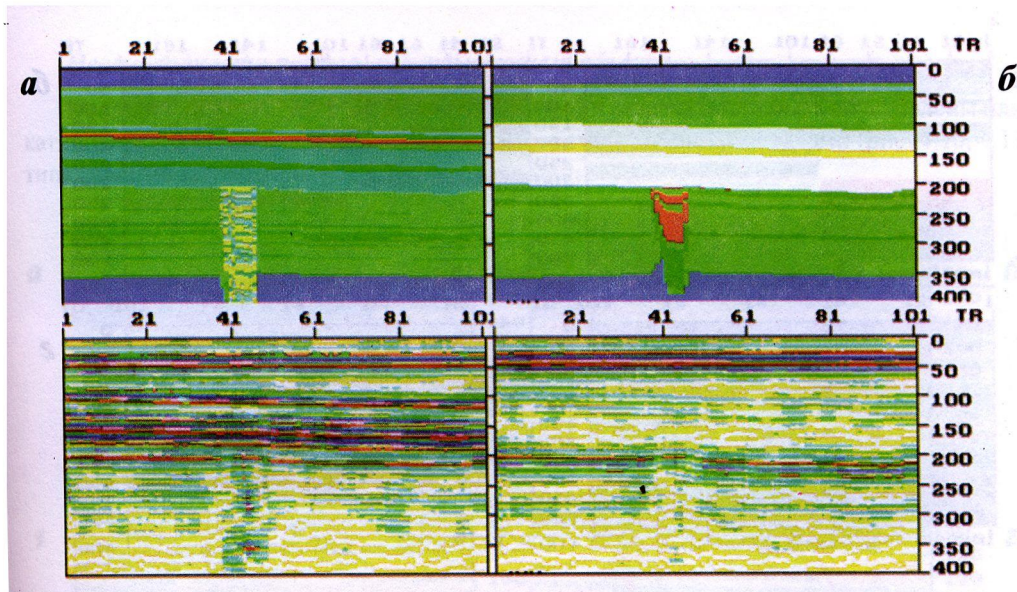


Рис. 4.6. Модельные разрезы импедансов для ДД заполнения с пониженной (а) и выполненная с повышенной (б) жесткостью. Соответствующие синтетические разрезы при отношении сигнал/помеха = 10

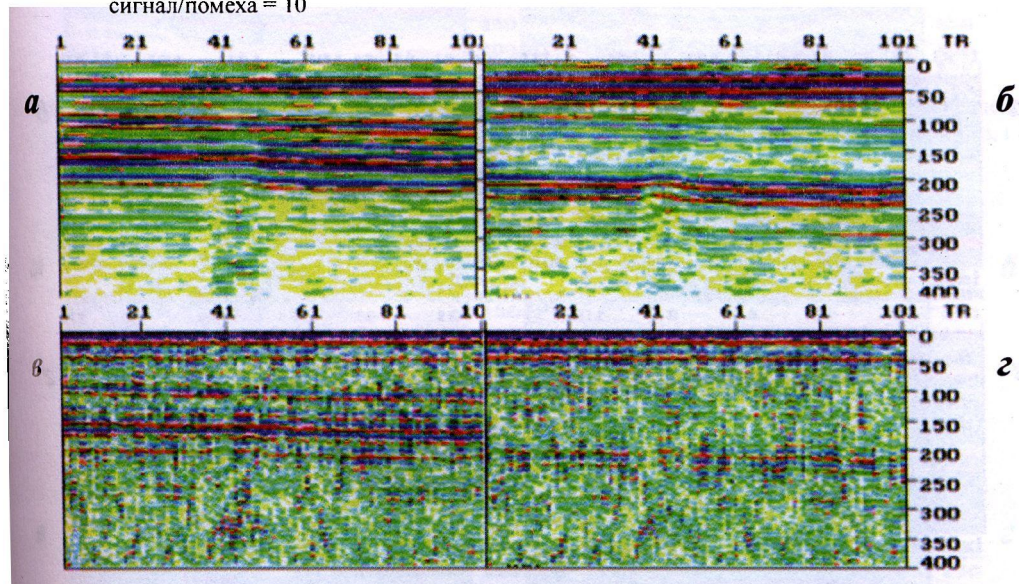


Рис. 4.7. Псевдоскоростное преобразование синтетических разрезов (а, б – исходные разрезы; в, г – синтетические разрезы при отношении сигнал/помеха = 2)

Аналогичные выводы следуют и при сопоставлении двух вариантов сочетания блоков, разделенных ДД: в первом варианте один из блоков стабилен, второй многократно двигался в процессе седиментации (конседиментационный вариант). Это проявляется в различиях их поистости (рис. 4.8 а,б). Во втором варианте условия седиментации для блоков идентичны – имеет место постседиментационная ДД (рис. 4.8 б,г). Как видно, после наложения помех различия между двумя столь различными ситуациями также сильно нивелируются (рис.4.9).

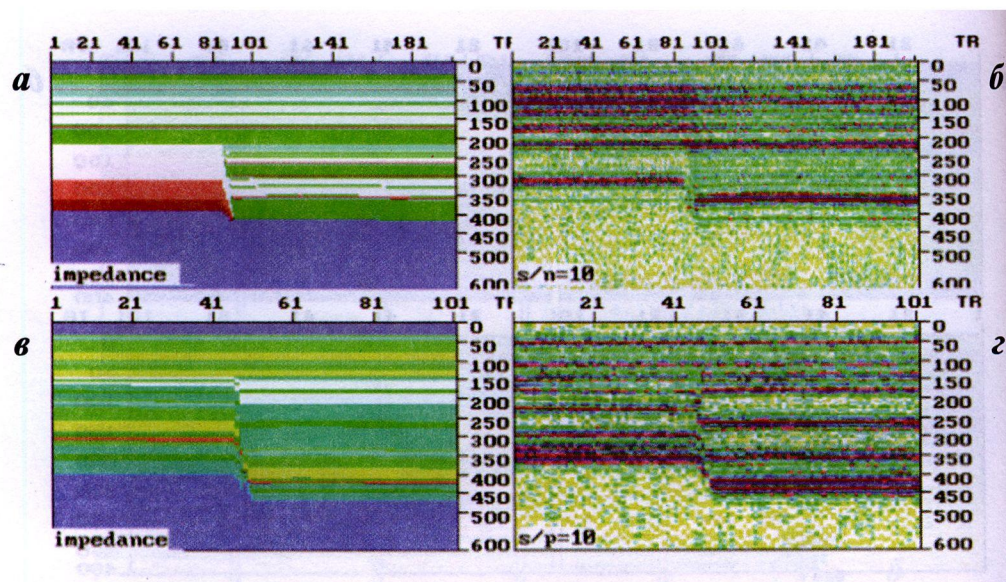


Рис. 4.8. Блоки разных типов: а, б – конседиментационные, в, г – постседиментационные. Синтетические разрезы (б,г) получены при отношении $s/p = 10$

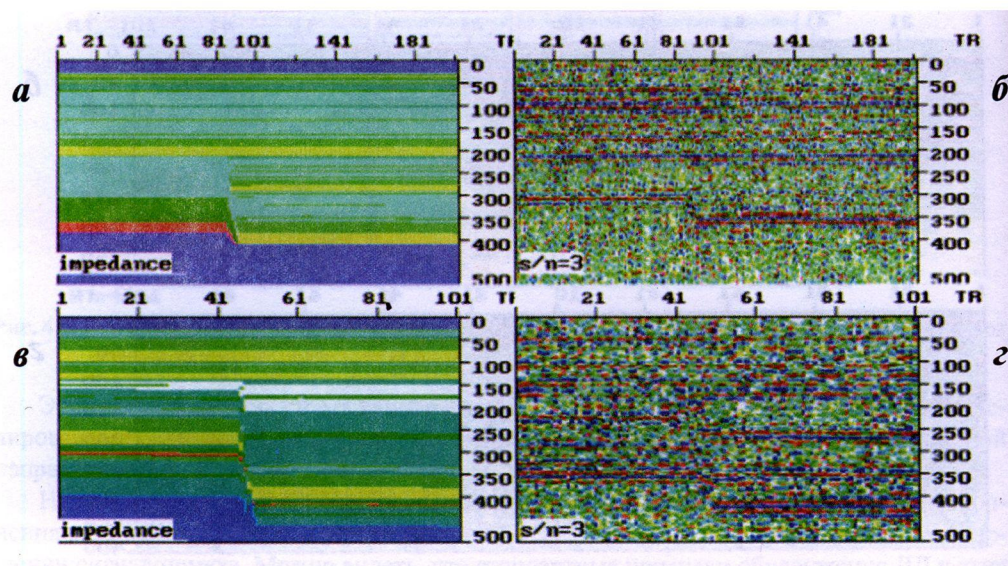


Рис. 4.9. То же, что и на предыдущем рисунке при отношении $s/p=3$

Таким образом, даже простейшие модельные примеры свидетельствуют о весьма существенной роли помех на устойчивость признаков обнаружения и, соответственно, сам факт выявления ДД. Из этого могут быть сформулированы требования к качеству сейсмического материала, используемого при выделении и трассировании ДД по площади: **необходимое отношение сигнал/помеха должно заведомо превышать значения 3-4.**

Неоднородности разреза, перекрывающего объект

Неоднородности перекрывающей объект толщи разреза могут быть обусловлены плинктивными и инъективными дислокациями, седиментационными телами (рис. 4.10, 4.11) типа галогенных и глинистых штоков, органогенных построек и др.

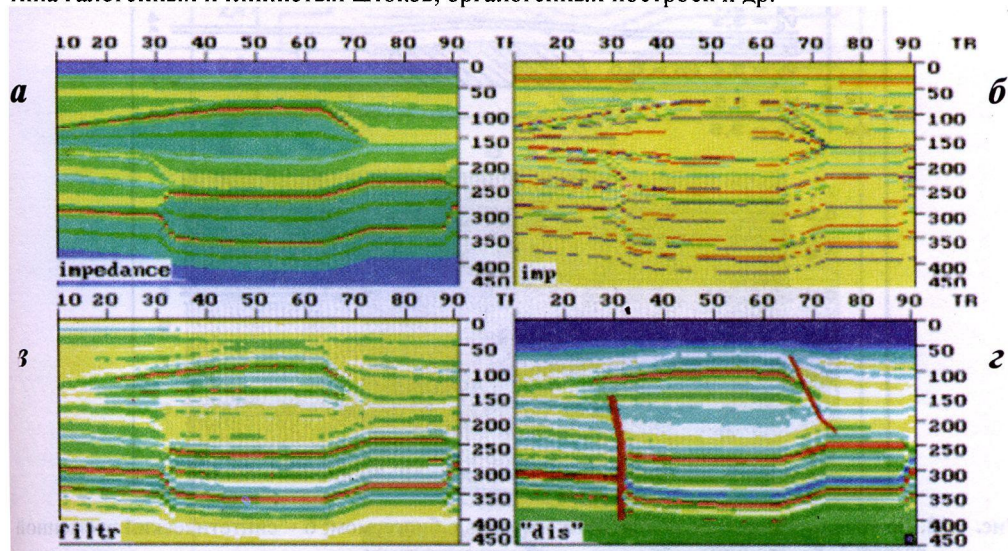


Рис. 4.10. Модель седиментационного тела, приуроченного к толще над объектом: а – распределение акустической жесткости, б – коэффициентов отражения, в – синтетический разрез, г – суммарный разрез

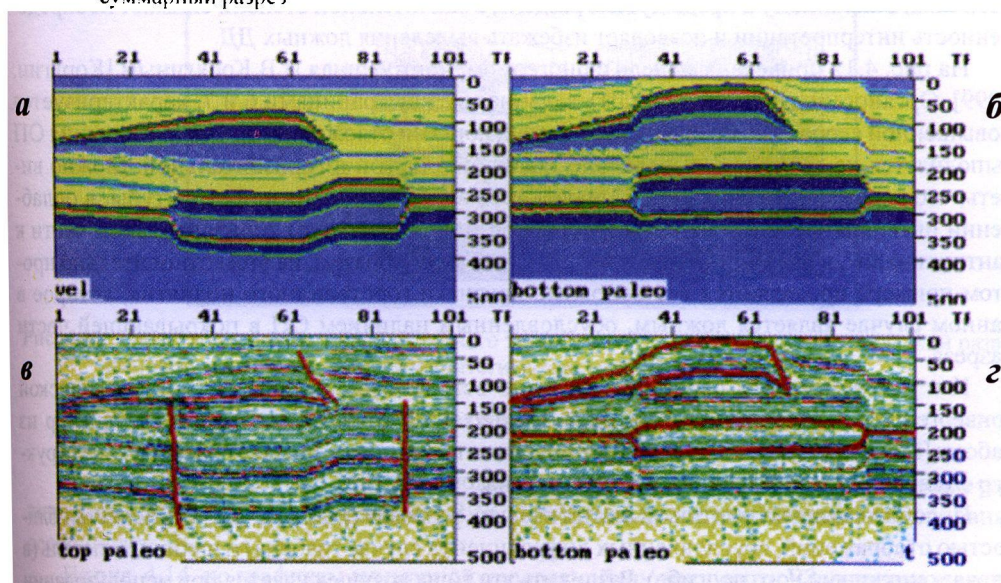


Рис. 4.11. Модель седиментационного тела, приуроченного к толще над объектом: а – псевдоскоростной разрез, б – его «палеорекострукция» по подстилающей объект границе, в – «палеорекострукция» синтетического разреза по вышележащей границе, г – то же по подстилающей границе

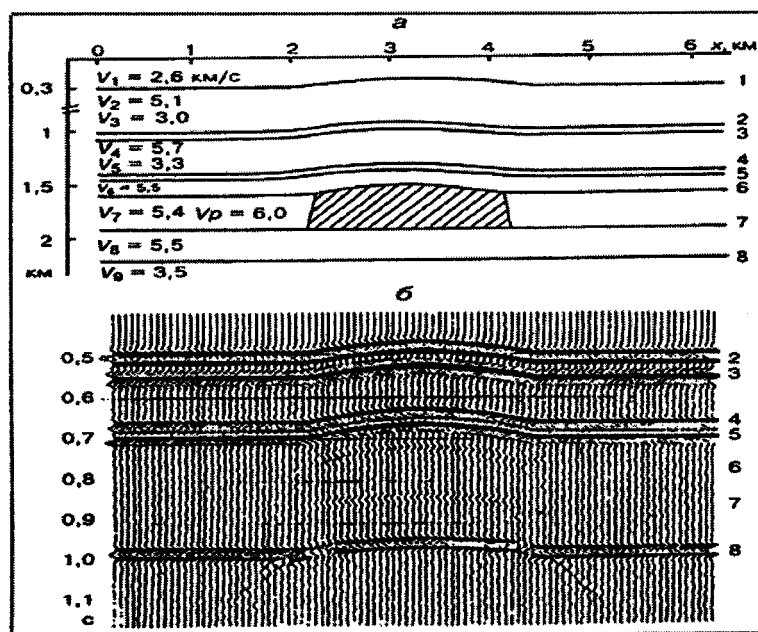


Рис. 4.12. Ложное горстовидное поднятие: а – модель с биогермом; б – синтетический временной разрез; 1–8 – границы

Применение приема “палеорекострукции” по подстилающим объектам границам, аналогичный описанному в предыдущем разделе, в значительной степени снимает неопределенность интерпретации и позволяет избежать выделения ложных ДД.

На рис. 4.12 приведена модель с биогермом, построенная В.В.Корягиным [Корягин, 1999]. Органогенная постройка (ОП), заданная между границами 6 и 7, характеризуется повышенной скоростью по сравнению с вмещающими отложениями. Оценка влияния ОП выполняется по границе 8, изначально заданной плоской и горизонтальной. Можно видеть, что искажающее влияние ОП проявилось в появлении ложной структуры, в ослаблении интенсивности в зоне ее флексуобразного перехода от горизонтальной части к “антиклинали”, в наличии мнимой дифракции. Таким образом, на этом относительно простом примере проявляются все основные признаки горстовидного поднятия, которое в данном случае является ложным, обусловленным наличием ОП в покрывающей части разреза.

Как уже отмечалось ранее, весьма часто встречаются случаи сейсмогеологической конвергенции и дивергенции (см. гл.2). На рис. 4.13, в частности, приведен пример из работы [Корягин, 1999], иллюстрирующий сходство волновых полей от разного типа структур – синклинального прогиба и микрограбена.

Подобие волновых картин на синтетических разрезах (рис. 4.13 а,б) объясняется близостью отображений, обусловленных дифракцией (в случае грабена) и наличием петель (в случае синклинального прогиба). Различить эти типы ловушек удастся при использовании миграции сейсмических разрезов, в особенности при наличии данных 3D сейсморазведки. Это подкрепляет вывод о целесообразности совместного использования при интерпретации как временных, так и мигрированных (временных и глубинных) разрезов.

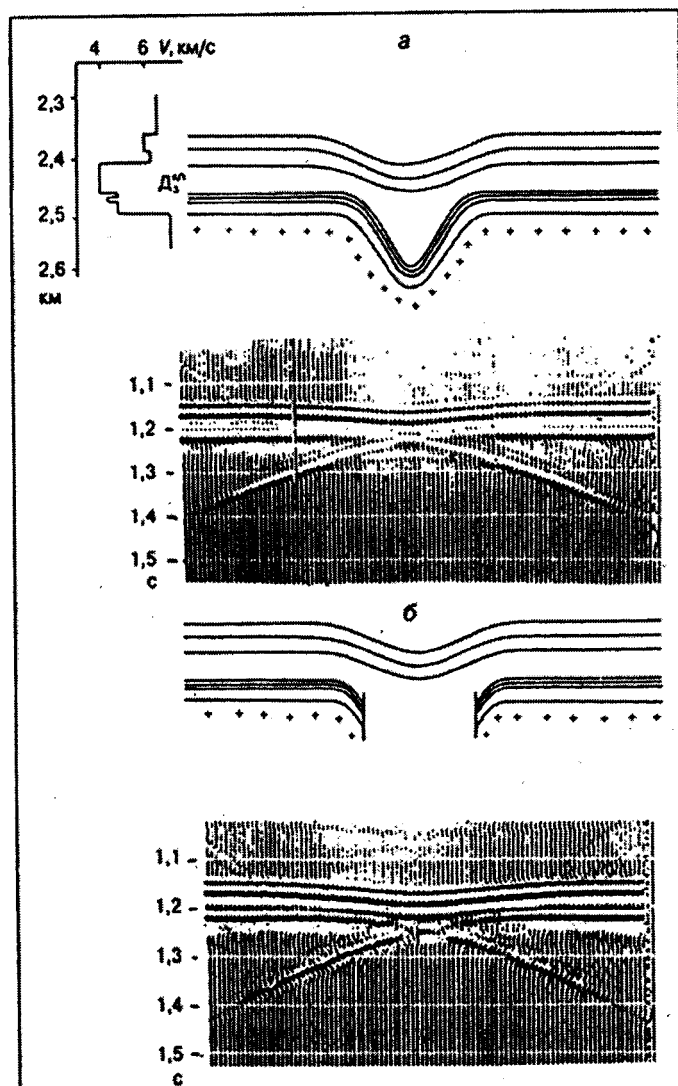


Рис. 4.13. Сходство волновых полей от разного типа структур: а – модель и синтетический разрез кыновского вреза; б – модель и синтетический разрез грабена

4.2. Моделирование электромагнитных полей

Проведенные во ВНИИГеофизике модельные исследования на баковой установке различными методами электроразведки (ЧЗ, ЗС, МТЗ) позволяют охарактеризовать основные особенности ДД.

На рис. 4.14. по графикам суммарной продольной проводимости ЧЗ уверенно выделяется вертикальный уступ, который может быть элементом ДД. Наличие непроводящего горизонтального или наклонного экрана, перекрывающего уступ (или выступ), не снижает возможностей для фиксации ДД.

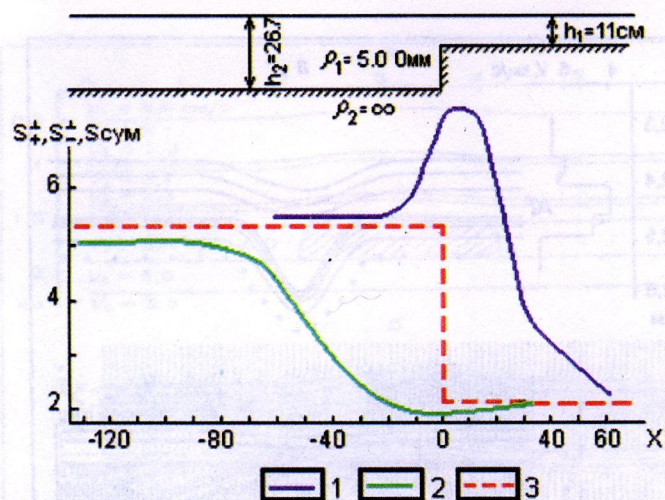


Рис. 4.14. Возможность выделения ДД (вертикальные подвижки по разлому) по графикам суммарной продольной проводимости при моделировании ЧЗ над уступом. 1, 2 – $S^{\pm}$, $S^{\pm}$; 3 – S расчет.

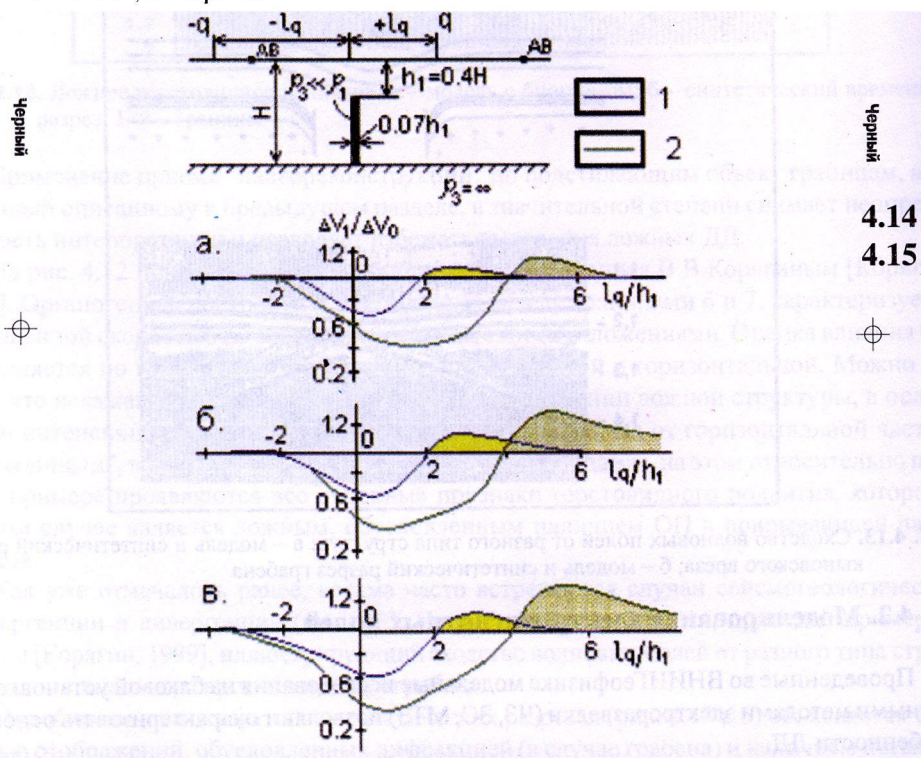


Рис. 4.15. Выделение вертикальной ДД по графикам электромагнитного профилирования методом переходных процессов над моделью тонкой хорошо проводящей вертикальной пластины для величин τ/H , равных 6.7 (а), 8.3 (б), 11 (в). 1 – для $\tau/H=0.6$, 2 – для $\tau/H=1.45$; окраска соответствует проявлению переходного эффекта

Тонкая вертикальная хорошо проводящая пластина, отождествляемая с ДД, выделяется при физическом моделировании ЗС или ЗС ЗИ (рис. 4.15).

В СНИИГТиМСе было выполнено физическое моделирование ЗСБ над вертикальным хорошо проводящим пластом, залегающим в нижней части разреза [Рабинович и др., 1987], который может ассоциироваться с проводящим разломом. Неоднородность такого типа четко выделяется в виде характерных аномалий компоненты B_z и особенно компоненты B_r . Характерным примером проявления на временном разрезе малоамплитудного разлома, секущего тонкий высокоомный слой, могут служить данные математического моделирования ВРЭ (рис. 4.16).

Расчеты магнитотеллурического (МТ) поля для двумернонеоднородной модели вертикального уступа позволяют отождествить выявленные аномалии с ДД (табл. 4.1). Такого типа разлом уверенно выделяется при полевых работах методом МТЗ. Возможности метода по выявлению ДД подтверждаются и результатами физического моделирования, даже если выступ перекрыт экраном. Результаты математического моделирования низкочастотного магнитотеллурического поля для геоэлектрического разреза с горизонтальным непроводящим полупластом отождествляются с нефтегазопродуктивным пластом, ограниченным зоной разлома (см. табл. 4.1). Непроводящие тонкие полупласты (вертикальный и наклонный) в проводящем разрезе могут отождествляться с безводными ДД. Все указанные неоднородности по МТ данным проявляются четкими и характерными аномалиями входного импеданса (рис. 4.17).

При создании новой теории высокоразрешающей электроразведки (ВРЭ) пересматриваются ранее сложившиеся представления об электросейсмических и сейсмoeлектрических эффектах в горных породах [Небрат, Сочельников, 1988; Сафонов, 1995], которые могут

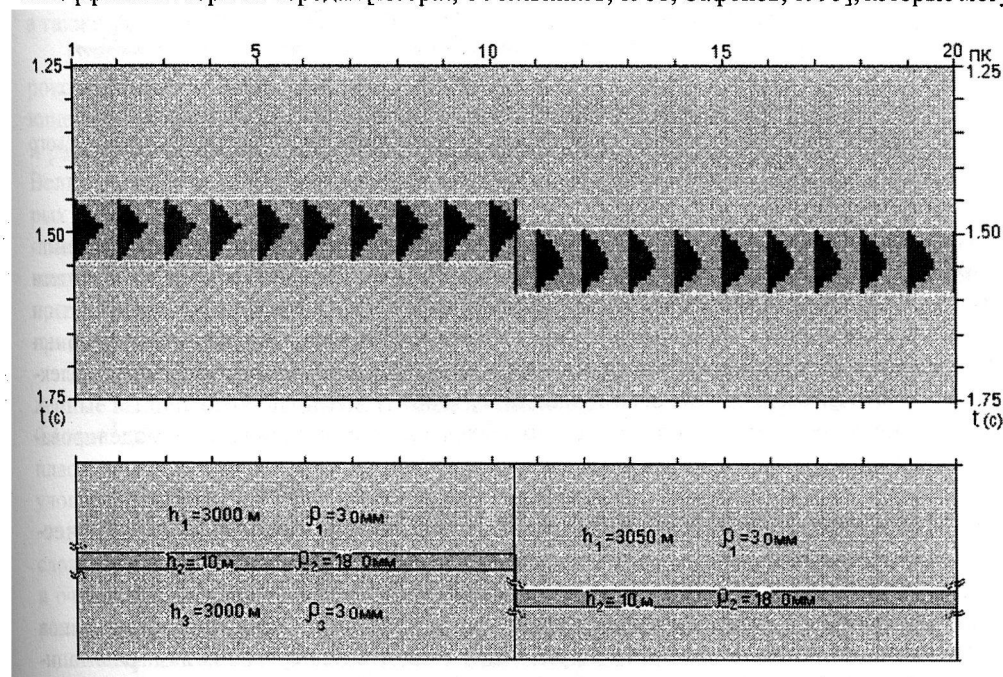


Рис. 4.16. Проявление на временном разрезе малоамплитудного разлома тонкого высокоомного слоя по данным математического моделирования ВРЭ

быть использованы для обнаружения ДД. Отмечается повышение эффективности исследований становления электромагнитного поля с учетом индукционной вызванной поляризации (ИВП). Проведенные теоретические исследования [Сочельников и др., 1994] указывают, что низкочастотные осцилляции могут быть обусловлены эффектом ИВП, а высокочастотные – обратным сейсмoeлектрическим эффектом. Экспериментальные материалы свидетельствуют о практической регистрации таких осцилляций.

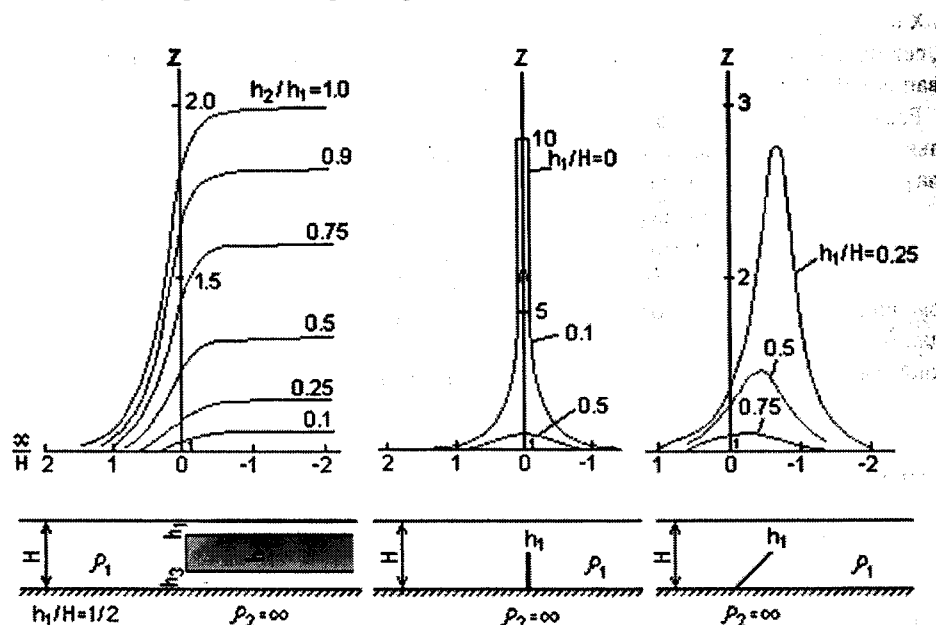


Рис. 4.17. Характер изменения входного импеданса в области низких частот магнитотеллурического поля над двуслойными разрезами

В работах [Дунаева и др., 1988; Сафонов, 1995] показано, что самое серьезное внимание необходимо уделять петрофизическим основам ВРЭ и сложившимся представлениям о структурно-формационных моделях в электроразведке. Для определения пористости и нефтегазонасыщенности пород различных литологических типов и регионов можно использовать способ построения петрофизических четырехкомпонентных моделей по электропроводности [Методические рекомендации..., 1988].

Имеющиеся представления о данных математического или физического моделирования сведены в табл. 4.2.

4.3. Моделирование гравитационных полей для различных кинематических типов дизъюнктивных дислокаций

Гравиметрическое моделирование восьми вышеописанных кинематических типов дизъюнктивов представляет особый интерес ввиду того, что на первый взгляд гравитационные эффекты от всех типов нарушений представляются близкими по конфигурации. Но на самом деле это не так. Аномалии, обусловленные казалось бы весьма близкими по фор-

Таблица 4.2.
Данные электромагнитного моделирования для выявления ДД

Геолого-структурные факторы	Приближённые аналоги в данных моделирования	Методы электроразведки	Источник данных
Зона сдвига, вертикальные и субгоризонтальные подвижки	Вертикальный уступ, наклонный и уступообразный экран, малоамплитудный разлом	ЧЗ,ЗС,ЗС-ЗИ, ЗСБ,МТЗ,ВРЭ	Данные А.Н.Кузнецова, Е.С.Киселева, [Рабинович и др., 1987; Бердичевский и др., 1970]
Зона растяжения и пониженного давления, повышенной флюидопроводимости	Вертикальная или наклонная проводящая пластина	ЧЗ,ЗС,ЗС-ЗИ,ЗСБ	Данные А.Н.Кузнецова, [Рабинович и др., 1987]
Зона трещиноватости и повышенной проницаемости	Вертикальная или наклонная проводящая пластина	ЧЗ,ЗС,ЗС-ЗИ, ЗСБ	Данные А.Н.Кузнецова, [Рабинович и др., 1987]
Зона сжатия	Вертикальная или наклонная непроводящая пластина	МТ	Данные Г.Н.Анищенко

ме типами нарушений (а они все, как известно, могут быть получены путем вращения или параллельного переноса основного типа - взреза), различаются весьма существенно, каждый из них характеризуется особенными, не повторяющимися характерными формами аномалий поля. При реальных различиях в плотности дислоцированных пород соответствующие эффекты могут быть обнаружены с помощью современных технических средств, а также определены и параметры дизъюнктивных нарушений.

При гравиметрическом моделировании вышеописанных нарушений последние аппроксимировались двумя формами: поверхностью (линией) раздела и зоной контакта, имеющей определенные размеры. В последнем случае рассматривались варианты уплотнения и разуплотнения по отношению к характеристикам смещаемого блока в зоне контакта. Величина изменения плотности принималась, как правило, в размере 100%, но в некоторых случаях, когда большая или меньшая степень уплотнения или разуплотнения существенно влияла на поведение аномальной кривой, приводятся варианты с различными значениями пониженной (повышенной) плотности в зоне дизъюнктива. Большой интерес представляет сравнение гравитационных эффектов для одного и того же типа нарушения при трех указанных вариантах.

На представленных ниже рисунках отмечаются гравитационные эффекты, обусловленные вышеперечисленными типами дизъюнктивов при условии разности плотностей в 0.1 г/см^3 . Указанная величина использована как вполне реальная разность плотностей для пластов осадочных отложений, в то же время создающая вполне ощутимый, практически уловимый эффект.

Сброс обуславливает во всех трех случаях гравитационную аномалию относительно сложной формы: аномалия асимметрична, одна ветвь выше другой. Но кроме этой общей и очевидной закономерности аномалии силы тяжести во всех трех случаях совершенно различны (рис. 4.18 а, б, в).

В отсутствии выраженной зоны дизъюнктива сила тяжести постепенно нарастает по мере приближения к разрыву, образует четкий локальный максимум непосредственно перед разрывом и над последним резко уменьшается до минимума, после которого наблюда-

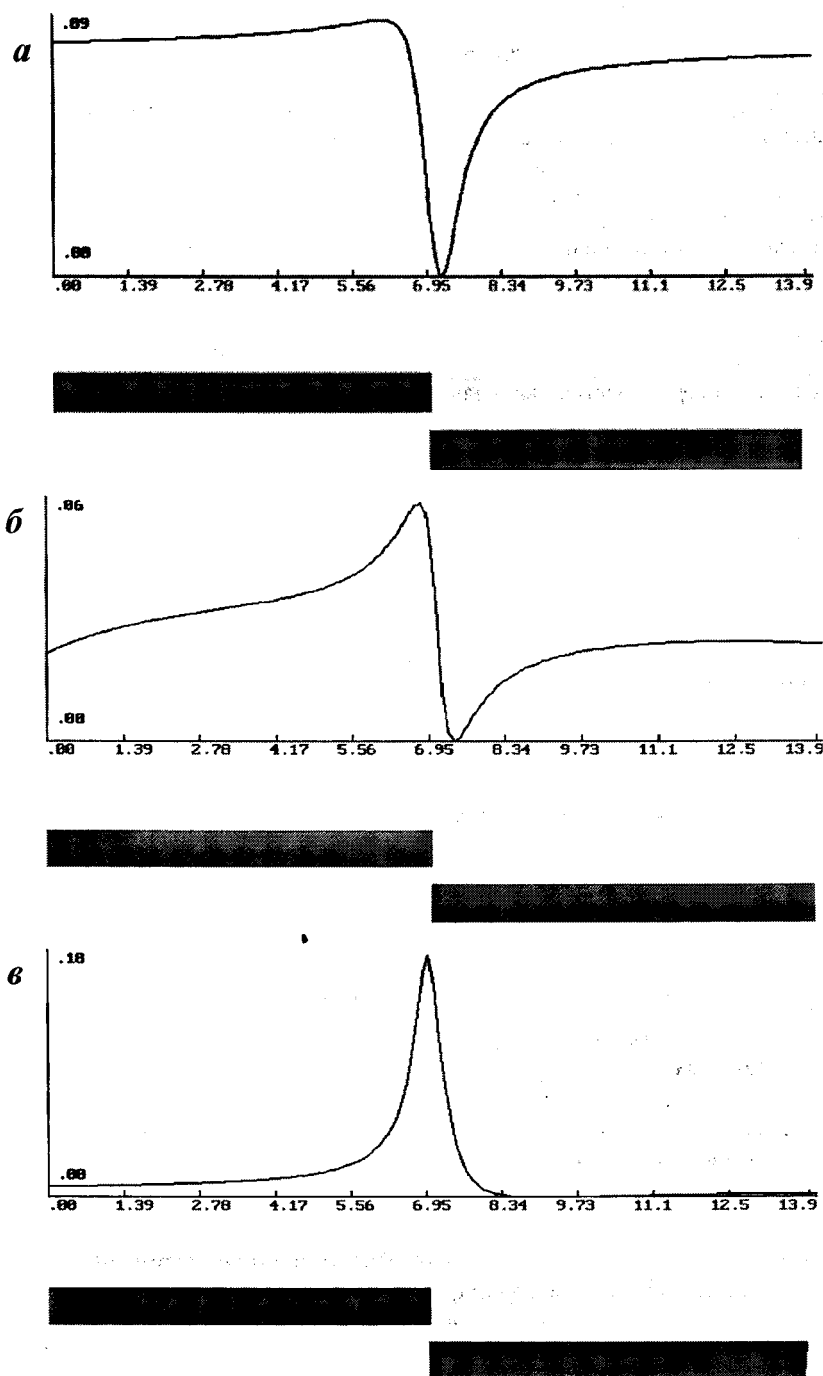


Рис. 4.18. Модель сброса: а – разуплотнение в зоне дизъюнктива, б – плотность постоянна и одинакова для обоих блоков, в – уплотнение в зоне дизъюнктива

ется относительно небольшой подъем и дальнейшее выполаживание кривой (см. рис. 4.18 б). В случаях представления дизъюнктива в виде зоны определенной толщины с положительной или отрицательной избыточной плотностью аномальная кривая имеет более простую форму с четким максимумом или минимумом, соответственно над уплотненной (или разуплотненной) зоной (см. рис. 4.18 а, в). Очевидно, что на практике, когда, по-видимому, реальная картина гораздо чаще близка к вариантам “б” и “в”, следует ориентироваться при картировании сбросов на резкие, несколько асимметричные экстремумы, а не только на характерные перегибы поля. На рис. 4.18 а видны сопутствующие максимум и минимум второго порядка, которые затушевываются фоном и помехами.

Аналогичная картина обнаруживается и для взброса: резкие минимум и максимум при наличии разуплотненной (уплотненной) зоны и более сложная форма кривой при выдержанности плотностных характеристик в смещенных блоках (рис. 4.19).

По результатам моделирования гравитационные эффекты от сброса и взброса при наличии уплотнения или разуплотнения на контакте блоков неразличимы.

Выдвиг в случае постоянства плотностных характеристик блоков обуславливает гравитационный эффект, характеризуемый ярко выраженным подъемом левой ветви графика, резким падением в точку минимума, которая несколько смещена вправо от положения нарушения, и достаточно крутым подъемом на постоянный уровень, соответствующий половине максимума кривой (рис. 4.20).

В целом такое поведение поля связано с вышеописанным эффектом от сброса. При учете зоны уплотнения или разуплотнения, приуроченной к линии разрыва, точно так же, как и в двух предыдущих случаях, дизъюнктив проявляется максимумом или, соответственно, минимумом гравитационного поля, причем конфигурация максимума является весьма сложной: левая, круто вздымающаяся ветвь графика характеризуется изменением кривизны, а резко падающая кривая ветвь осложняется двумя дополнительными экстремумами.

Кривая от сдвига характеризуется следующей картиной модельного поля: наблюдается очень узкий и интенсивный минимум на фоне практически постоянного поля и практически одинаковый уровень правой и левой ветвей (рис. 4.21 а). Разуплотнение в зоне дизъюнктива, естественно, обуславливает углубление и расширение минимума (рис. 4.21 б). Гораздо более сложная картина поля наблюдается в случае повышенной плотностной характеристики в зоне разрыва: в зависимости от величины относительного уплотнения меняется соотношение и величины максимумов, соответствующих положению уплотненных миниблоков. Характерной особенностью эффектов от сдвига является обязательное наличие минимума, разделяющего указанные повышения поля (рис. 4.21 в, г).

Как видно на приведенных изображениях, форма кривых, отображающих суммарное гравитационное влияние фрагментов разорванных пластов в различных типах дизъюнктивов, резко различается, а при проведении различных преобразований поля степень различия возрастает. На практике, когда интерпретируется суммарное поле, представляющее собой суперпозицию эффектов ряда аномалообразующих масс, успешное определение наличия дизъюнктива, выделение принадлежащего ему эффекта из суммарного поля, определение его типа потребует довольно тонкой работы, предварительного тщательного анализа аномального поля. Успех этих исследований в значительной мере предопределяется умением интерпретатора выделять влияние изучаемого объекта из наблюдаемой аномалии, что обеспечивается, главным образом, правильным выбором преобразования поля, параметров его реализации, точностью вычислений и технологичностью используемых программных средств.

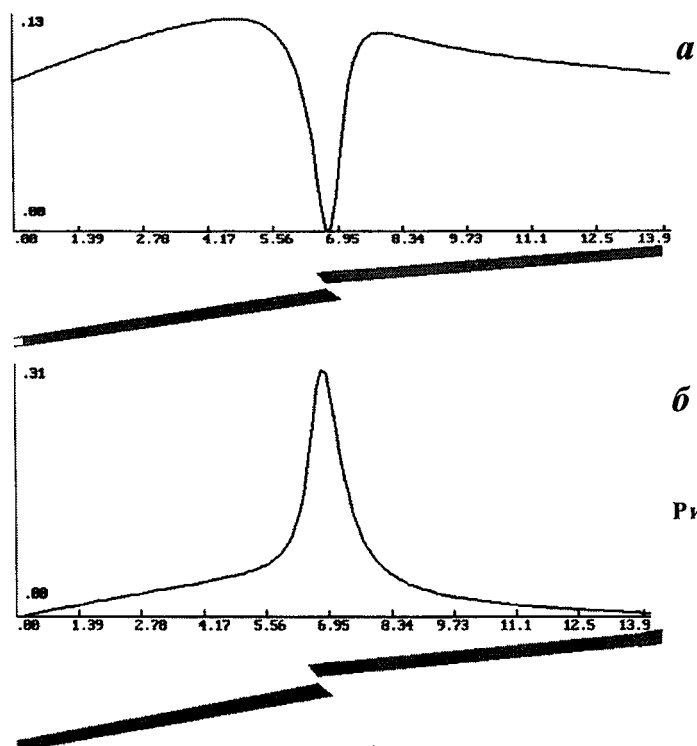


Рис. 4.19. Модель взброса:
а – разуплотнение в зоне
дизъюнктива, б – уплот-
нение в зоне дизъюн-
ктива

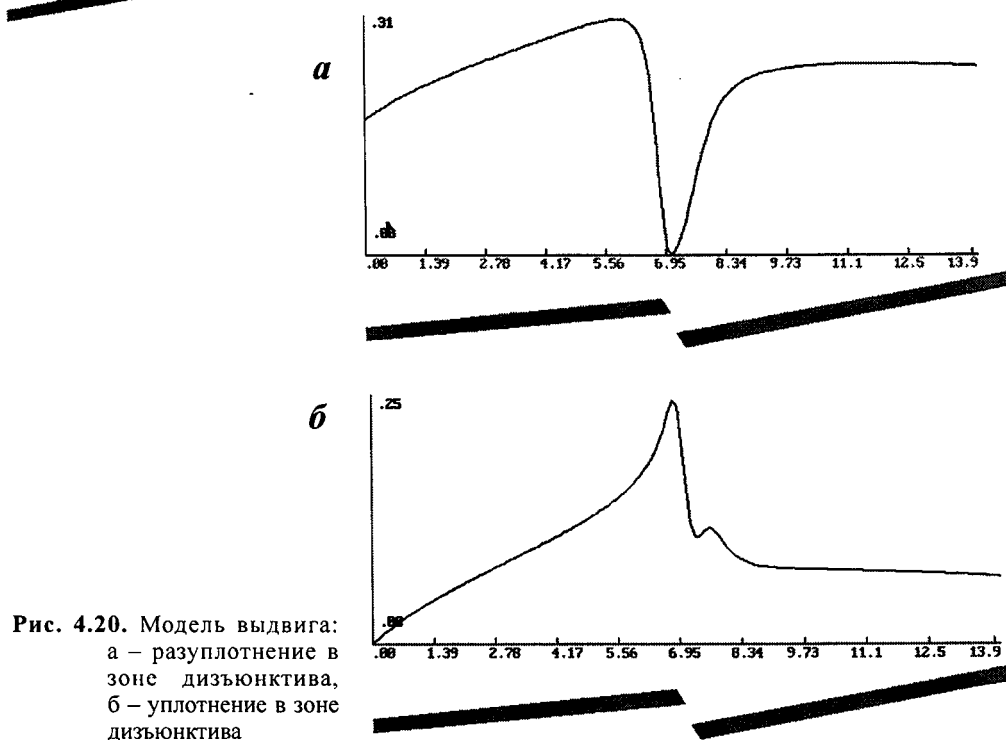


Рис. 4.20. Модель выдвига:
а – разуплотнение в
зоне дизъюнктива,
б – уплотнение в зоне
дизъюнктива

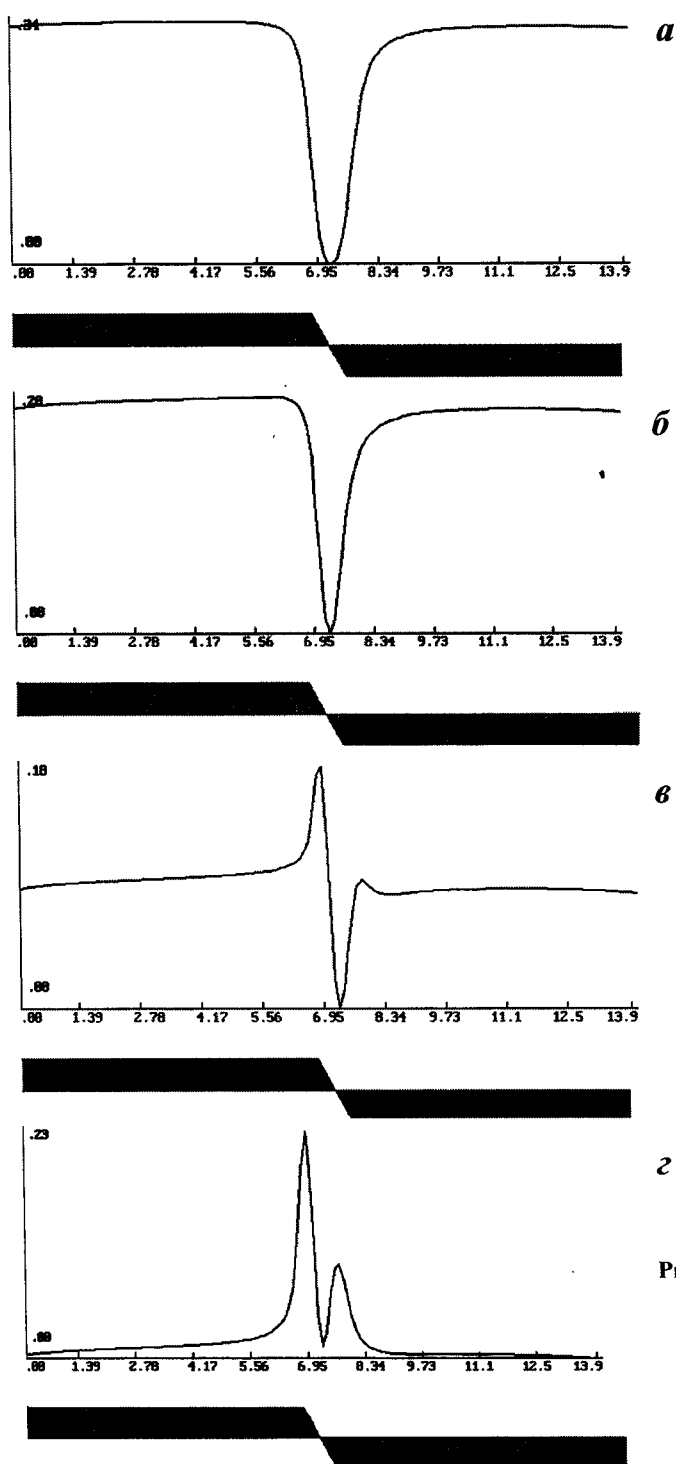


Рис. 4.21. Модель сдвига: а – разуплотнение в зоне дизъюнктива, б – плотность одинакова и постоянна для обоих блоков, в – уплотнение (на 200%) в зоне дизъюнктива, г – уплотнение (на 300%) в зоне дизъюнктива

Как легко понять, все вышеприведенные суждения о поведении кривых гравитационных эффектов сделаны для случая расположения дислокаций “слева направо” и для положительной относительной плотности “пласта”. Последняя, как сказано выше, принималась равной 0.1 г/см^3 , что близко к реальным значениям (как видно из приводимых примеров).

ГЛАВА 5. ПРОЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Экспериментальные примеры проявления признаков дизьюнктивных дислокаций на сейсмических материалах

Систематизированные в главе 4 характерные признаки обнаружения ДД при практическом анализе сейсмических разрезов проявляются в самых сложных сочетаниях. При этом, выявление отдельных признаков по единичным ДД, т.е. фиксация собственно наличия ДД, как правило, не вызывает затруднений. Гораздо более сложную проблему составляют трассирование ДД по разрезу (вертикальному сечению) и, в особенности, в пространстве (и, как частный случай, в плане). Следующая по нарастанию сложности задача – трассирование согласованной системы ДД. Наконец, окончательное решение задачи завершается согласованием выявленной системы ДД с общей концепцией седиментационно-тектонической модели разреза.

Рассмотрим пример последовательного уточнения ДД по сейсмическим разрезам – вертикальным сечениям куба 3D, полученным в одной из восточных провинций КНР (рис.5.1).

Проявления дизьюнктивной тектоники на представленном разрезе очевидны, что при сложном строении свидетельствует о высоком уровне выполненной обработки. Как видно, здесь находят отражение практически все возможные признаки ДД:

- структурные (разрывы корреляции, смещения по вертикали, изменения угла наклона) – этим признакам отвечают, практически, все выявленные нарушения (1-10);
- волновые – эти признаки (9,5 ?) на разрезе имеют подчиненное значение, что обусловлено трехмерной миграцией, устраняющей влияние дифрагированных волн, петлевых элементов и т.п.,
- сейсмоформационные – представлены случаями заметной смены слоистости (циклическости) – (5,10), четко выраженной (но никак не отмеченной при традиционном подходе) иерархичностью ДД и пересекаемых ими толщ и др.

На рис. 5.2 представлен пример традиционного трассирования ДД по разрезу. Можно видеть, что далеко не во всех случаях такое трассирование является однозначным. Практически все проявления ДД на рис. 5.1 учтены. Однако обилие нарушений не позволяет уверенно трассировать их с соблюдением общепринятых правил: ДД не должны пересекать непрерывные горизонты, сами ДД не должны пересекаться и т.п. Проверку этого осуществляют на соседних сечениях (рис. 5.3).

Для проверки выявленной системы ДД осуществлен их перенос на соседнее сечение 3D (расстояние между сечениями около 200м). Можно видеть, что в целом система ДД сохраняется и для этого сечения. Однако среди нарушений отмечаются как хорошо согласованные с новым сечением, так и явно не отображающие его строения. На этом примере

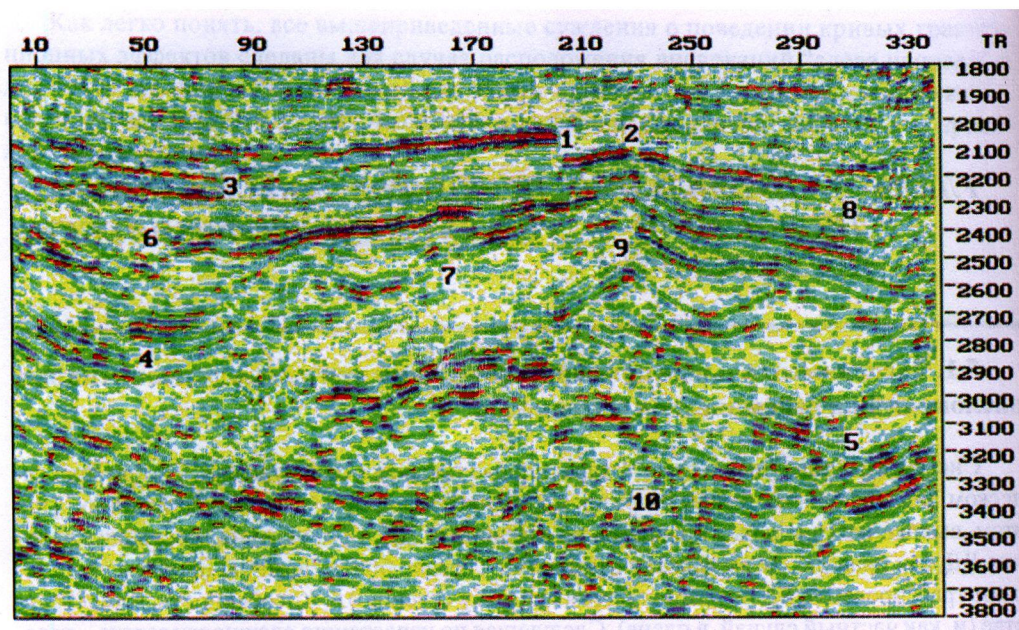


Рис. 5.1. Мигрированный разрез по одному из вертикальных сечений 3D (цифрами обозначены сейсмические горизонты)

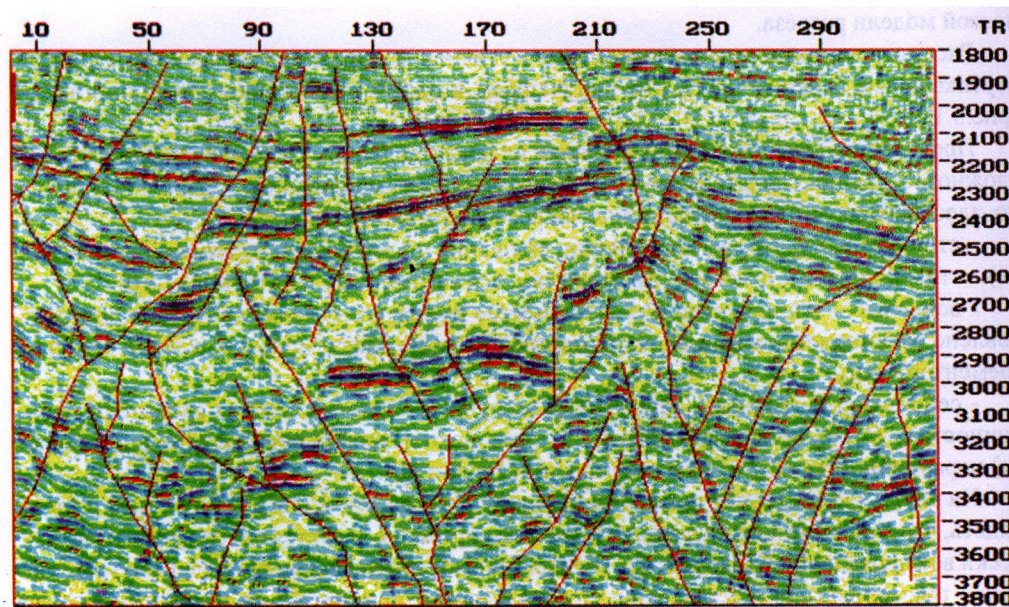


Рис. 5.2. Выделение ДД на вертикальном сечении куба 3D

иллюстрируется и тот факт, что изменчивость в пространстве ДД может оказаться выше, чем изменчивость самих горизонтов, даже при условии их сложного строения.

В традиционном подходе с этого момента начинается длительный процесс редактирования ДД, который должен привести к получению их непротиворечивой системы по всему

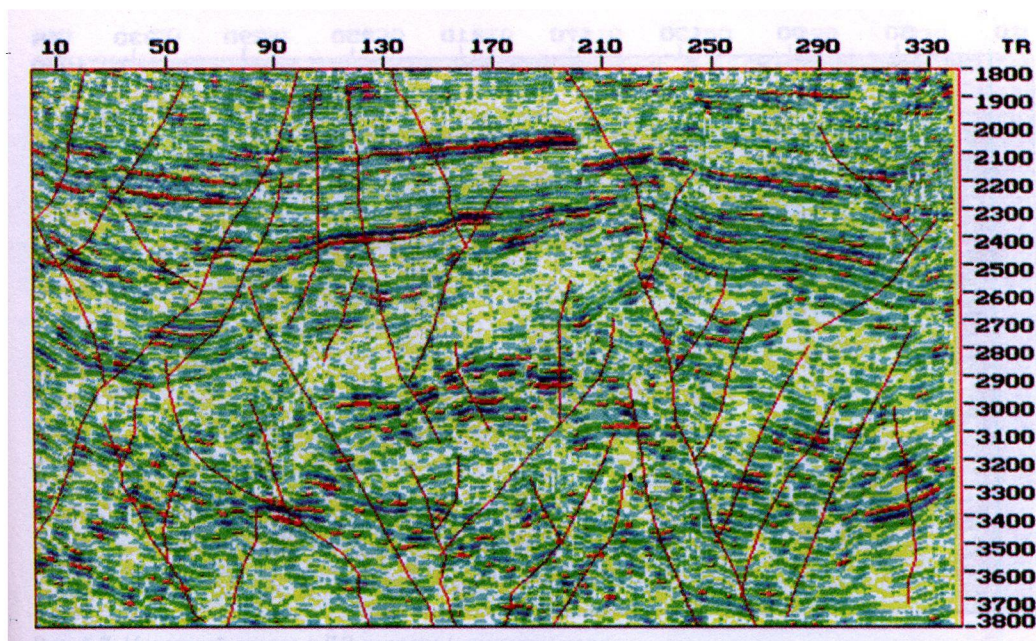
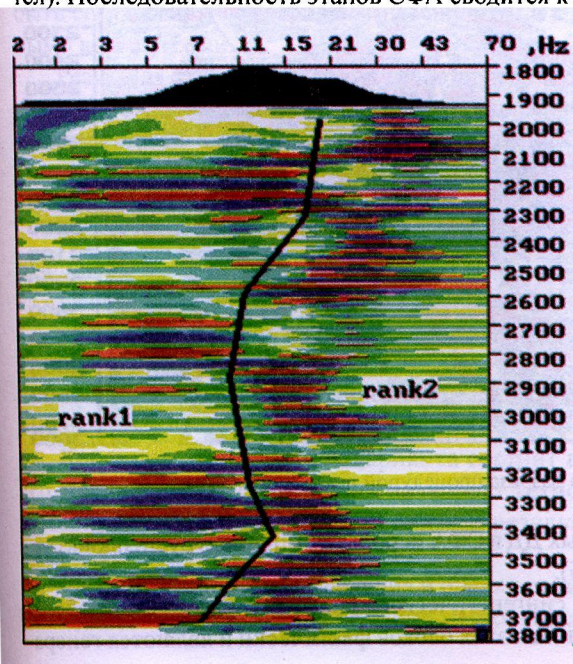


Рис. 5.3. Перенос системы ДД на соседнее сечение куба 3D

кубу 3D. Процесс этот вполне эвристический – в силу этого результат одного интерпретатора вряд ли может быть получен во всех деталях другим интерпретатором.

При СФ-анализе важнейшим фактором является ранжирование ДД и соотнесение их выявленных рангов с рангами пересекаемых ими осадочных комплексов (формационных тел). Последовательность этапов СФА сводится к следующему.



На первом этапе выявляются ранги и производится расчленение разреза на формационные тела на основе спектрально-временного анализа (СВАН) (рис.5.4, 5.5).

Как видно из рисунка 5.4, на СВАН-колонке выделено два энергетически выраженных частотных ранга с максимумами на 11-12 Гц и 22-25 Гц.

Разрез, соответствующий первому рангу, представлен на рис. 5.5.

Можно видеть, что этот ранговый разрез существенно грубее по сравнению с исходным. В силу этого и выделяемые на нем ДД также могут оцениваться как генерализованные.

Рис. 5.4. СВАН-колонка

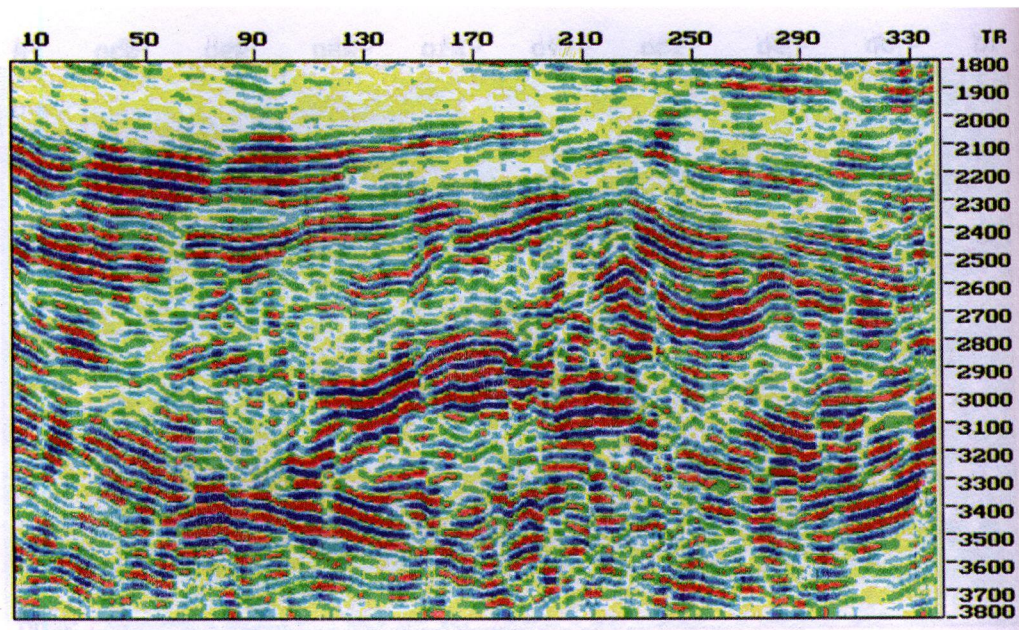


Рис. 5.5. Ранговый разрез

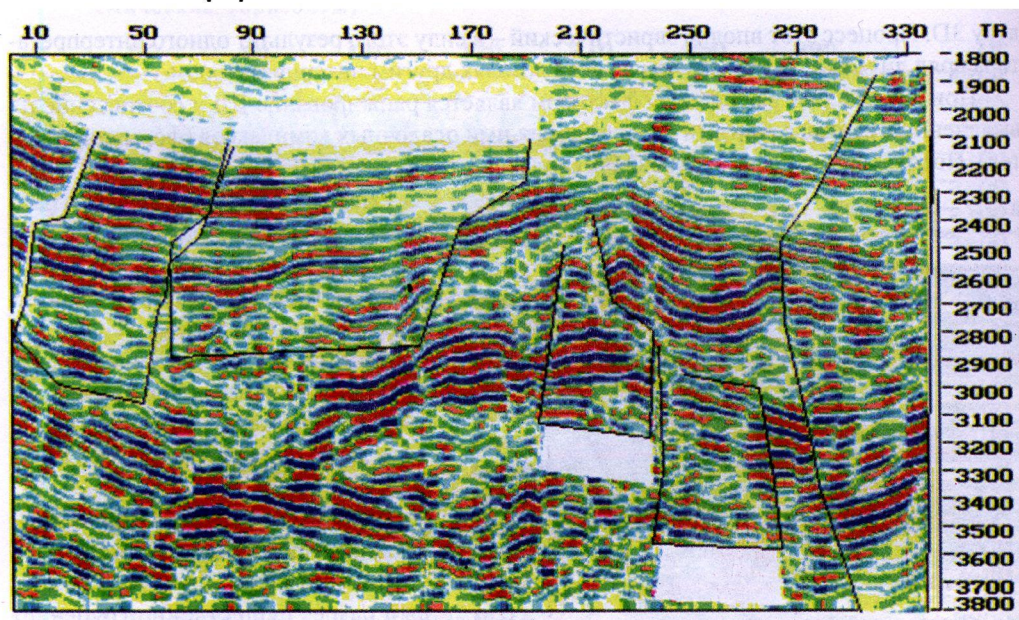


Рис. 5.6. Результат обработки сейсмического разреза процедурой move (пакет СФА)

Для выявления этих генерализованных ДД в СФА используют процедуру дизъюнктивной палеорекострукции (move) (рис 5.6).

Можно видеть, что для построения сингенетического рангового разреза потребовалось ввести всего 5 крупных блоков. Границы этих блоков фактически и являются генера-

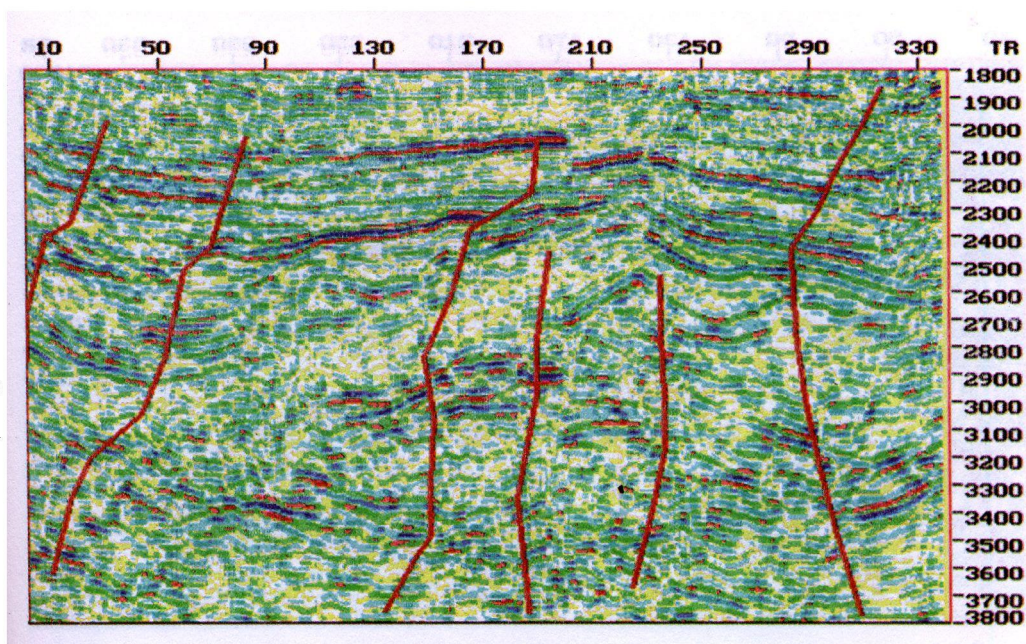


Рис. 5.7. Исходный разрез с ДД первого (крупного) ранга

лизованными ДД крупного ранга, определяющими макроструктуру разреза (рис.5.7). Следует, однако, отметить, что по форме эти ДД являются составными, то есть на самом деле в них проявились по крайней мере два цикла разнонаправленного тектогенеза.

На следующем этапе выполняются выделение и трассирование ДД следующего (более мелкого) ранга, но теперь уже в соответствии со следующими правилами: они должны быть согласованы с генеральными макро-ДД и с выделенными формационными осадочными комплексами.

Результат следующего этапа представлен на рис. 5.8.

Как можно видеть из сопоставления рис. 5.8 и 5.9 предварительное ранжирование ДД и выделение двух рангов позволили существенно унифицировать их систему – подтверждаемость выявленных нарушений на двух сечениях существенно выше, чем в случае, представленном на рис. 5.2 и 5.3.

Из сопоставления двух вариантов выделения и трассирования ДД можно сделать следующие выводы (рис.5.10):

- в обоих случаях охватываются практически все типы ДД, представленные на разрезе,
- в целом, варианты выделения и трассирования ДД близки, хотя отмечаются и случаи принципиального различия,
- количество ДД на ранжированном варианте (СФА) меньше, чем при традиционном выделении.

Коренное отличие СФА-варианта состоит в том, что выделение и трассирование ДД превратилось здесь в обоснованную технологию, реализация которой разными интерпретаторами гарантирует близкие результаты, тем самым достигнута их повторяемость.

Рассмотрим пример выявления и оценки роли ДД при построении геологической модели уникального газоконденсатного месторождения Карачаганак.

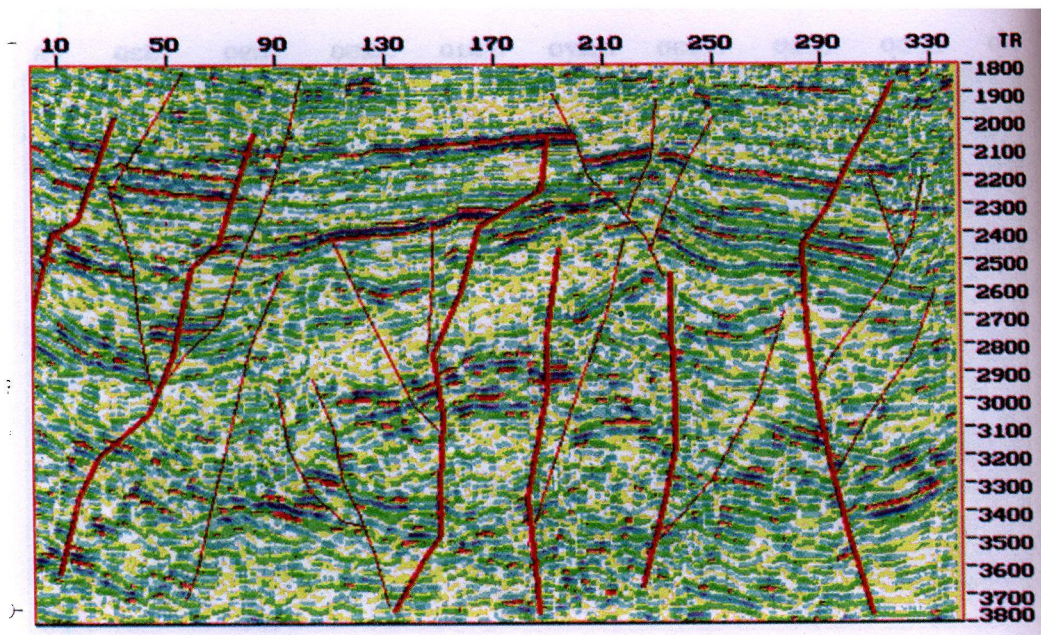


Рис. 5.8. Выделение ДД второго ранга

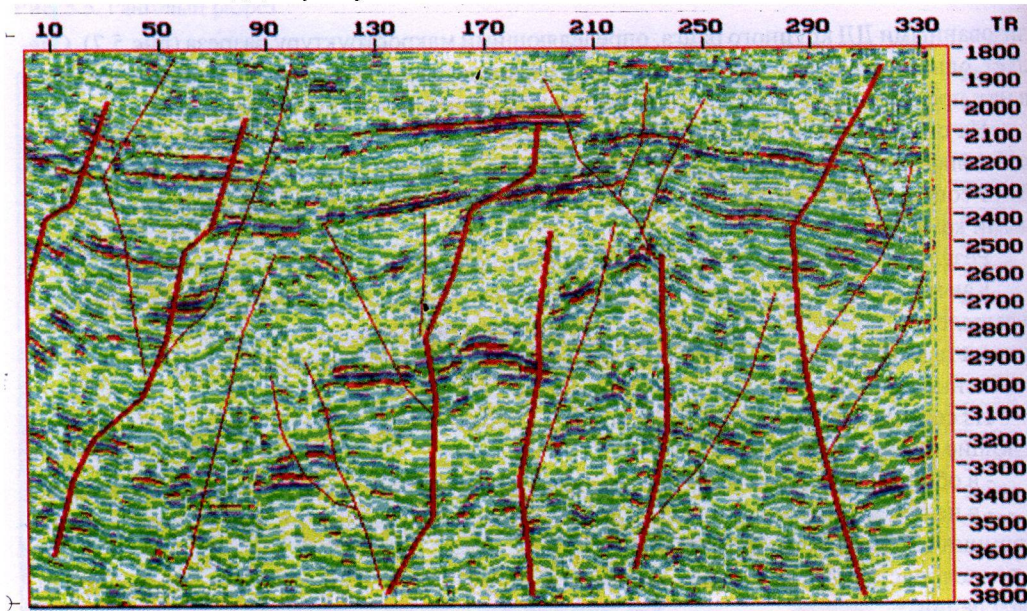


Рис. 5.9. Перенос ДД двух рангов на соседнее вертикальное сечение

Геологическое строение объекта по сечению А-А схематически изображено на рис.5.11. На рисунке показаны осадочные комплексы – от пермской галогенной толщи до терригенных отложений верхнего девона.

На рисунке 5.12, где представлен глубинный мигрированный сейсмический разрез (вертикальное сечение куба 3D), черными линиями показан анализируемый интервал карбо-

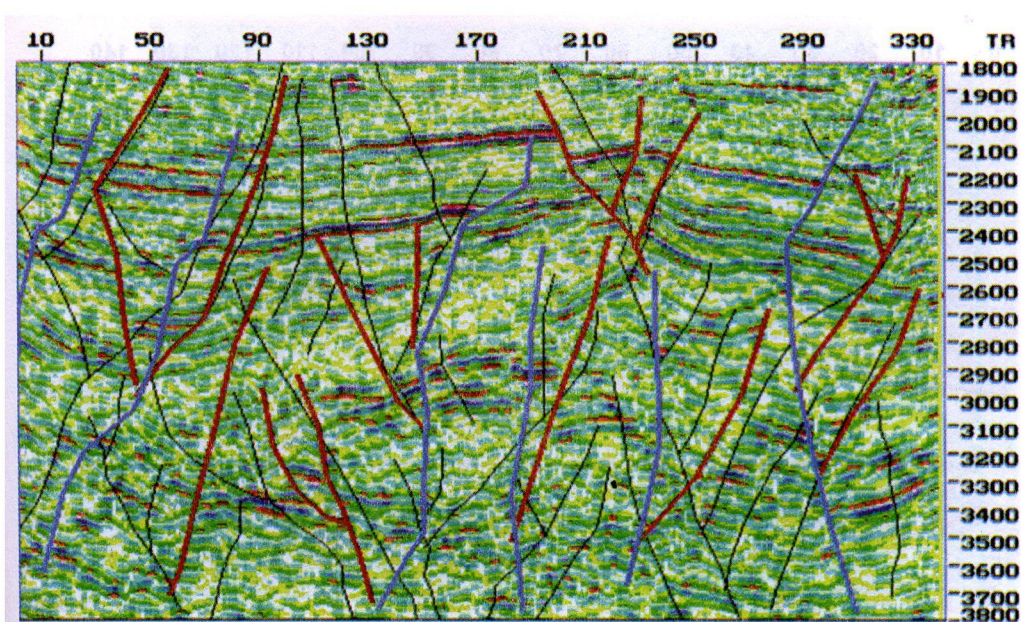


Рис. 5.10. Сопоставление ДД при их традиционном и СФ выделении и трассировании (толстые линии – СФА, тонкие – традиционный метод)

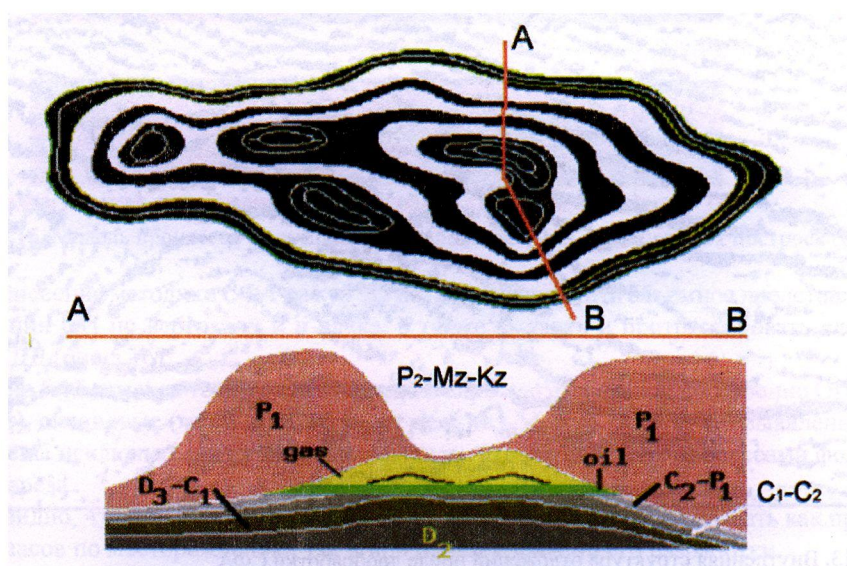


Рис. 5.11. Схематический рисунок сечения по профилю А-В

натного разреза. Здесь уже использована специальная дообработка СФА, позволяющая наметить внутреннюю структуру отложений.

Еще в более явном виде эта внутренняя структура показана на рис.5.13, где использованы результаты СФА по набору процедур, что стало основой для построения геологической модели по данному сечению (рис.5.14).

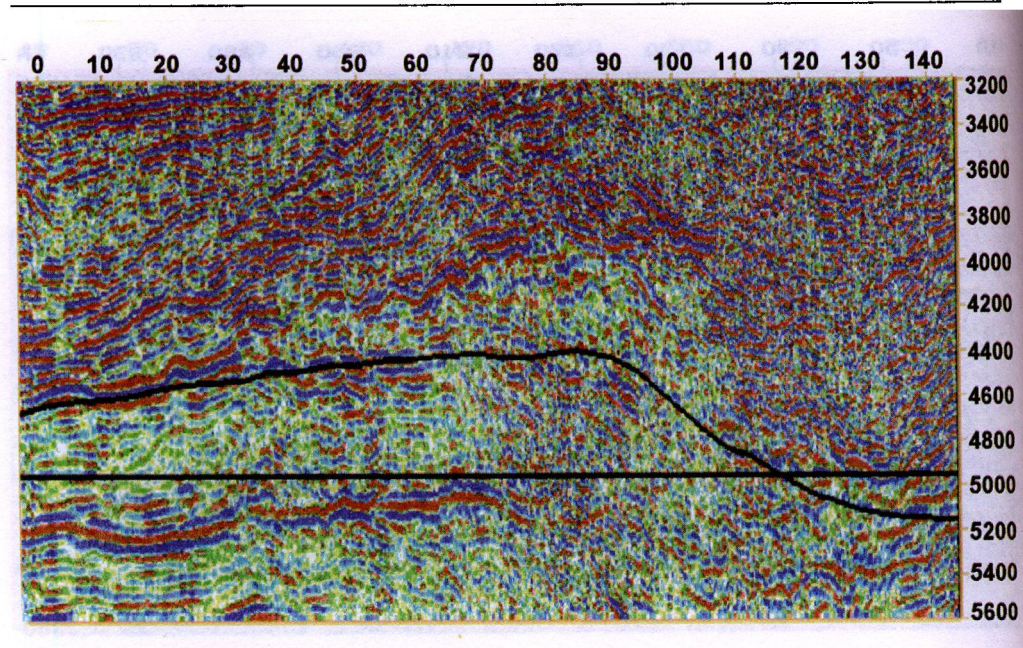


Рис. 5.12. Мигрированный глубинный разрез

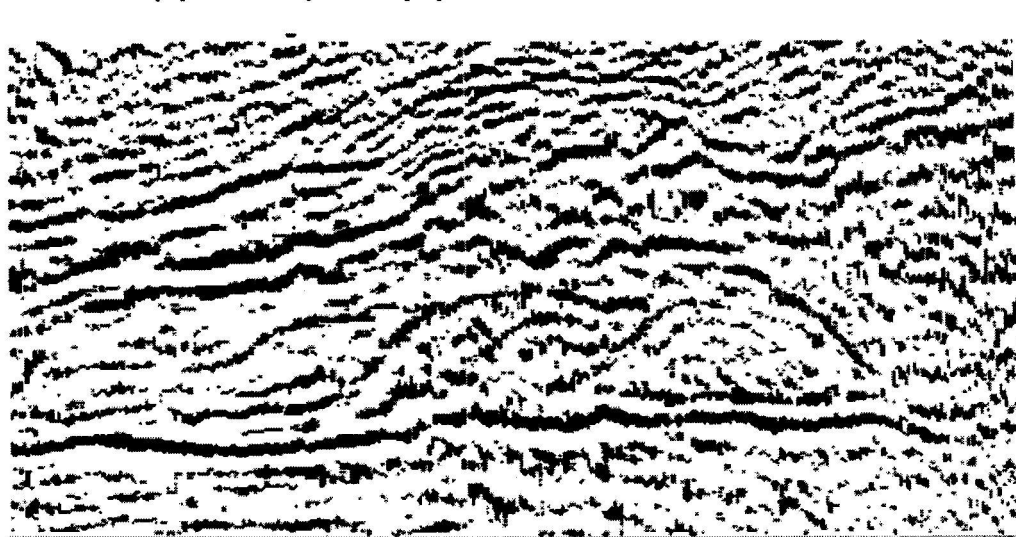


Рис. 5.13. Внутренняя структура отложений после дообработки СФА

Как видно, полученная модель включает совокупность ДД, участвовавших в формировании сложнопостроенного карбонатного разреза. Принципиальная возможность такого генезиса разреза показана путем моделирования геологических процессов, обусловивших в совокупности особенности его строения (рис.5.15).

Как видно, и при геологическом моделировании обосновывается наличие ДД, без которых фактически формирование ОП не может быть обеспечено.

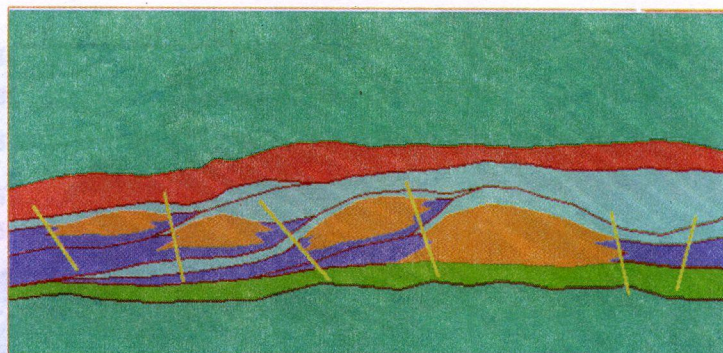


Рис. 5.14. Гипотетическая геологическая модель

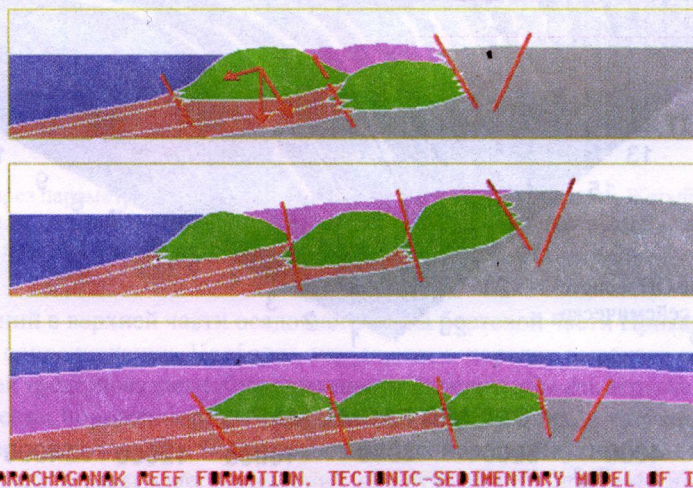


Рис. 5.15. Модель процессов формирования разновозрастных органогенных построек (ОП)

Перенесение методики СФА на куб 3D позволило получить объемное представление о размещении ОП по вертикали и в плане, а также выявить и протрассировать сложную систему ДД (рис.5.16).

На рис.5.17 отмечаются три основных типа карбонатных фаций: собственно ОП (красный цвет), склоновые (желтый) и лагунные (синий). Можно видеть, что выявленные ДД приурочены исключительно к лагунным фациям, что обусловлено процессами формирования разреза.

Очевидно, что положение ДД в разрезе и в плане необходимо учитывать как при подсчете запасов по месторождению, так и при проектировании его разработки.

5.2. Экспериментальные примеры проявления признаков дизъюнктивных дислокаций на материалах электроразведки

При проведении электроразведки [Сидоров, 1985] в осадочной толще тектонические нарушения (ДД) могут фиксироваться как зоны увеличенного сопротивления (если они разрывают слои разреза низкого сопротивления). По такому принципу удастся выделить

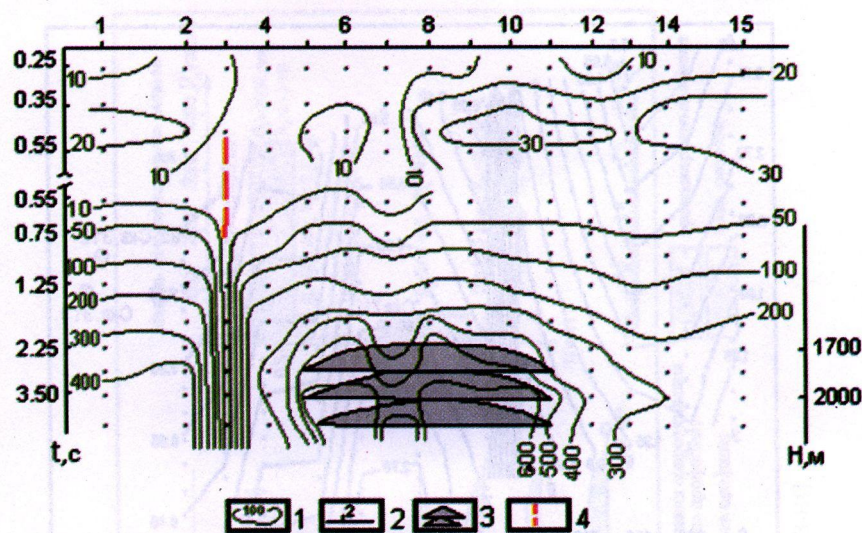


Рис. 5.18. Разрез параметра расхождения $A_{ij}(t)$ по кривым ЗСМ ($R=6$ км) на Жетыбайском месторождении. 1 – изолинии параметра расхождения $A_{ij}(t)$; 2 – точки ЗСМ; 3 – примерное положение залежей УВ; 4 – разлом.

ряд нарушений в верхней части осадочного чехла бортовой части Прикаспийской впадины низкого сопротивления. Наоборот, нарушения в породах высокого сопротивления за счет большей трещиноватости и обводненности фиксируются как вертикально ориентированные объекты пониженного сопротивления. Такие условия, в частности, встречаются при выделении нарушений в толще вечномёрзлых пород в Якутии.

На ряде нефтегазовых месторождений обнаружено аномальное увеличение сопротивления в приразломной части за счет УВ [Методические рекомендации..., 1988; Методы моделирования..., 1988]. Так, на территории Южного Мангышлака южное крыло Жетыбайского месторождения ограничивается глубинным региональным разломом, уверенно выделяющимся по данным ЗСМ по сгущению изолиний параметра расхождения $A_{ij}(t)$ (рис. 5.18).

Зона разлома на Кендырлинской ступени выделяется при исследованиях методом становления магнитного поля в виде аномалии параметра $A_{ij}(p)$ столбообразной формы на геоэлектрическом разрезе [Методические рекомендации..., 1988]. В качестве примера по выявлению разломов могут служить результаты интерпретации ЗСБ, выполненные в Днепровско-Донецкой впадине [Сидоров, 1985]. Резкое несоответствие между группами кривых S указывает на наличие Наровлянского и Ельского разломов. По данным обработки данных ЗСБ дифференциальным способом [Небрат, 1998], в районе поднятия Крымское уверенно выделяются осцилляции, с которыми можно связать наличие разломов, отмечаемых на сейсмогеологическом разрезе.

Сопоставление временного разреза ВРЭ и временного разреза МОГТ по профилю 3 (Придорожная площадь) также свидетельствует о возможности выделения ДД по данным электроразведки. Особенно хорошо видно положение разлома на схематической карте изменения фоновых значений сопротивления (рис. 5.19).

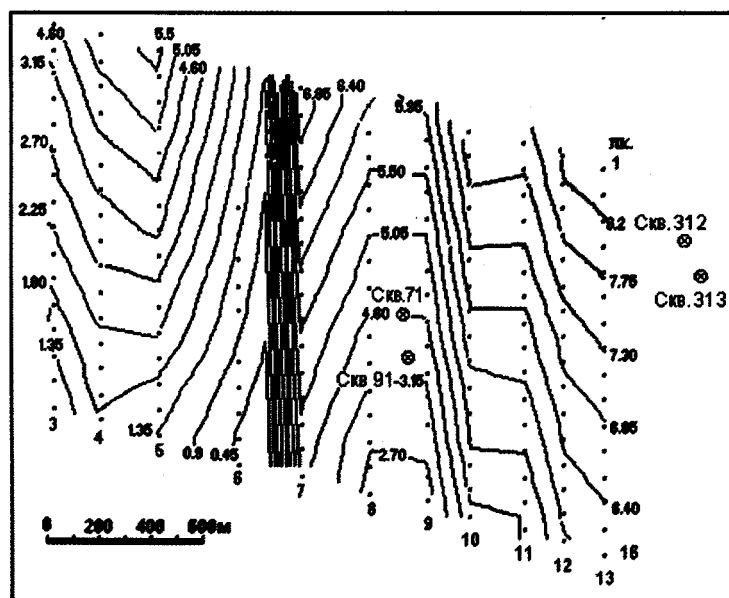


Рис. 5.19. Оценка горизонтального смещения блоков по изменению фоновых значений сопротивления на площади работ методом ЗС-ЗИ

И по данным ЧЗ-ВП можно выделить зону разлома (ДД), о чем свидетельствуют результаты работ, полученные на Преображенской площади (рис. 5.20). Целая система ДД выявлена по результатам ЧЗ-ВП на блочной структуре Осиновской площади (рис. 5.21). Другой характерный пример применения ВРЭ для оценки положения ДД демонстрируется на рис. 5.22.

По данным МТЗ также уверенно выделяются ДД при проведении полевых исследований. Например, в районе Тэбукского нефтяного месторождения при выполнении МТЗ были получены резко аномальные значения компоненты H_z отн., которые соответствуют положению ДД. В районе Солигаличского грабена Московской синеклизы по МТ данным на графике S четко отмечается наличие разлома.

Зоны разлома в осадочной толще обуславливаются в значительной мере глубинными ДД, возможности выявления которых определяются низкочастотным диапазоном измеряемых компонент электромагнитных полей (МТЗ, ГМТЗ). Электрическая характеристика ДД на больших глубинах (в коре и верхней мантии) тесно связана с интенсивными флюидными и тепловыми потоками. На геоэлектрических разрезах и графиках глубин залегания проводящих толщ (горизонтов) по МТ данным выделяются характерные аномалии, соответствующие глубинным ДД [Бердичевский, Куликов, 1994; Ваньян, 1994; Дунаева и др., 1998].

С другой стороны, исследования МТЗ и ГМТЗ на Дальнем Востоке показывают, что резкое изменение проводимости геоэлектрического разреза (наличие субвертикальных зон повышенного сопротивления), связанное с наличием ДД, может объясняться областями сжатия. Это подтверждается геологическими данными.

Региональные разломы, отделяющие структурно-тектонические элементы, проявляются на разрезах кажущихся сопротивлений по данным МТЗ характерной конфигурацией

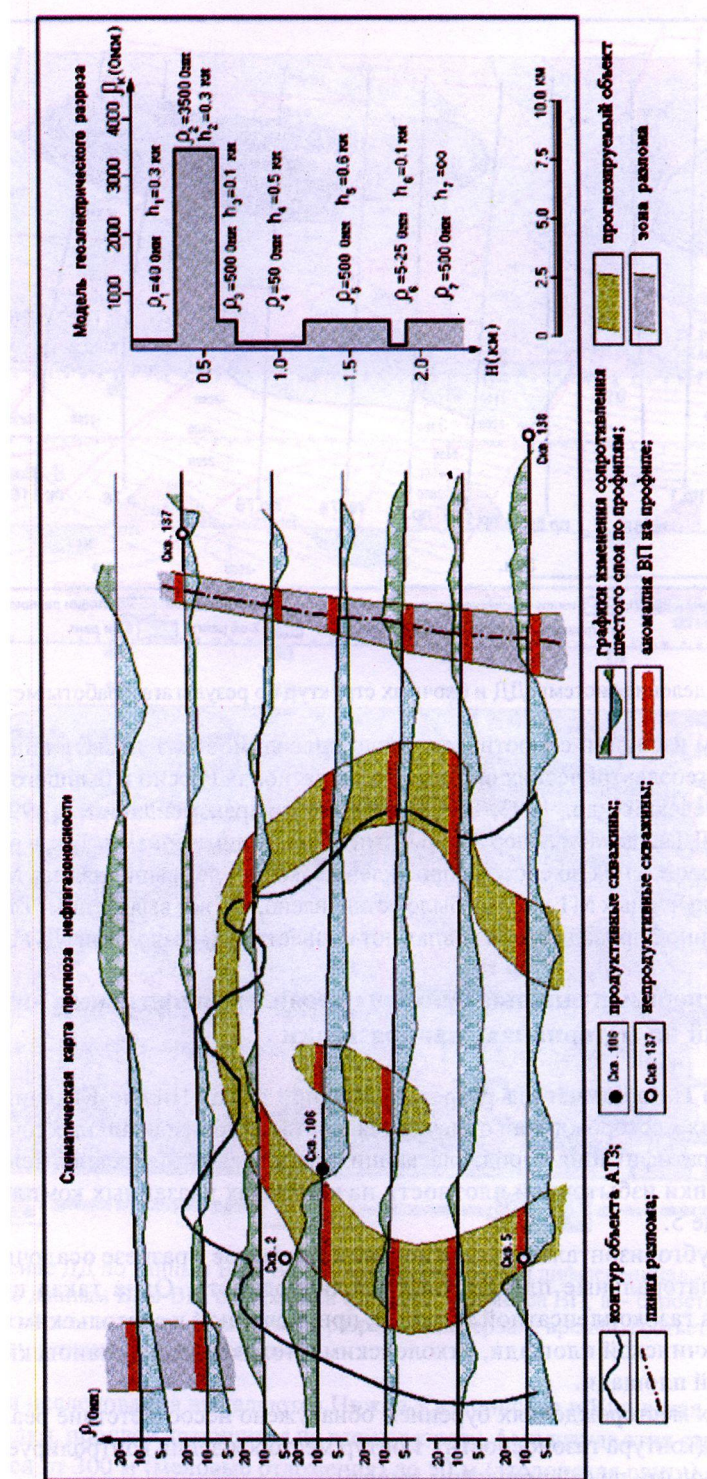


Рис. 5.20. Выявление зоны разлома по результатам работ методом ЧЗ-ВП

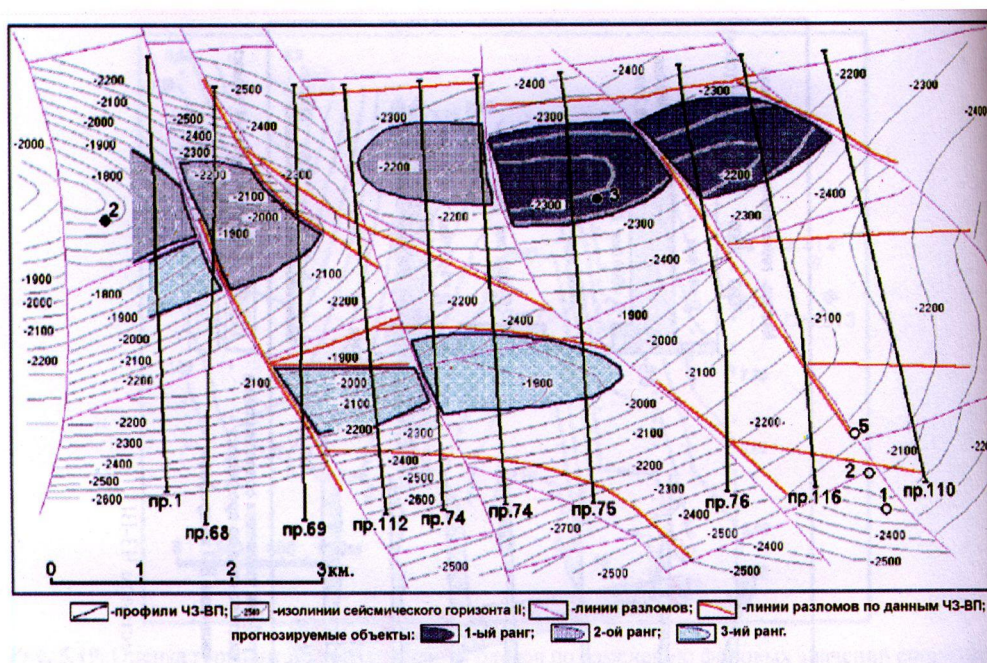


Рис. 5.21. Выделение системы ДД и блочных структур по результатам работы методом ЧЗ-ВП

и сгущением изолиний сопротивлений или проводимости, а также в виде субвертикальных границ геоэлектрических блоков во всех регионах России и бывшего Советского Союза [Бердичевский и др., 1993, 1996; Методические рекомендации..., 1997, 1998 и др.].

Иногда ДД выделяются вертикальными проводящими зонами. Так, в районе Оренбургского месторождения по системе профилей несколько лет выполнялись МТЗ. При интерпретации полученных МТ данных было установлено, что все выявленные глубинные аномалии повышенной проводимости совпадают с известными разломами [Дунаева и др., 1998].

5.3. Экспериментальные примеры проявления признаков дизъюнктивных дислокаций на материалах гравиразведки

Пример 1. На Камчатке в разрезе осадочной толщи Нижне-Квакчинского и Кшукского газовых месторождений отмечаются шесть субгоризонтальных плотностных комплексов. Стратификация пород, слагающих эти комплексы, средняя величина их плотности и оценки избыточной плотности на контактах указанных комплексов приведены в таблице 5.1.

Кроме субгоризонтальных плотностных контактов в разрезе осадочной толщи присутствуют латеральные плотностные неоднородности. Одна такая неоднородность обусловлена газоконденсатной залежью, приуроченной к снатольским отложениям на Нижне-Квакчинской площади, утхолокским, этолокским и эрмановским отложениям на Кшукской площади.

На обоих месторождениях бурением обнаружено несоответствие реальности принятых запасов (контура газоносности). Контур месторождения контролируется разломами, закартированными по сейсмическим данным.

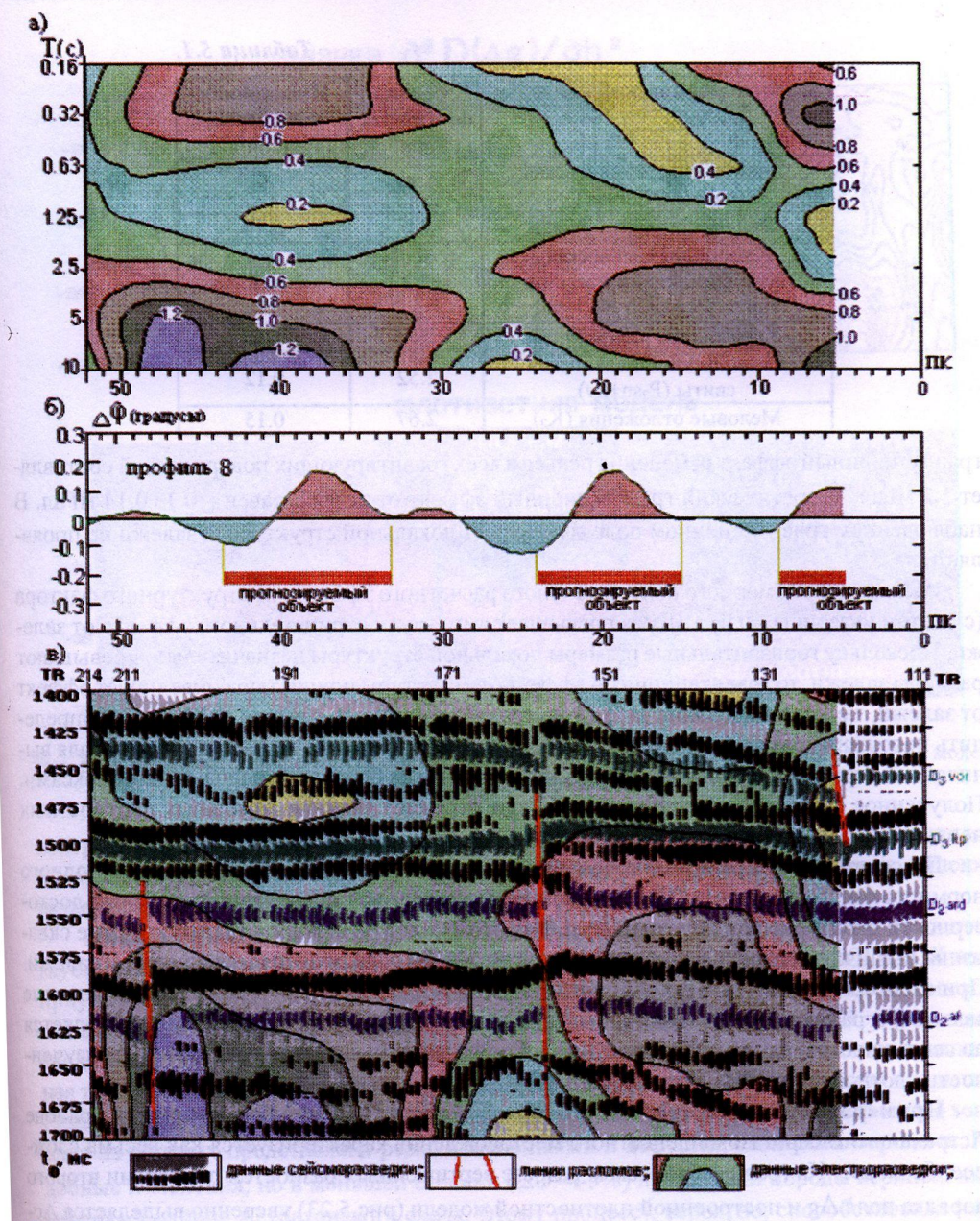


Рис. 5.22. Выделение ДД по данным ВРЭ-ВП: а – временной разрез дифференциальных сопротивлений по данным ВРЭ-ВП, б – графики фазового параметра ВП, в – сопоставление фрагментов сейсмо- и электроразведочных разрезов в интервале времён, соответствующих отложениям верхнего и среднего девона

На площади исследования выделяются Нижне-Квакчинская и Кшукская брахиантиклинальные складки, прослеживающиеся по всему разрезу. Амплитуда этих структур снизу вверх изменяется от 300 м (меловые отложения) до 50 м (этолонская свита). Суммарный

Таблица 5.1.

Стратиграфический комплекс	Средняя плотность, г/см ³	Избыточная плотность, г/см ³
Энемтенская, эрмановская свиты (N _{1en+er})	1.82	
Этолонская свита (N _{1et})	2.0	0.18
Какертская+ильинская, кулувенская+вивентекская свиты (N _{1kk+il} , N _{1kl+vv})	2.2	0.2
Утхолокская свита (N _{1ut})	2.4	0.2
Снатольская+ковачинская свиты (P _{2sn+kv})	2.52	0.12
Меловые отложения (K ₂)	2.67	0.15

гравитационный эффект изменения рельефа всех гравитирующих поверхностей составляет 1.2 мГал. Теоретический гравитационный эффект от залежи равен – 0.1÷0.14 мГал. В наблюдаемом гравитационном поле эффекты от локальной структуры и залежи не проявляются.

Амплитуда суммарного положительного расчетного эффекта от структурного фактора (с учетом указанных ДД) в 10 раз превышает амплитуду отрицательного эффекта от залежи. Поскольку горизонтальные размеры локальной структуры незначительно превышают размеры залежи, то гравитационный эффект от структуры полностью сглатывает эффект от залежи, т.е., для выделения залежи по гравиметрическим данным необходимо определить положение разломов, контролирующих залежь. Для этого из наблюдаемого поля вычитаются эффекты, обусловленные плотностными субгоризонтальными комплексами. Полученное остаточное гравитационное поле отражает влияние локальных плотностных неоднородностей внутри этих комплексов.

По остаточному гравитационному полю рассчитаны градиенты дисперсии полного нормированного градиента (ПНГ), максимумы которого с определенной степенью достоверности оконтуривают залежь. В пределах этого контура находятся продуктивные скважины. Наличие центрального минимума остаточного поля объясняется влиянием залежи. При этом средствами гравитационного моделирования не удалось подтвердить наличие разлома, ограничивающего месторождение с юго-западной стороны, который выделяется по сейсмическим данным. Причиной подобной ситуации является недостаточная изученность плотностных свойств зоны ДД.

Пример 2. Глубинное строение юго-западной части Прикаспийской впадины в районе Астраханского серогазоконденсатного месторождения характеризуется как весьма сложное, блоковое. На гравиметрическом разрезе вертикальных разностей дисперсии второго порядка поля Δg и построенной плотностной модели (рис.5.23) уверенно выделяется Астраханский блок, который в целом неоднороден и имеет сложное строение.

Под Астраханским газоконденсатным месторождением (АСГКМ), в верхней части кристаллического фундамента, на глубине 8-11 км расположена область относительного уплотнения (положительная аномалия поля вертикальных разностей дисперсии). Ниже по разрезу (18-25 км) наблюдается область относительного разуплотнения с характерными максимумами на краях блока, приуроченными к глубинным разломам и каналам, соединяющим область разуплотнения с низами земной коры. Восточная и западная границы АСГКМ

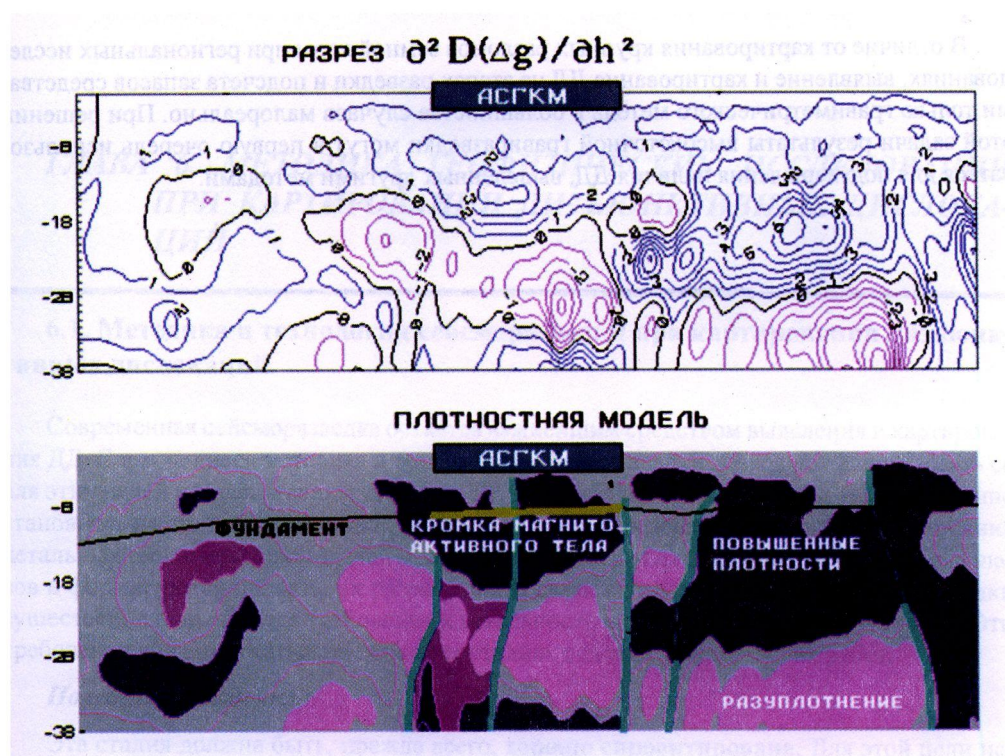


Рис. 5.23. Фрагмент разреза вертикальных разностей дисперсии второго порядка поля Dg и модель плотностных неоднородностей вдоль профиля ГСЗ «Батолит»

контролируются тектоническими нарушениями, которые прослеживаются до границы Мохо. В центральной части АСГКМ фрагментарно отмечается тектоническое нарушение, разделяющее АСГКМ на две части: западную и восточную.

Таким образом, одна из главных особенностей строения района АСГКМ – это наличие глубинных разломов. Более мощный из них расположен к юго-западу от АСГКМ. К нему приурочены долины рек Волга и Ахтуба. Тектонические подвижки на Астраханском своде и в его окрестностях создали *благоприятные условия* для накопления УВ: образование свода в подсолевых коллекторах, обусловленное поднятием блока фундамента; повышенная трещиноватость карбонатных пород-коллекторов при хорошей пластичной покровке. Разлом в кристаллическом массиве к северо-востоку от АСГКМ разделяет его на две зоны, одна из которых представлена резко измененными и деформированными породами. Подобные изменения, но в меньшей степени ($\Delta U=4-5\%$) претерпели породы верхней части массива в районе Астраханского свода. Этому процессу, вероятно, способствовала нарушенность среды, обусловленная системой трещин, связанных с грабенами, ограничивающими свод.

Зоны мощностью 10 км измененных, деформированных пород, относимых по составу к средним, отражаются в гравиметрическом разрезе резко измененными плотностными свойствами.

На основании вышеизложенного может быть сделан следующий методологический вывод.

В отличие от картирования крупных разломов земной коры при региональных исследованиях, выявление и картирование ДД на этапах разведки и подсчета запасов средствами только гравиметрического метода в большинстве случаев малореально. При решении этой задачи результаты высокоточной гравиразведки могут в первую очередь использоваться для подтверждения наличия ДД, выделенных другими методами.

ГЛАВА 6. МЕТОДИКА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ

6.1. Методика и технология сейсморазведки при картировании дизьюнктивных дислокаций

Современная сейсморазведка остается важнейшим средством выявления и картирования ДД. Сложившиеся методика и технология сейсморазведки позволяют использовать ее для этих целей на всех этапах и стадиях ГРП. Но наиболее ответственным это применение становится на стадиях доразведки, поскольку на них фактически завершается построение детальных геологических моделей месторождений нефти и газа, проводится подсчет запасов и формируются проекты их разработки. В связи с этим, именно на стадиях разведки существенно повышаются требования к детальности и надежности картирования ДД. Эти требования должны учитываться на всех стадиях ведения сейсмических работ.

Полевые наблюдения

Эта стадия должна быть, прежде всего, **хорошо спроектирована**. Для этой цели используют всю имеющуюся априорную информацию об исследуемом участке. Как уже отмечалось ранее, к этапу доразведки уже должны быть построены основные типы моделей объекта – структурные, стратиграфические, структурно-формационные. Эти модели и используют при проектировании разведочных работ.

В настоящее время имеются развитые средства проектирования сейсмических полевых наблюдений как 2D, так и 3D [Цибулин, Агафонов, 1978; Extended..., 1999]. Они позволяют обосновать и оптимизировать тип системы многократных перекрытий, максимальные и минимальные удаления взрыв-прием, кратность и направленность CDP и т.п.

В процессе проектирования могут быть учтены и специфические требования к системам и методике наблюдений, направленные на повышение надежности выявления и картирования ДД:

- плотность наблюдений 2D и 3D сейсморазведки должна отвечать необходимой по условиям задачи детальности картирования ДД с учетом надежности их пространственного трассирования;
- осевые направления полевых систем располагают обычно вкрест простирания основных структур и формирующих их ДД;
- при сейсморазведке 2D, как правило, необходимы пространственные элементы (кресты, элементы широкого профиля и др.), позволяющие распознавать боковые волны, связанные с ДД;
- при детализации может быть выбран нестандартный тип расстановки, позволяющий оптимизировать регистрацию волн, обусловленных ДД;
- частотный диапазон при регистрации должен обеспечивать обычно сильную вариацию спектров волн, связанных с зонами развития ДД.

Обработка данных

Наряду с традиционными методиками и технологиями обработки данных 2D и 3D сейсморазведки в настоящее время развиваются специальные приемы и методы интерпретационной дообработки, позволяющие повысить надежность выделения и трассирования ДД, а именно:

- расчет когерентности;
- процедура dip-azimut;
- использование процедур повышения контрастности типа ПАК;
- определение мгновенных параметров – амплитуды, частоты, фазы и др.

Кратко рассмотрим эти способы.

Расчет когерентности

Резкое снижение когерентности сейсмической записи в зоне ДД является практически всегда проявляющимся поисковым признаком нарушения. Поэтому формальный расчет функции когерентности по временному разрезу или по кубу данных практически всегда полезен. Зоны резкого снижения когерентности позволяют существенно локализовать и улучшить прослеживаемость ДД (рис. 6.1).

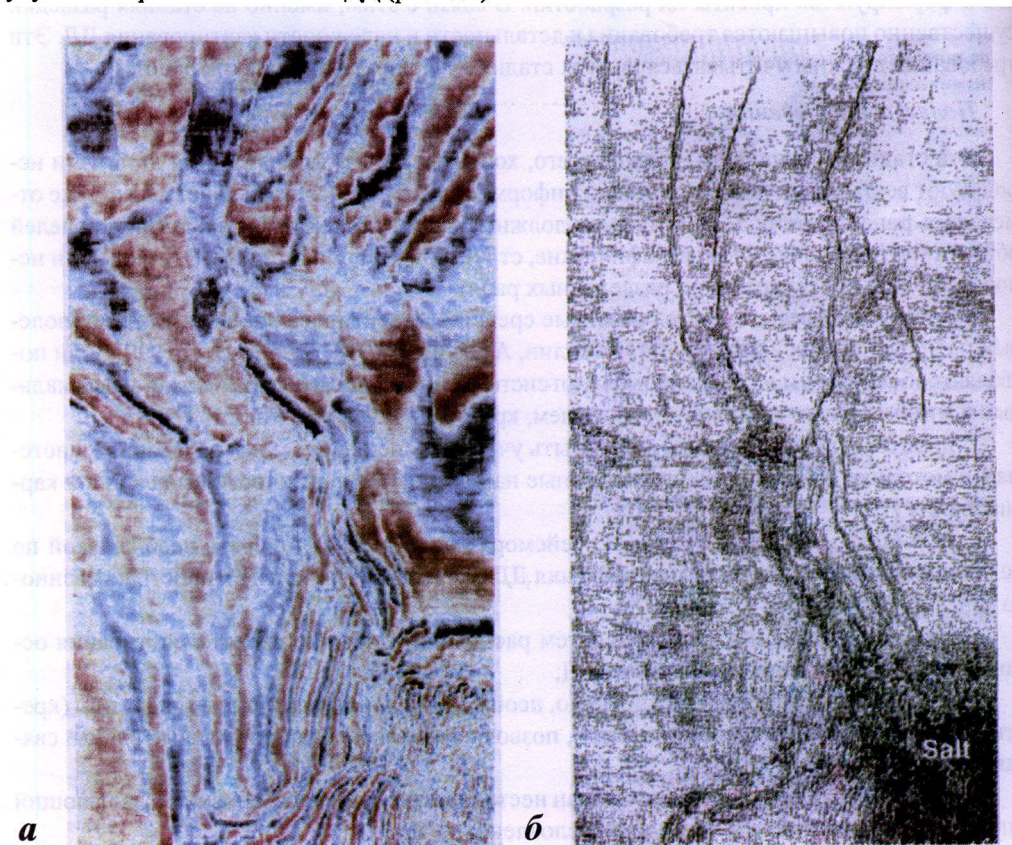


Рис. 6.1. Выделение ДД при помощи расчёта функции когерентности: а – горизонтальное сечение сейсмического куба, б – то же по кубу когерентности (по М. Бахорицу и С. Фармеру)

Вместе с тем, не следует забывать, что причиной ухудшения когерентности могут служить не только ДД, но и другие сейсмогеологические факторы. Следовательно, признак снижения когерентности является, как правило, необходимым, но недостаточным признаком ДД.

Результативные вертикальные и горизонтальные сечения куба когерентности имеют также еще одно важное ограничение: в силу особенностей преобразования на них фактически отсутствуют какие-либо характеристики осадочной толщи, пересекаемой ДД. При выявлении ДД для включения в анализ этих характеристик должны быть использованы другие сейсмические отображения.

Процедура dip-azimut

Процедура, основанная на определении первых производных (градиентов) в каждой точке куба данных по всем направлениям – X, Y, Z используется при обработке только данных 3D сейсморазведки. Кроме того, в совокупности с ней используют азимутальное “подсвечивание”, позволяющее оттенять наиболее выраженные градиентные зоны.

Во многих случаях процедура позволяет существенно детализировать представления о ДД, которые выявляются уже не как чисто линейные зоны, а как сложная совокупность (часто кулисообразная) квазилинейных элементов. Это отвечает современным представлениям о процессах формирования ДД в реальных геологических средах.

Вместе с тем, использование dip-azimut должно быть целенаправленным и согласованным с исходными генерализованными оценками, т.к. значительный рост количества выявляемых ДД может существенно затруднить их геологическое истолкование в рамках принятой модели объекта.

Процедура псевдоскоростного преобразования

По опыту использования СФА псевдоскоростное преобразование сейсмических разрезов значительно повышает контрастность отображения как осадочных комплексов, так и пересекающих их ДД (рис.6.2).

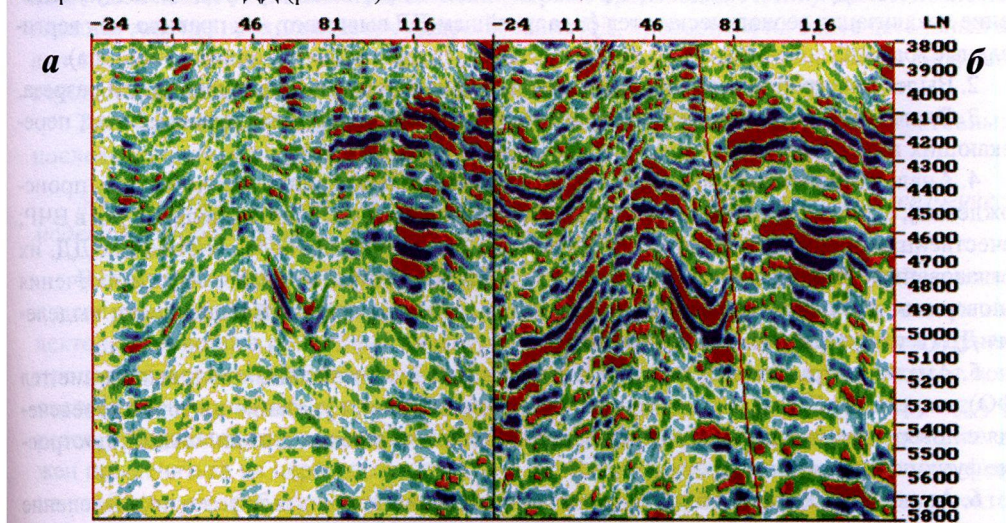


Рис. 6.2. Результат псевдоскоростного преобразования: а – исходный разрез, б – псевдоскоростной разрез

Эта особенность процедуры делает ее применение при переходе от обработки к интерпретации особенно желательным. Существенно, что при ее применении остается возможность анализа всего разреза (например, в отличие от разрезов когерентности), что делает псевдоскоростное отображение универсальным.

Мгновенные параметры

Мгновенные динамические параметры – амплитуды, частоты, фазы (по Гильберту) давно уже вошли в арсенал традиционных атрибутов при сейсмостратиграфическом и структурно-формационном анализе [Сейсмическая стратиграфия, 1983; Структурно формационная..., 1990; Quantitative..., 1990]. Фактически сами признаки обнаружения ДД – ослабление записи, снижение частоты и т.п. обуславливают применение этих видов отображения вертикальных и горизонтальных сейсмических сечений. Как правило, их используют в сочетании с другими видами анализа.

Интерпретация сейсмических данных (этапы работы с ДД)

Рассмотрим три основных типа методик, реализуемых при интерпретации сейсмических данных с целью выделения и трассирования ДД.

1. Собственно методика выявления и трассирования ДД в соответствии с признаками их обнаружения (см. гл.3 и 4), реализуемая в современных интерпретационных системах.
2. Методика преобразования интерпретационных результатов, способствующая повышению надежности выделения и трассирования ДД.
3. Методика согласования выявленной системы ДД с общей концепцией геологической модели месторождения.

Последовательно рассмотрим эти методики.

Методика выявления и трассирования ДД

Реализуемая при СФА методика включает следующие основные этапы:

1. Расчленение сейсмического разреза на комплексы, формации, субформации и установление локализации геологических тел (в дальнейшем ДД выявляют, как правило, как вертикальные границы локализованных формационных тел одинакового и разного генезиса).
2. Выделение границ верхней, покрывающей, целевой и подстилающей частей разреза.
3. Выделение основных, наиболее очевидных и высокоранговых (масштабных, пересекающих весь разрез) ДД.
4. Анализ верхней части разреза – выделение аномальных зон (поверхностного происхождения); выявление границ смены сейсмогеологических условий; выделение тел в ВЧР; качественная оценка отношения сигнал/помеха; выделение наиболее очевидных ДД, их согласование с генеральными ДД (более высокого ранга) и указание их точек пересечения с поверхностью покрывающей части разреза; построение функций надежности выделения ДД (в том числе в знаковом варианте – 0,1).
5. Анализ покрывающей части разреза – выделение аномальных зон; выделение тел (ФО); выделение ДД, их согласование с высокоранговыми и указание их точек пересечения с поверхностью целевой части разреза; оценка отношения сигнал/помеха; построение функции надежности.
6. Анализ подстилающей части разреза – выделение тел и их морфологии; выделение основных ДД и указание точек их пересечения с подошвой целевой части разреза; оценка сигнал/помеха; построение функции надежности.

7. Анализ целевой части разреза – анализ и выделение тел; выделение аномальных зон; оценка сигнал/помеха; выделение ДД; увязка с ДД в покрывающей и подстилающей частях разреза; передача в базу данных по ДД.

8. Параметризация ДД – определение параметров ДД; определение рангов и типов ДД; оценка надежности ДД.

9. Систематизация ДД – по рангу, по пост и конседиментационности, по возрасту, по надежности, по направлению смещения, по признакам выделения, по флюидопроводимости и т.д.

10. Формирование файла базы данных ДД по разрезу, по горизонтальным срезам, по кубу 3D.

Методика преобразования интерпретационных результатов, способствующая повышению надежности выделения и трассирования ДД

Методика включает набор следующих методических приемов:

- построение среднеквадратических отклонений от сглаженных структурных поверхностей;
- применение производных первых порядков для повышения контрастности карт и схем,
- проверка выявленных по ряду вертикальных и горизонтальных сечений ДД на соседних сечениях и т.п.

Следует особо отметить, что в силу сложной структуры ДД, многообразия и изменчивости их типов в пространстве их трассирование представляет серьезную проблему. В сейсморазведке 2D при обычно реализуемой плотности профилей эта задача, как правило, не может быть решена корректно. И даже при наблюдениях 3D трассирование ДД остается сложным, требующим дополнительных приемов.

Один из таких приемов состоит в предварительном построении пликативной структурной карты. Далее применяются приемы ее контрастирования типа вышеперечисленных (отклонения от сглаженных значений, первые производные и т.п.). Далее, после локализации зон, где предполагается существование ДД, проводится их более детальный анализ по вертикальным и горизонтальным сечениям куба данных 3D. В результате осуществляется переход к построению карты с учетом ДД.

Таким образом, процесс картирования с учетом ДД всегда является итеративным, с последовательным уточнением деталей строения объектов.

Методика согласования выявленной системы ДД с общей концепцией геологической модели месторождения

В структурно-формационной интерпретации сейсмических данных (СФИ), так же как и в сеймостратиграфическом анализе, прогнозирование литологического состава и коллекторских свойств природных резервуаров основывается на опережающем изучении процессов осадконакопления. Однако этому изучению обычно препятствуют кон- и постседиментационные тектонические процессы, преобразующие морфоструктуру разрезов. Следовательно, анализ тектонической истории формирования разрезов должен применяться на первых стадиях СФИ и сеймостратиграфического анализа. Одним из наиболее употребительных видов такого анализа на практике является палеотектоническая реконструкция (ПТР) [Арчegov, 1995]. Возможность сравнительно простым путем восстановить историю тектонического развития исследуемых геологических разре-

зов обуславливает широкое использование этой методики, исходные принципы которой сводятся к следующему.

1. Палеотектонические реконструкции определяются как обращенные аналоги пост- и конседиментационных пликативных и дизъюнктивных тектонических процессов.

Главное назначение СФ ПТР, таким образом, состоит в компенсации (учете) тектонических процессов различного вида с целью выхода на сингенетические формационные объекты – геологические тела, сформированные собственно седиментационными процессами.

2. СФ ПТР фактически определяет последовательность типов реконструкций, ранжированную по нарастанию сложности соответствующих им тектонических процессов.

Одноранговые СФ ПТР подразделяются на:

- постседиментационные, пликативные, без итераций;
- постседиментационные, дизъюнктивные, без итераций;
- конседиментационные, пликативные, итеративные;
- конседиментационные, дизъюнктивные, итеративные;
- комбинированные пост- и конседиментационные, пликативные, итеративные;
- комбинированные пост- и конседиментационные, дизъюнктивные, итеративные;
- комбинированные пост- и конседиментационные, комбинированные пликативные и дизъюнктивные, итеративные и т.п.

Многоранговые СФ ПТР – этот класс, как правило, итеративных (итерация строится по рангам геологических объектов и формирующих их процессов) палеореконокструкций включает уже перечисленные типы СФ ПТР, а также и дополнительные их комбинации, обусловленные взаимодействием рангов.

3. Итеративный характер всех без исключения этапов СФИ связан не только с необходимостью взаимоуточняющего решения прямых и обратных задач. Само содержание задач также требует итерации. Так, после учета тектонических процессов литологический прогноз осуществляется на основе фациального анализа. Учет процессов уплотнения, консолидации и диагенеза может быть выполнен только на основании уже имеющихся представлений о литологическом составе разреза. Следовательно, после предварительного прогноза литологического ряда необходим возврат к фациальному анализу по уточненной внутренней структуре геологических тел. В свою очередь, это уточнение может привести и к повторному учету тектонических факторов.

4. В изложенных выше данных нет никаких указаний на масштабы и ранги геологических объектов, для которых пригодны процедуры типа СФ ПТР. Опыт применения СФИ действительно свидетельствует об их универсальности. В связи с этим можно постулировать, что процедуры СФ ПТР применимы на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ, в том числе и на этапах доразведки и ввода месторождений УВ в эксплуатацию. Этой же причиной обосновывается итеративное применение СФ ПТР, при котором циклы итерации определяются рангом анализируемых геологических объектов. Таковы принципиальные основания неизбежной итеративности и адаптивности процессов СФ ПТР.

К настоящему времени накопилось значительное число примеров практического применения СФ ПТР. Остановимся на некоторых из них, преследуя главную цель – показать многообразие возможных приложений.

Пример 1 (площадь Котрум, Пакистан, поисковая стадия). Пример иллюстрирует простейший вид СФ ПТР, использованной для компенсации постседиментационного пликативного тектогенеза (рис. 6.3). Реконструкция была предпринята для выявления барьер-

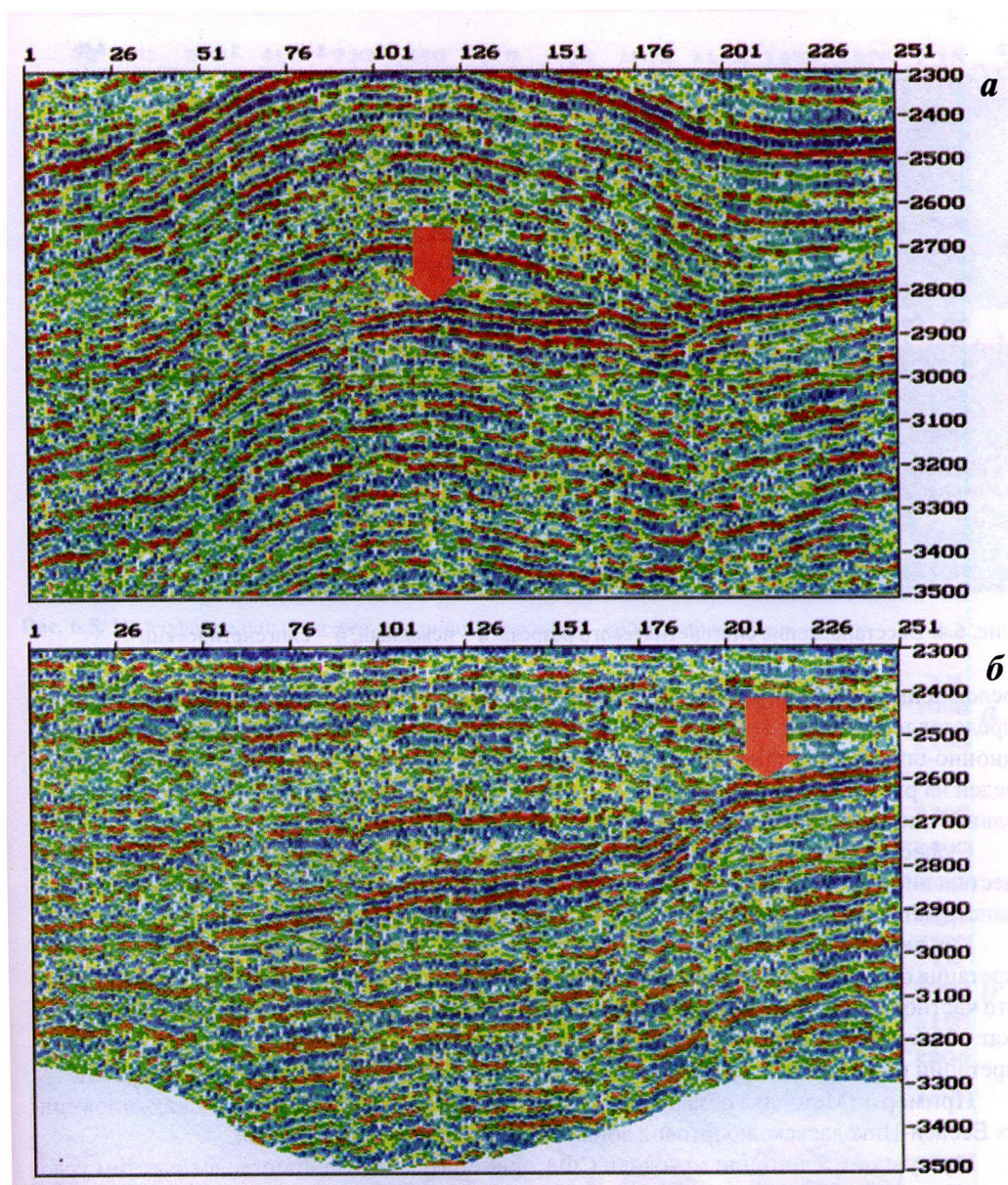


Рис. 6.3. Сейсмический разрез: а – исходный, б – после палеореконструкции

ной карбонатной системы, завуалированной последующими тектоническими движениями (рис.6.3,а). Как видно из рисунка 6.3,б, результат реконструкции превзошел все ожидания: барьерная система выявляется практически однозначно. При этом ее реальное положение оказалось смещенным относительно предполагаемого (без предварительной СФ ПТР) более чем на 10 км.

Пример 2 (Варавенская площадь, Краснодарский край, разведочный этап). В данном случае СФ ПТР была предпринята с целью восстановления палеоусловий седиментации,

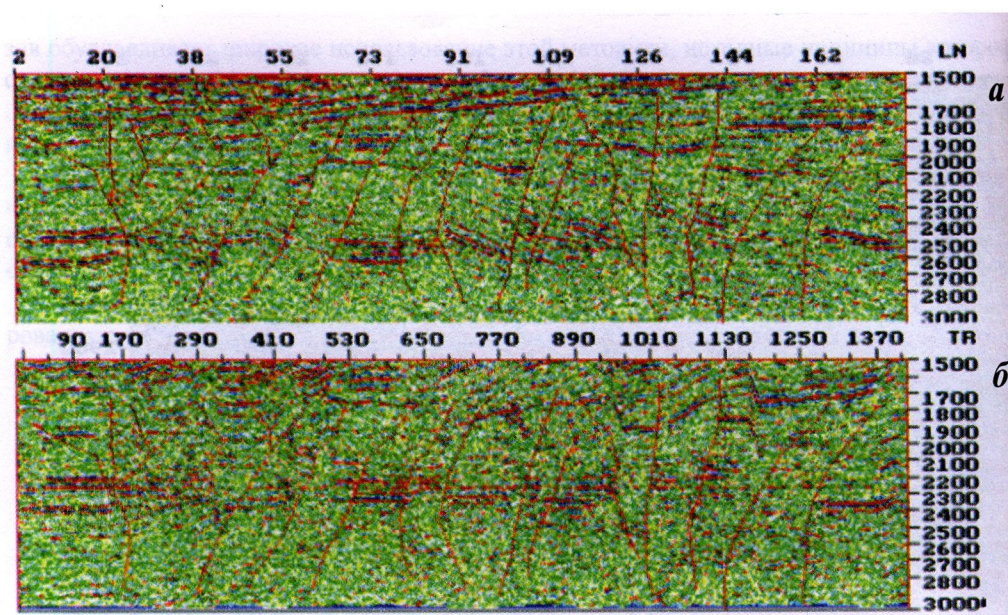


Рис. 6.4. Восстановление сингенетического разреза: а – исходный, б – сингенетический

осложненных тектоническими движениями, в том числе дизъюнктивными. На Рис.6.4,а представлен временной разрез с выделенными нарушениями предположительно гравитационно-оползневого генезиса. Вариант пликативно-дизъюнктивного восстановления приведен на рис. 6.4. Можно видеть, что для значительного интервала разреза тектонические сдвиги опознаются как постседиментационные.

Существенно, что после обратной палеорекострукции становится очевидно, что отождествление и корреляция горизонтов на исходных разрезах (без предварительной палеорекострукции) практически невозможны (рис. 6.5, 6.6).

Как видно из представленных примеров, во всех случаях удовлетворительная интерпретация оказалась возможной благодаря СФ ПТР. Как показывает опыт применения СФИ, это частное заключение на самом деле является универсальным: процедуры СФ ПТР служат обязательным атрибутом и неотъемлемой частью структурно-формационной интерпретации геофизических данных на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ.

Пример 3 (Методика обнаружения и доразведки ловушек УВ в кыновских отложениях Есенеи-Николаевской бортовой зоны, Удмуртия) [Геология..., 1976].

В результате адаптации методики СФА применительно к сейсмогеологическим условиям Есенеи-Николаевской зоны определена следующая последовательность этапов (граф) СФИ, обеспечивающая решение поставленной задачи.

Этап 1. Предварительный визуальный (сеймостратиграфический), сеймоформационный и спектрально-временной анализ (СВАН) с целью расчленения разреза; выделение основных толщ, включая целевой интервал, и их предварительная идентификация.

СВАН-колонки, подобные представленной на рис. 6.7, использованы в качестве обоснования при выборе ранговой фильтрации (ранг 2, частота максимума – 55 Гц).

Как видно из рис. 6.8, СВАН является на сегодня одним из наиболее мощных и технологичных средств расчленения разреза. При этом выявляются как границы комплексов

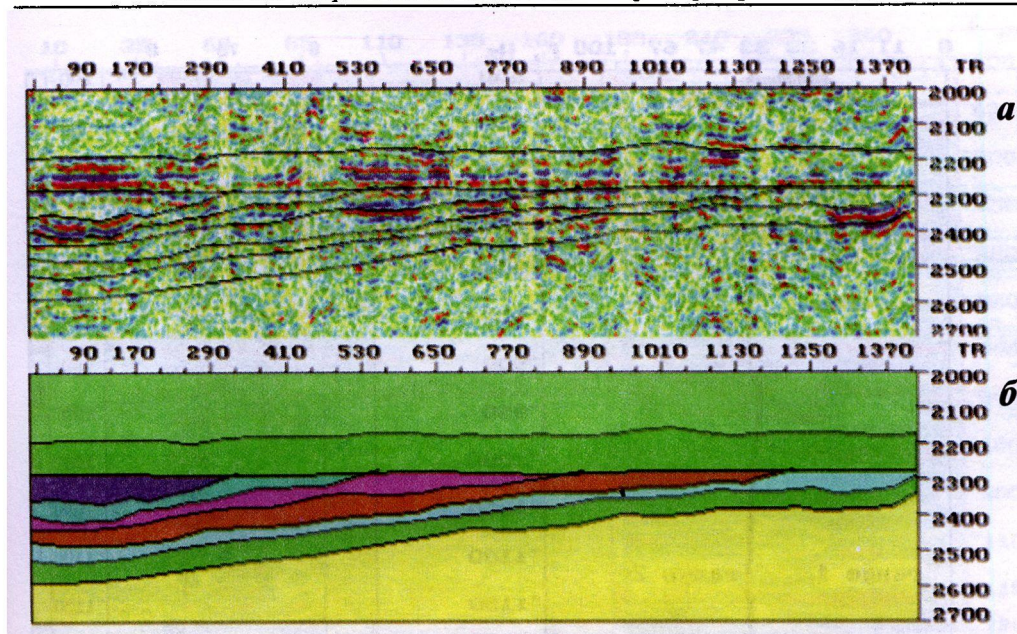


Рис. 6.5. Палеофациальный разрез: а – динамический, б – сейсмогеологический

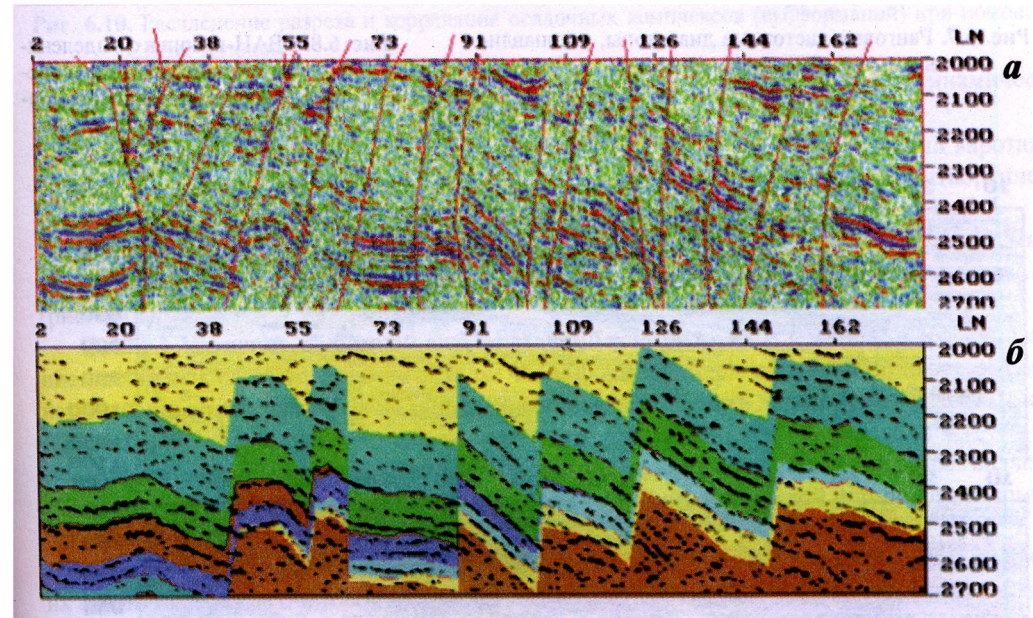


Рис. 6.6. Палеофациальный разрез: а – динамический, б – сейсмогеологический

отложений (от формационных систем до субформаций), так и их внутренняя структура и направленность седиментации (прогрессивная, регрессивная).

Как видно из рис. 6.9. и 6.10, псевдоскоростное преобразование позволяет повысить контрастность как выявляемых осадочных комплексов, так и пересекающих их дизъюнктивных нарушений.

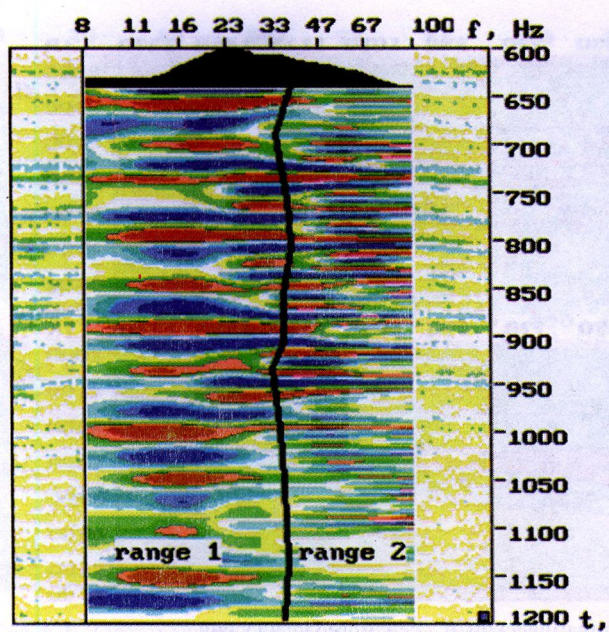


Рис. 6.7. Ранговые частотные диапазоны, устанавливаемые по СВАН-колонке

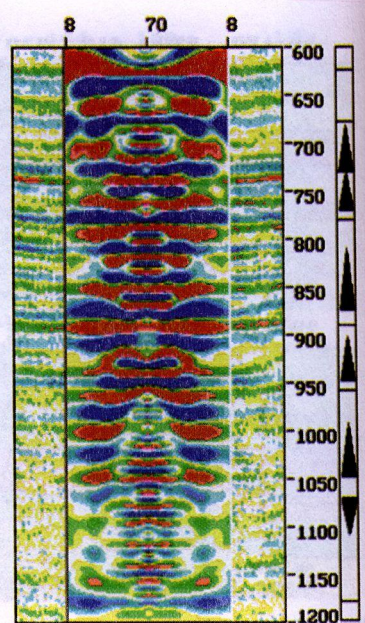


Рис. 6.8. СВАН-колонка с выделением границ и направленности седиментации осадочных комплексов

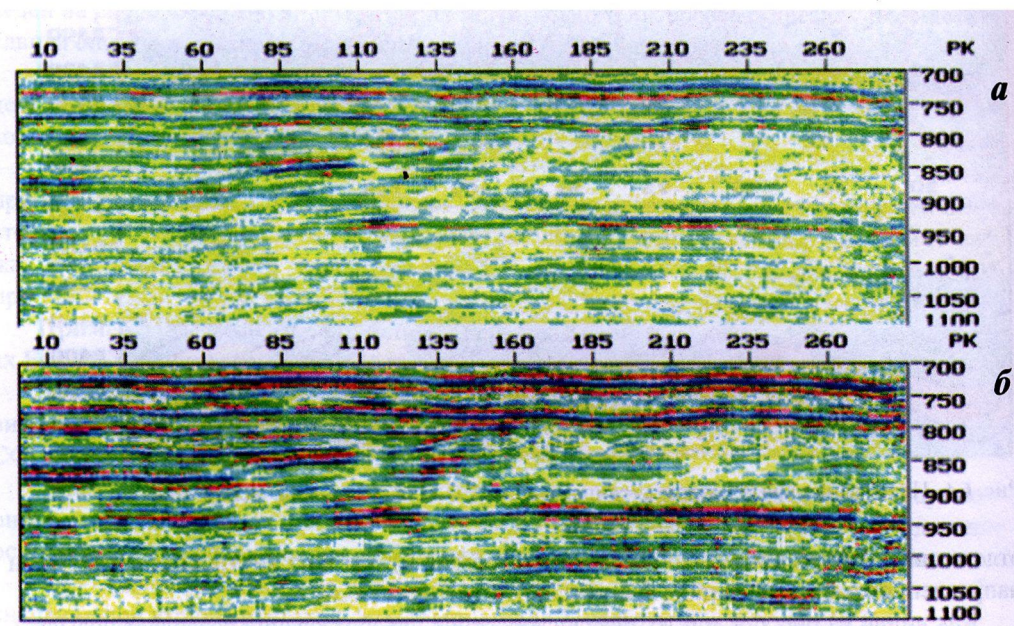


Рис. 6.9. ДООБРАБОТКА ПРИ СФА: а – исходный разрез, б – псевдоскоростной разрез второго частотного ранга

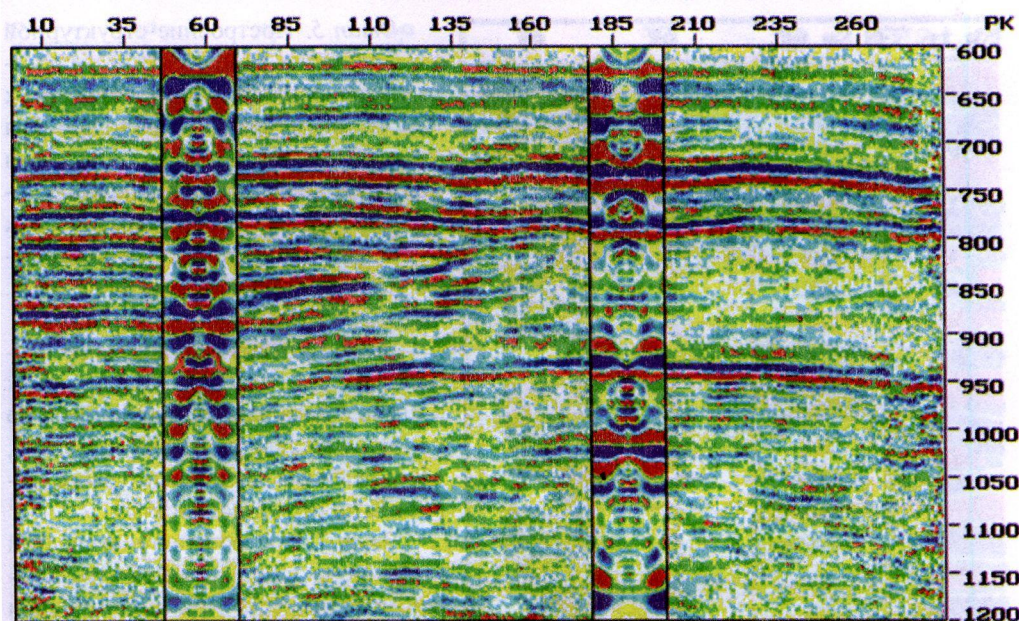


Рис. 6.10. Расчленение разреза и корреляция осадочных комплексов (субформаций) при помощи СВАН-колонок

На рисунках можно видеть как меняются структурные (кинематические) и динамические параметры объекта “До” по профилю (время – 0.95 с.).

Этап 2. Совместная обработка и увязка данных ОГТ и ГИС (акустический каротаж АК), включающая оценку качества данных ГИС, их перевод во временной масштаб, кинематическую и динамическую увязку данных ГИС и ОГТ (рис. 6.11.)

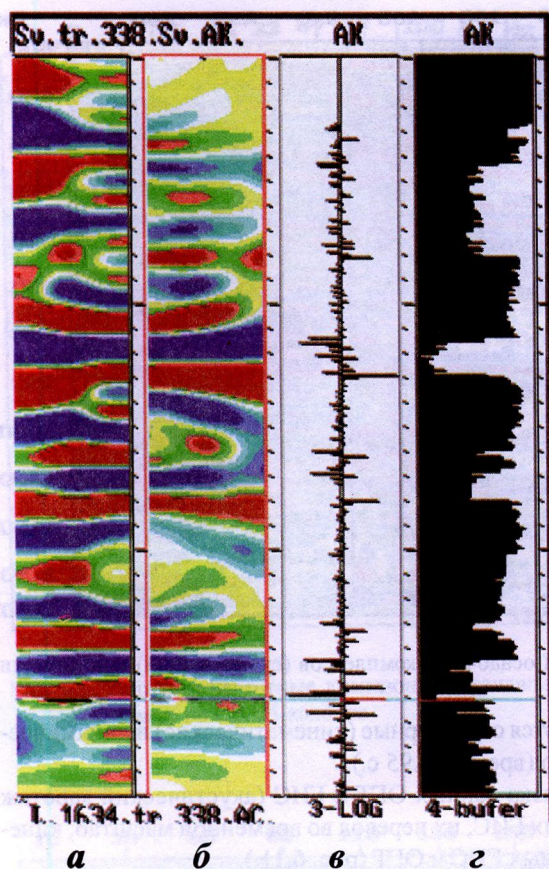
Сопоставление многочастотных разверток (СВАН) синтетической и реальной сейсмических трасс позволяет существенно повысить надежность увязки данных сейсмоки и АК (рис. 6.12).

Этап 3. Изучение глубинной дизъюнктивной тектоники с выделением и трассированием основных блоков фундамента, в том числе формирующего вышележащий разрез Есений-Николаевского горста, с восстановлением сингенетического додевонского разреза (рис. 6.13, 6.14).

Восстановленный сейсмическими палеорекострукциями додевонский разрез является единственно возможным доказательством реальной геологической истории его формирования.

Этап 4. Картирование подошвы малевско-упинских отложений с трассированием зоны их выклинивания на бортовой части фаменской карбонатной толщи. Для уточнения положения этой зоны целесообразно построение карты среднеквадратических отклонений подошвы малевско-упинской толщи от ее сглаженной поверхности.

На основании результатов 3 и 4-ого этапов производится выделение наиболее перспективной зоны (зональное прогнозирование) распространения предполагаемых локальных ловушек УВ, приуроченных к области, оконтуриваемой границами горста по додевонским отложениям и выклиниванием малевско-упинской толщи на поверхности карбонатных отложений фамена.



Этап 5. Построение структурной карты объекта “До” с учетом скоростных неоднородностей, обусловленных присутствием сарайлинской толщи. Для уточнения положения береговой линии девонского палеобассейна полезно построение карты среднеквадратических отклонений объекта “До” относительно сглаженной его поверхности (рис. 6.15).

Этап 6. Отбраковка локальных аномалий по горизонту “До”, совпадающих в плане с локальными аномалиями по подошве малевско-упинской толщи, обусловленных неучтенными ранее скоростными неоднородностями.

Этап 7. Построение генетической глубинно-скоростной макроструктурной модели среды. При ее построении использованы результаты СФА, а также сейсмические и геологические палеорекострукции (рис. 6.16).

Рис. 6.11. Увязка данных ОГТ и ГИС: а – СВАН-колонка по трассе ОГТ, б – СВАН-колонка по синтетической трассе, в – импульсная трасса по кривой АК, г – исходная кривая АК

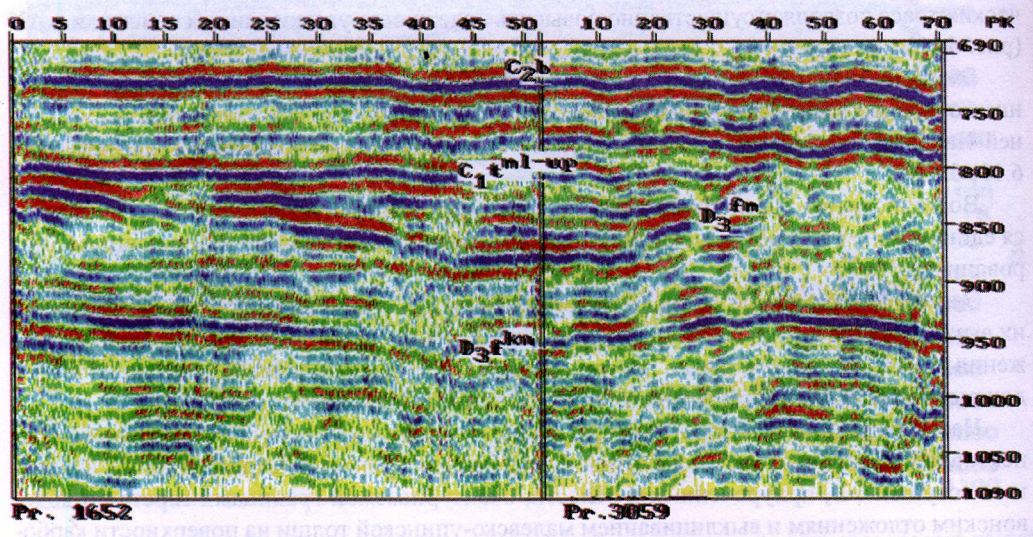


Рис. 6.12. Стратификация основных горизонтов по результатам увязки ОГТ и ГИС

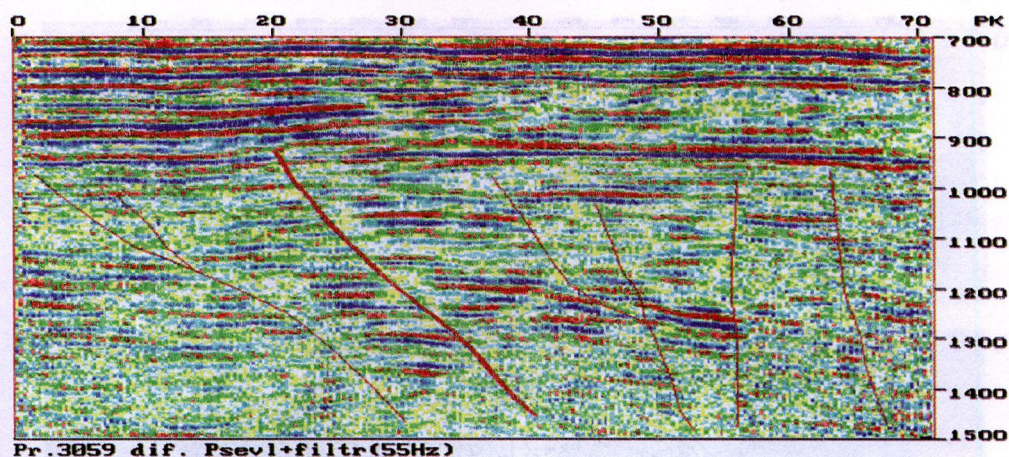


Рис. 6.13. Пример восстановления динамики формирования докембрийского разреза

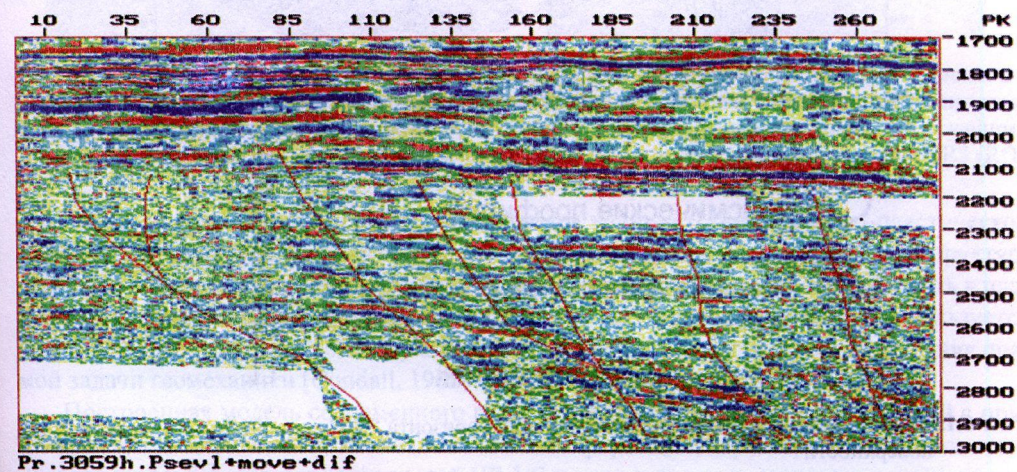


Рис. 6.14. Пликативные и дизъюнктивные палеореконструкции при восстановлении сингенетического разреза

Проверка геологической достоверности и уточнение макроструктурной модели проводилась с помощью геологических палеореконструкций. Геологически правдоподобное восстановление модели разреза, тектоническая эволюция, является критерием состоятельности исходной модели.

Палеотектонические реконструкции выполнены с использованием пакета GeoSec компании Paradigm Geophysical, Ltd. для кровельных поверхностей формаций C_1^1 , D_3^{2+3} , $PR_3-D_3^1$ и $PR_3(Rf_1)$, рис. 6.17, а-г. Особый интерес представляет результат палеореконструкции для кровли пласта $PR_3-D_3^1$, к которой приурочена нефтяная залежь (рис. 6.17в).

Этап 8. Выполнение геомеханического моделирования для современной модели и нескольких ее палеореконструкций для все более древних геологических эпох. Заключительная стадия состоит в геологическом истолковании результатов геомеханического моделирования в свете выполненных палеореконструкций, опираясь на построенную макроструктурную модель и другие геологические данные.

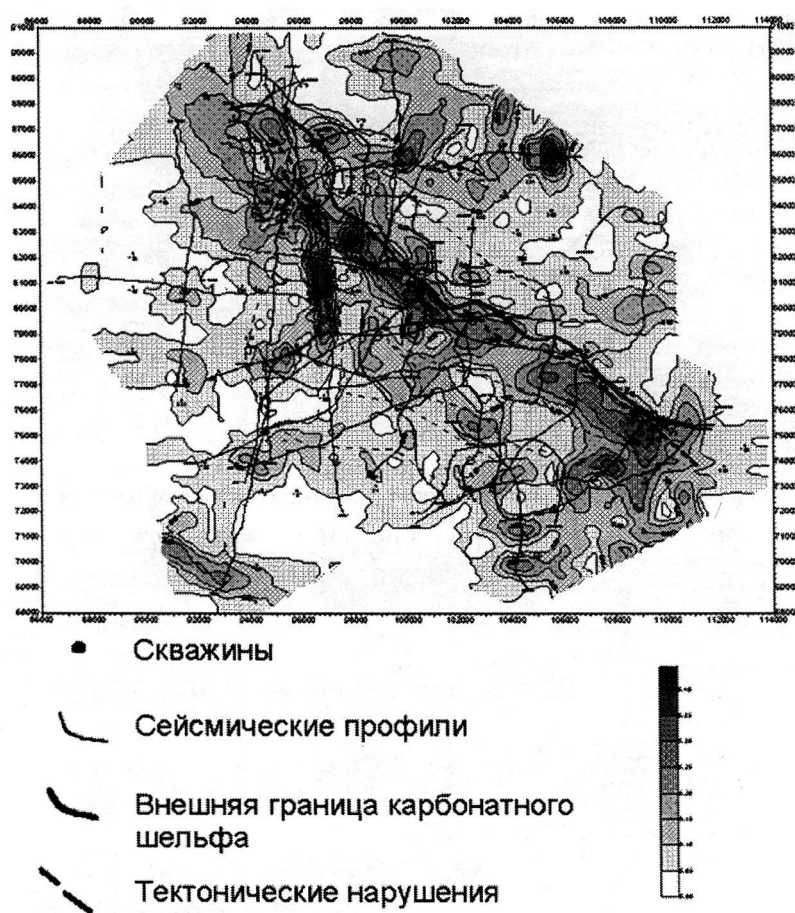


Рис. 6.15. Карта среднеквадратических отклонений горизонта "До" относительно сглаженной его поверхности

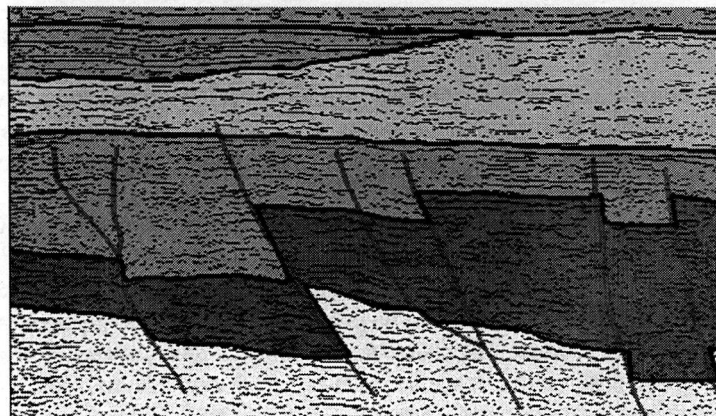


Рис. 6.16. Геологическая модель разреза, полученная в результате нескольких итераций сейсмических палеорекоonstrукций в пакете СФА (см.рис. 6.14)

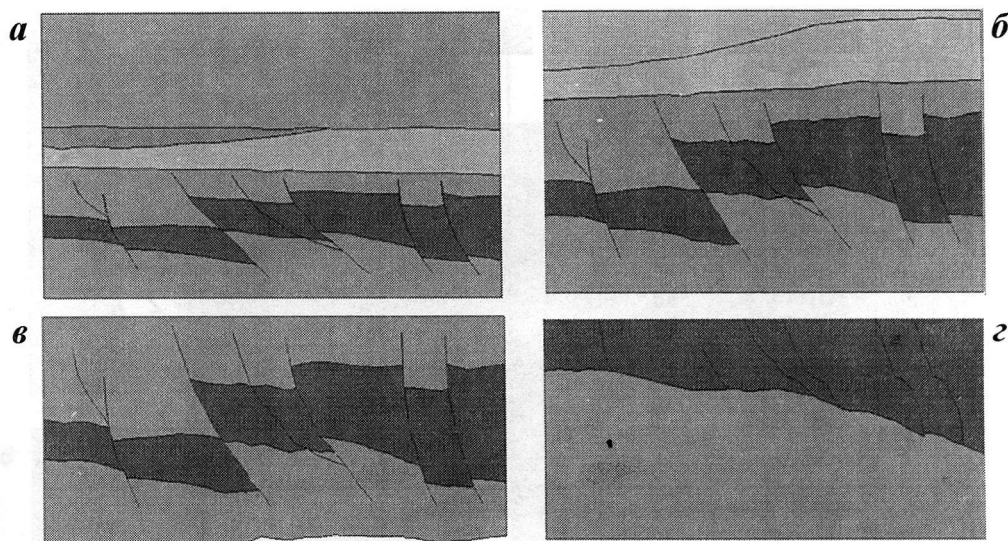


Рис. 6.17. Тектоническая эволюция разреза от позднепротерозойского до настоящего времени: а – современное состояние разреза, б – реконструкция к кровле D_3^{2+3} (здесь и далее учитывался эффект разуплотнения разреза при снятии нагрузки, обусловленной вышележащими отложениями), в – реконструкция к кровле $PR_3-D_3^1$, г – реконструкция к кровле PR_3 (Rf1)

Расчет напряженного состояния выполняется в соответствии с упруго-пластической моделью Кулона-Мора, которая описывает нелинейное поведение нагруженных структурных блоков пород различного литологического состава, проявляющих способность к пластическому течению при превышении их предела прочности. Для расчета используется континуальный код FLAC, реализующий явную конечно-разностную схему решения прямой задачи геомеханики [Cundall, 1988; Kozlov et al., 1998; 1999].

Построенная модель современного разреза и результаты палеореконструкций с приписанными их пластам индексами геологических формаций, характеристиками литологического состава, значениями скоростей VP , VS и плотности послужили входными данными для геомеханического моделирования.

Для параметризации модели (рис. 6.18) использованы доступные скважинные данные (АК, плотностной каротаж, данные о водонасыщении и глинистости). По этим данным или из других источников определяются необходимые дополнительные параметры: объемный модуль и модуль сдвига, пределы прочности пород на сжатие и сдвиг, угол внутреннего трения и верхний предел пластового давления.

Структурно-стратиграфическая ловушка, содержащая нефтяную залежь, на приведенной модели локализована в интервале 0.5 – 3.2 км по горизонтали и приурочена к кровле пласта $PR_3-D_3^1$.

Результаты геомеханического моделирования для современного состояния и одного из палеоразрезов показаны на рис. 6.19 – 6.20.

Рис. 6.19 а-б и 6.20 а-б отображают распределение вариаций среднего напряжения и положительных отклонений вертикального напряжения от литостатического давления (т.е. зон декомпрессии), соответственно. Зоны декомпрессии для разрезов Удмуртии интерпретируются как разуплотненные зоны, характеризующиеся повышенным пластовым давле-

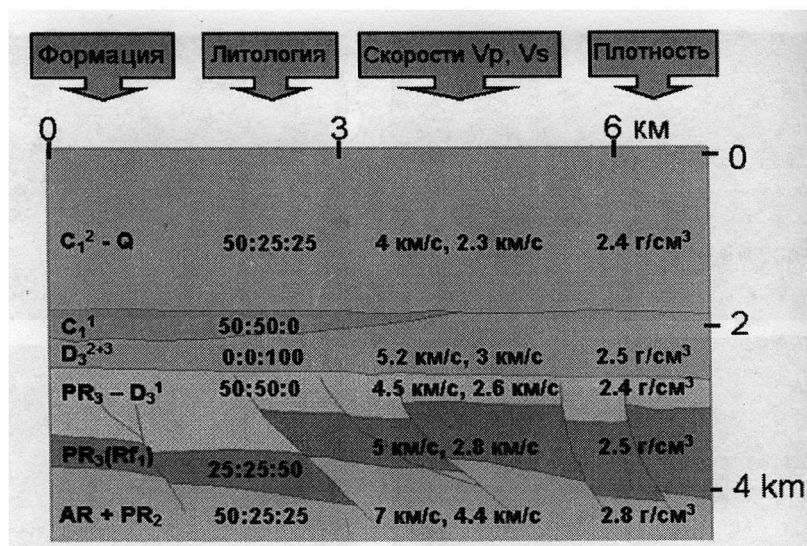


Рис. 6.18. Макроструктурная модель с параметрами, необходимыми для геомеханического моделирования

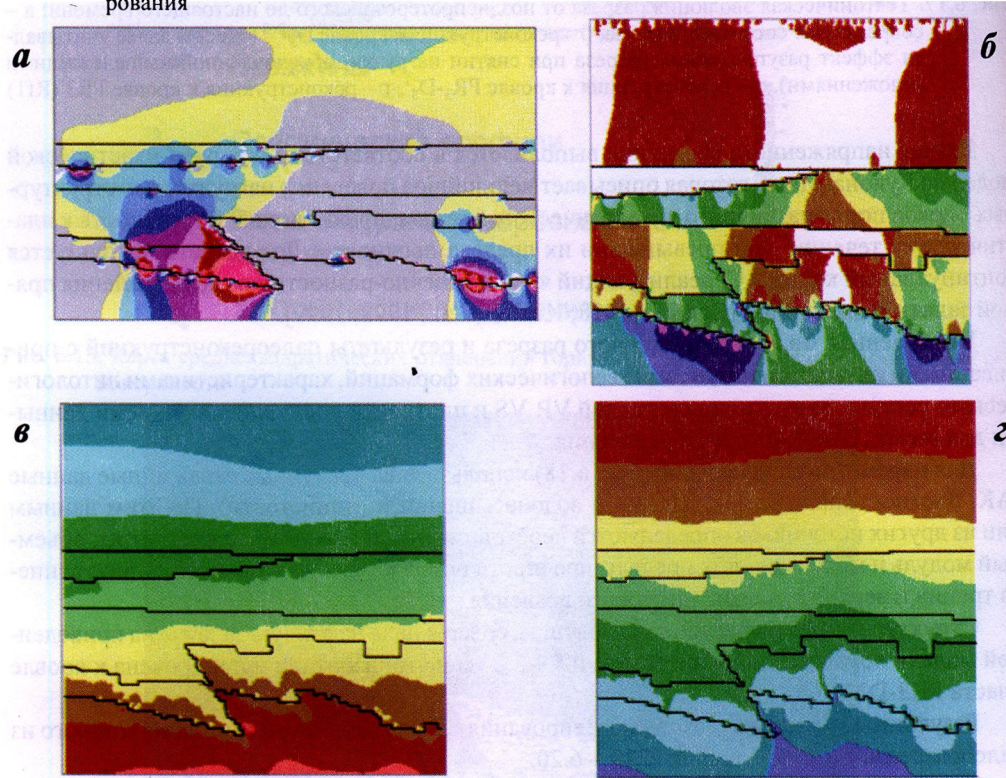


Рис. 6.19. Результаты геомеханического моделирования современного разреза: а – вариации среднего напряжения в интервале от 0 до 4 Мпа; б – положительные отклонения вертикального напряжения от литостатического давления, % (показаны только разуплотненные участки); в – минимальное главное напряжение; г – главное сдвиговое напряжение

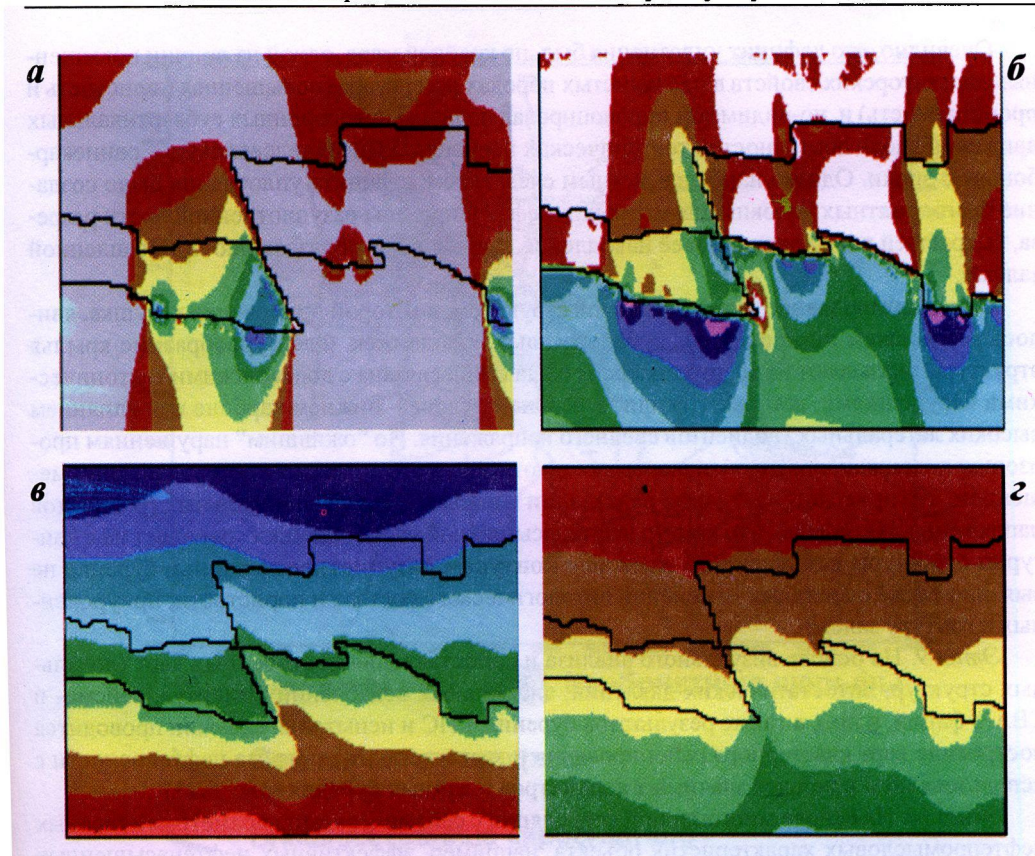


Рис. 6.20. Результаты геомеханического моделирования палеореконструированного разреза (реконструкция на кровлю PR₃-D₃¹): а – вариации среднего напряжения в интервале от 0 до 4.5 Мра; б – положительные отклонения вертикального напряжения от литостатического давления, % (показаны только разуплотненные участки); в – минимальное главное напряжение; г – главное сдвиговое напряжение

нием и повышенной пористостью в преимущественно песчано-глинистых отложениях формаций C12 – Q и PR3-D31, тогда как в формациях, сложенных жесткими породами (D32+3 и PR3(Rf1)), разуплотнение считается связанным с повышенной трещиноватостью. Соответственно, зоны развития отрицательных отклонений напряжений рассматриваются как переуплотненные зоны с пониженной пористостью и закрытыми трещинами. Распределение минимального главного и главного касательного напряжений (рис. 6.19 в-г и 6.20 в-г) позволяют составить представление о возможном развитии дилатансионной трещиноватости, ориентированной по нормали к минимальному напряжению.

Совместная интерпретация макроструктурной модели и результатов геомеханического моделирования позволила установить, что породы нефтенасыщенного резервуара, а также выше- и нижележащие отложения, находятся в зоне устойчивого разуплотнения, существовавшего с конца архея. Разуплотнение было вызвано дифференциальными субвертикальными смещениями вдоль тектонических нарушений, выявленных в додевонской и нижнедевонской толщах. Дефицит уплотнения был наибольшим непосредственно при тектонических подвижках и продолжается до настоящего времени.

Очевидно, что дефицит уплотнения был, по крайней мере, одной из причин повышенных коллекторских свойств в песчанистых породах резервуара (повышенная пористость и проницаемость) и, по-видимому, спровоцировал периоды инверсионных субвертикальных движений вдоль поверхностей тектонических нарушений в позднедевонскую – раннекарбонную эпохи. Однако наиболее важным следствием дефицита уплотнения было создание благоприятных условий для миграции нефти в пределы разуплотненной части разреза, сыгравшей роль ловушки, и её накопление, приведшее к образованию промышленной залежи.

Само формирование антиклинальной структуры, к которой приурочена ловушка, явилось результатом инверсионных субвертикальных подвижек. Флексуобразные крылья структуры указывают на то, что инверсия была тесно связана с додевонскими тектоническими нарушениями, которые “ожили” в верхнем девоне – нижнем карбоне под влиянием высоких латеральных градиентов среднего напряжения. По “ожившим” нарушениям произошли подвижки, противонаправленные по отношению к архейско-протерозойским смещениям, что привело к частичной релаксации наиболее высоких латеральных градиентов напряжения. Интересно, что контур нефтенасыщенной части ловушки совпадает не с контуром структуры как таковой, а **именно с контуром разуплотненной зоны**; бурение не выявило также очевидных изменений литологического состава и пористости, приуроченных к контуру залежи.

Этап 9. На основе визуального анализа и сопоставления построенных карт (локальных структур, литостатических давлений, аномальных ослаблений амплитуд, сейсмо- и СВАН-фаций, и пр.), а также результатов бурения, ГИС и испытания скважин проводится построение карт кластерного районирования и качественного прогноза нефтеносности с использованием наиболее значимых параметров и данных бурения (рис. 6.21).

Этап 10. На основе многомерной корреляции с сейсмическими параметрами главных нефтепромысловых характеристик объекта, например, эффективных нефтенасыщенных толщин проводится построение схем прогнозных контуров залежей по наиболее перспективным объектам, выявленным на этапах 8-10 (рис. 6.22).

6.2. Методика электроразведки при выявлении и картировании дизъюнктивных дислокаций

Для решения задачи по выявлению и картированию ДД электроразведкой используются различные методы: ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ЗСБ, ВРЭ, ВП, ВРЭ – ВП, МТЗ. Выбор метода определяется в зависимости от этапа ГРП и геоэлектрических особенностей района или участка.

На региональном этапе осуществляется выявление и районирование крупных глубинных разломов и сопутствующих им зон трещиноватости в коре и верхней мантии, которые могут обуславливать наличие ДД в осадочной толще. Важным компонентом при этом является построение геоэлектрической модели провинции, области, района. На региональном этапе основную роль играют магнитотеллурические методы (ГМТЗ, МТЗ). В благоприятных геоэлектрических условиях могут найти применение зондирования становлением электромагнитного поля (ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП).

На поисковом и разведочном этапах ГРП перед электроразведкой ставятся задачи более детального исследования осадочной толщи на изучаемых площадях с целью обнаружения и прослеживания ДД. Для этого привлекается какой-нибудь из указываемых методов (ЗС, ЗС-ЗИ, ЗСБ, ЗС-МП, ВРЭ- ВП) в зависимости от особенностей геоэлектрических

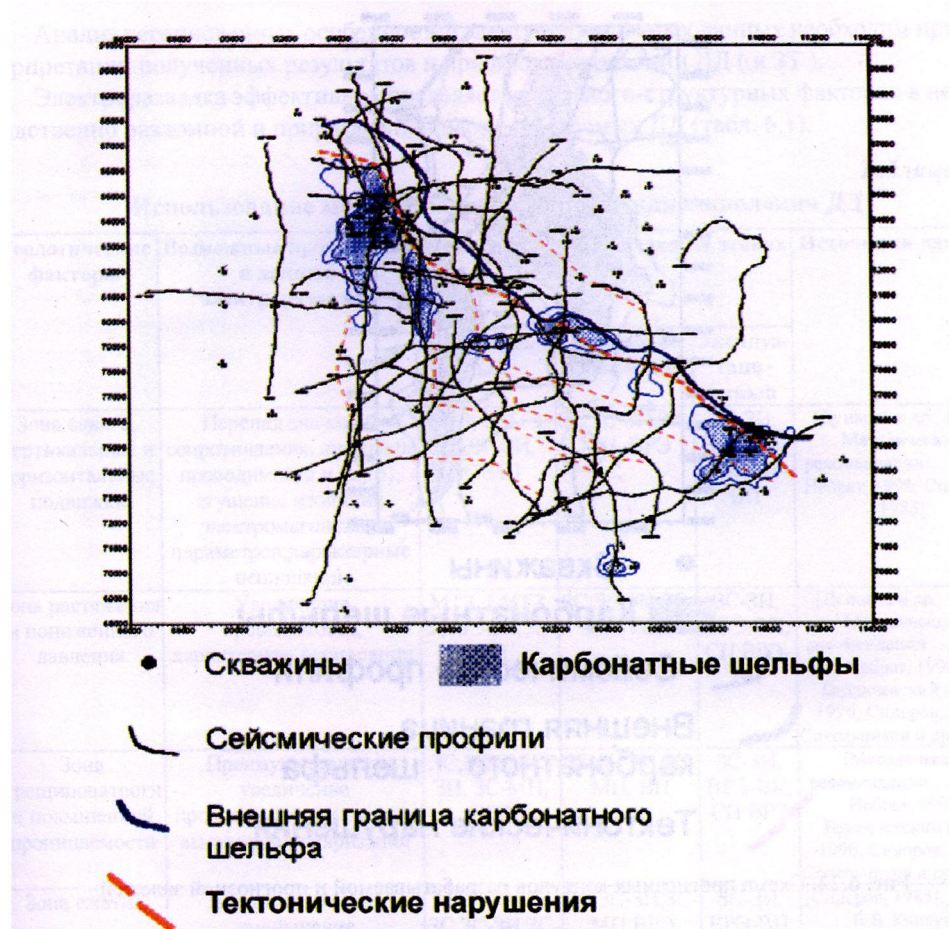


Рис. 6.21. Схема прогнозных контуров залежей по объектам Есений-Николаевской зоны

кой обстановки с учетом данных моделирования объектов поиска и разведки и опыта предшествовавших электроразведочных работ. На разведочном этапе целесообразна постановка профильных исследований (ЗС-МП, ВП) или площадных работ по сгущенной сети наблюдений (ЗС-ЗИ, ЗСБ, ВРЭ-ВП). Применение технологии ВРЭ-ВП в наземном и скважинно-поверхностном вариантах на поисковом и разведочных этапах обеспечит выявление и картирование малоамплитудных (менее 5 м) разрывных нарушений в дополнение к структурным построениям по данным сейсморазведки. Следует эту технологию использовать для изучения латерального распределения нефтегазоносности, оценки степени минерализованности насыщающих ДД пластовых вод, а также литологии (глинистости, песчанистости).

На разведочном и эксплуатационном этапах при детализации участка или площади с ДД должны использоваться методы: ЗС-ЗИ, ВРЭ-ВП и скважинно-поверхностный (СП) вариант ВРЭ-ВП. На основе имеющихся геологических и электроразведочных материалов составляются базовые (типовые) геоэлектрические двумерные или трехмерные модели с вероятными или уточняемыми, детализируемыми ДД. Следует обязательно привле-



Рис. 6.22. Схема прогнозных контуров разрабатываемой и прогнозной залежей

каль данные физического и математического моделирования для построения как разрезов, так и блок-разрезов с ДД. Временные и глубинные геоэлектрические разрезы позволяют изучать структурный план и динамические характеристики ДД. Использование как спектральных, так и временных характеристик позволяет более точно и уверенно локализовать и проследить положение исследуемого объекта в пространстве.

Анализ геоэлектрических разрезов по результатам ВРЭ-ВП и СП ВРЭ-ВП во временной области в комплексе с данными сейсморазведки и ГИС позволяет привязать аномалии проводимости и вызванной поляризации к определенному интервалу глубин и квалифицировать ДД, в том числе и по типу флюидонасыщенности.

Методика выявления и картирования ДД требует при интерпретации данных электро-разведки на полученных разрезах и картах сопротивлений, проводимости, ВП, параметра расхождения $A_{ij}(\rho)$ и т.п. подмечать и выделять прежде всего:

- резкое изменение формы кривых зондирования;
- зоны, блоки и узко локальные участки аномальных повышенных или пониженных сопротивлений (проводимости), ВП;
- сгущение изолиний электроразведочных параметров на разрезах и картах;
- перепад значений сопротивлений (проводимости), ВП.

Анализ перечисленных особенностей электроразведочных данных необходим при интерпретации полученных результатов и при прогнозировании ДД (и ЗТ).

Электроразведка эффективно определяет ряд геолого-структурных факторов в непосредственно разломной и приразломной частях изучаемых ДД (табл. 6.1).

Таблица 6.1.

Использование методов электроразведки для выявления ДД

Геологические факторы	Возможные проявления в данных электроразведки	Методы электроразведки на этапах ГРП			Источники данных
		Региональный	Поисково-разведочный	Эксплуатационный	
Зона сдвига, вертикальные и горизонтальные подвижки	Перепад значений сопротивления, аномалии проводимости и $A_{ij}(p)$, сгущение изолиний электромагнитных параметров, характерные осцилляции	МТЗ, ГМТЗ, ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП	ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВРЭ	ЗС-ЗИ, ВРЭ-ВП, СП ВРЭ-ВП	[Дунаева и др., 1998; Методические рекомендации..., 1998; Небрат, 1998; Сидоров, 1985]
Зона растяжения и пониженного давления	Увеличение проводимости, характерные осцилляции	МТЗ, ГМТЗ, ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП	ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВРЭ	ЗС-ЗИ, ВРЭ-ВП, СП ВРЭ-ВП	[Дунаева и др., 1998; Методические рекомендации..., 1998; Небрат, 1998; Бердичевский и др., 1996; Сидоров, 1985; Сочельников и др., 1994]
Зона трещиноватости и повышенной проницаемости	Преимущественно увеличение проводимости, аномалии вызванной поляризации	ЗС, МТЗ, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВРЭ	ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВП	ЗС-ЗИ, ВРЭ-ВП, СП ВРЭ	[Методические рекомендации..., 1998; Небрат, 1998; Бердичевский и др., 1996; Сидоров, 1985; Сочельников и др., 1994]
Зона сжатия	Преимущественно уменьшение проводимости	МТЗ, ГМТЗ, ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП	ЗС, ЗС-ЗИ, ЗС-МП, ВРЭ	ЗС-ЗИ, ВРЭ-ВП, СП ВРЭ-ВП	[Сидоров, 1985], данные В.Б. Каплуна

Полевые электроразведочные работы выполняются с использованием аппаратно-методического комплекса (АМК), включающего:

- 1) компьютеризированную генераторную установку (типа модифицированной ЭРС-67 или УГЭ-70) с регистрацией тока на магнитном носителе;
- 2) программно управляемое устройство для создания дискретного свип-сигнала (ДСС);
- 3) автономное устройство, синхронизирующее генераторную установку с измерительным комплексом на основе приемников навигационной спутниковой системы GPS;
- 4) многоканальную регистрирующую систему (типа ЦЭС-М или ЦЭС-МК-16 и ЦЭС-МК-24, последние внедрены ТОО "Геонефтегаз" и фирмой "КРУКО"). Регистрация полезного сигнала возможна в широком диапазоне частот, которые выбираются на основе анализа электрокаротажа по исследуемым скважинам с таким расчетом, чтобы получить информацию как о вызванной поляризации, так и об изменении удельного сопротивления в разрезе.

Обработка полевых данных осуществляется с помощью специально разработанного в Геонефтегазе комплекса программ на персональных компьютерах.

6.3. Методы выявления и картирования нарушений по грави- и магнитометрическим данным

Указанная задача решается несколькими группами методов, имеющих принципиально различные математико-методические обоснования. В связи с недостатком информации о физических свойствах горных пород наиболее применимы в этих целях методы интерпретации, не требующие сведений о плотностях, магнитной восприимчивости и т.п. Таковыми являются методы, основанные на различных линейных и нелинейных преобразованиях и определении местоположения особых точек магнитного и гравитационного аномальных полей. [Бережная и др., 1992; Березкин, 1988; Болдырева и др., 1990; Болдырева, 1997 а, б; Uglov, Chernov, 1998]. Линейные трансформации полей позволяют выявить затухающие, скрытые в наблюдаемом поле аномалии, определять (или уточнять) их положение. С этой целью используются:

- вычисление вертикальных и горизонтальных производных 1-го и 2-го порядков на уровне наблюдения и вышележащих;
- вычисление полного градиента поля;
- вычисление седловидности (или кривизны) поля;
- вычисление азимута “седла”;
- аналитическое продолжение в верхнее и нижнее полупространства;
- вычисление аномалий Саксова-Нигарда;
- вычисление дисперсии поля;
- вычисление преобладающих простираний аномалий [Uglov, Chernov, 1998].

Горизонтальные производные позволяют фиксировать положение разломов, уступов и им подобных форм. Разделительные возможности производных весьма высоки. Важным преимуществом этого метода выявления искомых гравитационных эффектов является то их свойство, что с повышением порядка производной улучшаются условия количественной интерпретации гравитационных аномалий не только из-за повышения разделительных возможностей трансформированных полей, но и из-за уменьшения различий между двух- и трехмерными представлениями полей. Кроме того, с повышением порядка производной уменьшаются эффекты автолокализации и антилокализации [Горбушина, 1997]. Разработаны три варианта методов определения параметров уступов по вычисляемым градиентам силы тяжести. Эти способы обладают преимуществами при картировании зон разломов фундамента, разломно-эрозионных врезов в солях и осадочной толще и т.п.

Трансформация “седловидности” означает расчет вариации кривизны сечения функции поля в точке по различным азимутам, а азимут “седла” – ориентации средней кривизны. Будучи показателями определенной упорядоченности мелких деталей поля, ориентированности его микроструктуры, эти трансформации хорошо проявили себя в некоторых случаях при исследовании рудных полей.

Трансформация Саксова-Нигарда заключается в вычислении величины разности средних значений поля на двух окружностях, отнесенной к разности радиусов этих окружностей. Изначальное определение названной трансформации следующее: вокруг каждого пункта проводится по две окружности назначенного радиуса, для одной и для другой окружности находится среднее значение поля (среднее по дуге окружности) и из этих двух средних образуется разность, которую следует поделить на разность назначенных радиусов.

Методы особых точек позволяют определять положение субвертикальных и субгоризонтальных границ раздела без привлечения какой-либо априорной информации и в своем

большинстве основаны на вычислении функции ПНГ и ее различных преобразованиях [Березкин, 1990; Елисеева, 1995; Филатов, 1993]. Стандартные критерии отображения разрывных нарушений в гравитационном и магнитном полях позволяют прогнозировать только их плановое положение, в то время как методы особых точек обеспечивают определение прослеживаемости в разрезе и степени активности.

Наибольшее применение среди модификаций этого направления нашли методики Трошкова. Недостатком направления является двумерность всех известных модификаций. Единственной трехмерной реализацией метода особых точек является методика “Интропродолжение”, развитое в ВНИИГеофизика. Именно в силу трехмерности в этом случае имеется принципиальная возможность дифференцированного расчленения сложно построенного геологического разреза в плане и по глубине.

Конверсия полей представляет собой пересчет наблюдаемого магнитного поля в псевдогравитационное (или гравитационного – в псевдомагнитное) на основе Пуассоновых связей. Сопоставление наблюдаемого поля и вычисленного конвертированного аналога позволяет выделять гравитационные и магнитные аномалии, обусловленные теми или иными аномалообразующими объектами, выявляя тектонические границы, нарушения и т.п. в ситуациях, когда другие приемы оказываются бессильными [Бережная и др., 1992; Uglov, Chernov, 1998].

Методика Граддис, в основу которой положена идея, что локальная плотностная неоднородность геологического разреза характеризуется разбросом плотностей и проявляется в изменчивости гравитационного поля в разрезе, его повышенной дисперсией на участке локальной неоднородности, использует поле полного нормированного градиента по В.М.Березкину (G_n), которое не содержит региональной составляющей разреза и в котором проявляются особые точки поля, в том числе и связанные с локальными плотностными неоднородностями. Преобразование этого поля в градиент дисперсии обеспечивает усиление и локализацию эффекта от участков наибольшей изменчивости плотности. Такими участками являются области повышенной трещиноватости. Эта изменчивость может быть усилена за счет нефтенасыщенности. Для выбора оптимальных значений параметров счета при выделении локального разуплотнения применяется прием “настройки” на эталонном участке целевого объекта. В качестве комплекса параметров счета используются те значения, при которых отмечается максимум градиента дисперсии G_n на глубине, соответствующей глубине целевого объекта [Болдырева, 1997а, б; Болдырева и др., 1991].

Гравиметрическое моделирование

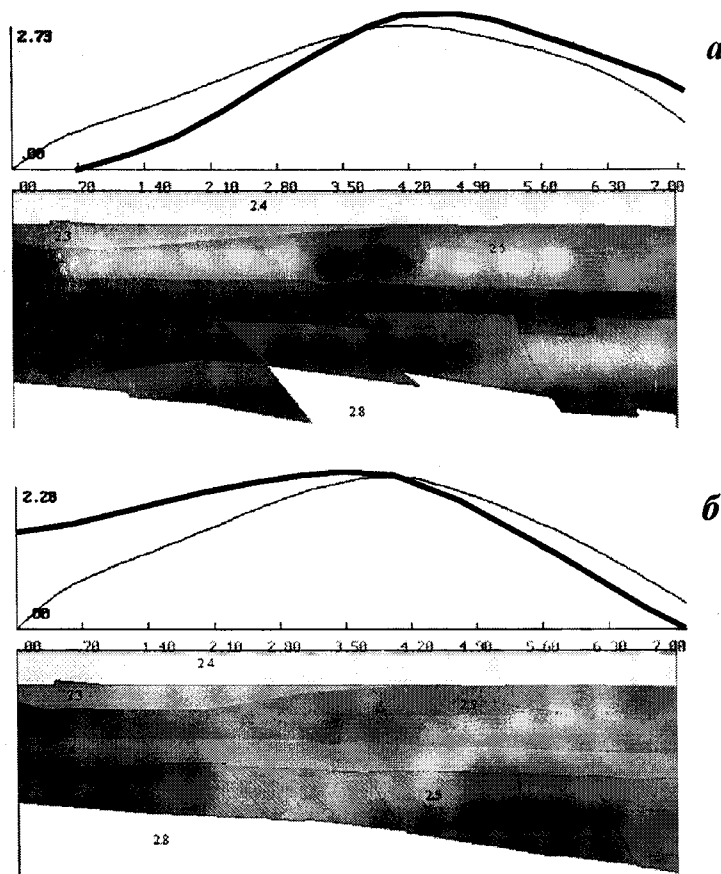
Соответствие полученного глубинного разреза наблюдаемому гравитационному полю не является в силу принципа эквивалентности полной гарантией правильности интерпретации. Грави- и магнитометрическое моделирование является одной из важнейших и широко применяемых процедур, обязательной на завершающем этапе геологической интерпретации, поскольку только результаты моделирования могут показать, соответствуют ли сделанные построения наблюдаемым данным. Построение геолого-геофизической модели, включающей как непосредственно сейсмические данные, так и результаты прогноза и определения особых точек геопотенциальных полей, а также все имеющиеся дополнительные материалы дают наиболее правильную интерпретацию изучаемого разреза [Бережная и др., 1992; Лурье, Чернов, 1982].

Роль, которую играет правильное картирование дизъюнктивных нарушений при изучении геологического разреза и составлении его адекватной модели, показана при моделировании разреза по профилю МОГТ в Удмуртии (пример рассмотрен на рис. 6.7 – 6.22).

Глубинный разрез, построенный исключительно по сейсмическим данным, включает резко дислоцированные (разбитые на блоки, смещенные друг относительно друга) рифейские отложения, залегающие на глубинах 2.8–4.25 км. Их избыточная плотность составляет по сравнению с вышележающей верхнепротерозойской толщей 0.1 г/см^3 , а относительно подстилающих архейско-среднепротерозойских пород – 0.3 г/см^3 .

Как видно на представляющем описанную модель рис. 6.23а, гравитационная аномалия (как наблюдаемая, так и расчетная) имеет форму максимума амплитудой в 2.7 мГал, смещенного в сторону правой части разреза.

Столь незначительная величина гравитационного эффекта объясняется ровным субгоризонтальным залеганием меловых и девонских отложений, имеющих близкие плотностные характеристики, вплоть до верхних кромок блоков вышеописанного рифейского комплекса, разбитых рядом разрывных нарушений, обусловивших смещение блоков друг относительно друга с амплитудами, превышающими 0.5 км. Как видно на рис. 6.23б, границы блоков рифея не проявляются в поле силы тяжести в силу относительно большого превышения глубин залегания верхних кромок блоков над амплитудами их относительного сме-



щения. Тем не менее, в гравитационном поле четко проявляется эффект рифейской толщи в виде смещения упомянутого максимума в правую часть профиля за счет большего опускания блоков пород рифея в левой части. В силу этого проведенное гравиметрическое моделирование показало, что и в этом случае суммарный эффект, обусловленный раздробленностью и взаимным смещением блоков, позволяет составить представление об особенностях залегания изучаемой толщи.

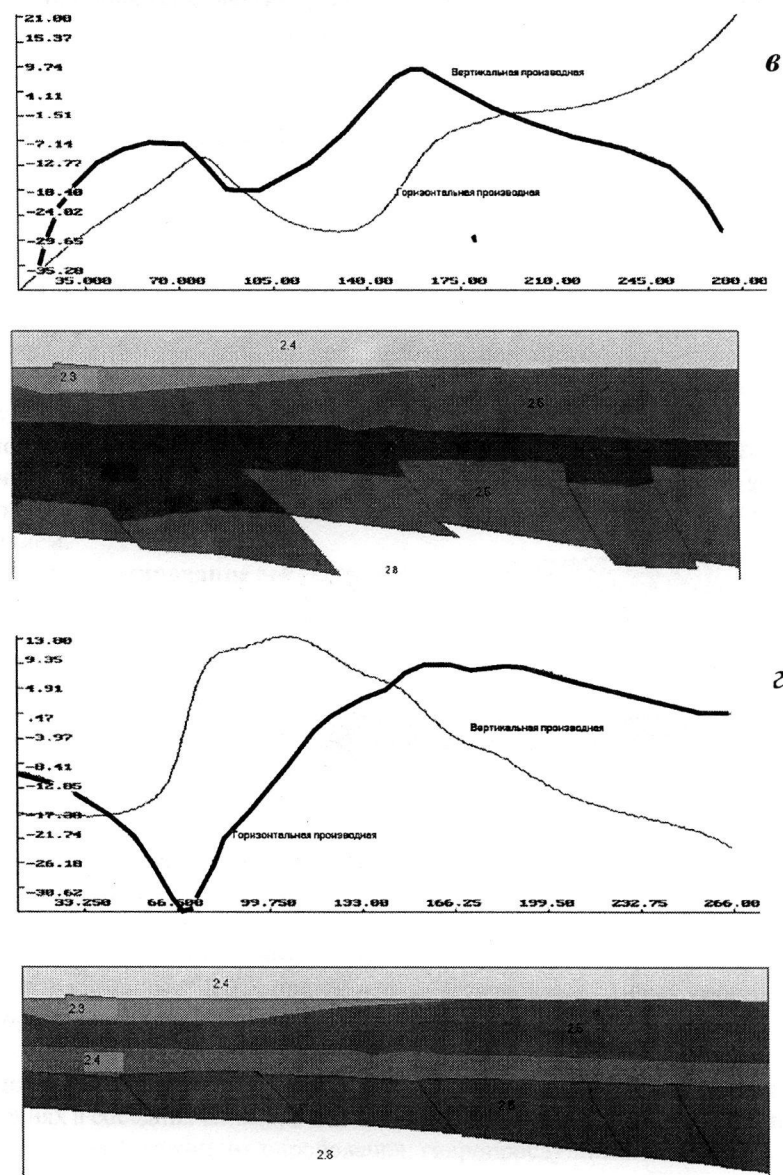


Рис. 6.23. Примеры сейсмоплотностных моделей (а-г) (в отсутствии нарушений). Удмуртия. Плотности даны в г/см³. Расчётная кривая более толстая.

Расчетное поле силы тяжести для модели разреза, лишенной нарушений (блоки соединены в единый пласт, см. рис. 6.23б), мало отличается от исходного по конфигурации и амплитуде (2.3 мГал).

Ввиду этого был произведен расчет горизонтальной и вертикальной производных для того и другого варианта сейсмоплотностной модели. На рис. 6.23 хорошо видны принципиальные отличия графиков производных, а также положение основных контактов для рассматриваемых блоков рифейской толщи, а используя сочетание аномалий обеих производных, определить положение основных нарушений.

ГЛАВА 7. МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ И КАРТИРОВАНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ (ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ)

Дизьюнктивные дислокации (ДД) – важнейшие составляющие в геологическом строении значительного числа типов ловушек УВ, определяющие условия их формирования и распределения в них емкостных свойств. Вследствие этого ДД являются **неотъемлемыми элементами действующих геологических моделей месторождений нефти и газа на всех этапах их поисков, разведки, ввода в эксплуатацию и разработки**. На каждом из этих этапов выполняется подсчет запасов, позволяющий оценить текущее состояние месторождения и оптимизировать его последующую разработку.

При подсчете запасов УВ по разведанным месторождениям главными этапами выявления и картирования ДД являются:

1. Регионально-оценочное обоснование ДД, формирующих морфоструктуру разреза по полученным на предшествующих этапах ГРП независимым данным дистанционных методов, грави- и магнитометрии, электроразведки и сейсморазведки в комплексе с ГИС и бурением.

2. Детальное картирование сейсморазведкой 2D и 3D системы ДД с их ранжированием, определением их типов, амплитуд и пространственной протяженности, устойчивости прослеживания в плане и по вертикали, согласованности с генетической моделью месторождения.

3. Оценка достоверности выявленных ДД, базирующаяся на предварительном изучении геолого-геофизических условий проведения работ, на комплексировании данных сейсморазведки, ГИС, грави- и электроразведки, результатов поискового и разведочного бурения, а также на специальном анализе сопутствующих и мешающих геологических факторов.

4. Построение результативных геологических карт (структурных, структурно-формационных, литофациальных, емкостных) с нанесением на них всех выявленных нарушений (ДД).

5. Оценка экранирующих свойств ДД по их генезису и современному состоянию (“живущие” и “залеченные” ДД) с привлечением независимых данных высокоразрешающей электроразведки для ранжирования ДД на флюидопроводящие и флюидоэкранирующие.

6. Специальный анализ выявленных геофизикой ДД совместно с данными о пластовых давлениях в соседних блоках, о положении в плане ВНК и ГВК, т.е. с привлечением результатов бурения скважин, их опробования, гидропрослушивания и ГИС, а также результатов геофлюидного моделирования резервуара с целью определения характеристик ДД как тектонических экранов, контролирующих залежи УВ и влияющих на подсчетные параметры.

7. Обобщение всех данных с уточнением категорийности (C_1 , C_2) и построением собственно подсчетного плана, на который вынесены ДД, непосредственно влияющие на подсчет запасов на достигнутом уровне изученности месторождения.

Сформулируем основное содержание перечисленных этапов.

I. В соответствии с существующими требованиями (ГКЗ, ЦКЗ) **отчет по подсчету запасов месторождения в обязательном порядке должен содержать результаты предшествующих регионально-оценочных и поисково-разведочных работ**, обосновывающие и обобщающие все имеющиеся представления о геологической модели исследуемого объекта. На этом этапе, как правило, должна быть уже определена роль ДД в формировании ловушки, в экранировании залежей, в распределении УВ в природном резервуаре. На основании этой оценки формулируются задачи и приводится обоснование дополнительных детализационных геолого-геофизических работ, выполняемых с целью уточнения седиментационно-тектонической модели участка и используемых для нового подсчета запасов.

II. На стадии проектирования детализационных работ, на результатах которых базируется подсчет запасов по месторождению, определяется совокупность геофизических методов, объемы работ и применяемые системы наблюдений, а также методика обработки, интерпретации и комплексирования данных.

При направленности этих работ на уточнение системы ДД, формирующих и/или контролирующих ловушку УВ, основное внимание уделяется детализации структурной и структурно-формационной моделей. На этом этапе базовым методом является сейсморазведка 2D, а в последнее время все в большем объеме – 3D. Если тектогенез и, соответственно, совокупность ДД являются значимыми в формировании ловушки УВ, постановка работ сейсморазведкой 3D становится безальтернативной, что обусловлено, прежде всего, двумя причинами: необходимостью объемного изучения сейсмического волнового поля, обусловленного сложным строением системы ДД, и существенными проблемами в прослеживании ДД в пространстве при использовании наблюдений 2D.

При **полевых сейсмических наблюдениях** отрабатываются системы, позволяющие оптимизировать выделение и прослеживание ДД по вертикали и в плане. Одновременно обосновываются каркасные (опорные) профили, по которым выполняют комплексные сейсмические, гравиметрические и электроразведочные (в частности, наземно-скважинные) работы. Полученные в результате работ материалы вводят в базы данных, составляющие основу **постоянно действующей модели месторождения**.

При **обработке данных** используют как стандартные программные средства структурной сейсморазведки, так и специальные способы, нацеленные на более уверенное выявление и трассирование ДД (когерентность, dip-azimut с разноазимутальным подсвечиванием, псевдоскоростные преобразования, мгновенные атрибуты сейсмических записей и т.п.). В большинстве случаев для более надежного выделения ДД **обязательным является построение глубинных разрезов и кубов сейсмических данных с миграцией до суммирования** [Мушин, 199; Extended..., 199]. Как отмечал еще Л.А.Рябинкин, решение о полезности тех или иных компонентов сейсмического волнового поля может быть принято корректно только на глубинном разрезе. Тенденция к замещению суммирования по ОГТ глубинной миграцией исходных сейсмограмм является одной из наиболее очевидных в современной сейсморазведке.

Интерпретация проводится с использованием средств структурно-формационного подхода, позволяющих осуществить комплексный анализ данных сейсморазведки, ГИС, а

также грави- и электроразведки (см. гл.5,6). Особое внимание уделяется изучению поверхностных условий, в значительной мере обуславливающих конечную надежность выявления и картирования ДД.

Основными стадиями интерпретации являются:

1. Предварительный визуальный (сеймостратиграфический, сейсмоформационный) анализ временных и мигрированных (как временных, так и глубинных) сейсмических разрезов с выявлением основных структурообразующих ДД. На этой стадии проводится качественное сопоставление ДД, выделяемых по комплексу сейсмо-, грави- и электроразведки.

2. Детальное структурно-формационное расчленение разреза на сейсмоформационные комплексы (СФК), формации (СФ) и субформации (ССФ) при помощи программных средств СФА.

3. Выделение и ранжирование ДД, отвечающее иерархии осадочных СФК, СФ и ССФ; при выделении ДД используют структурные (кинематические), волновые (динамические) и сейсмоформационные признаки (табл. 7.1).

Таблица 7.1.

Признаки выделения ДД

Виды признаков	Физико-геологические причины	Собственно признаки
Структурные (кинематические)	Нарушение сплошности разреза, смещения блоков по вертикали и латерали, разнонаправленность смещений и др.	Разрывы корреляции горизонтов, наличие смещений горизонтов, изменение углов наклона
Волновые (динамические)	Нарушение сплошности и седиментационной слоистости, нарушение регулярности отражателей, переменная акустическая контрастность в зоне ДД	Резкие изменения амплитуд, снижение когерентности, снижение частоты, регистрация волн иной природы
Сейсмоформационные	Иерархическое строение разреза, вещественный состав, внутренняя структура отложений и ее изменения	Ранговые признаки ДД, контрасты акустических жесткостей, смена типов сеймослоистости и сейсмоцикличности

4. Построение структурно-тектонических карт и схем, важнейшим элементом которых служит система ДД.

5. Использование сейсмической структурно-тектонической основы для моделирования электро- и гравитационных полей, сопоставляемых с соответствующими экспериментальными данными по каркасным профилям и на этой основе уточнение типов и положения ДД.

III. Оценка достоверности выявленной системы ДД – важнейший этап построения подсчетного плана по месторождению. В связи с этим, такая оценка должна быть разносторонней, комплексной. Главные стадии анализа достоверности ДД состоят в следующем.

1. Анализ сейсмогеологических условий проведения работ, включающий построение карт и схем поверхностных условий (геоморфологических) исследуемого участка, схемы качества сейсмического материала (по отношению сигнал/помеха и разрешенности), струк-

турные и структурно-формационные карты и схемы, дающие представления о степени неоднородности толщ отложений, перекрывающих целевой интервал разреза. Снижение надежности выделяемых ДД может быть обусловлено:

- осложнением геоморфологии участка (реки, болота, зоны вечномёрзлых пород, неоднородности ВЧР и т.п.);
- снижением качества сейсмического материала, обусловленным различными, в том числе и геологическими причинами;
- неоднородностями перекрывающей объект толщи разреза, обусловленными пликтивными и инъективными дислокациями, седиментационными телами типа органогенных построек и др.

Обобщение опыта выделения ДД с учетом изложенных выше факторов показывает, например, что нарушения с вертикальными сбрасывателями всегда выделяют с меньшей надежностью, чем с наклонными. Надежность выделяемых ДД может оцениваться по числу пересекаемых ими границ, по их протяженности (рангу). В частности, поэтому надежность выделения ДД крупного ранга, как правило, выше, нежели у ДД более мелких рангов. В некоторых случаях вводят оценки надежности по отношению величин смещений к пространственной длине ДД. Достоверность ДД зависит от отношения сигнал/помеха, реализованного для изучаемого интервала разреза.

Результаты изложенного выше анализа целесообразно документировать в виде схем и карт надежности выявленных и закартированных ДД. При дальнейшей комплексной интерпретации данных эти карты могут быть использованы при построении подсчетного плана месторождения.

2. Основными приемами интерпретации, обеспечивающими повышение надежности выявления и картирования ДД, служат:

- использование плотных систем наблюдений, в особенности данных 3D сейсморазведки, для проверки ДД, выделенных на опорных сечениях (вертикальных и горизонтальных), путем их переноса на соседние с ними сечения; этот прием реализован в настоящее время во всех известных интерпретационных системах (Land Mark, Geo Quest, Seis X, Tigress и др.);
- различного типа палеорекострукции, позволяющие восстановить историю формирования разреза, в том числе и этапов тектогенеза; тем самым проверяется согласованность дизъюнктивной модели объекта с полным "сценарием" его генезиса (пакеты СФА, а также Locase, Tigress 3D Move, GeoSec 2D/3D и др.);
- анализ системы нарушений в плане с оценкой их конфигурации по степени кривизны, по подобию с изолиниями и морфологией нарушенных поверхностей в плане и т.п.;
- комплексирование сейсморазведки с данными бурения и ГИС имеющихся на месторождении скважин для проверки прогнозных амплитуд смещений по мощностям нарушенных пластов и т.п.;
- сопоставление выявленных систем ДД с данными гравиразведки и электроразведки по каркасным профилям.

Как видно из вышеизложенного, решающим критерием достоверности выявленной системы ДД является ее согласованность с общей концепцией геологической модели месторождения. Если эта согласованность не достигается, то неизбежным становится пересмотр либо системы ДД, либо геологической модели, либо того и другого.

IV. При подготовке отчета по подсчету запасов одним из наиболее ответственных является этап картопостроения.

При существенной роли ДД в распределении емкостных свойств коллектора и в формировании залежей реализация этого этапа имеет определенные особенности при построении всех типов моделей месторождения (см.гл.1)

Структурные модели. Основная специфика состоит в согласованном построении структурных карт по исследуемым горизонтам по геофизическим данным (сейсморазведки, грави- и электроразведки) и данным бурения с учетом выявленных ДД, как правило, не вскрытых скважинами; таким образом, всегда применяемое на практике “натягивание” геофизических (прежде всего, сейсмических) структурных карт на скважинный каркас должно учитывать как пликативные, так и дизъюнктивные особенности морфологии горизонтов в межскважинном пространстве; возможности такого картопостроения имеются в настоящее время во всех развитых интерпретационных системах (Land Mark, Integral Plus, Seis X, Geo Quest, Tigress и др.).

Структурно-формационные модели. Главная особенность в построении сейсмоформационных карт и схем заключается в обязательном соответствии отображаемого на них районирования картируемых пачек отложений по типам их внутренней структуры, по типам слоистости и цикличности с расположением в пространстве и типами (кинематическими) ДД, в том числе, с учетом их пост- и конседиментационного генезиса.

Литофациальные модели. Построение литофациальных схем и карт также должно быть согласованным с пространственным положением ранжированной совокупности ДД; учет постседиментационного уплотнения, существенно отличающегося для различных литофаций, позволяет:

- выполнить построение сингенетических литофациальных разрезов, мощностные характеристики которых можно использовать для уточнения амплитуд смещений при последующем тектогенезе;

- идентифицировать определенные совокупности ДД как внутриформационные нарушения, обусловленные неоднородностью постседиментационного уплотнения разреза.

Емкостные модели. Наиболее важной фазой их построения является ранжирование ДД по флюидопроводящим и флюидоэкранирующим свойствам; при этом в обязательном порядке используют построенные на предыдущем этапе структурные и структурно-формационные карты и схемы, в частности, традиционным является заключение об экранирующих свойствах ДД на основании сопоставления мощности продуктивной толщи и амплитуды смещения по сбрасывателю ДД. Однако для **тонкослоистых коллекторов, распространенность которых весьма высока, экранирующим может оказаться и ДД с существенно меньшей амплитудой смещения**, поэтому имеющиеся данные о типе слоистости коллектора (структурно-формационная модель) могут быть использованы и при оценке экранирующих свойств малоамплитудных ДД.

Корреляция сейсмических горизонтов и каротажных реперов при структурных построениях является важнейшим этапом, по результатам которого определяют геометрию подсчетных объектов – залежей УВ.

Под корреляцией разрезов понимают последовательное выделение и прослеживание по разрезу и в пространстве:

- дизъюнктивных дислокаций различного ранга и масштаба, охватывающих весь разрез или отдельные его части;

- поверхностей несогласий, разрывов, стратиграфических срезаний, соответствующих границам осадочных комплексов или/и их подразделений (в соответствии с принципами сейсмостратиграфии);

- поверхностей (кровли и подошвы) осадочных толщ, пачек и слоев, в том числе **продуктивных**, отвечающих разновозрастным границам напластований, сформированным в процессе седиментации и последующей консолидации отложений каждого из осадочных комплексов.

Прослеживание по разрезу и в пространстве перечисленных геологических поверхностей, как правило, должно проводиться **в указанном выше порядке**, обеспечивающем более надежную корреляцию и определение морфологии осадочных комплексов и их внутренних напластований **после палеотектонических реконструкций**, компенсирующих дизъюнктивный и пликтивный постседиментационный тектогенез, а также более надежную корреляцию продуктивных горизонтов и определение их палеорельефа **после палеогеоморфологических реконструкций** по границам осадочных комплексов (несогласий, размывов).

Наиболее надежное и эффективное выделение и прослеживание **всех перечисленных выше видов поверхностей** реализуется в сейсморазведке – главном методе корреляции геологических разрезов. При этом различают **два основных вида корреляции**:

1) *сейсмогеологическую* (сейсмо и секвентстратиграфическую, структурно-формационную, сейсмофациальную);

2) *собственно сейсмическую* (фазовую, групповую, условную и др.).

Эти виды корреляции отвечают двум видам интерпретации сейсмических данных – **геологической и геофизической**.

Дизъюнктивные дислокации (ДД) выделяют и трассируют по сейсмическим данным на основании признаков, рассмотренных выше.

Выделение и прослеживание ДД по вертикальным сечениям разреза (по профилям) выполняют в соответствии с указанными признаками по данным 2D и 3D сейсморазведки. Построение **полной системы ДД и ее картирование возможны только по материалам 3D сейсморазведки**, т.к. сейсморазведка 2D не обеспечивает надежной корреляции ДД в межпрофильном пространстве.

Трассирование выявленных ДД в пространстве часто остается сложной проблемой и при объемных 3D наблюдениях. В связи с этим используют методический прием итеративных структурных построений:

- по каждому из горизонтов на первом этапе выполняют построения структурных карт в пликтивном варианте (в предположении, что горизонты не имеют разрывов);

- на построенных картах выделяют зоны повышенных градиентов резкой смены глубин залегания горизонтов (часто для большей контрастности градиентных зон для этой цели используют дополнительные преобразования карты первых производных, карты среднеквадратических отклонений от сглаженной структурной основы и т.п.);

- в выделенных градиентных зонах проводят дополнительный детальный анализ по вертикальным сейсмическим разрезам (и горизонтальным сечениям в случае 3D) с выделением ДД, оценкой направлений и амплитуд смещений горизонтов по ним;

- выполняют построение карт в дизъюнктивном варианте с использованием интерпретационных систем, обеспечивающих реализацию метода схождения с учетом нарушений (Land Mark, Seis X, Tigress и др.).

Основными сейсмогеологическими признаками обнаружения стратиграфических несогласий, срезов, размывов, перерывов седиментации (в соответствии с сеймостратиграфией – границ седиментационных комплексов или их подразделений) являются:

- прямое визуальное выявление несогласий по точкам прекращения прослеживания, типам выклинивания, налегания, примыкания к ним осадочных слоев, пачек, горизонтов;
- резкая смена на границах размывов (перерывов) типов напластований, направленно-сти седиментации, слоистости, цикличности (ре-, про-), проявляющаяся, например, при спектрально-временном анализе (СВАН) и при реализации метода перспективного соответствия;
- устойчивость границ несогласий и резких перерывов седиментации к изменению интенсивности флюидопотоков;
- фиксация на размывах (несогласиях) окончаний внутриформационных дизъюнктивных нарушений частного ранга.

При сейсмофациальном анализе выявляют качественные (сейсмостратиграфия) и количественные (структурно-формационная интерпретация) признаки фациальной изменчивости по латерали, вертикали и в пространстве:

- по типам слоистости (от непрерывной до стохастической) и рисунку сейсмической записи;
- по динамической выраженности (амплитуды, частоты, фазы) сейсмической записи;
- по скоростным и жесткостным характеристикам анализируемых интервалов разреза;
- по типам некоторых сейсмических отображений разреза, например, по СВАН-фациям.

Традиционным видом собственно сейсмической корреляции является **фазовая корреляция**. В наиболее простом и удобном для практики виде правила фазовой корреляции сводятся к следующему.

Правило 1. При корреляции прежде всего выбирают фазы (или их особенности – экстремумы, переходы через нуль и др.) сейсмических колебаний, наименее подверженные помехам разного рода, наилучшим образом прослеживающиеся в силу хорошей динамической выраженности и устойчивости по площади.

Правило 2. Если это не противоречит правилу 1, выбирают фазы, наиболее приближенные к первым вступлениям в интервале колебаний, т.к. при этом прокоррелированный сейсмический горизонт имеет больше шансов оказаться вблизи соответствующей геологической границы.

Правило 3. Если это не противоречит правилам 1 и 2, выбирают фазы, максимально приближенные к кровлям и подошвам продуктивных пластов, установленных бурением и ГИС.

Указанный порядок выполнения перечисленных правил обязателен.

Многолетний опыт такой корреляции на временных и мигрированных сейсмических разрезах по множеству регионов показывает, что в силу **всегда интерференционного характера сейсмозаписей** практически редко удастся проследить сейсмические горизонты, **в точности** отвечающие отбивкам реперных и продуктивных пластов по скважинам и ГИС.

Вследствие этого, важнейшей задачей является геологическая идентификация прокоррелированных горизонтов, решаемая путем увязки данных сейсморазведки и ГИС. Увязка выполняется с использованием расчета синтетических сейсмограмм по данным ГИС, совместного спектрально-временного анализа (СВАН) сейсмических трасс и промысловых кривых, оценки вклада акустических границ разреза в сейсмическое волновое поле (процедура ВКЛАД) и т.п.

На основании увязки сейсморазведки и ГИС принимается решение о том, какие сейсмические горизонты и/или их сочетания будут использованы для построения целевых геологических границ. Совмещение (“гармонизация”) сейсмических горизонтов с отметками

геологических границ по скважинам осуществляется обычно **методом схождения**, технологически обеспеченным во всех известных интерпретационных системах в пликативном и дизъюнктивном вариантах. При его применении также есть **свои правила**, главное из которых заключается в том, что метод применим только в интервалах разреза с непрерывной седиментацией, т.е. без очевидных перерывов, несогласий и т.п.

Проверка этого возможна при использовании некоторых специальных средств, в частности СВАН как сейсмических трасс, так и кривых ГИС, способа перспективного соответствия и др.

Трассирование выявленных ДД в пространстве часто остается сложной проблемой не только при 2D, но и при объемных 3D наблюдениях. В связи с этим получил распространение следующий методический прием итеративных структурных построений:

- по каждому из горизонтов на первом этапе выполняют построения структурных карт в пликативном варианте (в предположении, что горизонты не имеют разрывов);
- на построенных картах выделяют зоны повышенных градиентов – резкой смены глубин залегания горизонтов (часто для большей контрастности градиентных зон для этой цели используют дополнительные преобразования – карты первых производных, карты среднеквадратических отклонений от сглаженной структурной основы и т.п.);
- в выделенных градиентных зонах проводят дополнительный детальный анализ по вертикальным сейсмическим разрезам (и горизонтальным сечениям в случае 3D) с выделением ДД, оценкой направлений и амплитуд смещений горизонтов по ним; в настоящее время на смену современным схемам, где кубы данных преимущественно анализируют как последовательности вертикальных или горизонтальных двумерных сечений, приходят новые средства объемных (трехмерных) методов анализа (DV, GeoTracker, VoxelGeo);
- выполняют построение карт в дизъюнктивном варианте с использованием интерпретационных систем, обеспечивающих реализацию метода схождения с учетом нарушений (Land Mark, Seis X, Tigress и др.).

Традиционно проводившаяся корреляция каротажных реперов по скважинам имеет, как правило, существенно более слабое обоснование, чем в сейсморазведке. Это связано, прежде всего, со значительными расстояниями между коррелируемыми скважинами, составляющими обычно многие сотни метров и километры. Это обстоятельство в условиях относительно быстрого изменения разреза по латерали (карбонатные разрезы, терригенные клиноформы и т.п.) практически всегда обуславливает ошибки корреляции, приводящие к построению моделей, неадекватных реальным геологическим разрезам.

Главные рекомендуемые средства усовершенствования межскважинной корреляции следующие:

- выполнение корреляции ГИС на сейсмической структурной основе, предварительно построенной по корреляционному профилю скважин;
- применение специальных методик, позволяющих контролировать правильность корреляции собственно каротажных реперов, в частности, одной из таких методик является упомянутый ранее (см. гл. 6) способ перспективного соответствия.

V. Важнейшей задачей изучения ДД является их разделение на экранирующие и проводящие. Существующие приемы такого ранжирования по данным сейсморазведки основываются, главным образом, на выявлении “живущих” (как правило, проводящих) и “залеченных” (как правило, экранирующих) ДД. Кроме того, для той же цели используют динамические параметры сейсмических записей – амплитуды, частоты, оценки акустической жесткости и т.п. Задача существенно упрощается в тех

редких случаях, когда на результативных сейсмических разрезах непосредственно могут быть выявлены ВНК и ГВК.

Следует особо отметить, что **решения об экранирующих свойствах ДД, основанные только лишь на соотношениях амплитуд нарушений с мощностями пересекаемых ими продуктивных толщ, часто оказываются некорректными.** Как показано в ряде работ, тонкослоистое строение продуктивных горизонтов часто обуславливает экранирующую способность ДД даже весьма малой амплитуды (существенно меньшей мощности продуктивной толщи), измерение которой по данным сейсморазведки проблематично.

При определенных условиях флюидопроводящие или флюидозкранирующие свойства выявленных разрывных нарушений удастся оценить по данным высокоразрешающей электроразведки (ВРЭ):

- по изменению планового положения контуров залежи по разным сторонам ДД, контролируемых аномалиями ВП и сопротивлений, при одновременном изменении уровня ВНК, оцениваемого по ближайшим к внешним краям аномалий изогипсам сейсмических структурных карт;

- по изменению глубины залегания аномалий повышенного сопротивления на разрезах ВРЭ, связанных с залежами по разные стороны ДД; при этом необходимо совмещение разрезов ВРЭ с глубинными или временными разрезами ОГТ, разрезами акустических жесткостей или прогнозными разрезами пористости, фиксирующими соответствующие вертикальные смещения пластов-коллекторов.

Тем не менее, окончательная оценка флюидопроводимости ДД может быть сделана только в комплексе с результатами ГИС, опробования скважин и их пробной эксплуатации.

VI. Как видно из вышеизложенного, выявление, картирование и ранжирование ДД – это итерационный процесс, охватывающий все стадии построения геологических моделей от структурных до геофлюидных (фильтрационных). На каждой из стадий могут осуществляться: отбраковка отдельных ДД, уточнение их положения в разрезе и в плане, систематизация по рангам и масштабам, оценка их флюидопроводящих и экранирующих свойств и т.п.

Наиболее важными стадиями такого уточнения являются:

- стадия учета вновь поступающих данных бурения, опробования скважин и ГИС, из которых главной информацией является положение ВНК и ГВК в разных блоках, разделяемых ДД, “гидропрослушивание” соседних скважин, обеспечивающее проверку их изолированности, определение пластовых давлений в скважинах по разные стороны от ДД и т.п.;

- стадия геофлюидного моделирования природного резервуара, позволяющего в динамическом режиме рассчитать фильтрационные процессы в зоне исследуемого объекта с учетом его седиментационно-тектонических особенностей и на основе сопоставления модельных результатов с данными бурения, опробования и пробной эксплуатации скважин получить оценку достоверности геологической модели месторождения.

VII. Основные результаты исследований ДД представляются в отчете по подсчету запасов разведанного месторождения в виде:

- ранжированной системы всех выявленных ДД, согласованной со структурными, структурно-формационными и литофациальными моделями месторождения, представленными картами, схемами и блок-диаграммами;

- карты и схемы надежности выявления и трассирования ДД;
- схемы ранжирования ДД по флюидопроводимости и экранирующим свойствам;
- подсчетных планов по продуктивным толщам с нанесенными на них ДД, непосредственно влияющими на подсчетные параметры;
- уточненного районирования участка по категориям С1 и С2 с использованием данных об экранировании отдельных блоков месторождения выявленной системой ДД.

Все перечисленные результаты включаются в постоянно действующие геологические модели месторождений УВ, главная особенность которых состоит в том, что их параметры постоянно уточняются по мере разведки, доразведки, ввода в эксплуатацию и мониторинга месторождений. В равной мере уточнению подлежат и системы ДД, являющиеся неотъемлемыми компонентами этих моделей.

ЛИТЕРАТУРА

- Антонов Ю.В., Слюсарев С.В. Возможные причины региональных изменений вертикального градиента силы тяжести над горными сооружениями Памира и Тянь-Шаня. Тезисы международного семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». М.: МГРИ, 1993. 157 с.
- Арчегоев В.Б. Блочные структурные формы земной коры и нефтегазоносность. В сб.: Общая и региональная геология, геология моря и океанов, геологическое картирование. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1995. 52 с.
- Бердичевский М.Н., Борисова В.П., Голубцова Н.С. и др. Опыт интерпретации магнитотеллурических зондирований в горах Малого Кавказа // Физика Земли. 1996. № 4. С. 99-117.
- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Куликов В.А. О нормализации МТ поля флюидонасыщенными разломами// Физика Земли. 1993. N 11. С.11.
- Бердичевский М.Н., Куликов В.А. Чувствительность глубинного магнитотеллурического зондирования в присутствии флюидонасыщенных разломов// Физика Земли. 1994. N 6. С.39-49.
- Бережная Л.Т., Телепин М.А., Чернов А.А. Руководство геофизика. Обработка данных гравиразведки и магниторазведки на ПЭВМ. М.: Изд.НПГП «Нефтегеофизика», 1992. 132 с.
- Березкин В.М. Метод полного нормированного градиента при геофизической разведке. М.: Недра, 1988. 188 с.
- Болдырева В.А. Выявление локальных особенностей геологического разреза – потенциальных ловушек УВ по гравимагнитным данным // Тезисы Международной Геофизической конференции “Москва-97”. М.: ЕАГО, 1997а. С.51-53.
- Болдырева В.А. Выявление локальных особенностей разреза, перспективных в отношении ловушек УВ, по грави- и магнитометрическим данным // Тезисы доклада на научной конференции “Геологическое строение, нефтегазовый потенциал и возможности его реализации. Методика ГРП по зонам, перспективным на нефть и газ”. Ханты-Мансийск, 1997б. С. 28-30.
- Болдырева В.А., Кантер Н.Д., Чернов А.А. Обработка гравиметрических данных при решении задач нефтяной геологии. М.: ИГиРГИ, 1990. 188 с.
- Болдырева В.А., Кантер Н.Д., Чернов А.А. Определение контура аномального тела с применением детерминированно-корреляционной методики // Прикладная геофизика. Вып.124. 1991. С.35-41.
- Ваньян Л.Л. Флюиды верхней части консолидированной коры в свете данных геоэлектрики // Физика Земли. 1994. N 6. с.89-96.
- Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997. 219 с.
- Веселов К.Е. Гравиметрическая съемка. М.: Недра, 1986. 137 с.
- Витвицкий О.В., Волгина А.И. Моделирование гравитационного поля над участками активного изменения газонасыщенности пород. // Тезисы международного семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». М.: МГРИ, 1993. С. 53.

- Геология и нефтеносность Удмуртской АССР. Под ред. Л.В.Шаронова. Ижевск: «Удмуртия», 1976. 127 с.
- Геологические тела. Терминологический справочник. М.: Недра, 1986. 344 с.
- Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.
- Горбушина О.Л. Гравиразведка в комплексе геолого-геофизического структурного картирования // Автореф. дисс. докт. геол.-мин. наук. Пермь: Пермский ГУ, 1997. 83 с.
- Губатенко В.П., Бердичевский М.Н., Светов Б.С. Магнитотеллурическое зондирование вертикально-трещиноватых сред // Физика Земли. 1992. N 11. С.3-16.
- Дорофеева Т.В., Лебедев Б.А., Петрова Г.В. Особенности формирования коллекторских свойств баженовской свиты Салымского месторождения // Геология нефти и газа. 1979. № 9. С. 20-23.
- Елисеева И.С. Методические рекомендации по интерпретации гравиметрических и магнитометрических данных методом квазиособых точек М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1995. 49 с.
- Забродин В.Ю. Системный анализ дизъюнктивов. М.: Наука, 1981. С. 199.
- Дунаева Л.П., Корольков Ю.С., Овчаренко А.В., Сафонов А.С., Страхаль М.В. Использование комплекса геофизических методов в создании физико-геолого-генетической модели углеводородных месторождений. Разведочная геофизика. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1998. 78 с.
- Касьянова Н.А. Современная геодинамика и нефтегазоносность Кавказско-Скифского района. Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1995. 53 с.
- Комаров В.А. Геоэлектрохимия. С-Пб.: Изд. С-Петербургского университета, 1994. 136 с.
- Корягин В.В. Моделирование сейсмических эффектов // Геофизика. 1999. N 2. С.14-18.
- Косыгин Ю.А. Тектоника. М.: Недра, 1983. 535 с.
- Кузин А.М. О некоторых особенностях интерпретации волновых полей в зонах разрывных нарушений (продольные волны) // Геофизика, 2001, в печати.
- Кулагов А.В., Мушин И.А., Павлова Т.Ю. Моделирование геологических процессов при интерпретации геофизических данных. М.: Недра, 1994. 250 с.
- Лурье А.Г., Чернов А.А. Комплексная интерпретация геофизических данных на основе построения согласованной модели // Разведочная геофизика. Вып.102. М.: Недра, 1982. С.27-42.
- Методические рекомендации по обнаружению и картированию зон латеральной и вертикальной миграции УВ комплексом геофизических методов. М.: ВНИИГеофизика, 1997. 7 с.
- Методические рекомендации по прогнозированию (прямым поискам) залежей нефти и газа геофизическими и геохимическими методами. М.: ВНИИГеофизика, ВНИИГеоинформсистем, 1988. 475 с.
- Методы моделирования в структурной геологии. Под ред. Белоусова В.В. М.: Недра, 1988. 223 с.
- Мушин И.А., Бродов Л.Ю., Козлов Е.А., Хатьянов Ф.И. Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. М.: Недра, 1990. 299 с.
- Мушин И.А. Нефтегазовая сейсморазведка и сейсморазведчики в начале 21 века. // Геофизика. 1999. N6. С.27-32.
- Небрат А.Г., Сочельников В.В. Электроразведка методом становления поля для поляризующихся сред // Геофизика. 1998. N 6. С. 27- 30.

- Орлов В.Н., Шилина И.Д. Нетрадиционные петрофизические модели пород коллекторов по электропроводности // Геофизика. 1998. N5. С. 29-43.
- Рабинович Б.И., Финогенов В.В., Форганг С.В. Многокомпонентные зондирования в разрезах с горизонтальными неоднородностями. В сб.: Результаты применения зондирований становлением поля в районах Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГ-ГиМС, 1987. С.12-26.
- Разломообразование в литосфере. Новосибирск: Наука, 1991, 1992, 1994. 211 с.
- Сафонов А.С., Дунаева Л.П., Корольков Ю.С., Семяшкин А.Г., Страхаль М.В. Физико-геолого-генетическая модель – основа прогноза высокоперспективных зон нефтегазоносности // Прикладная геофизика. Вып.131. М.: Недра, 1994. С.385-392.
- Сафонов А.С. Высокоразрешающая электроразведка (аномальные явления, регистрируемые переходными характеристиками электромагнитного поля). М.: Наука, 1995. 63 с.
- Сейсмическая стратиграфия. М.: Мир, 1983. 846 с.
- Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. М.: Недра, 1985. 192 с.
- Сочельников В.В., Небрат А.Г., Попович С.В., Кондюрин А.В. Теория и практические возможности метода ЗСБ-ИВП при поисках нефти и газа // Физика Земли. 1994. N 6. С. 56-60.
- Тарасенко Г.В. Новые данные о модели земной коры и нефтеобразования юга Прикаспия. Недра Поволжья и Прикаспия. Вып.15. 1998. С.69-72.
- Филатов В.Г. Интропродолжение гравитационных и магнитных полей на основе полного градиента и принципа концентрации масс-источников для дифференцированного расчленения геологического разреза при поисках нефти и газа. Тезисы международного семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». М.: МГРИ, 1993. 59 с.
- Хаин В.Е., Соколов Б.А. Роль флюидодинамики в развитии нефтегазоносных бассейнов. В сб.: История нефти в осадочных бассейнах. М.: АО «Интерпринт», 1994. С. 133-146.
- Цибулин Л.Г., Агафонов Ю.К. Результаты геофизических работ в Тюмени и перспективы их развития. В сб.: Геофизические методы поисков и подготовки нефтегазоперспективных структур к глубокому бурению. М.: Недра, 1978. С.82-91.
- Allmendinger R.W. Invers and forward numerical modeling of trishear fault- propagation folds // Tectonics. 1998. Vol. 17. No.4. P. 640-656.
- Cundall P.A. A microcompputer program for modeling large-sxtrain plasticity problem // Numerical methods in GeoMechanics. Balkema, Rotterdam, 1988. P.2101–2108.
- Extended Abstracts book // EAGE 61st Conference and Technical Exhibition. Helsinki, Finland, 1999. Vol. 1,2. 80 p.
- Kozlov E.A. Effective model of fractured rocks and its adjustment to observed data // EAGE, 60th Conference and Technical Exhibition, Expanded Abstracts, Leipzig, 1998. 68 p.
- Kozlov E.A., Garagash I.A., Makarov V.M., Petrov A.I. Seismic-based geomechanical modeling // 61th Conference and Technical Exhibition, Expanded Abstracts, Helsinki, 1999. P.530.
- Quantitative dynamic stratigraphy. Ed. T. A. Cross. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1990. 120 p.
- Uglov B.D., Chernov A.A. Interpretation of data sea geophysics with the use of the specialized computer technology. // Extended abstracts book. 60th EAGE Conference and Technical Exhibition. Leipzig, Germany. 1998. 38 p.
-

Научное издание

**ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ
ДИЗЬЮНКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЙ МЕТОДАМИ
РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ**

И.А. Мушин, Ю.С. Корольков, А.А. Чернов

«Научный мир»

119890, Москва, Знаменка, 11/11

Тел./факс (007) (095) 291-28-47.

E-mail: naumir@ben.irex.ru. Internet: http://195.178.196.201/N_M/n_m.htm

ЛР № 03221 от 10.11.2000.

Подписано к печати 17.10.2001.

Формат 70×100/16

Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 9.75

Тираж 500 экз. Заказ 187

Издание отпечатано в типографии

ООО «Галлея-Принт»

Москва, 5-я Кабельная, 26