

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ им. С. И. СУББОТИНА

На правах рукописи

Аронский Анатолий Александрович

УДК 550.331/477/

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КОНСОЛИДИРОВАННОЙ
КОРЫ ПО ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИМ И СЕЙСМИЧЕСКИМ (МОВ) ДАННЫМ
(на примере Украинского щита)

04.00.22 - Геофизика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Киев - 1993

330.3



00357767 (Z)

Робота виконана в Інституті
ім. С.И.Субботіна АН України

Научні керівники

член-кореспондент АН України
доктор геолого-мінералогічних наук
В.В.СОЛЛОГУБ
доктор геолого-мінералогічних наук
О.Б.ГІНТОВ

Офіційні опоненти:

член-кореспондент АН України
доктор геолого-мінералогічних наук
професор К.Ф.ТІШКІН
кандидат геолого-мінералогічних наук
Г.М.ДРОГІЦКАЯ

Ведущая організація:

Государственное геологическое
предприятие "Севукргеология"

Защита состоится "10" июня 1993 г. в 14 ч. 30 мин.
на заседании специализированного совета Д 016.02.01
при Институте геофизики им. С.И.Субботина
АН Украины по адресу:

252680, г.Киев-142, пр.Павладина, 32

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Института геофизики им. С.И.Субботина АН Украины

Автореферат разослан "07" мая 1993 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью учреждения, просим высылать ученому секретарю

Ученый секретарь
специализированного совета

Гейко В.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Интерпретация данных сейсмического метода отраженных волн (МОВ) по сложнопостроенным средам, в частности, консолидированной коре, в настоящее время представляет открытую проблему. С одной стороны, для штрихового характера волновых полей МОВ неприменим традиционный структурный подход, ориентированный на модели осадочных толщ. При сложном, хаотическом расположении большинства непротяженных отражающих элементов проблематично оконтуривание геологических тел по цепочкам взаимоувязанных отражений. С другой стороны, неясной остается природа отражающих объектов в консолидированной коре. Стоит вопрос о разработке новых методических приемов, которые позволили бы расшифровать информацию, заключенную в данных МОВ по сложнопостроенным средам; представляется актуальным при этом использовать геодинамический подход, применяемый на строгой количественной основе. Количественная сторона может быть обеспечена путем привлечения для интерпретации МОВ данных полевого тектонофизического изучения территории, где эти данные выступают в качестве опорных - по ним выявляют закономерности структурирования среды, прослеженные по данным МОВ на глубину.

Основной целью работы является разработка технологии тектонофизической интерпретации данных МОВ для модели консолидированной коры.

Основные задачи исследований:

1. Установление характера взаимосвязи между полевыми тектонофизическими и сейсмическими (МОВ) данными, и разработка формальных критериев сопоставления данных обоих методов на основе сравнительного анализа их точности и разрешающей способности.
2. Выработка приемов использования тектонофизической информации для интерпретации данных МОВ с последующей алгоритмизацией и программной реализацией этапов тектонофизической интерпретации данных МОВ.
3. Проведение полевого тектонофизического изучения разломов с целью использования тектонофизических данных при интерпретации результатов МОВ.
4. Апробация разработанной технологии путем проведения тектонофизической интерпретации данных МОВ по сложнопостроенным средам (на примере верхней коры Новоукраинского участка Украинского щита (УЩ)).

Защищаемые положения.

1. Характер взаимосвязи между деформационными структурами и

полями отраженных волн в консолидированной коре делает принципиально возможным комплексование тектонофизических и сейсмических (МОВ) данных и позволяет изучать внутреннюю структуру разломов, начиная с рангового уровня эшелонированных сколов.

2. Статистический анализ пространственных характеристик отражающих объектов, отождествленных с разрывными нарушениями, с учетом унаследованности разломообразования и регулярности полей тектонических напряжений, позволяет выявить в земной коре реологически ослабленные зоны и субгоризонтальные зоны скалывания.

3. Дифференциальный анализ элементов залегания отражающих объектов, связанных с разломами, позволяет распространить закономерности разломообразования от приповерхностных областей на глубину.

4. Сеймотектонофизическая модель верхней коры Новоукраинского участка УЩ характеризуется преобладанием крутопадающих, и присутствием наклонных и субгоризонтальных разрывных структур:

Научная новизна

1. Разработаны критерии формального сопряжения тектонофизических и сейсмических данных, учитывающие различную разрешающую способность методов и иерархичность строения изучаемых объектов.

2. С учетом трехмерности структур, разработана технология тектонофизической интерпретации данных МОВ для древних сложностроенных геологических объектов.

3. На основании тектонофизических закономерностей строения деформационных структур, и с учетом особенностей формирования полей отраженных волн в консолидированной коре, усовершенствована концептуальная обобщенная сеймотектонофизическая модель разломной сети верхней коры. Концептуальность модели состоит в следующих ее положениях:

- сейсмически контрастные прямолинейные отражающие объекты, вероятнее всего, связаны с разрывными структурами;
- элементы залегания и кинематический тип разрывных структур первого порядка (зон скалывания, разломных зон) сохраняется на глубину как минимум в несколько километров.

4. Для района в центральной части Украинского щита (ЦЩУ) (Новоукраинский участок) с использованием материалов площадных исследований МОВ (руководитель работ В.И. Шаров) построена объемная сеймотектонофизическая модель верхней коры. Структура модели соответствует наиболее вероятному объемному расположению дизъюнктивных объектов, отвечающему тектонофизическим и сейсмическим данным.

Практическая ценность и реализация работы. Разработанная геологическая тектонофизическая интерпретация сейсмических данных МОВ позволяет восстанавливать объемную структуру разломной сети, а также прослеживать в объеме тектонофизические характеристики процесса деформирования среды в древних сложнопостроенных толщах. Методика применима к консолидированной коре древних щитов. К практическим результатам работы можно отнести также данные о структуре и тектонофизических характеристиках разломов в ЦЧУЩ, полученные автором в ходе полевых исследований совместно с сотрудниками Отдела палеогеодинамики Института геофизики им.С.И. Субботина АН Украины. Основным практическим результатом, представляющим интерес для развития представлений о строении земной коры Украины, является полученная в последней главе работы сейсмотектонофизическая модель верхней коры Новоукраинского участка УЩ. Данная модель представляет интерес с позиций поиска месторождений полезных ископаемых, т.к. она предлагает наиболее вероятную схему структуры разломной сети, в то время как разломы в ЦЧУЩ выступают как рудоконтролирующие и рудовмещающие геологические объекты.

Настоящая работа выполнена в рамках бюджетной плановой научно-исследовательской темы "Динамика земной коры Украины по данным изучения характера хрупко-пластических деформаций горных массивов и реологии литосферы тектонофизическими методами" (номер государственной регистрации UA 01001291P), а также четырех хозяйственных НИР, выполненных в отделе палеогеодинамики института геофизики в 1988-1992гг.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на Всесоюзном совещании "Глубинное строение и геодинамика кристаллических щитов Европейской части СССР" (г.Апатиты, 1989г.); на Всесоюзной школе-семинаре "Геолого-геофизические исследования в сейсмоопасных зонах СССР" (г.Фрунзе, 1989 г.); на Всесоюзном симпозиуме "Изучение геодинамических процессов для решения народнохозяйственных задач" (г.Баку, 1990 г.); на III Всесоюзной школе "Структурный анализ кристаллических комплексов и геологическое картирование" (г.Киев, 1990 г.); на Всесоюзном совещании "Размещение и образование в литосфере: тектонофизические аспекты" (г.Иркутск, 1991 г.); на международном совещании "Мантийный тектоногенез" (г. Киев, 1992 г.). Материалы работы были также использованы при написании отчета "Тектонофизическая модель литосферы и динамика коры в докембрии в связи с выработкой детальных поисковых критериев на рудные полезные ископаемые" (Институт геофизики АН Украины,

1990 г.). Основные положения диссертации опубликованы в 10 печатных работах.

Объем и структура работы. Диссертация содержит 169 страниц машинописного текста, 49 рисунков, 2 таблицы и список литературы из 206 наименований. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю О.Б.Гинтову за постоянное внимание к работе и кандидату геолого-минералогических наук В.М.Исаю за поддержку на начальных этапах исследований. Автор искренне признателен доктору геолого-минералогических наук В.Г.Гутерману и кандидатам геолого-минералогических наук А.А.Трипольскому и Т.П.Шевченко за ценные консультации и советы. Значительная помощь в проведении исследований и оформлении работы была оказана со стороны сотрудников отдела палеогеодинамики П.В.Беличенко, А.А.Белокур, Л.П.Ганенко, А.В.Муровской, М.Л.Прядун, Л.А.Териды, за что автор искренне их благодарит.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, излагаются основная цель и задачи работы. Формулируются научная новизна и основные положения, защищаемые в работе.

В первой главе на основании сравнительного анализа разных тектонофизических моделей и различных подходов к комплексированию тектонофизических и сейсмических данных обосновывается тип комплексной сеймотектонофизической модели среды, на который следует ориентировать в работе приемы интерпретации данных МОВ. Применительно к консолидированной коре древних щитов представляется оптимальным использовать с тектонофизической стороны такие модели, в которых основными источниками тектонофизических полей напряжений выступают аномальные (нелитостатические) силы: конвекция в мантии, ротационные силы и пр. Подобные представления развиваются в работах многих исследователей (В.В.Гордиенко и др., 1989; О.Б.Гинтов, В.М.Исай, 1988; В.Г.Гутерман, В.Б.Кобылянский, 1989; К.Ф.Тяпкин, 1988, и др.).

В качестве тектонофизической основы для создания сеймотектонофизической модели в данной работе используются закономерности разломообразования, вложенные О.Б.Гинтовым и В.М.Исаем в тектонофизическую модель литосферы.

Обобщенная тектонофизическая модель литосферы включает в себя следующие основные положения:

1. На значительных расстояниях сохраняется пространственная ориентировка осей главных нормальных напряжений одного этапа разломообразования (регулярность тектонических полей напряжений).
2. Разрывные структуры имеют иерархическое строение. Элементарные сколы мощностью до нескольких метров, концентрируясь в прямолинейные области шириной до первых сотен метров, формируют эшелонированные сколы. Эшелонированные сколы, в свою очередь, объединяясь, организуют протяженные зоны скалывания шириной 1-5 км. Последние составляют разломные зоны, мощность которых достигает 30-35 км.
3. Локализация деформирования геологической среды подчиняется принципу унаследованности, когда ранее сформированные дисъюнктивы локализуют в себе и усиливают проявление наложенных этапов разломообразования.
4. По результатам реологических экспериментов предполагается, что разломообразование в литосфере характеризуется вертикальной реологической зональностью. Выделяется пять уровней разломообразования, различающихся между собой механизмами деформирования и разрушения вещества. Общая тенденция изменения характера деформирования с увеличением глубины состоит в смене хрупкого разрушения первоначально на пластическое деформирование, затем на вязкое течение горных пород.
5. Для разломов характерна прямолинейность. Элементарные сколы прямолинейны всегда, когда их форма не искажена наложенной деформацией. Эшелонированные сколы и зоны скалывания характеризуются устойчивой прямолинейностью. Разломные зоны, в потенциальных полях проявляясь иногда как сложноизогнутые структуры, при детальном полевом изучении оказываются кусочно-прямолинейными, т.е. состоящими из зон скалывания различных этапов разломообразования.
6. Реологический разрез литосферы характеризуется прочностной неоднородностью, и выделяемые по сейсмическим данным коровые волны хорошо соответствуют теоретически рассчитанным интервалам глубины понижения прочности.

К данному классу геофизических моделей относится и модель разломов, предложенная К.Ф.Тяпкиным. Разрушение земной коры происходит вследствие разрядки планетарных напряжений, накапливающихся в процессе изменения ротационного режима Земли. В качестве составных элементов тектоники включены преимущественно крутопадающие и субгоризонтальные разрывные структуры. Принимая трехслойную модель земной коры, автор выделяет промежуточный этаж как область, характеризующуюся аномальной горизонтальной структурной расслоен-

ностью, проявляющейся в форме сейсмической расслоенности в материалах МОВ, и присутствием слоев с пониженной сейсмической скоростью.

Представляется перспективным привлекать в ходе интерпретации комплексные геофизические модели, в которых тектонофизические закономерности деформирования среды не являются базовыми; в них авторы стремятся отразить реальную структуру конкретного участка литосферы, не акцентируя внимание на проблеме источников полей напряжений.

Исследования, направленные на составление геодинамических моделей структур земной коры-верхней мантии на основе сейсмических данных при комплексировании их с другими геофизическими методами, в Украине проводятся продолжительное время группой исследователей Института геофизики АН Украины. В этой связи следует отметить работы В.В.Гордиенко, Р.И.Кутаса, С.С.Красовского, Ю.П.Орвещко, В.Б.Соллогуба, А.В.Чекунова и др. При реконструкции структуры и истории геодинамического формирования среды предпочтение как наиболее информативному методу обычно отдается сейсмометрии. Ряд результатов, полученных с использованием данного подхода упомянутыми исследователями, рассмотрен в гл.V работы применительно к задачам настоящего исследования.

Во второй главе расширявается понятие сеймотектонофизического подхода, и формулируются его задачи; затем по результатам сопоставления разрешающих способностей сейсмометрии и тектонофизики с размерами деформационных структур разных рангов определяются принципиальные возможности и ограничения комплексирования тектонофизических и сейсмических (МОВ) данных.

Сеймотектонофизический подход представляет собой совместное использование тектонофизических и сейсмических данных, полученных на одной территории, для достижения геодинамического результата.

Представляется верным сформулировать задачи комплексного изучения среды полевыми тектонофизическим и сейсмическим методами следующим образом.

Прямая задача: для модели среды, полученной путем определения положения деформационных структур в пространстве по параметрам тектонических полей напряжений, определить характеристики волнового поля. Тектонофизические модели структур, дополнительно насыщенные сейсмическими характеристиками, позволят провести теоретический расчет волновых полей либо их физическое моделирование. В структуру сеймотектонофизических моделей могут включаться такие сейсмические характеристики, как объемное распределение величины

с корости упругих волн, направление и степень сейсмической анизотропии среды, распределение коэффициентов поглощения и рассеяния, и пр. Данные могут быть получены как эмпирически, так и путем теоретических оценок.

Обратная задача: по результатам полевого тектонофизического изучения среды и данным полевых сейсмических исследований восстановить объемную деформационную структуру изучаемого объекта.

Тектонофизические исследования позволяют установить, наблюдаются ли на дневной поверхности закономерности в строении геологической среды, в чем именно эти закономерности выражаются, и характеризуются ли они строгими количественными параметрами: угловыми величинами, размерами деформационных структур, направлениями и амплитудами перемещений.

Сейсмические исследования МОВ, со своей стороны, предоставляют информацию о геометрической структуре среды.

На основании связи между структурами тектонофизической и сейсмической (МОВ) моделей среды (поскольку в полях отраженных волн фиксируются разломы), возможна совместная интерпретация данных этих двух методов, направленная на построение геодинамической модели. При этом выявленные на дневной поверхности закономерности строения разломной сети (положение и размеры разрывных структур, составляющие их тектонофизические парагенезисы, временная последовательность этапов разломообразования и пр.) с помощью сейсмических данных будут распространены и прослежены в объеме, на глубину.

В пределах прямой и обратной задач можно выделить их частные кинематические и динамические разновидности. В случае кинематической в тектонофизическом смысле задачи, в ходе ее решения будут использоваться только пространственное положение, направление и тип подвижки структур, без абсолютной величины смещения. При решении кинематической в сейсмическом смысле прямой или обратной задач используются только структурные узоры регулярной составляющей волновых полей. Соответственно, в динамической в тектонофизическом смысле задачи будет обеспечен переход к энергии деформации среды путем использования абсолютных величин смещения и реологических параметров вещества. При решении динамической в сейсмическом смысле задачи будут использованы (либо получены) энергетические характеристики волновых полей.

Сейсмотектонофизическая модель разломной зоны в работе классифицируется как концептуальная, комплексная, иерархическая, вероятностная модель.

По результатам сопоставления вертикальной разрешающей способности МОВ с размерами разрывных структур установлены следующие ограничения:

- разрывные структуры могут быть выявлены по прямым отражениям начиная с ранга эшелонированных сколов; отражения от элементарных сколов возможны только в случае достижения ими максимальных для этого ранга размеров;
- зоны скальвания могут быть прослежены методами ГСЗ и ГСЗ-ОГТ, менее уверенно - МОВЗ.

Горизонтальная разрешающая способность сейсмометрии была оценена по выражению, предложенному Н.Я.Куниным и др. Возможность изучения разломов с ее учетом подтвердила сделанный ранее вывод, что осуществимо выделение отдельных эшелонированных сколов либо более крупных объектов. Получило подтверждение и то, что с использованием глубинных низкочастотных модификаций сейсмического метода можно проследивать только следующий иерархический уровень строения разлома - отдельные зоны скальвания.

Оценка влияния избирательности МОВ на возможность изучения разломов, с учетом результатов, полученных в (Н.А.Караев, 1981; И.В.Литвиненко, 1973), позволила отметить следующее:

- вследствие узкой избирательности МОВ возможна ложная регуляризация структуры среды, приводящая к кающемуся выполаживанию наклонных разломов;
- на глубинах порядка двух-трех длин годографа избирательность МОВ становится остро направленной, допуская колебания в углах наклона отражателей в пределах нескольких градусов.

Для определения принципиальной возможности комплексирования сейсмических данных с тектонофизическими необходимо сопоставить точность этих методов в определении углов наклона структур α .

Конкретно для случая разрывных структур, с учетом их прямолинейности, для оценки точности сейсмических построений предложено выражение:

$$\Delta\alpha = \pm \sqrt{(\Delta\alpha_1)^2 + (\Delta\alpha_2)^2} \quad (1)$$

$$\text{где } \Delta\alpha_1 = \text{tg}\beta(1 - \text{tg}^2\beta)^{1/2} / (1 + \text{tg}\beta \cdot \text{tg}\Delta\beta) \quad (2)$$

$$\Delta\alpha_2 = \arcsin[(1 + \delta V) \cdot \sin\alpha] - \arcsin[(1 - \delta V) \cdot \sin\alpha] \quad (3)$$

Обозначения в формулах: $\text{tg}\beta = V \cdot \Delta T / \Delta x$; $\text{tg}\Delta\beta = V \cdot f \cdot \cos\beta / (4 \cdot L)$;

$\Delta T, x$ - интервалы времени и профили регистрации отраженной волны; L - протяженность отражающего объекта; β - угол наклона отражающей площадки до миграции; $\Delta\beta$ - предельная ошибка в определении вели-

чины β ; V , f - скорость и частота упругих волн; α - истинный угол наклона отражателя; $\Delta\alpha_1$ - ошибка за счет погрешности в величине V ; $\Delta\alpha_2$ - ошибка вследствие ограниченности разрешающей способности.

С использованием выражений (1)-(3) для условий Кировоградского блока УШ рассчитаны две номограммы. Первая позволяет оценивать точность угла наклона отражающей площадки на глубинном разрезе МОВ по ее протяженности и углу наклона; вторая позволяет определять минимально необходимое количество отражений от одной структуры для достижения точности тектонофизических построений.

Обобщенные выводы, сделанные для второй главы:

1. Точность наземных исследований, проводимых с помощью горного компаса, в несколько раз превышает точность структурных построений МОВ.
2. Достижение сейсморазведкой МОВ точности наземных наблюдений возможно либо с использованием протяженных пологих отражателей, либо статистическим осреднением пространственных параметров коротких штриховых осей синфазности, принадлежащих на разрезе к одной линейной структуре.
3. При использовании структурных построений по данным МОВ следует учитывать, что их точность прямо пропорциональна длинам отражающих площадок и обратно пропорциональна их углам наклона.

Третья глава работы посвящена построению обобщенной сейсмо-тектонофизической модели разломных структур, объединяющей в себе наиболее устойчивые, универсальные характеристики. Структурно глава составлена из двух разделов: первый устанавливает тектонофизические характеристики этой модели, второй - сейсмические.

В первом, тектонофизическом разделе, устанавливаются рамки применения сейсмотектонофизического подхода на множестве деформационных объектов, и описываются тектонофизические закономерности разломообразования. Показано, что при комплексировании сейсмометрии и тектонофизики оптимально с позиций обоих методов использование в качестве базовых объектов дизъюнктивных структур.

В основу тектонофизической модели разлома положены представления, изложенные в работах (С.С.Стоянов, 1977; О.Б.Гинтов, В.М.Исай, 1988).

Из закономерностей разломообразования выделены следующие:

- деформационные структуры могут быть представлены одним из восьми теоретически возможных тектонофизических типов, различающихся между собой ориентировкой плоскости структуры относительно главных осей тензора напряжений, и направлением вектора смещения;
- разломообразование в коре характеризуется вертикальной реологи-

ческой зональностью, с переходом сверху вниз от хрупкого разрушения через пластическую к вязкой деформации;

- для разрывных структур характерны иерархичность строения, регулярность полей сформировавших их напряжений, унаследованность разломообразования, прямолинейность разломов в плане и в разрезе.

Рассмотрение сейсмических характеристик разломов начинается с обсуждения особенностей формирования волновых полей в консолидированной коре. По результатам обобщения и анализа данных, приведенных в работах (О.В. Мирошникова, Ю.Г. Шопин, 1988; И.В. Литвиненко, 1973; Б.Я. Гельчинский и др., 1977; Н.А. Караев и др., 1983; В.П. Номоконов, 1987; Н.Н. Пузырев и др., 1985; Е.К. Лоссовский и др., 1988; Т.В. Нефедкина и др., 1987; T.D. Jones et al., 1984; D.T. McDonough et al., 1988; C.A. Hurech et al., 1985 и др.) отмечены следующие характеристики сейсмической модели.

1. В приповерхностной области разреза за счет присутствия нескольких контрастных преломляющих границ формируется цуг преломленных волн, являющихся, в свою очередь, причиной формирования интенсивных преломленно-отраженных волн, в первую очередь от крутопадающих разломов. Последнее объясняется тем, что в пределах разрывных структур скачкообразно возрастают глубины залегания преломляющих горизонтов, и образуются благоприятные условия для отражения головных волн.

2. Скоростной разрез консолидированных толщ монотонен; максимальные изменения скоростных, плотностных, поглощающих характеристик среды приурочены к разрывным структурам. Это приводит к тому, что в полях отраженных волн доминируют отражения от разломов. Вещественные неоднородности, в том числе геологические контакты, отличаются невысокой сейсмической контрастностью; с ними связано формирование штриховых осей синфазности, формирующих сложные узоры волновых разрезов МОВ.

3. Значительная часть регулярных осей синфазности связана с крутопадающими отражателями деформационной природы, и характеризуется большой величиной бокового сейсмического сноса. При этом вследствие большого градиента скоростей и значительного участия поперечных волн, регистрируются отражения от субвертикальных разрывных структур.

4. В случае, если в методике исследований МОВ не предусматривалось определение положения фронтов отраженных волн, то сейсмический снос может достигать значительной величины, вплоть до значення кажущейся глубины отражателя (в том числе и для субгоризон-

тальных на разрезах МОВ объектов).

Особенное внимание в работе уделяется фактическому подтверждению возможности обнаружения разрывных структур. По результатам обзора результатов работ по ряду сейсмических программ (BIRPS, COCORP, DECORP, ECORP, МОВ в Казахстане, Белоруссии, Украине, на Урале) и отдельным сейсмическим наблюдениям на различных геологических структурах, а также с учетом изучения акустических свойств геологической среды в скважинах и на образцах, отмечено следующее:

1. В волновых полях МОВ на частотах МОВ и МОВ-ОГТ интенсивно проявляются разломы всех уровней глубинности.
2. Проявление разломов в материалах МОВ характерно для различных типов геологических объектов, и, по-видимому, типично для разрывных структур.
3. Разломы в полях отраженных волн могут проявляться не сплошными линейными зонами, а отдельными фрагментами этих зон, по-видимому, связанными с наиболее контрастными по акустическим свойствам элементарными и эшелонированными структурами.

Четвертая глава диссертации посвящена описанию методики комплексирования сейсмических (МОВ) и тектонофизических данных, разработанной с ориентировкой на предложенную в предыдущей главе сейсмотектонофизическую модель разлома.

Полный граф сейсмотектонофизической интерпретации включает одиннадцать основных методических приемов, из которых семь предложены автором и связаны с непосредственной обработкой сейсмических (МОВ) данных в сопряжении с результатами решения тектонофизических задач. По характеру формального подхода к обработке фактического материала они классифицируются на две группы. Первый подход ориентирован на статистическое выявление наиболее общих закономерностей пространственных характеристик сейсмических объектов, отождествляемых с разломными структурами - наличие их областей концентрации и определение многократно повторяющихся элементов залегания.

Второй подход в комплексной обработке данных проводит дифференциальное изучение каждого из отражающих объектов, определяет возможность его принадлежности к одному из известных этапов разломообразования, и оценивает надежность такой интерпретации.

К первой группе предлагаемых алгоритмов относятся следующие:

1. Расчет кривой вертикальной сейсмической расслоенности по МОВ со статистической оценкой результата (предложен автором совместно с А.А. Трипольским).

Производится пересчет параметров осей синфазности в

физическую глубину отражателя; строится кривая суммарных длин отражателей как функция их глубины. Для полученной кривой производится расчет доверительного интервала, в представлении биномиальной модели обнаружения отражателя. Границы интервала определяются как корни уравнения

$$(N \cdot n + a_{\epsilon}^2) x^2 - (2 \cdot N \cdot n \cdot \theta + a_{\epsilon}^2) x + N \cdot n \cdot \theta = 0 \quad (4)$$

где параметр точности a_{ϵ} определяется из условия

$$\frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{a_{\epsilon}} e^{-t^2/2} dt = 1 - \epsilon,$$

здесь n - количество испытаний в данной точке графика, равное удвоенному количеству отражающих площадок, используемых для построения данной точки кривой;

$(1 - \epsilon)$ - коэффициент доверия;

θ - вероятность наступления элементарного события;

N - количество возможных исходов.

Согласно выбранной вероятностной модели положено $\theta = 0.5$, $N = 2$.

С учетом величины доверительного интервала определяются интервалы глубин, отвечающие аномально высокой сейсмической расслоенности, которые могут соответствовать субгоризонтальным объектам. Если использованы специально отобранные по критериям прямолинейности, структурного рисунка и динамической выразительности оси синфазности, то выделенные объекты предположительно имеют разломную природу.

В результате использования приема, предложенного совместно с А.А. Трипольским, получают кривую эмпирической зависимости вертикальной сейсмической расслоенности от глубины. Непосредственно на графике присутствуют две дополнительные кривые. Одна из них ограничивает первую кривую снизу, другая - сверху; они обозначают те пределы отклонения кривой, в рамках которых экстремумы могут быть связаны с недостаточным количеством использованного материала, и могут быть обусловлены случайными колебаниями значений сейсмической расслоенности. Все отклонения кривой расслоенности, выходящие за эти пределы, обусловлены реальным изменением структуры среды.

2. Для каждого из выделенных с применением предыдущего алгоритма интервалов глубины строятся погоризонтные карты-срезы латеральной плотности отражателей. На каждом из срезов выделяются линейные элементы структурного рисунка. Исходя из унаследованности разломообразования, предполагается, что эти линейные области отвечают участкам пересечения крутопадающих и пологих зон скальвания. По ним реконструируется структура разломов в

геологической среде.

В результате применения данного приема получают набор параллельных горизонтальных сечений изучаемого участка консолидированной коры. На них в виде изолиний изображена плотность распределения отражающих объектов. Аномальные области, особенно линейные, без труда прослеживаются вниз по разрезу при визуальном просмотре срезов.

3. Определение распространенных элементов залегания отдельных структур в земной коре, предположительно связанных с региональными этапами разломообразования.

Процедура организована следующим образом. Для каждой из отражающих площадок (осей синфазности), по кинематическим и динамическим соображениям предположительно объясненных разломной природой, определяются все возможные положения отражающих плоскостей с различными величинами бокового сноса. Затем все возможные варианты отражателей для всех выбранных отражающих площадок суммируются по координатам угла наклона и азимута простирания. Для полученного массива выявляются его максимумы, координаты которых и соответствуют наиболее вероятным элементам залегания эшелонированных сколов региональных этапов.

Результат использования этого алгоритма может быть представлен как в декартовой системе координат, так и на равноугольной стереографической проекции, удобной для его тектонофизического осмысления. В последнем случае легко реализуется применение к полученным данным тектонофизических алгоритмов, если это необходимо.

4. Выявление отражающих площадок, вероятно связанных с регистрацией преломленно-отраженных от разломов волн.

Рассчитывается гистограмма распределения углов наклона, и на ней с применением корреляционного анализа выявляются симметричные относительно горизонтального положения структур максимумы. В процедуре учитывается, что преломленно-отраженные волны могут образоваться на любом крыле дизъюнктива.

Предыдущий алгоритм в числе прочего предполагает также возможность субгоризонтального направления распространения фронта волн. Этот же алгоритм отличается своей целевой функцией: он направлен на проверку гипотезы о значительном участии преломленно-отраженных волн в формировании полей МОВ. Его применение желательно в том случае, если интерпретатором отмечается на разрезах наличие наклоненных в разные стороны под одинаковым углом линейных областей концентрации отражающих площадок, встречающихся друг с другом на уровне дневной поверхности.

Ко второй группе, основанной на индивидуальном сопоставлении пространственного положения отражающих объектов с положением деформационных структур, относятся следующие алгоритмы.

1. На участках пересечения сейсмических профилей МОВ отбираются те отражающие объекты, которые зарегистрированы на обоих профилях. Затем производится пересчет кажущихся углов наклона на разрезах в азимут простираения и угол наклона отражающей плоскости. С использованием выражений (1)-(3) определяются допустимые пределы отклонений элементов залегания, в рамках которых затем каждая отражающая плоскость сопоставляется с элементами залегания структур второго порядка всех известных этапов разломообразования. Подобную операцию выполняют два алгоритма, один из которых ориентирован на временные, а другой - на глубинные разрезы.

Особенностью этих двух алгоритмов является то, что проверяя для каждой отражающей площадки по два угла, относящихся к непараллельным профилям наблюдений, они тем самым контролируют сопоставимость истинных объемных углов. Таким образом удается избежать неоднозначности получаемого результата.

2. Процедура, аналогичная предыдущей, но не требующая регистрации отраженной волны на двух профилях. Здесь истинные углы наклона структур второго порядка пересчитываются в кажущиеся углы наклона на сейсмическом разрезе, а последние в пределах допустимого отклонения сопоставляются с реальными углами наклона.

Эта операция, впервые предложенная В.М.Исаев, отличается от предыдущей тем, что ее результат носит вероятностный характер. Отражающая площадка здесь отождествляется с одной из разрывных структур, в то время как теоретически этой площадке может отвечать неограниченное количество вариантов элементов залегания реальных отражателей. Но несмотря на неоднозначность, данный алгоритм на практике приходится часто применять, т.к. многие отражающие объекты регистрируются на одном профиле МОВ. В такой ситуации необходимо максимально привлекать предыдущие два алгоритма для подтверждения достоверности предлагаемой интерпретации. В данной же процедуре, в том числе и для напоминания о неоднозначности интерпретации, автором предусмотрен расчет вероятности того, что результат правилен, для каждой отражающей площадки. 3. Специальная процедура предназначена для построения горизонтальных срезов и вертикальных разрезов. В предположении и принадлежности отражающей площадки к одному из этапов разломообразования, что устанавливается в одном из трех предыдущих алгоритмов, производится расчет продольного и бокового сейсмического сносов, определяется ис-

тинная глубина отражателя, и строятся сейсотектонофизические карты и разрезы.

Для всех процедур сейсотектонофизической обработки проведена их алгоритмизация и программная реализация. Разработанный автором пакет прикладных программ лег в основу автоматизированной системы обработки геофизических материалов.

Кроме того, в данной главе на основе полного графа обработки уделено внимание разработке частных графов, ориентированных на различные стадии геофизических исследований. Высказан ряд рекомендаций по корректировке некоторых процедур в расчете на реконструктивную, поисковую и разведочную стадии геолого-геофизических исследований.

Результаты, полученные в четвертой главе, подытожены в следующих выводах:

1. Разработана технология комплексирования сейсмических и тектонофизических данных, направленная на создание геодинамической модели среды. Методика ориентирована на сложнопостроенные среды типа консолидированной коры, наличие по ним полевых тектонофизических данных и результатов изучения сейсмического поля отраженных волн.

2. Полный граф сейсотектонофизической интерпретации включает не менее 11 этапов обработки данных. Для различных по степени геофизической изученности объекта ситуаций предусмотрены различные частные графы. Предварительно определены три основных варианта графа обработки, соответствующие принятой в геологоразведке стадийности геофизических исследований.

3. Для всех трудоемких алгоритмов графа сейсотектонофизической интерпретации проведена их программная реализация. На основе пакета программ создана система автоматизированной обработки тектонофизических и сейсмических (МОБ) данных.

Пятая глава настоящей работы посвящена построению частной сейсотектонофизической модели верхней коры участка работ МОБ (руководитель В.И.Шаров), расположенного на площади развития новоукраинского комплекса пород на УЩ (далее - Новоукраинский участок).

Дана краткая геолого-геофизическая характеристика района работ. Более подробно охарактеризованы тектонофизические особенности разломной сети района, в изучении чего автор принимал непосредственное участие. Приводятся характеристики пластических и хрупких этапов разломообразования, изученных на дневной поверхности. Описана морфология разрывных структур разных этапов.

Алгоритмы, описанные в предыдущей главе, применены к материалу МОВ по Новоукраинскому частку. Получены в общей сложности 16 карт-срезом и три разреза для верхней коры изучаемой территории (5 срезов и разрезы по результатам дифференциальной части сейсмо-тектонифизической интерпретации, остальные - по статистической ее части). По ее результатам предложена сейсмотектонофизическая модель верхней коры.

Тектонофизическая характеристика модели

1. Представляется наиболее вероятным, что формирование разрывной сети коры Новоукраинского участка проходило в три эпохи. В первую, наиболее древнюю, вероятно, раннеархейского возраста, были заложены глубинные разломные зоны, захватывавшие широкие линейные области. Вторая эпоха отвечает формированию разломов, которые в настоящее время наблюдаются на дневной поверхности в виде пластических дизъюнктивов третьего-четвертого глубинных уровней, и, вероятно, относится к концу архея-началу протерозоя. В последнюю, платформенную эпоху, в верхней коре были сформированы разломные зоны и зоны скальвания, проявленные в настоящее время на дневной поверхности как линейные области хрупкого разрушения горных пород.
2. В верхней коре изучаемого участка предположительно выделены наиболее древние глубинные разломы. Выделено три линейных объекта, отождествляемых с ними. Один из этих объектов пространственно отвечает Субботско-Мошоринскому глубинному разлому.
3. В верхней коре Новоукраинского участка присутствует густая сеть пластических и хрупких разрывных структур. Она сформирована не менее чем за I2 этапов разломообразования вероятно позднеархейского-раннепротерозойского возраста, и не менее чем за II этапов разломообразования платформенной эпохи становления Ущ.
4. Разломообразование в верхней коре Новоукраинского участка во все эпохи его становления характеризовалось унаследованностью. Пластические сколы пространственно тяготеют к ослабленным реологически областям, сформированным более древними разломными зонами. Хрупкие разрывные структуры интенсивнее проявлены в пределах пластических сколов.
5. Элементы залегания разрывных структур, относящихся к одному этапу разломообразования, выдержаны на всей площади изучаемого участка; структуры второго порядка сконцентрированы в линейных зонах скальвания.
6. В верхней коре Новоукраинского участка преобладают субвертикальные и крутопадающие разломы, в меньшем количестве присутствуют наклонные разрывные структуры. Вероятно, что здесь также сфор-

мированы субгоризонтальные зоны скалывания: до глубины 7 км - хрупкие, с плотностью по разрезу одна зона скалывания на 1-2км, и квазипластические, на глубине 7-10км. Последним, вероятно, отвечает область волновода.

7. Разломная сеть значительно контролирует структуру среды. Возможно, что положение Новоукраинского массива гранитоидов в определенной степени обусловлено раннеархейскими субширотными разломами. Отдельные участки границ массива ориентированы согласно с выявленными в этой же области и азипластическими разломами, что свидетельствует об участии последних в формировании его структуры.

Сейсмическая характеристика модели

1. Поле отраженных волн в верхней коре Новоукраинского участка в значительной мере обусловлено отраженными и преломленно-отраженными волнами от разрывных пластических и хрупких структур. Наиболее интенсивные отражения связаны с областями наложения хрупкой деформации на пластическую, и участками интенсивного метасоматоза внутриразломного вещества.

2. Структура поля отраженных волн характеризуется преобладанием отражений со значительной величиной сейсмического сноса, зачастую превышающего истинную глубину отражателя. Поэтому двумерные сейсмические разрезы МОВ, полученные по стандартной методике с использованием однокомпонентных сейсмоприемников, без определения направления прихода волны, сильно искажают структуру коры. Большая часть отражений, зарегистрированных по шкале времени пробега до $t=5с$, в действительности отвечает интервалу глубин до 6-10 км. Неучет бокового сейсмического сноса приводит в среднем по отражателям к приблизительно двукратной ошибке по глубине в большую сторону.

3. Практически все интенсивные прямолинейные отражения отвечают тектонофизическим типам L- и R-сколов; отражения от P-сколов, R- и T-структур встречаются очень редко. При этом количество отражений от L-сколов, как правило, превышает в 1.5-2 раза количество отражений от R-сколов.

Выводы

Основным результатом исследования является методика сейсмо-тектонофизической интерпретации, служащая для геодинамических построений. Здесь сейсмические данные выступают как информационный источник об объемной структуре среды. Результат совместной сейсмо-тектонофизической интерпретации имеет тектонофизический характер, и по сути является распространением поверхности

ческих реконструкций на некоторый объем геологической среды.

Практические результаты в работе несут новую информацию о структуре консолидированной коры. К ним относится: получение тектонофизической информации о процессе деформирования верхней коры в ходе полевых тектонофизических исследований, и построение объемной сейсотектонофизической схемы участка верхней коры Кировоградского блока УЩ, проведенное с целью апробации применения предлагаемой методической схемы на рекогносцировочной стадии геодинамического изучения региона.

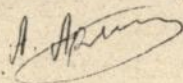
Основные результаты работы:

1. Установлен характер взаимосвязи между деформационными структурами в консолидированной коре и полем отраженных волн; обоснована принципиальная возможность комплексирования тектонофизических и сейсмических (МОВ) данных.
2. Расширен и усовершенствован набор методических приемов совместного использования сейсмических (МОВ) и полевых тектонофизических данных, ориентированный на различные стадии и геолого-геофизические ситуации проведения интерпретации.
3. Приемы сейсотектонофизической интерпретации алгоритмизованы, осуществлена их программная реализация с созданием системы обработки данных.
4. С целью построения частной сейсотектонофизической модели площади сейсмических работ МОВ проведено полевое тектонофизическое изучение деформационных структур в центральной части Украинского щита.
5. С целью апробации предлагаемой методики комплексирования сейсмических и тектонофизических данных построена сейсотектонофизическая модель верхней коры Новоукраинского участка работ МОВ (Украинский щит).

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. Тектонофизическая модель литосферы и динамика коры в связи с выработкой детальных поисковых критериев на рудные полезные ископаемые (Отчет лаборатории геофизического изучения докембрия Института геофизики АН УССР за период 1985-1990). (Руководитель О.Б.Гинтов). - Киев: ИГ АН УССР, 1990. - 261 с. (совместно с П.В.Белличенко, О.Б.Гинтовым, В.М.Исаев, Л.В.Исай, В.Б.Кобылянским, В.Н.Ксчаленко, А.В.Муровской).
2. Динамика Пскемско-Ташкентской сейсмогенной зоны по тектонофизическим и сейсмологическим данным // Геолого-геофизические исследования в сейсмоопасных зонах СССР. Тез. докл. Всес. шк.-семина., Долинка, 5-14 сент. 1989 г. - Фрунзе: Илим, 1989 г. - С.94 (совме-

- стно с М.К.Алимовым, О.Б. Гинтовым, Т.К.Захидовым, В.М.Исаев, А.В.Муровской, Ю.М.Садиковым).
3. Комплексное использование сейсмического и тектонофизического методов при детальном изучении внутренней структуры разломных зон докембрия // Структурный анализ кристаллических комплексов и геологическое картирование. Тез. докл. Ш Всес. шк. - Киев: Ин-т геофизики АН УССР, 1990 г. Ч.2. - С.26-28.
4. Выделение субгоризонтальных разломных структур в консолидированной коре центральной части Украинского щита по данным метода отраженных волн // Тектонофизические аспекты разломообразования в литосфере. Тез. докл. Всес. совещ. - Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1990 г. - С.7-8 (совместно с А.А. Трипольским).
5. Тектонофизическая интерпретация результатов МОГТ в пределах Голованевской структурной зоны Украинского щита // Известия АН СССР. Физика Земли. - 1990. - №4. - С.59-71 (совместно с О.Б. Гинтовым, В.А.Ентиным, В.М.Исаев, Л.В.Исай, Л.М.Шимкивым).
6. Разрешающая способность и особенности применения сеймотектонофизического метода в кристаллической коре Украинского щита // ДАН УССР. Сер. В. - 1990. - №11. - С.3-7 (совместно с О.Б. Гинтовым).
7. Сейсмогенные разломы и напряженно-деформированные состояния Ташкентско-Пскемской сейсмогенной зоны // Тектонофизические аспекты разломообразования в литосфере. Тез. докл. Всес. совещ. - Иркутск: ИЗК СО АН СССР, 1990 г. - С.125 (совместно с М.К.Алимовым, П.В.Беличенко, О.Б.Гинтовым, Т.К.Захидовым, В.М.Исаев, В.Б.Кобылянским, А.В.Муровской, Ю.М.Садиковым, Ш.С.Халиковым).
8. Использование закономерностей разломообразования при интерпретации данных МОВ в кристаллической коре Украинского щита // Механизмы структурообразования в литосфере и сейсмичность. Тез. докл. Всес. симпозиума. - М.: ИЗК АН СССР. - 1991 г. - С.85.
9. Принципы построения сеймотектонофизической модели деформационных структур // Прикладные проблемы моделирования и оптимизации: Матер. П. Междунар. семина. Славское, 1-6 марта 1992 г. / ИК АН Украины. - Киев, 1992. Деп. 12.08.92, №2628 В-92 - С.11-26.
10. Тектонофизические особенности эпицентральной области Тавасайского землетрясения (Восточный Узбекистан) // Геофизический журнал. - 1992. - №1. - С.81-87 (совместно с О.Б. Гинтовым, Т.К.Захидовым, А.В.Муровской, Ю.М.Садиковым).
11. Пологие разломы в кристаллической коре Украинского щита (по данным МОВ) // ДАН УССР, Сер. В. - 1991. - №3. - С.7-11 (совместно с А.А. Трипольским).



Подп. к печ. 14 04 93. Формат 50*84¹/₁₆ Бумага *Книга*
Печ. офс. Усл. печ. л. 1,12 Уч.-изд. л. 0,83 Тираж 120
Зак. 3-3542

Киевская книжная типография научной книги. Киев, Репина, 4.

284898

AB 27.372