

Введение

Предметом настоящей работы является исследование различных геологических структур, возникших в результате разрушения коры, а также изучение пористых насыщенных слоев твердой оболочки Земли. К ним относятся разломы, трещиноватые зоны и насыщенные флюидами пористые слои. Верхняя кора представляет собой основной предмет рассмотрения. Особенно детально исследованы структуры разрушения, выходящие на поверхность и доступные наблюдениям. Менее изученными являются слои, находящиеся на значительной глубине.

В результате сейсмических исследований, выполненных в последние годы, установлен ряд специфических особенностей структуры земной коры и верхней мантии. Оказалось, что на глубинах 10 – 25 км в земной коре и на глубинах 80 – 100 км в верхней мантии часто встречаются зоны пониженных сейсмических скоростей (зоны инверсии сейсмических скоростей). Как правило, они сочетаются с повышенной субгоризонтальной расслоенностью среды и с наличием протяженных сейсмических границ. Основываясь на изучении структурных особенностей разломной тектоники и на характере распределения землетрясений с глубиной, а также располагая сейсмическими данными по инверсии скоростей, можно предположить, что указанные интервалы глубин представлены реологически ослабленными зонами. Основной причиной формирования таких зон является, по всей видимости, их повышенная флюидонасыщенность. Данное предположение согласуется с повышенной электропроводностью соответствующих зон. Слои с пониженной сейсмической скоростью являются аномальными объектами. Наличие таких слоев в верхах мантии (и, особенно, в земной коре) представляет большой интерес как для глобальной геодинамики, так и для разведочной геофизики.

Указанные слои при прохождении сейсмических волн ведут себя как волноводы. Поэтому для краткости часто используется термин *волноводы*, хотя он не совсем точно отражает суть дела. В этой связи данный термин иногда вызывает возражение среди специалистов. Однако альтернативного общепринятого термина, отражающего все аспекты проблемы, пока нет. Мы будем им пользоваться для краткости, имея в виду слои, обладающие целым комплексом особых свойств – пониженной скоростью, повышенной электропроводностью, двухфазной гетерогенной структурой и ослабленными реологическими свойствами. Естественно, что волноводы на разных глубинах имеют разную природу. Общими у них являются лишь акустические и электрофизические свойства. Объединение их в одну группу и совместное изучение носит условный характер и преследует лишь методические цели.

Актуальность монографии связана с тем фактом, что верхняя кора является объектом активного недропользования. Однако свойства пород коры и происходящие в ней процессы за геологические промежутки времени не достаточно хорошо изучены. Возможности современного наблюдения недр весьма ограничены, и мы не можем поставить активный эксперимент, моделирующий процессы за миллионы лет. В ряде случаев солнечную систему мы знаем лучше, чем недра собственной планеты. Это заставляет более внимательно и осторожно относиться к тем представлениям, которые составляют основу геологии верхней коры и считаются общепризнанными. Можно считать вполне естественными попытки (если они не выходят за рамки здравого смысла) подвергнуть ревизии сложившиеся взгляды или, по крайней мере, выявить в них болевые точки.

Зоны возможной инверсии скорости с глубиной впервые были выделены в верхней мантии по сейсмологическим наблюдениям. Известная модель Гуттенберга включала такой слой на глубине порядка 100 км. Правда, не все сейсмологи признавали наличие этого слоя. Во всяком случае, модели Джефриса-Буллена и опорная модель современной сейсмологии IASP-91 не содержат инверсионных зон.

В земной коре слои с пониженной сейсмической скоростью были обнаружены в начале прошлого века тоже по данным сейсмологии (по записям землетрясений в ближней зоне, т.е. на удалениях не более первых сотен километров). И тогда же они были названы волноводами. Данное название следовало из особенности волнового поля, наблюдаемого в случае слоя с пониженной скоростью. Наиболее интенсивные отражения образуются на границах с резким изменением сейсмической скорости и плотности. На таких границах образуются и преломленные волны. В слое пониженной скорости и подошва, и кровля слоя являются такими границами. Если источник (землетрясение) находится внутри инверсионной зоны или падающий луч идет под углом полного внутреннего отражения, то формируется так называемая каналовая волна, которая распространяется внутри волновода, отражаясь и преломляясь на его кровле и подошве. Такие волны часто регистрируются в сейсмологии. Они и дали слоям с пониженной скоростью (инверсионным слоям) название волноводов.

При сейсмических исследованиях с искусственными источниками, расположенными на дневной поверхности, каналовые волны обычно не регистрируются, и поэтому термин "волновод" не совсем обоснован при таких исследованиях. Но мы будем им пользоваться для краткости, имея в виду слои с пониженной скоростью или зоны инверсии скоростей с глубиной.

Волноводы наблюдались обычно в тектонически активных регионах на глубинах 15 – 20 км [Giese et al., 1976]. Их естественным объяснением было преобладающее влияние на глубине повышенной температуры и соответствующее изменение пластичности пород. Такое толкование сейсмических волноводов подтверждалось и их корреляцией с распределением в коре очагов землетрясений. Однако сейсмические волноводы были обнаружены в земной коре также в пределах холодных кристаллических щитов и на гораздо меньшей глубине. Например, на Украинском щите по детальным сейсмическим наблюдениям протяженная зона инверсии была выявлена на глубине 8 – 12 км [Павленкова, 1973]. При этом наблюдалось не просто плавное уменьшение скоростей с глубиной, а зона инверсии подстилалась резкой сейсмической границей, создающей интенсивные отражения. Объяснить природу такой зоны только температурным влиянием было невозможно.

Уже тогда также было отмечено, что, наряду с инверсией скоростей, происходит и изменение структурного плана коры: ее вертикально-слоистое строение заменяется горизонтальной расслоенностью. Этот факт вытекал не только из сейсмических данных, но и из интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, нижние кромки аномалеобразующих масс которых совпадали с глубинами до волноводов. Такое сочетание позволило уже в 70-е годы сделать заключение, что и на древних щитах коровые волноводы являются реологически ослабленными зонами. Однако природу такой реологии объяснить было не просто, требовались дополнительные исследования.

В настоящее время получен большой объем новой информации о свойствах волноводных зон. Во-первых, показано, что они встречаются в земной коре регулярно и примерно на одних и тех же глубинах 10 – 20 км [Alekseev et al., 1973; Краснопевцева, 1978, 1988; Крылов и др., 1990; Павленкова, 1995, 1996a,b]. При этом важно, что наблюдаемое уменьшение скоростей в средней коре не связано с изменением состава пород. В целом результаты сейсмических исследований глубинного строения земных недр показывают, что кора и литосфера обладают сложной слоистой структурой. Они представляют собой "слоеный пирог", составленный из чередующихся жестких, сейсмически прозрачных и непрозрачных слоев (волноводов).

Значительного внимания заслуживают магнитотеллурические измерения проводимости земных недр, которые также фиксируют аномальные слои, обладающие повышенной электропроводностью. Они позволяют оценить его суммарную электропро-

водность в 200 – 2000 См. Причем электропроводность указанных слоев значительно превышает электропроводность вещества коры выше и ниже них. Сопоставление сейсмических и геоэлектрических данных показывает, что зоны пониженных скоростей и повышенной электропроводности в целом совпадают, хотя и могут иногда различаться. Кроме того, эти выводы подтверждены прямыми измерениями Р- и S-скоростей, выполненными в 70-е годы в сверхглубокой Кольской скважине О.Л. Кузнецовым и Ю.И. Кузнецовым [Козловский (ред.), 1984]. С помощью этих измерений на глубинах 9 и 12 км были установлены зоны инверсии скоростей.

Основной причиной формирования аномальных зон в средней и верхней коре до 20 км (особенно в холодных платформенных областях) являются, по всей видимости, трещиноватость и насыщенность флюидами, обладающими повышенной электропроводностью. К этому выводу заставляет склоняться весь накопленный с 60-х годов экспериментальный материал, в частности, геоэлектрические измерения [Ваньян, 1984, 1987, 1999]. Объемное содержание флюидов внутри слоев с повышенной электропроводностью достигает нескольких процентов [Ваньян Шиловский, 1983; Feldman, 1976; Ваньян, Павленкова, 2002], что согласуется и с данными сверхглубокого бурения.

В верхних, относительно холодных слоях коры, флюидом является смесь на водной основе, т.е. водные растворы и гетерогенные смеси воды с углеводородами и другими веществами. В отдельных случаях поры могут целиком заполнять углеводороды в газовой или жидкой фазе, образуя соответствующие скопления. Однако основную массу флюидов в этой зоне все-таки составляет вода.

В более глубоких и разогретых слоях земной оболочки роль флюида в пористой среде могут играть расплавы пород. Нельзя исключить также ситуацию (которая наиболее вероятна в нижней части коры), когда в зависимости от теплового режима в качестве флюида в пористой структуре волновода попеременно находятся либо расплав, либо летучие (водные) флюиды. В средней и нижней коре, а также в мантийной части литосферы, возможен и другой механизм образования волноводов. Если среда близка к частичному плавлению, но геотерма не превышает температуру солидуса, то возникает аморфное субсолидусное состояние пород с особыми реологическими и геоэлектрическими свойствами, т.е. с пониженными сейсмическими скоростями, повышенным затуханием сейсмических волн и повышенной электропроводностью. В этом состоянии среду трудно отличить от частично расплавленных пород.

С волноводами верхней коры тесно связаны разломы и трещиноватые зоны, которые, как правило, расположены в вышележащих массивах пород. Характерной структурой, отражающей эти связи, являются т.н. *листрические разломы*. Они имеют субвертикальную ориентацию вблизи поверхности и выносятся на глубинах около 10 км, плавно переходя в волноводы. Фактически все эти трещиноватые структуры образуют одну единую флюидную систему, динамический режим которой носит достаточно сложный характер и представляет собой комплекс различных природных явлений.

С движением флюидов в этих зонах связано образование месторождений углеводородов (УВ), в первую очередь – нефти и газа. В зонах вечной мерзлоты, в полярных областях и на шельфе океана на глубинах около 500 м восходящие газовые потоки образуют залежи газогидратов. Газогидраты распространены по акватории мирового океана. По некоторым представлениям их запасы на порядок превышают разведанные запасы нефти и газа, вместе взятые. Знание флюидного режима в коровых волноводах и прилегающих разломах имеет большое практическое значение для оценки степени регенерации месторождений УВ, загрязнения окружающей среды в процессе эксплуатации месторождений УВ, а также для понимания необходимости ограничения деятельности транснациональных компаний в процессе эксплуатации месторождений УВ.

Движение флюидов по разломам влияет на сейсмический режим. Наличие воды в породах в силу эффекта Ребиндера влияет на их прочность. Поэтому движение флюидов из волноводов в разломы и обратно приводит к нарушению равновесия и сейсмическим подвижкам. Знание законов миграции флюидов позволяет найти дополнительные предвестниковые признаки, а также активно влиять на сейсмический режим с помощью различных методов техногенного воздействия.

Поскольку характерное время восходящих потоков колеблется в пределах от тысячи до десятков тысяч лет, то имеет смысл выбирать места заложения АЭС и захоронения вредных отходов в нисходящих потоках.

В монографии акцент делается на проблемных ("болевых") точках механики, физики и динамики верхней коры. От решения этих узловых проблем зависит наше понимание сути процессов в верхней коре. Процессы разрушения и деформации трещиноватых слоев, фильтрации флюидов, а также химические и физико-химические превращения с участием флюидов более или менее хорошо исследованы в нормальных условиях лабораторных экспериментов. Результаты этих исследований были обобщены и представлены в известных монографиях [Файф и др., 1981; Райс, 1982; Detourney, Cheng, 1993; Николаевский, 1996]. Хотя эти труды содержат фундаментальные результаты, они не решают полностью проблему происхождения и динамики глубоких слоев коры и верхней мантии.

Указанные условия соответствуют самым верхним слоям коры, достигаемым наземными работами (в том числе, и в лабораториях), скважинами, шахтами и горными выработками. Однако мы имеем дело с разломными и трещиноватыми структурами больших размеров, существующими в течение всей геологической истории континентальной коры. Как уже говорилось, мы не имеем возможности проводить достаточно представительные эксперименты или наблюдения с объектами такого рода. Поэтому основным инструментом исследования становятся теоретические исследования, которые необходимо корректировать с помощью лабораторных и полевых измерений. Сложность ситуации заключается в том, что некоторые явления до конца не познаны даже в нормальных условиях. Это касается в первую очередь механики разрушения, компакций гетерогенных смесей и частично расплавленных сред, фильтрации в средах с особыми свойствами, а также тонких физических процессов, происходящих на внутренних границах при разрушении твердых тел.

При возникновении одиночной трещины или при скольжении отполированных образцов пород друг относительно друга можно пользоваться законом Кулона-Мора, который проверен в лабораторных экспериментах при условиях, соответствующих параметрам верхней и даже частично средней коры. При описании ансамбля взаимодействующих трещин необходимо произвести некоторое осреднение и получить определяющие уравнения трещиноватой среды. Такие попытки неоднократно предпринимались для различных частных случаев. Если ростом трещин при нагружении можно пренебречь, то осреднение сводится к стандартной процедуре. Механика гетерогенных сред к настоящему времени имеет законченный вид. В условиях роста трещин в трещиноватой среде их коллективное взаимодействие с трудом поддается точному анализу в рамках механики осреднения.

Наиболее известными законами коллективного взаимодействия трещин являются феноменологические определяющие уравнения дилатансии Райса. Они имеют хорошую научно-методическую основу и проверены в лабораторных экспериментах при нормальных условиях. В частности, согласно этой модели дилатансии при нагружении возникают полосы локализации деформаций. Указанные полосы отождествляются с разломами. Однако данная теория не объясняет факт существования листрических разломов и волноводных трещиноватых слоев. При этом остается неясным, можно ли объ-

яснить эти явления на основе уже существующих определяющих уравнений разрушения или требуются принципиально новые определяющие уравнения.

В силу упомянутых ограничений в вопросах механики разрушения инженеры полагаются скорее на практическую полезность теоретических результатов в частных технических вопросах. При этом они не очень сильно доверяют выводам, претендующим на фундаментальные знания. Такое положение имело место, по крайней мере, сорок лет назад [Вейс, Юкава, 1968]. С тех пор было предложено большое количество различных феноменологических подходов. Однако принципиально положение не очень сильно изменилось. До сих пор эвристические определяющие соотношения разрушения трещиноватой среды не выведены с помощью осреднения микротрещин.

Существует множество других эффектов, которые классическая теория разрушения не объясняет. Например, известно, что при разрушении горных пород и других материалов возникают ионизация атомов и даже потоки нейтронов, свидетельствующие о разрушении самих атомов [Хайнике, 1987; Летников, 1992]. Указанные явления не описываются моделями разрушения, созданными на основе механики сплошных сред, и требуют привлечения современных физических методов кинетики, атомной и ядерной физики.

Результаты исследований реологических и прочностных свойств горных пород, которые проводились на испытательных машинах, позволили по-новому взглянуть на природу разломов и волноводов. В.Н. Николаевский высказал точку зрения о том, что изогнутая форма листрических разломов, сам факт существования волноводов в верхней коре, а также стратификация верхней коры, объясняются механическими свойствами горных пород, которые они проявляют в испытательных машинах в процессе разрушения и деформирования. При увеличении всестороннего сжатия угол наклона плоскости скольжения к главному сжимающему напряжению увеличивается, и возникает явление неустойчивого скольжения, которое приводит к растрескиванию всей среды в целом.

Эта концепция основана на лабораторных экспериментах по разрушению и их интерпретации при термодинамических условиях коры. Она подробно обсуждается в седьмой главе. Однако она носит скорее характер качественных рассуждений и требует определенной конкретизации.

Существуют и другие подходы к объяснению описанных экспериментов. Оказалось, что проницаемость горных пород достаточно велика (особенно в разломных зонах), а их прочность – мала. Поэтому за сравнительно небольшие промежутки времени флюиды неизбежно отжались бы из волновода, трещины и поры схлопнулись бы, а сами волноводы – исчезли. Простые оценки показывают, что время жизни волноводов в верхней коре порядка $10^2 - 10^4$ лет. Можно считать, что разломы и волноводы существуют столько же, сколько и современная земная кора, т.е. примерно три миллиарда лет. Тогда возникает некий парадокс, объяснение которого дает ключ к пониманию проблемы существования и динамики трещиноватых зон на глубинах верхней и средней коры. Очевидно, что должен существовать механизм возобновления трещиноватой структуры верхней коры, который периодически засасывает флюиды в волновод и, соответственно, увеличивает трещиноватость последнего. Другими словами, волноводы могут существовать только в режиме динамического равновесия. Это предположение может рассматриваться как фундаментальный факт механики трещиноватых сред наряду с законом Кулона-Мора. Следовательно, мы должны искать механизм циклических круговых или возвратно-поступательных движений флюидов в волноводах. Никаким другим способом невозможно объяснить факт их существования.

Существуют и другие данные, свидетельствующие о том, что принципиальную роль в эволюции флюидных систем верхней коры играют повторяющиеся процессы.

Суть их сводится к тому, что концентрация слабо растворимых веществ невозможна без многократного повторения однотипных движений флюидов. Именно этим фактом и объясняется наблюдаемая стратификация рудных минералов в верхней коре. Возникает вопрос, какова роль повторяющихся процессов по сравнению с направленным монотонным движением ювенильных флюидов из недр Земли. Многие глубокие и принципиальные расхождения в концепциях научных школ в геофизике связаны с отсутствием четкого и ясного ответа на этот вопрос. Ответ на него можно искать на пути лабораторных экспериментов и математического моделирования.

Для того, чтобы построить модель колебательных процессов, необходимо знать два параметра – интенсивность фильтрации и степень повторяемости этих процессов. Среди возможных претендентов на механизм циклических колебаний флюидов в верхней и средней коре на наш взгляд доминирующим является процесс дилатансионного расширения трещиноватой среды при сдвиговом нагружении этих структур. Именно он дает необходимые значения степени интенсивности динамики флюидов, в частности, величину градиента порового давления. Он оказывается сопоставимым с литостатическим градиентом давления. При пассивной стадии цикла нагружения возникают процессы консолидации и компакций. В этих ситуациях поровое давление изменяется на величину веса вышележащих пород. Все остальные механизмы движения флюидов дают градиенты давления на много порядков меньшие.

Второй параметр можно оценить, исходя из эксперимента, поставленного самой природой. Известно, что в срединно-океанических хребтах астеносфера очень близко подходит к дну океана. В результате на гребне хребта в трещиноватой среде коры возникает тепловая конвекция. Турбулентные струи этой конвекции прорываются в океан в виде т.н. черных и белых "курильщиков" и менее эффективных, но многочисленных термальных выходов. Эти термальные воды несут в себе растворенные вещества, в том числе, и рудные. Осаждаясь на дне, эти вещества образуют железомарганцевые конкреции и другие рудные минералы. Поскольку многие континентальные регионы когда-то проходили стадию коллизии океанических литосферных плит, то некоторые континентальные месторождения обязаны своим происхождением этим минералам, после их длительной вторичной переработки.

Принципиальное значение имеет следующее соображение. Природа является очень "расточительной и неорганизованной дамой". Она много тратит энергии и действий впустую. Выражаясь сухим языком науки, можно сказать, что коэффициент полезного действия природы невелик. Однако в отличие от живых существ обоего пола она обладает завидным постоянством. Другими словами, этот коэффициент хоть и мал, но имеет конечную и, что самое важное, примерно постоянную величину. Данный факт объясняется очень просто. Процесс образования полезных ископаемых представляет собой концентрацию определенных веществ, первоначально рассеянных в Земле в соответствии с их кларками. Единственным достаточно активным агентом концентрации являются флюиды – расплавы или водные растворы. Некоторую роль играют также газовые эманации. Одним из основных механизмов концентрации веществ является повторное движение флюидов в благоприятных для растворения и переноса условиях. Это связано с малой растворимостью большинства рудных минералов. Если эти условия повторяются, то механизм концентрации действует с той же самой эффективностью.

Предусмотреть все мыслимые комбинации геологических условий возникновения всех рудных месторождений достаточно трудно. Их исследование является предметом рудной геологии. Однако можно оценить определяющие параметры процессов, т.е. некие числа, которые характеризуют процесс концентрации того или иного рудного вещества. Можно предположить, что концентрация какого-то малорастворимого минера-

ла связана с повторным движением водных растворов. Тогда режим повторных движений, создающих концентрацию данного минерала, должен быть примерно одинаковым для разных регионов и при разных геологических условиях. Таким параметром может быть, например, средний поток флюида. Можно предположить, что осаждение вещества пропорционально этому потоку. Обозначим символом N_f некий параметр повторных движений водного флюида – число повторов, умноженное на средний поток направленного движения в данном механизме повторов. Он является константой для данного минерала. Для минералов, обладающих сходными физико-химическими и химическими свойствами, этот параметр принимает близкие значения. Более того, величину N_f можно приближенно оценить в тех местах, где собственно сам механизм тепловой конвекции не вызывает сомнения и где можно определить параметры конвекции (например, в срединно-океанических хребтах). Коль скоро данная величина известна, то можно примерно определить характеристики движения флюидов в тех регионах, где наблюдаются те же самые скопления минералов, но действуют другие механизмы повторных движений. В монографии значительное внимание уделяется обоснованию этого утверждения. Если принять данную схему рассуждений, то можно строить математические модели конкретных процессов переноса вещества в трещиноватых зонах верхней коры.

В первой части работы (с 1 по 6 главы) приведены сейсмические и геоэлектрические данные, характеризующие распределение волноводов по латерали и по вертикали. Также дается анализ связи динамики волноводов с сейсмичностью и выполняется качественное исследование природы волноводов. Обсуждение этих материалов проводится в соответствии с поставленными задачами. В частности, рассмотрены те особенности сейсмических волноводов в земной коре, которые можно связать с особыми механическими свойствами пород (их пластичностью, степенью разрушения и повышенной пористостью) и их физическим состоянием (насыщенностью флюидами, режимом динамических процессов и т.д.). К таким свойствам относятся инверсия сейсмических скоростей, повышенная расслоенность, изменение соотношений скоростей продольных (Р) и поперечных (S) волн (V_p/V_s), плотности, сейсмического поглощения и т.д. Наибольший интерес для нас будут представлять зоны, которые совпадают с областями повышенной электропроводности и являются наиболее вероятными областями флюидонасыщенности. Задачей данной работы является попытка получить ответы на следующие вопросы:

- насколько достоверно выделяются волноводы в земной коре по сейсмическим данным и какова методика их выделения;
- каковы глубина и мощность волноводов, как волноводы изменяются по площади;
- как проявляются волноводы в других геофизических полях;
- существуют ли корреляционные связи между структурой волноводов и геологическим строением региона;
- какова возможная природа этих аномальных слоев;
- к каким геологическим следствиям приводит факт существования волноводов.

Необходимо было проанализировать большой объем первичных материалов по глубинному сейсмическому зондированию. Использовать для этого опубликованные данные оказалось невозможным, поскольку глубинные сейсмические исследования проводились в течение последних 50 лет разными организациями с использованием различной методики. В первые годы основной моделью интерпретации этих данных была слоистая модель с постоянным увеличением скорости от слоя к слою. Многие исследователи пользуются этой моделью до сих пор и игнорируют возможное существование в коре слоев с пониженной скоростью. Немало публикуется материалов плохого

качества. По этим причинам данная работа базируется, в основном, на результатах собственной интерпретации первичных материалов ГСЗ. Методика обработки этих материалов описывается в первой главе.

Во второй части работы (7 и 8 главы) дается общий обзор физических свойств вещества верхней коры. Выписываются определяющие уравнения и условия разрушения. Делается отбор тех данных и сведений, которые в той или иной степени касаются данной проблемы и намеченного подхода к ее решению.

В природе мы наблюдаем распространение упругих волн, смятие слоев в складки и разрывные нарушения. Поэтому рассматриваются модели пороупругих, поровязких и дилатирующих сред, а также условия разрушения и соотношения на внутренних границах. В действительности реология горных пород более многообразна. В определенных условиях эти породы ведут себя как вязкоупругие, пластичные тела или среды с другими особыми свойствами. Однако идентификация сложной реологии вызывает затруднение. Более того, определение даже порядка величины вязкости пород является сложной проблемой. Грубость и ненадежность в определении экспериментальных данных ограничивает наши возможности моделирования. Есть основания считать, что пороупругая и поровязкая модели сред во всем спектре реологических свойств пока еще являются достаточными инструментами для объяснения многих наблюдаемых эффектов. Использование моделей с более сложными реологическими законами требует достаточно убедительных доводов в их необходимости. Тем не менее, и эти модели в определенных ситуациях могут оказаться полезными.

Примерно такой же подход выдерживается и в отношении механики разрушения. Акцент делается не на самом разрушении, а на процессах, предшествующих ему, и в объеме, окружающем поверхность магистрального разрыва, а также на методах измерения структур разрушения.

Одна из целей монографии состоит в том, чтобы предложить некоторую концепцию динамики верхней коры и определить пути ее теоретического и экспериментального исследования, а также наметить возможные области приложений. Заметим, что в настоящее время существуют эффективные технологии поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, несмотря на то, что мы не знаем механизмы их образования и природу происходящих в верхней коре процессов. Дело в том, что геофизические методы разведки содержат объективные сведения о свойствах верхней коры и ее самого верхнего слоя, в котором сосредоточена техногенная деятельность.

Естественный путь повышения эффективности геофизических методов состоит в выборе их оптимального сочетания. Новое качество, получаемое в результате объединения действия разных факторов, обозначается специальным термином – *синергизм*. Синергетический эффект комбинации различных геофизических методов разведки невозможно получить на пути традиционной качественной геофизической интерпретации. Необходимо глубокое понимание природы физических процессов в геологической среде на основе математических моделей.

При этом не столь существенно, правильной ли окажется предлагаемая концепция или нет. Принципиально важно то, что она дает конструктивный путь измерений, который в конце концов приведет к правильному ответу. В то же самое время трудно допустить, что число возможных доминирующих механизмов динамики тектонических и флюидных процессов (и, соответственно, число конкурирующих концепций) так уж велико. Приведенные соображения можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу выбранного направления исследований.

В разделе 4.3 использованы материалы, которые были любезно предоставлены С.А. Капланом. В них приведены данные МОВ-СОГТ, используемые в разведочной геофизике, в частности, данные по исследованию волноводов верхней коры и разломов

в осадочных породах по профилю "Уралсейс". Данный раздел является связующим звеном между основным материалом, который носит характер фундаментальных исследований, и сейсморазведкой, имеющей практическую направленность. В дальнейшем возможно более полное использование средств и возможностей геологоразведки для исследования свойств волноводов на различных глубинах.

Впервые встречающиеся (а также редкие и малоизвестные для неспециалистов) термины и понятия обозначаются курсивом. Курсив используется также тогда, когда раскрывается смысл термина или ему дается более широкое толкование. Иногда используется терминология, которая в научной литературе встречается редко и у разных авторов имеет разный смысл. Например, различают глобальный, региональный локальный и микро- уровни (масштабы) явлений. В геологии, геомеханике и физике эти масштабные уровни разделяются и называются несколько по-разному. Вообще геологическая и физическая терминологии часто не совпадают. Однако смысл терминов в каждом конкретном случае легко понять из контекста. В таблице обозначений приведены отдельно обозначения, принятые в главах 1 – 6 и 7 – 8 соответственно. Кроме того, есть локальные обозначения, которые не выходят за рамки одного раздела, и в разных разделах им приписывается разный смысл.