Записки научных
семинаров ПОМИ
Том 274, 2001 г.

А. Г. Рудаков

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ МЕТОДОМ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН

Введение

1. Предлагаемый обзор важнейших вех в истории развития сейсморазведки МОВ зиждется на четком осознании того, что как бы во времени не изменялись и не совершенствовались аппаратурные, методические, технические средства и приемы, используемые в сейсморазведке, неизменной сохраняется исходная для нее ситуация, в соответствии с которой в волновых полях возбуждаемых сейсмическими источниками, наряду с полезными компонентами записи, несущими информацию об интересующих особенностях устройства изучаемой среды, присутствуют многочисленные помехи различных типов. Понятие "полезных сигнал" при этом изначально, в любых мыслимых ситуациях, предполагает известной связь представляющих интерес элементов принятой модели среды (объектов разведки) с характеристиками соответствующих им компонентов наблюдаемого в эксперименте волнового поля. Использование сейсмического метода для целей разведки и изучения тех или иных особенностей глубинного устройства среды является вполне обоснованным и оправданным в научном и методическом отношении лишь при условии, если упомянутые особенности проявляют себя на фоне помех осязаемым (поддающимся экспериментальной проверке) образом в виде заранее предполагаемых, отвечающих им, особенностей наблюдаемого волнового поля. Исторические аспекты развития сейсмического метода последовательно обсуждаются и анализируются с позиций того, какими были, как видоизменялись и какими являются в настоящее время представления о полезных сигналах и помехах; на основе каких сейсмических моделей геологической среды делаются заключения об их свойствах и конструируются процедуры обработки получаемых в эксперименте данных; какими являются критерии качества первичных материалов и эффективность их последующих преобразований.

2. В истории развития метода условно выделено три периода. Первый (начальный) назван классическим, второй – технологическим (или переходным), третий (современный) обозначен как кризисный. Критерии, по которым произведено их обособление и определены временные интервалы, рассматриваются в первом параграфе, озаглавленном *Общая характеристика периодов развития сейсморазведки.* Толстослоистой (с малым числом параметров) модели среды, характерной для классического периода, соответствовала четкая связь между объектами разведки (протяженными по латерали, полого залегающими опорными отражающими горизонтами) и отвечающими им полезными сейсмическими сигналами в виде осей синфазности отраженных волн. Выделение полезных сигналов на фоне всех прочих колебаний оказывалось надежным и достоверным благодаря корреляционному (во многих точках профиля) прослеживанию фаз отраженных волн, соответствующих каждый раз (на каждой расстановке приборов) единому импульсу в источнике. Двумерная волна, как носитель информации о двумерном объекте разведки в модели среды, позволяющей прогнозировать ее свойства на основе законов динамической теории распространения сейсмических волн, являлась ключевым элементом поля сейсмических колебаний наблюдаемого в эксперименте. Этому очевидному, казалось бы, обстоятельству в предлагаемом обзоре приходится уделять особое внимание, поскольку во многих работах (включая и учебники) рассматриваемый период развития метода характеризуется в историческом плане искаженно, причем настолько, что выхолащиваются особенности, принципиально отличающие его от последующих периодов.

3. Начало следующего (технологического) периода характеризуется переходом от прямой аналоговой осциллографной записи к воспроизводимой магнитной (далее цифровой) записи. Однако главным в истории сейсмического метода на этом этапе был переход от систем корреляционного прослеживания волн, в которых исходными для обработки были сейсмограммы ОПВ (общего пункта взрыва), к системам наблюдений по методу ОГТ. Исходными для обработки в этом методе являются синтетические сейсмограммы, образованные парами приемник-источник с общими для них средними точками профиля. Изначально для указанного перехода был единственный побуждающий мотив – необходимость борьбы с помехами в виде кратноотраженных волн. Эти помехи, близкие по своим свойствам к полезным сигналам, формируются и оказываются наиболее интенсивными в средах с гладкими протяженными границами, залегающими почти горизонтально. Именно для таких (поперечно-изотропных) моделей среды и был разработан метод ОГТ. Однако его дальнейшее триумфальное, в некотором роде, шествие по различным регионам и континентам было, на самом деле, обеспечено вовсе не ориентированностью на горизонтально-слоистую модель среды и на борьбу с возникающими в ней интенсивными кратноотраженными волнами-помехами. Как бы совсем незамеченным оказалось то очевидное обстоятельство, что для сред аппроксимируемых поперечно-изотропной моделью, сейсмограммы ОГТ и сейсмограммы ОПВ практически идентичны и с этих позиций не было никакой необходимости в самой разработке метода ОГТ как такового.

4. Однако в высшей степени привлекательным в этом методе оказалась заложенная в нем (по предположению) возможность определять отражающие свойства отдельных точек среды путем фокусирования в них лучей, принадлежащих различным парам приемник-источник. Переход к системам наблюдений, обеспечивающим такое фокусирование и названным системами многократного профилирования (или многократного перекрытия), повлек за собой кардинальный пересмотр самих основ (физических и геологических) сейсмической разведки методом отраженных волн. Обстоятельства и далеко идущие последствия такого перехода обсуждаются в параграфе, озаглавленном *Переход от "однократных" к многократным системам наблюдений и некоторые его последствия*. Именно на этапе указанного перехода произошла полная переоценка ценностей классического периода и, в частности, применявшиеся тогда корреляционные системы наблюдений стали трактоваться как однократный вариант используемых в методе ОГТ систем многократных перекрытий. Последние же представляют собой ни что иное, как одиночные группы элементов (пар приемник-источник), свойства которых для каждой средней точки профиля исчерпывающим образом определяются соответствующими им функциями распределения чувствительности. Тем самым, неоднократно воспроизводимые в литературе описания преимуществ, которые приобрела сейсмическая разведка при тотальном переходе к методикам многократного перекрытия, не сопровождаются даже упоминаниями о том (главном), что она при этом утратила.

5. Конечным результатом преобразования исходного волнового поля по способу ОГТ на каждой средней точке профиля является единственная трасса (суммотрасса), по которой нет никакой возможности судить об эффективности такого преобразования (группирования по ОГТ), имеющего целью выделение полезных сигналов на фоне помех. Утрата надежного и наглядного критерия качества обработки волнового поля – потеря ничем не восполнимая. Опора на одномерную модель среды, при одновременном придании этапу обработки сейсмичских данных роли и значения заведомо не адекватных геологическим задачам метода (крайним проявлением чего является тенденция рассматривать обработку, как завершающий этап всего процесса сейсморазведки) привела, в конечном счете, к фактическому обособлению процедур получения сейсмических данных от этапа обработки, а обработки от интерпретации. Этим проблемам, возникшим на переходном периоде развития метода и полностью сохраняющим свою акутальность по настоящее время, посвящен параграф, получивший название *О размерности систем наблюдений и этапах процесса сейсморазведки*.

6. Главным во втором периоде был переход от классической сейсморазведки к сейсморазведке технологической. Став таковой, она приобрела перманентно кризисный характер, основу которого составляет, очевидное несоответствие между практически ничем не ограниченными претензиями на решение любых геологоразведочных задач в сколь угодно неоднородных средах и степенью обоснованности (уровнем строгости) таких претензий. Этому современному кризисному периоду в истории развития сейсмического метода посвящен весь последующий (основной) объем настоящего обзора.

Одним из центральных является вопрос о характере задач, которые ставятся перед сейсмическим методом на современном этапе. Их принято именовать “обратными задачами сейсморазведки”. Противоестественность самого такого наименования следует уже непосредственно из здравого смысла. Выяснению действительного содержания упомянутых задач, а также и обстоятельств, сделавших возможным (хотя и не оправданным) их постановку, посвящен раздел *Об "обратных задачах сейсморазведки" и об обратных динамических задачах сейсмики (сейсмологии).* Правомочность обратных динамических задач в практической сейсморазведке первоначально предполагалась лишь в классе поперечно-изотропных (сверточных) моделей. Другим условием было практическое отсутствие помех. При этом всеми всегда признавалось и признается сложное неоднородное устройство изучаемой геологической среды, в том числе, и в типичных осадочных бассейнах.

7. Ситуации с полезными сигналами в сверточной модели среды, даже при полном (если позволительно такое предположить) отсутствие помех, посвящен раздел *О полезных сигналах в модели тонкослоистой среды.* Совершенно по особому, с позиций основанных на анализе интерференционных процессов, приводящих к формированию компонентов волнового поля, обладающих свойствами некорректности, дееспособность сверточной модели подвергается рассмотрению в разделе *Некорректные компоненты волнового поля как индикатор допустимой детальности "тонкослоистых" моделей среды.*

8. Во многом основополагающему вопросу о том, требуется ли при конструировании процедур обработки и в процессе интерпретации учитывать свойства исходной геологической модели изучаемой среды, или достаточно ориентироваться на непосредственное изучение только ее физических параметров, уделено внимание в разделе *О физическом и геологическом в моделях сейсморазведки МОВ.* Здесь однако эта тема обсуждается в основном на уровне постановки, свое дальнейшее развитие (с различных точек зрения) она получает в последующих разделах обзора.

Сверточная модель среды и группирование по ОСТ, хотя и продолжают еще играть существенную роль в современных процедурах обработки сейсмических данных, отсутствие у них будущего в исторической перспективе становится все более отчетливым и даже иногда, явно или неявно, признаваемым. Первопричина – очевидная неадекватность модели и способа обработки реалиям геологической среды в подавляющем большинстве районов работ. На смену идеально упорядоченной горизонтально-слоистой модели среды приходит и постепенно занимает непререкаемо ведущее положение модель среды, состоящая из "точек". Пожалуй наиболее удивительным пока яаляется совместное использование этих двух, столь непохожих друг на друга, моделей. Вначале обработка исходного волнового поля ведется с использованием процедур, основанных на предположении о горизонтально-слоистом устройстве изучаемой среды, но дальнейшая обработка того же самого поля продолжается в предположении о ее точечной структуре.

9. Преобразование временных разрезов, отвечающих первой из указанных моделей, в разрезы, соответствующие второй модели, осуществляется путем мигрирования (переустройства) разреза полученного первым. Такая миграция называется "миграцией после суммирования". Во все большей степени она уступает место т.н. "миграции до суммирования", изначально ориентированной на точечную модель. Вопросам обоснования такой модели среды (включая попытки оценить, что же в действительности может собой представлять участвующая в ее образовании "точка"), а также анализу процедур миграции на основе дифракционного преобразования посвящен раздел "Точечная модель среды. Миграция".

10. Некоторым аспектам дальнейшего развития процедур миграции, а также и постоянно сопровождающим это развитие трансформациям в понимании свойств "точки" и свойств окружающей ее среды, посвящен раздел *О некоторых новых и новейших методиках и технологиях обработки сейсмических данных.*

Выделяя в развитии различных модификаций миграционных преобразований главное, можно констатировать следующее. Идея воспользоваться "точками", как универсальным строительным материалом для "моделей" сред любого уровня сложности, является, судя по всему, неотразимо привлекательной. По мере же ее практической реализации, приобретающей все более усложненно-изощренный характер, с неотразимой неизбежностью становится понятным, что для того, чтобы получить неопределенно приблизительные сведения о свойствах среды в отдельно взятой "точке", требуется точно знать свойства всей вмещающей ее среды. Из-за отсутствия ясности в толковании того, что представляют собой точки, составленная из них модель утрачивает способность характеризовать не только геологические, но также и физические свойства изучаемой среды. Реальная среда подменяется заведомо искусственной (техногенной) и это, в конечном счете, становится тем пределом, за которым кончаются возможности и перспективы использования точечной модели для решения задач сейсмической разведки.

11. Из раздела, в котором речь идет *О главных следствиях из истории развития сейсмического метода разведки*, упомянем лишь некоторые из них, возможно, заслуживающие особого внимания. Констатируется характерное для настоящего времени рассогласование (разобщение) физических и геологических аспектов метода. Отнесение сейсморазведки к "одному из методов экспериментальной физики" и ориентация на получение акустических разрезов в качестве конечного продукта "всех сейсмических работ", противоречат самой ее геологоразведочной сути. Служба геологической разведки не входит в штат экспериментальной физики и в ней нет заказчиков, готовых ограничиться решением "обратных задач сейсморазведки" с таким конечным результатом. Продолжением все той же проблемы разобщения является и наметившаяся тенденция относить формирование геологических моделей среды лишь на заключительную (интерпретационную) стадию процесса сейсмической разведки.

Другое, также представляющееся особо важным, следствие из истории развития сейсмического метода касается оценки фактического положения дел, сложившегося в области изучения действительных свойств сейсмических помех и учета их роли на всех этапах сейсморазведочного процесса. Сейсмическое волновое поле состоит из сигналов и помех. Изучение последних не менее важно, чем первых. Пожалуй никто против этого, во всяком случае, открыто не возражает. Практически же все связанное с помехами в сейсморазведке отодвинуто далеко на задний план, в зону умолчания. На передний план вышли предположения, в соответствии с которыми во всех случаях помехи удается (как-то) подавить настолько, что присутствием их в составе волнового поля можно пренебречь.

В обзоре делается попытка переломить такой настрой. Выбранный для этого путь включает в себя рассмотрение ряда конкретных примеров экспериментального анализа помех, результаты которого способны определяющим образом влиять на выбор и обоснование как методик полевых наблюдений, так и обработки получаемых данных и их интерпретации. Сюда, в частности, относится описание сейсмических помех, как реализаций волновых фонов; обнаружение в эксперименте некорректных компонентов волнового поля, присутствие которых в составе регистрируемых записей делает необходимым пересмотр всех ранее сложившихся подходов к получению исходных данных для синтеза параметров систем интерференционного приема; несогласующиеся с традиционными представлениями данные о свойствах т.н. "поверхностных" волн; обоснование природы "взрывного гула"; разработка и обоснование эффективности методики многоэлементного группирования приемников и источников для подавления среднескоростных волн-помех и др. Однако наиболее значительную (своего рода фундаментальную) в этом плане роль имеет введение понятия исходного необработанного волнового поля (ИВП), как стандартной пространственно-временной сейсмической характеристики изучаемой среды, как начального объекта для последовательного и целенаправленного его преобразования на всех стадиях сейсморазведочного процесса.

12. В заключительном разделе обзора *О некоторых возможных направлениях и перспективах развития сейсмического метода* сделана попытка заглянуть в будущее сейсмического метода. Представляется, что в перспективе естественным образом осуществится синтез наиболее сильных, апробированных практикой достижений, приобретенных в различные периоды и этапы его развития. От попыток объять необъятное (с неограниченной точностью определять свойства среды во всех ее точках) метод по необходимости вернется к формулированию решаемых им задач на языке сейсмогеологических моделей. Указанные модели будут состоять из ограниченного (малого) числа элементов (объектов), имеющих однако ключевое значение для получения конкретных, реально достижимых, ответов на интересующие разведку вопросы. Выбор гипотез полагаемых в основу моделей будет производиться с максимальным учетом всей полноты имеющихся априорных данных. Оценка достоверности выдвигаемых гипотез, равно как и оценка реально достижимой точности выполняемых построений, будет определяться характером и степенью соответствия предполагаемых и реально наблюдаемых в эксперименте полезных компонентов волнового поля. При этом вся мощь современной вычислительной техники будет направлена не на то, чтобы подстраивать получаемые сейсмические данные под некоторую умозрительно составленную универсальную модель но, наоборот, свойствами наблюдаемого в эксперименте волнового поля оправдывать достоверность предполагаемых в данном районе работ особенностей устройства среды, интересующих разведку.

Найдет себе место разумное сочетание способов наблюдений и обработки, основанных на распознавании локальных неоднородностей среды путем сопоставления выявленнных аномалий с известными аналогами, и способов основанных на более строгих оценках достоверности, оправдываемых по мере накопления априорных данных. С целью повышения эффективности первого подхода будут приняты меры по стабилизации параметров регистрирующих каналов в пределах всей площади исследований, а также по вычитанию из получаемых записей всей совокупности заранее выявленных и изученных помех.

Займет подобающее ей место геологическая составляющая сейсмического метода разведки. Роль геолога-геофизика, четко представляющего себе практическую направленность проводимых исследований, знающего специфику геологического строения районов работ, владеющего основами динамической теории распространения сейсмических волн, будет решающей на всех стадиях сейсморазведочного процесса от проектирования до выдачи окончательных результатов и контрольных проверок.

13. Завершая вводную часть обзора, отметим еще одну его важную задачу, связанную с попыткой уточнения ряда понятий и определений широко используемых в сейсморазведке, но так и не получивших необходимого обоснования. Без достижения единого понимания главных, ключевых терминов становится затруднительным, а в некоторых случаях даже и невозможным, нормальное профессиональное общение широкого круга причастных к сейсморазведке специалистов. В связи с затронутыми проблемами в обзоре обсуждаются и анализируются исследования и отдельные высказывания многих авторов. Чтобы отображать их предельно точно и объективно в последующем тексте потребовалось довольно часто прибегать к цитированию.

1. Общая характеристика периодов развития сейсморазведки

1. В истории развития сейсморазведки (МОВ) условно выделено три периода. Первый (начальный) назван классическим, второй

– переходным, третий (современный) обозначен как технологический (кризисный).

Характерными чертами классического периода, занимающего временной интервал приблизительно до середины 60-х годов, являются: модель изучаемой среды – толстослоистая; объекты разведки – опорные отражающие горизонты; системы наблюдений – непрерывное корреляционное профилирование; аппаратурное обеспечение – прямая осциллографная запись. Особенностью модельных представлений в этот период была очевидная корреляционная связь между физическими и геологическими свойствами объектов разведки. Выдержанные в пространстве границы перепада акустической жесткости вполне удовлетворительно ассоциируются с геологическими реперами, контролирующими глубинные структурные планы изучаемых территорий. Благодаря их непрерывному корреляционному прослеживанию обеспечивалось решение главных, выдвигаемых в те времена перед сейсмическим методом, структурных задач по поиску и разведке антиклинальных ловушек нефти и газа.

Выделение полезных сигналов на фоне помех оказывалось надежным и достоверным благодаря корреляционному (во многих точках профиля) прослеживанию фаз отраженных волн, соответствующих каждый раз (на каждой расстановке приборов) единому импульсу в источнике. Целевая волна, как носитель информации о двумерном объекте разведки в модели среды, позволяющей прогнозировать ее свойства на основе законов динамической теории распространения сейсмических волн, являлась ключевым элементом поля сейсмических колебаний, наблюдаемого в эксперименте.

2. Второй период (до начала 70-х годов) характеризуется переходом от прямой аналоговой осциллографной записи к воспроизводимой магнитной (далее цифровой) записи. Однако главным в истории сейсмического метода на этом этапе был переход от систем корреляционного прослеживания волн, в которых исходными для обработки были сейсмограммы ОПВ (общего пункта взрыва) к системам наблюдений по методу ОГТ. Исходными для обработки в этом методе являются синтетические сейсмограммы, образованные парами приемник-источник с общими для них средними точками профиля.

Изначально для указанного перехода был единственный побуждающий мотив – необходимость усиления борьбы с помехами. Метод ОГТ был изобретен "как способ подавления помех с которыми не удается справиться путем группирования" [1, с. 55]. Эти помехи в виде кратноотраженных волн, близких по своим свойствам к полезным сигналам, формируются и оказываются наиболее интенсивными в средах с гладкими протяженными границами, залегающими субгоризонтально. Именно для таких (поперечно-изотропных) моделей среды и был разработан метод ОГТ. При этом как бы совсем незамеченным оказалось то очевидное обстоятельство, что для сред, аппроксимируемых указанными моделями, сейсмограммы ОГТ и сейсмограммы ОПВ практически идентичны и с этих позиций не было необходимости в самой разработке метода ОГТ, как такового.

3. Более всего в этом методе привлекала заложенная в нем (по предположению) возможность определять отражающие свойства отдельных "общих глубинных точек" среды путем фокусировки в них лучей, принадлежащих различным парам приемник-источник. Переход к системам наблюдения, ориентированным на обеспечение такой фокусировки и названных системами многократного профилирования (или многократного перекрытия), привел, в конечном счете, к кардинальным изменениям в самих основах (физических и геологических) сейсмической разведки, в идеологии выбора и обоснования моделей изучаемых сред, объектов разведки, в оценках разрешающей способности метода круга решаемых задач и т.д.

Переживаемый в настоящее время (технологический) период развития сейсморазведки может быть назван кризисным. Суть кризиса в отсутствии согласованности между практически ничем не ограниченными (заранее не предсказанными и не подготовленными) претензиями на способность решать самые разнообразные геологоразведочные задачи и степенью (уровнем строгости) обоснованности таких претензий. Этому современному кризисному периоду в истории развития сейсмического метода разведки посвящен весь последующий (основной) объем настоящего обзора.

2. Переход от "однократных" к многократным системам наблюдений и некоторые его последствия

Главное, что произошло при трансформации классической сейсморазведки в сейсморазведку современную, состоит в утрате понятия "объект сейсмической разведки" (точнее, в утрате понимания того, какими являются, или должны быть элементы волнового поля, отвечающие объектам разведки, в составе регистрируемой сейсмической записи) и, соответственно, в потере надежного и наглядного критерия качества выполняемых процедур обработки. Основная причина такого положения дел кроется как раз в смене систем наблюдений. На этом следует остановится подробнее.

1. Как соотносятся между собой применявшиеся (МОВ–ОПВ) и применяющиеся (МОВ–ОГТ) системы наблюдений? В учебнике по сейсморазведке об этом говорится так: "Основная идея МОГТ заключается в следующем. Существует множество систем однократного перекрытия, каждая из которых позволяет непрерывно прослеживать одну и ту же отражающую границу вдоль всего профиля. При целесообразной обработке материалов отражающий горизонт должен располагаться на одном и том же участке каждого сейсмического разреза. Если произвести наложение n таких разрезов, то все колебания, отображающие положение отражающего горизонта сложатся синфазно, и амплитуда суммарного колебания будет в n раз больше амплитуды на разрезе однократного перекрытия, что и позволит обнаружить отражающие горизонты, не видимые на разрезах однократного перекрытия" [2, с. 289]. Такая трактовка "основной идеи МОГТ" дает совершенно искаженную картину того, что в действительности происходит при МОВ–ОГТ и как это соотносится с тем, что делается при традиционном МОВ (МОВ–ОПВ).

Сейсмогеологические разрезы участков профиля (при любом виде их представления) есть результат комплексной интерпретации сейсмических и геологических данных, относящихся к этим участкам. С получением новых материалов разрезы можно изменять, улучшать, предлагать дополнительные варианты, но их невозможно суммировать. То, что в приведенной цитате называется наложением (суммированием) n разрезов, на самом деле есть суммирование колебаний, зарегистрированных n парами приемник-источник, входящих в группу ОГТ. Каждой средней точке на профиле соответствует своя группа ОГТ. Если следовать изложенному в цитате, каждой паре приемник-источник соответствует свой индивидуальный "разрез", а всей группе ОГТ "разрез" суммарный. По этой же логике применение группы ОГТ из n элементов (из n пар приемник-источник) эквивалентно использованию системы n-кратного перекрытия, где каждый отдельный элемент группы олицетворяет собой однократное перекрытие. Если такой подход применить к системам наблюдений по обычному МОВ, с типичным для них полевым группированием, то оказалось бы, что всем, например, первым (ближайшим к ПВ) приемникам в группах сейсмоприемников соответствует свой разрез, вторым – свой и т.д.

2. Процедуры получения в средних точках профиля суммотрасс ОГТ и трактовка последних как некоторых одноканальных "разрезов" ничего общего не имеет с процедурами, ориентированными на построение сейсмических разрезов по данным систем однократного перекрытия в МОВ–ОПВ. Само понятие (однократное или многократное) "перекрытие" нигде четко не определено. Соответственно отсутствует и ясное определение того, что следует понимать под занявшей ведущее положение в сейсморазведке МОВ методикой многократных перекрытий (ММП). У нас в стране в основной монографии по этой методике "способ ОГТ" трактуется как одна из частных ее реализаций. Вместе с тем отмечается, что принятое наименование (способ ОГТ) "скорее отражает укоренившуюся в литературе и на практике терминологию, чем физическую суть процесса" [3, с. 5]. Тем самым, физическая суть способа ОГТ оказывается как бы за пределами определенности, не говоря уже о сути самой методики ММП. В последней, по времени выхода в свет отечественной монографии, посвященной сейсморазведочным работам МОВ и обработке получаемых данных [7], методика многократных перекрытий трактуется как многократное непрерывное профилирование (МНП), или как методика многократных наблюдений (ММН). При этом отмечается, что "более эффективной системы наблюдений нет и искать ее не имеет смысла... все остальное – неоднозначно, субъективно и не отвечает требованиям изучения геологической среды" [4, с. 232].

3. Обратимся к анализу такого рода определений и утверждений. В способе ММП–ОГТ "кратность перекрытий" означает лишь число элементов в функциях распределения чувствительности последних в группах ОГТ, формируемых в средних точках профиля расстановками ОПВ при выбранном режиме их перемещения вдоль профиля [5–7]. Термин "методика многократных перекрытий" буквально означает "методика многоэлементного группирования". В самом этом понятии, как таковом, не содержится ответа на вопрос – в рамках какой конкретной системы наблюдений и с какой целью используется группирование с большим числом элементов. Другими словами, "методика многократных перекрытий" сама по себе не является системой наблюдений и, следовательно, не имеет смысла искать "сильные" выражения для оценки ее эффективности в этом качестве и уже, тем более, опираясь на нее, ставить крест на перспективах всего дальнейшего совершенствования систем наблюдений в МОВ.

Совсем иное содержание у понятия кратность в МОВ–ОПВ. Первоначально (в начальный период) при описании систем наблюдений по МОВ этот термин вообще не употреблялся. Наряду с "простой" (обыкновенной) системой непрерывного профилирования, различали еще системы двойного и полуторного профилирования. И та и другая представляют собой комбинации двух полных систем непрерывного корреляционного (позиционного и транспозиционного) прослеживания полезных отраженных волн, позволяющих "изучать одну и ту же отражающую границу независимо дважды на всем протяжении профиля" [8, с. 443]. При двойном профилировании длина годографов в каждой из систем одинакова, при полуторном – длина годографа в одной из них наполовину меньше, чем в другой. Ясно, что система полуторного, например, перекрытия в обычном МОВ не может совпадать с системой полуторакратного перекрытия в МОВ–ОГТ уже только потому, что никакая система наблюдений не может состоять из нецелого числа элементов.

4. В специальном рассмотрении нуждается вопрос о соотношении систем однократного перекрытия в МОВ и в МОВ–ОГТ. В последнем случае кратность n определяется в соответствии с "общепринятым правилом выбора параметров системы многократных перекрытий" [9, с. 16] соотношением:

$$n = K\Delta\text{СП}/2\Delta\text{ПВ}, \tag{1}$$

где K – число каналов в расстановке ОПВ; ΔСП – расстояние между каналами этой расстановки; ΔПВ – шаг перемещения расстановки ОПВ вдоль профиля после каждого взрыва. Утверждается, что "методика многократных перекрытий является наиболее общей системой наблюдений в сейсморазведке МОВ, все прочие системы получаются из нее при частных значениях параметров. Например, с уменьшением кратности до $n = 1$ (и при некоторой канальности станции) мы получим однократную систему наблюдений (ОНП), а при дальнейшем снижении кратности не обеспечивается непрерывность изучения геологического разреза" [4, с. 62]. Под ОНП здесь понимается система "однократного" непрерывного профилирования в традиционном МОВ.

В дополнении к уже выше изложенному по поводу ММП, отметим следующее. Число элементов в группах ОГТ не может быть меньше единицы, поэтому нет смысла обсуждать, что будет при "дальнейшем снижении кратности" после $n < 1$. В соответствии с (1) кратность в выборках трасс ОГТ, формируемых расстановкой ОПВ, равняется единице при ΔПВ$= K\Delta$СП$/2$. В этом случае фланговая расстановка ОПВ из K каналов без выноса ($x_1 = 0$) формирует в средних точках профиля K реализаций одноэлементных "групп" ОГТ, каждая из которых состоит из одной пары приемник-источник (K реализаций однократных систем наблюдений), повторяющихся вдоль профиля с периодом ΔПВ. Реализации различаются между собой величиной l (расстоянием между полюсами элементов): от $l_1 = 0$ до $l_k = (K-1)\Delta$СП. Во всем этом, как видим, нет и намека на то, что составляет суть "однократных" систем наблюдений в традиционном МОВ.

3. О размерности систем наблюдений и этапах процесса сейсморазведки

В последние годы системы наблюдений стали различать по их Д-размерности. Принято говорить об 1Д-сейсморазведке, 2Д-сейсморазведке, 3Д-сейсморазведке и т.д. Новый термин, судя по всему, не имеет общепризнанного толкования. При этом наметилась тенденция весьма своеобразно интерпретировать заложенный в нем смысл и оценивать его значимость. В одной из работ, например, вся история развития сейсмического метода трактуется как история роста размерности данных, и с этим же ростом увязывается также смена роли и значения этапов сейсморазведки [10]. Указанные вопросы относятся к числу важнейших, свидетельством чего является, например, ничем не оправданный (к тому же еще во многом даже и не осознанный) разрыв между этапом получения "первичных" материалов в поле и их обработкой, между обработкой и интерпретацией. Обратимся к некоторым аспектам этой проблематики.

1. Первый, выделенный по принятому в [10] критерию, период в истории развития сейсмического метода, продолжительностью до 1960 года, фактически совпадает с классическим периодом в сейсморазведке МОВ. Он характеризуется как период 1Д-сейсморазведки, в котором одномерные данные, зависящие только от координаты t, получали используя системы “однократного профилирования” по вертикали. Можно только удивляться настойчивости, с которой системам наблюдений, применявшимся в тот далекий (плодотворный по своим результатам) период, приписываются свойства совершенно отличные от тех, какими они были на самом деле. Так, в комментарии, сопровождающем статью [10] хотя и обращается внимание на неверную в ней трактовку размерности сейсморазведки в начальный ее период, приводится такое разъяснение различий между системами многократных перекрытий и системами однократного или полуторакратного перекрытия в МОВ, которое лишь дополнительно запутывает весь этот вопрос. Упомянутое различие сводится лишь к тому, что системы многократных перекрытий “позволяют более эффективно бороться с разного рода помехами и увеличивают детальность отображения разреза за счет большого числа пунктов взрыва” (?!). Далее в [10] утверждается, что в начальный период среди этапов проведения сейсмических работ (подразделяемых на регистрацию, обработку и интерпретацию) решающим был этап регистрации. Но ведь этап полевых работ (названный этапом регистрации) потому и был при обычном МОВ с прямой осциллографной записью решающим, что в ходе его производилась и завершалась обработка волнового поля. Регистрация же сама по себе – она и есть регистрация.

2. Второй, современный период по этой классификации – период систем многократных перекрытий, период 2Д и 3Д-сейсморазведки. Решающим здесь считается этап обработки. Такая, разделяемая многими позиция, объективно может способствовать (и часто способствует) весьма облегченному восприятию того, что следует понимать под регистрацией волнового поля на “не решающем” этапе полевых работ, реализация которого во многих случаях поглощает львиную долю средств, выделяемых на сейсмическую разведку. Важнейшая же на камеральном этапе обработки процедура суммирования волн по средней точке определена "как процедура прослеживания однократных сейсмических волн" [10, с. 42]. Совершенно непонятно, зачем суммирование однократных волн в точке называть их "прослеживанием", тем более, что в свете вышеизложенного, термин "однократная волна" может восприниматься и как любая волна, зарегистрированная одной из пар приемник-источник, входящих в группу ОГТ? Ведь появился же в литературе такой загадочный по своему содержанию термин как "одноканальная волна". Ради оправдания тезиса об истории развития сейсморазведки как истории роста размерности данных, авторам [10] потребовалось искусственным образом перенести процедуру корреляционного прослеживания волн, характерную для x, t систем наблюдений, из первого периода во второй, а процедуру "однократного профилирования по вертикали", характерную для систем наблюдений по t, из второго периода в первый.

3. В третьем периоде, простирающемся от настоящих дней до обозримого будущего, решающим считается этап интерпретации. Отрыв обработки от интерпретации также как и "регистрации" от обработки, ни к чему хорошему не ведет. Представляется, что наиболее ёмко и, вместе с тем, кратко суть взаимоотношения обработки и интерпретации изложена в следующем высказывании: "как давно известно (хотя об этом редко говорят) вся обработка сейсмических данных по существу и есть интерпретация" [11, с. 39]. Заметим лишь, что вопрос о начале обработки и о ее сущностной содержательности невозможно решить без введения понятия необработанного (исходного) волнового поля ИВП [12].

4. Об "обратных задачах сейсмической разведки" и об обратных динамических задачах сейсмики (сейсмологии)

Часто говорится и пишется о решении с помощью систем различной Д-размерности прямых и обратных задач сейсморазведки. Однако действительные задачи сейсмической разведки формулируются на языке геологии и являются прямым отражением народно-хозяйственных проблем. У сейсмической разведки обратных задач не бывает, бывают лишь нерешенные задачи. Не определен и круг не решаемых (на данной стадии развития метода) задач.

1. Во многих случаях поставленные перед сейсмическим методом геологические разведочные задачи не удается решить из-за разнообразных интенсивных помех. Если предположить, что таковые отсутствуют, размерность перечисленных выше систем наблюдений по МОВ–ОГТ сократилась бы до $1D$. Можно ли в рамках такого (чисто гипотетического) предположения, применяя при наблюдениях в точках дневной поверхности совмещенные приемник и источник, решать задачи сейсмической разведки в объемных средах практически неограниченного уровня сложности? Чтобы попытаться ответить на этот вопрос, необходимо прежде всего уточнить – о решении какого рода задач идет речь. Если иметь в виду поиски и разведку локальных геологических объектов во вмещающей их среде (например, неантиклинальных ловушек различного типа), то логически последовательное решение таких задач предполагает умение сейсморазведчиков: а) сопоставить таким объектам соответствующие эффективные модели (или набор моделей); б) решить путем теоретических рассчетов или физического моделирования прямые задачи, определяющие особенности компонентов поля, несущих информацию об интересующих свойствах геологических объектов; в) выделить вслед за подавлением помех указанные компоненты в составе обработанного волнового поля и по ним сделать возможные геологические заключения (провести интерпретацию).

Реализовать описанный подход, опираясь на наблюдения с совмещенными в одной точке приемником и источником, заведомо невозможно. Тогда о решении какого же рода задач идет речь при использовании одноэлементной системы наблюдений? Будучи с позиций интерференционного приема максимально широкополосной, такая система наблюдений способна регистрировать любые сейсмические колебания, возбуждаемые в среде. Однако по записи на одной трассе определить природу этих колебаний, принадлежность их к тем или иным типам волн невозможно. Следовательно, невозможно и вести поиск и разведку локальных геологических объектов с заранее предполагаемыми сейсмическими свойствами.

С началом использования указанных систем, сейсмическая разведка геологических объектов в среде сменилась, в основе своей изучением физических (акустических) свойств среды во всех ее точках. Для такого изучения и были привлечены способы обработки записей сейсмических трасс, которым стали придавать смысл решения “обратных задач сейсморазведки”. Обратимся к некоторым аспектам истории их обоснования и использования.

2. Переориентация систем наблюдений в методе МОВ с изучения природы и характеристик волн в составе двумерных сейсмограмм на анализ записей соответствующих одномерным сейсмическим трассам, сопровождалась кардинальными изменениями во взглядах на свойства моделей изучаемых сред. Представление о непрерывном заполнении всего интересующего интервала времен на суммотрассах полезными (однократно-отраженными) волнами, при зондировании среды импульсами ограниченной длительности, явно не укладывались в рамки толстослоистой модели. На смену ей (вынужденно, в указанном смысле) пришла тонкослоистая модель среды, в которой скоростная дифференциация слоев лимитируется практически лишь размерами измерительного зонда при акустическом каротаже.

Как известно, речь об устойчивом корректном решении обратных динамических задач сейсмики можно вести лишь при весьма жестких ограничениях на свойства среды и условия наблюдений. В частности, как отмечается в [13], помехи должны полностью отсутствовать, а свойства среды удовлетворительным образом соответствовать идеально упругой горизонтально-слоистой модели. Судить о действительных свойствах изучаемых сред можно лишь опираясь на данные, накопленные в геологии. Из этих данных следует, что геологические среды, включая и осадочные бассейны, имеют сложное строение. Практически всеми признается присутствие в них множества неоднородностей, в том числе, и с огромным диапазоном размеров по латерали. В такой ситуации, казалось бы весьма затруднительно даже ставить вопрос о корректном решении обратных динамических задач сейсмики. Тем не менее был предложен путь, ведущий, как представлялось его авторам, к получению устойчивых решений задач такого типа.

3. Суть этого подхода, изложенного в развернутом виде в [13], заключается в следующем. Признается, упомянутое выше, сложное строение в осадочных бассейнах. Вместе с тем, утверждается, что если выбрать на площади наблюдений любую точку и провести через нее перпендикуляр к дневной поверхности, то внутри окружающей его области, ограниченной первой зоной Френеля, “подавляющее большинство породных ассоциаций удовлетворительно описывается параллельно-слоистой моделью с бесконечным простиранием. Эта модель может быть положена в основу решения прямых и обратных задач” [13, с. 22]. Реальный вес столь ответственного по форме утверждения невозможно оценить без отсутствующего в нем пояснения того, что конкретно понимается под решением прямых и обратных задач. Речь в данном случае идет о сверточной модели среды при обработке данных метода ОГТ. Параметры систем наблюдений по этому методу определяют исходя из требований подавления помех типа кратных отраженных волн. Сверточная модель не способна служить основой для решения прямых задач по выяснению возможных механизмов формирования кратных волн-помех наблюдаемых в эксперименте. Не способна она и быть основой для расчетов полей полезных волн, которые можно было бы сопоставлять с данными эксперимента. По отношению к каким же прямым задачам решаются обратные задачи на основе данной модели?

4. Обращение к геолого-геофизическим аспектам обоснования самой обсуждаемой модели и способов ее практической реализации подводит к следующим заключениям. Принятый подход к описанию свойств изучаемых сред несколько отдаленно напоминает спектральное представление сигналов: сами они могут быть сколь угодно сложными и разными, но разложить их можно на однотипные элементарные сигналы. Однако теоремы о “разложении” реальных сложных геологических сред на множество локальных элементарно простых унифицированных сред не существует, а приведенные в [13] доводы в ее пользу (в том числе почерпнутые из области геологических моделей) не являются убедительными [14].

5. Дополнительным аргументом в пользу созданной на базе сверточной модели “методологической основы преобразования сейсмических записей в детальную петрофизическую модель среды” служит утверждение, согласно которому ее эффективность была обеспечена, главным образом, за счет “мощных средств обработки сейсмических данных, позволяющих существенно трансформировать волновое поле, приводя его к такой модели, в рамках которой возможно устойчивое решение обратной динамической задачи” [13, с. 214]. Следовательно, если, положенная в основу обработки модель изучаемой среды заведомо отличается от того, что о ней априори известно, то за счет “мощных средств обработки” наблюдаемому волновому полю можно придать вид, который у него был бы в случае, если свойства среды соответствовали предполагаемым. Одним из условий корректного решения обратной динамической задачи считается допущение, согласно которому для возбуждения колебаний используется источник, генерирующий плоские волны нормально к границам напластования. На практике применяются точечные источники. В число процедур обработки записей трасс, входящих в группу ОГТ, с целью приведения волнового поля к виду “делающему возможным” успешное решение обратной динамической задачи, входят: ввод статических поправок, что “обеспечивает одномоментность возбуждения плоской волны на линии приведения” и ввод кинематических поправок, имеющий следствием “преобразование кинематики поля сферического источника в поле плоского источника”. Не вдаваясь в оценку такого “методологического обоснования”, обратим внимание на следующее. Число элементов в группах ОГТ при $n > 1$ и их расположение на площади диктуются требованиями подавления помех. Исходя из вышеизложенного можно придти к выводу, что при отсутствии помех успешное решение обратной динамической задачи ставится под сомнение.

6. Разумеется, там, где свойства геологической среды приблизительно соответствуют предполагаемым (что требуется каждый раз обосновывать экспериментально), развиваемый подход может быть эффективным, при дополнительном, правда, ограничивающем условии [13], что помехи (которые на первичных записях по интенсивности не должны превосходить полезные сигналы) в ходе обработки удается ослабить еще на порядок.

Что следует понимать под приблизительным соответствием свойств геологической среды и аппроксимирующей ее модели – вопрос из области практики. В тех случаях, когда удается решить поставленные геологоразведочные задачи, обычно не бывает трудностей при обосновании причин успеха. К сожалению, в случаях неуспеха, как правило, не проводится (по крайней мере публично) разбор причин, породивших неудачу. Принцип “на ошибках учатся” не привился в сейсморазведке. Свидетельством этому служит, например, следующее авторитетное высказывание: “Один вопрос в литературе остается неосвещенным. Мы имеем в виду адекватное описание неудачных случаев интерпретации сейсмических данных. А ведь ошибочными, и притом катастрофически, оказывается большинство интерпретаций” [11, с. 39].

5. О “полезных” сигналах в моделях тонкослоистых сред

Рассмотрим одну из проблем, порождаемых представлениями о тонкослоистости разреза при работах по МОВ в сейсмическом диапазоне частот. Она связана с уточнением понятия “полезный сигнал” применительно к данной ситуации. Из справочных данных следует: “понятие полезного сигнала как выдержанной регулярной отраженной волны является в настоящее время устаревшим” [15, с. 61]. Определения же того, что следует понимать под полезным сигналом в настоящее время в справочнике не содержится.

1. Отождествляя амплитуды сигналов на суммотрассах ОГТ со значениями коэффициентов отражения на границах разреза и конкретизируя времена прихода волн, сейсмическую трассу записывают в виде свертки исходного сейсмического сигнала $s(t)$ с импульсной сейсмограммой – последовательностью частотно-независимых коэффициентов отражения. Импульсная сейсмограмма олицетворяет собой “истинные” (определенные по данным акустического каротажа с предельно возможной точностью) физические свойства среды, не зависящие от методики работ по МОВ и, в том числе, от формы зондирующего импульса. Под эффективной же сейсмической моделью среды в данной точке наблюдений понимается такое, максимально приближенное к истинному, распределение коэффициентов k, которое может быть достигнуто при решении обратной динамической задачи по материалам, полученным с исходным сейсмическим сигналом, реализуемым в эксперименте. При такой постановке на сейсмических трассах появляется весьма своеобразная помеха, в качестве которой выступают сами полезные сигналы, точнее – соответствующая им конкретная форма импульса $s(t)$.

2. Действительно, сейсмические сигналы на суммотрассах ОГТ, если даже допустить, что последние каким-то образом полностью избавлены от влияния волн-помех различного типа, а изучаемая среда вполне удовлетворительно аппроксимируется поперечно-изотропной моделью, еще не являются вполне "полезными". По предположению каждый из них образовался путем отражения от одиночной границы тонкослоистого разреза, со своим значением коэффицента отражения k. Полезная информация заключена во времени прихода отраженного сигнала и в его интенсивности, пропорциональной величине k. Извлечению этой информации мешают, в том числе, "полезные" сигналы от соседних отражающих границ, благодаря своей тесной взаимной интерференции. Таким образом, естественная форма отраженных сигналов, обусловленная свойствами источника и особенностями среды, выступает как своеобразная помеха, для ослабления влияния которой в процессе обработки (как и в случае других помех) требуется ее предварительное изучение. Такое, проводимое независимым образом на каждом отдельном пикете ОГТ, изучение формы элементарных отраженных волн, отождествляемой с формой некоторого единого для всех них "исходного" сигнала, основывается на системе не контролируемых экспериментом предположений, как об условиях образования этого сигнала в источнике, так и об условиях его дальнейшего распространения в среде. При этом точное знание формы исходного сигнала требуется лишь для преобразования последнего в импульс с бесконечно малой эффективной длительностью, при которой только сигналы на суммотрассах ОГТ и становятся в полной мере полезными, приобретая (с учетом так называемого восстановления амплитуд) смысл "потока коэффициентов отражения" [16]. Однако, преследуемая данным преобразованием (деконволюцией) столь идеальная конечная цель не может быть реализована на практике уже потому только, что реальным сейсмическим сигналам соответствуют узкополостные спектры. Утрачивая полезную информацию, содержащуюся в их действительной форме, они сохраняют при этом свою эффективную длительность настолько, что условия тесной интерференции сигналов, отраженных от соседних границ тонкослоистого разреза, продолжают оставаться практически столь же существенными.

3. Тем самым, положенная в основу принятой обработки идеология: отдельной границе в среде – отдельный сигнал на суммотрассе ОГТ, находится в неразрешимом противоречии с ограниченными возможностями, имеющимися у обработки. Расхождение между предполагаемыми и действительными свойствами колебаний на выходе обрабатывающих процедур эквивалентно присутствию в составе получаемых сейсмических записей некоторой специфической интерпретационной помехи. Под ее влиянием регистрируемые на суммотрассах МОВ-ОГТ сейсмические сигналы, даже заведомо обязанные своим происхождением особенностям геологического строения и физического (петрофизического) состава пород глубинной части исследуемого разреза, содержат в себе информацию об этих особенностях в виде весьма расплывчатом, не поддающемся строгому учету и контролю.

4. Заметим еще, что хотя заложенное в технологию обработки "точное" определение формы "исходных" импульсов производится во всей последовательности средних точек на площади исследований, получаемые при этом данные не обобщаются, не систематизируются, не сопоставляются с экспериментом и не используются, например, для решения задач оптимизации условий возбуждения колебаний, включая и задачу стабилизации формы импульсов генерируемых в среду из различных ПВ. Таким образом, из сферы интересов исследований по программам ПГР фактически выпадают не только действительные (контролируемые экспериментом) свойства сейсмических помех, но и действительные свойства сигналов, как на стадии их возбуждения сейсмическими источниками, так и в процессе дальнейшего распространения в реальной среде.

5. Помимо прочего, вышеизложенное лишний раз подчеркивает всю неестественность ситуации, при которой реализуемые на этапе полевых работ процедуры выделения полезных сигналов на фоне помех традиционно исключаются из числа процедур "обработки" волнового поля. Напомним, что на начальном (классическом) периоде развития метода, указанные процедуры обеспечивали надежное выделение четко определенных по своему физическому смыслу и геологической значимости полезных сигналов на фоне всей прочей сейсмической записи. Под обработкой же в современном ее понимании объединяются постполевые (лабораторные) преобразования "первичных" сейсмических записей, завершающиеся выделением сигналов на суммотрассах, действительная полезность которых четкому определению не поддается.

6. Некорректные компоненты волнового поля как индикатор допустимой детальности “тонкослоистых” моделей среды

1. Вопрос о детальности, которая требуется для удовлетворительного описания отражающих свойств тонкослоистого разреза, относится к числу дискуссионных. Ставится под сомнение сложившееся представление о достаточности в сверточной модели среды величины Δt двойного времени пробега волны в слоях равной 1мс. В литературе приводятся данные, согласно которым расчленять разрез требуется с детальностью на порядок более высокой [17]. Практически из этого вытекает необходимость учитывать в разрезе (при $v_p \cong 3000$м/с) слои мощностью 15 см и менее. Таким образом, если длительность импульса падающей волны равна 30 мс и более, число границ, участвующих в формировании сигнала отраженной волны, превышает 300.

2. Столь высокая степень интерференционности волн, отраженных тонкослоистыми пачками, способствует выдвижению на передний план следующей проблемы [18]. Если заведомо очевидно, что каждая из элементарных отраженных волн, образующих интерференционный сигнал, будет адекватно (корректно) реагировать на малые (но неизбежные в эксперименте) изменения формы зондирующего импульса, то можно ли это же самое утверждать и по отношению к форме суммарной интерференционной волны? Имеются как расчетные, так и представительные экспериментальные данные, из которых следует, что при определенных условиях существенная (но, по-видимому, неконструктивная) интерференция большого числа элементарных объемных волн может приводить к образованию в составе волнового поля компонентов некорректных по отношению к условиям возбуждения колебаний. На практике это означает, что реализации формы записи указанных компонентов могут оказываться различными вплоть до полной неузнаваемости даже при тщательно подготовленных повторных воздействиях. Энергетический же уровень записи остается при этом практически неизменным.

3. Очевидны вытекающие из такого эффекта практические следствия. Если некорректную компоненту волнового поля формирует тонкослоистая отражающая пачка, корреляционное прослеживание которой в последовательности пикетов ОГТ представляет разведочный интерес, такое прослеживание будет невозможно даже при полном отсутствии помех. Имеющийся же опыт корреляционного прослеживания опорных отражающих горизонтов и, в том числе, представленных выдержанными по площади тонкослоистыми пачками, дает основание полагать, что во многих случаях их свойства (в сейсмическом диапазоне частот) адекватно отображаются относительно простыми эффективными моделями с малым числом границ. Таким образом, обнаружение в эксперименте эффектов некорректности применительно к некоторым компонентам волнового поля указывает на их сложную, существенно интерференционную, природу. Условия формирования таких компонентов поля должны быть объяснены особенностями модели среды, в которой они возникают. Но и наоборот, в случае, если теоретические волновые поля для принятой (по каким-либо соображениям) модели обладают эффектом некорректности по отношению к условиям возбуждения колебаний (малым изменениям формы исходного импульса), а в эксперименте такие эффекты не обнаруживаются – это может рассматриваться как своеобразное отторжение реальной средой неадекватной ей модели.

7. О физическом и геологическом в моделях сейсморазведки МОВ

Практической оценкой направления сейсмических работ, получившего у нас в стране название ПГР (прогнозирование геологического разреза) служит утверждение, согласно которому “ожидаемая геологическая эффективность ПГР так и не была достигнута” [19, с. 13]. Такая прямолинейная негативная оценка целого направления в развитии сейсмического метода – повод для обстоятельного обсуждения причин, приведших к ее появлению.

1. В [19] причина низкой эффективности ПГР усматривается в недостаточном “геологическом сопровождении”. Утверждается: “построение геологической модели должно опережать определение характеристик элементов, составляющих эту модель. Между тем интерпретаторы ПГР начинают с измерения параметров и затем переходят к построению на их основе модели. Но при этом она не может нести в себе стратиграфическое, формационное, фациальное и прочее наполнение, т.е. стать собственно геологической... . При отсутствии геологической модели соответствующие прогнозы ПГР, как правило, не выдерживают критики, а затем и проверки бурением" [19, с. 13].

На самом же деле, однако, при выборе и обосновании модели, использованной в [13] с требуемым "опережением" учитывался (другое дело, как учитывался [14]) и геологический фактор. Были проанализированы обширные сведения, полученные геологами при изучении разрезов осадочных отложений по скважинам и в обнажениях. Извлечены определенные следствия из особенностей свойств осадочных тел, образовавшихся в глубоководных впадинах и на шельфе, а также в лагунах и озерно-болотных условиях. На основании этих (а также и некоторых других) априорных данных и было сделано заключение о применимости для решения прямых и обратных задач в отдельных точках осадочных бассейнов модели, состоящей из множества тонких слоев с непрерывными горизонтальными границами.

Что же касается высказанного в [19] замечания об ограниченности общего подхода принятого в ПГР, то она естественным образом проистекает из стремления подменить решение сейсморазведочных задач решением обратных динамических задач сейсмики. В наиболее откровенной форме указанная тенденция обозначена в работе [4], где сейсморазведка отождествляется с одним из методов экспериментальной физики, обработка рассматривается как заключительный этап в проведении сейсмических работ, а их задачей и окончательным результатом считается псевдоакустический разрез изучаемой среды. Такая "концовка" сейсмических работ, могла бы конечно во многих случаях облегчать жизнь сейсморазведчикам. Но в [19] совершенно справедливо указывается на то, что физические свойства среды существенно перекрываются для самых различных пород и формаций. Даже безупречное (если бы такое могло быть возможным) решение задач трансформации сейсмических волновых полей в поля акустической жесткости, вовсе не является эквивалентом решения задач сейсмической разведки.

2. Наряду с такой "физической" направленностью сейсмического метода, получила широкое развитие его "прямолинейная" геологическая ориентация. Если в первом случае конечной целью обработки сейсмического волнового поля является трансформация его в поле физических (акустических) параметров, то во втором случае преобразование сейсмического поля имеет своей предельной (после полного устранения помех) целью чуть ли не буквальное отождествление (слияние) его свойств со свойствами самой геологической среды [10]. Ставка при интерпретации поля физических параметров в первом направлении делается на наличие, пусть далеко не всегда четких, корреляционных зависимостей между акустическими и геологическими (в основном, петрографическими) параметрами. Предметом интерпретации во втором направлении, названном сейсмостратиграфией, является "рисунок сейсмической записи" на волновом поле, обработанном в последовательности пикетов ОГТ. Специфическая особенность этого направления в том, что оно было создано профессиональными геологами, поверившими в возможность наблюдать на волновых картинах, образованных записями из множества суммотрасс, привычные для себя и характерные для природных геологических разрезов и обнажений образы, позволяющие судить о типах несогласий, о генезисе разнообразных седиментационных комплексов, решать вопросы о возрасте пород и т.д. Корректность же процедур получения исходных для этих целей сейсмических рисунков и достоверность заключенной в них геологической информации они полагают обеспеченными усилиями геофизиков. У многих из них временные сейсмические разрезы "пользуются значительно большей популярностью, чем глубинные" [21, с. 12]. Сейсмостратиграфия, как отмечается в [19], не оказала заметного влияния на развитие сейсмического метода, не сыграла какой-либо роли в развитии физических основ сейсморазведки, в создании новых методов преобразования сейсмической информации.

3. Ответом группы профессиональных геофизиков-сейсмиков на сейсмостратиграфический вариант интерпретации сейсмических данных явилось разработанное ими направление, получившее наименование структурно-формационная интерпретация (СФИ) [21, 22]. В нем декларируется стремление развивать на одинаково высоком уровне как физические, так и геологические аспекты всего, что связано с получением, обработкой и интерпретацией сейсмических волновых полей. Принятая в нем методология претендует на то, что "впитав все разработанные ранее физические основы, методы и приемы полевых наблюдений, развитые средства обработки, а также достижения современной геологической теории", она позволяет "наиболее эффективно решать актуальные задачи, стоящие перед сейсморазведкой" [21, с. 5]. Приведем далее некоторые замечания в связи с такой самооценкой развиваемого подхода.

По определению, СФИ – "направление, находящееся на стыке геологии и геофизики" [21, с. 3]. Далее СФИ характеризуется как завершающий этап сейсморазведочного процесса, "которому предшествуют этапы полевых наблюдений, обработки и геофизической интерпретации данных, включая ПГР". При этом СФИ "изначально строится как количественная методика геологической интерпретации, базирующаяся на использовании ЭВМ и интерактивных систем" [21, с. 6]. В такой постановке перестает быть сколь-нибудь понятной как роль геологии в геофизике (если сама геофизика находится на стыке геологии и физики, то на каком стыке находится СФИ?), так и соотношение между геофизической и "количественной геологической" интерпретацией. Обратимся к фактической стороне дела.

4. Отметим прежду всего, что в СФИ (также как и в ПГР) исходят из допущения, согласно которому "на стадиях полевых работ и обработки удалось предельно ослабить (или скомпенсировать) влияние мешающих факторов и материал, поступающий в интерпретацию, содержит лишь сигнальные компоненты, отображающие глубинное строение исследуемого разреза" [21, с. 25]. Другими словами, в этом направлении, как и в предшествующих, одинаково уклоняются от изучения того, что мешает прослеживанию полезных сигналов, также как и от изучения последствий хотя и нежелательного, но практически неизбежного присутствия помех на материалах поступающих в интерпретацию.

В основу обработки по прежнему кладется одномерная линейная сверточная модель изучаемой среды. Уже одно это обстоятельство представляется решающим для всего последующего. В том смысле, во-первых, что какими бы ни были сложившиеся у исполнителей суждения о геологических (структурно-формационных) свойствах всей изучаемой среды в целом, обработка сейсмических данных, осуществляемая независимым образом на каждом отдельном пикете ОГТ, производится в предположении, что в окрестности каждого из них геология представлена тонкослоистой средой с непрерывными границами раздела, залегающими горизонтально. Другая сторона этого же самого дела состоит в том, что если указанное предположение не выполняется, то становится сомнительной эффективность любых, основанных на нем процедур преобразования суммотрасс ОГТ, или уж, во всяком случае, утрачивается даже подобие возможности осознанного прогнозирования их эффективности.

5. Различия между сверточной моделью, используемой в СФИ, от предшествующих одномерных моделей усматриваются авторами в том, что во втором случае импульсная сейсмограмма остается неизменной при любой форме зондирующего сигнала, а в первом она зависит от диапазона частот, в котором сосредоточена основная энергия спектра исходного импульса. Утверждается, что "это, на первый взгляд, не очень существенное осложнение модели, ведет к качественным изменениям представлений о формировании сейсмической записи, отвечающих формационному подходу" [23, с. 27]. Важно, однако, уточнить – об усложнении какой модели идет речь и к каким конкретно это ведет последствиям. Исходная (опорная) геологическая модель среды, используемая при обработке сейсмических данных на каждом отдельном пикете ОГТ, как уже отмечалось, одинакова – система непрерывных горизонтально залегающих слоев малой мощности. И в том и в другом случаях "истинные" (не зависящие от каких-либо представлений) сейсмические параметры изучаемой среды находят опираясь на данные прямых акустических измерений в скважинах. Эффективные же сейсмические модели, или точнее, эффективные сейсмические колонки в точках наблюдений, в обоих случаях неизбежно зависят от формы исходного импульса реализуемого в эксперименте и, в первую очередь, от диапазона частот, в котором сосредоточена основная энергия соответствующего ему спектра.

6. По-видимому, ключевым в СФИ (и не только СФИ) является утверждение, в соответствии с которым "именно на стадиях интерпретации формируются модели геологических объектов, т.е. реализуются основные цели сейсморазведки" [19, с. 10]. Практически это означает обособление интерпретации от обработки: при обосновании процедур обработки используются одни представления о геологическом устройстве изучаемой среды в окрестности каждого из пикетов наблюдений, а по мере их выполнения в некоторой совокупности таких пикетов происходит формирование других (практически, совсем других) представлений о геологическом устройстве той же самой среды. В зависимости от процедур и стадий обработки подлежащие интерпретации волновые картины меняют свой вид. В весьма образной концентрированной форме данное обстоятельство формулируется следующим образом: "какая фильтрация – такая геология" [19, с. 14].

Оба направления ПГР и СФИ, базирующиеся на сверточной модели среды, не занимают в настоящее время ведущего положения в практике сейсморазведки. Первое потому, что не оправдались связанные с ним надежды на повышение геологической эффективности, а второе используется пока в малых объемах и нуждается в дальнейшем апробировании. Важнейшую роль в современной сейсморазведке играют так называемые миграционные преобразования, опирающиеся на точечную модель среды.

8. Точечная модель среды. Миграция

1. Если модель изучаемой среды при обработке первоначально представляли на каждом пикете ОГТ в виде слоев с непрерывными горизонтальными границами, то после включения в обработку процедуры, называемой миграцией, фрагменты из которых складывается среда сократилась по своим габаритам до размера "точки". Появилась точечная (дифракционная) модель среды "принципиально отличающаяся от других известных моделей тем, что она не включает границ большой протяженности" [23, с. 50]. Роль и значение процедуры миграции в настоящее время таковы, что по мнению некоторых ведущих сейсморазведчиков "если бы миграцию изобрели несколько раньше, никакого ОГТ уже бы не потребовалось" [19, с. 15]. Предполагается, что в перспективе "суммирование по ОГТ будет полностью вытеснено миграцией по исходным данным". Следовательно, если бы заранее было известно, что изучаемая геологическая среда состоит не из горизонтально залегающих слоев, а из отдельных точек, то история сейсмического метода разведки могла бы сразу начать развиваться по правильному пути. В связи с такими оценками, тем более важно попытаться по возможности более четко представить себе суть данной процедуры и характер модели среды, на которую она опирается.

2. У понятия миграция нет четкого определения. Наряду со стремлением придавать ему направленность узкоспециализированную (см., например, Введение), имеют место и весьма нейтральные по своей содержательности оценки типа: “Построение поперечного разреза отражающих границ внутри Земли по сейсмическому профилю называется миграцией” [24, с. 266]. Иногда миграцию отождествляют с прямой, иногда с обратной задачей сейсморазведки. В общем миграции в литературе придают весьма разнообразные смысловые нагрузки и оттенки. Появление процедуры миграции и возвышение ее роли стало своего рода реакцией на явную неадекватность геологическим реалиям модели среды, положенной в основу обработки сейсмических данных по способу ОГТ. В большинстве районов работ временные разрезы, построенные по способу ОГТ, отображают внутреннее устройство среды неправильно. Исходя из этого вводится следующее определение: “миграция – это процедура, с помощью которой из временного сейсмического разреза получают изображение, на котором положение отражающих границ в среде показано правильно” [25, с. 155]. При этом, правда, тут же уточняется, что скорее “можно говорить не о правильном, а просто измененном расположении” указанных границ.

3. Реализация процедур обработки сейсмических данных исходя из того, что изучаемая среда состоит из точек дифракции, предполагает, по крайней мере, четкое определение того, что последние собой представляют. Заметим в этой связи, что вопрос о том, что есть “точка”, всегда представлявшийся либо очевидным, либо интересным лишь для специалистов в области философии и теологии, явно приобрел в последнее время актуальность не только в сейсморазведке, но и применительно к общим проблемам геофизики [26].

Чтобы быть источником реальных, наблюдаемых в эксперименте, вторичных волн “точка” должна включать в себя, как минимум, две среды с отличающимися акустическими жесткостями и иметь размеры, при которых отраженная (рассеянная) ею энергия была бы достаточной для регистрации далеко удаленными от нее приемными сейсмическими каналами. Иначе говоря, она должна быть отражающим или дифрагирующим объектом среды. Чтобы соответствующий такому объекту среды элемент волнового поля можно было опознать по данным эксперимента, требуется заранее знать как свойства самого этого объекта, так и свойства покрывающей среды. В условиях же декларируемой априорной неопределенности, исходные сведения об объектах, из которых состоит изучаемая среда, сводятся к тому, что возбуждаемые ими вторичные волны можно рассматривать как дифрагированные, генерированные точечными источниками, а наблюдаемое волновое поле представляет собой их интерференцию "в соответствии с принципом суперпозиции".

4. Определяющим является допущение, согласно которому изучаемую сложную геологическую среду можно, в сейсмическом отношении, разложить на множество реализаций элементарных сред, каждая из которых, будучи однородной, включает в себя единственный эффективно действующий точечный дифрактор, размеры и форма которого не фиксированы, но пространственные координаты центра точно обозначены. Указанное допущение, не имеет под собой ни теоретических, ни экспериментальных оснований. Основанная на нем идеология – каждой точке среды отдельный сигнал, характеризующий ее рассеивающую способность – заведомо не может быть реализована на практике. Но точно также невозможно оценить и степень расхождения между предполагаемыми и действительными преобразованиями исходного волнового поля, поскольку свойства объектов среды подлежащих выделению не определены, а реальные помехи исключены из рассмотрения.

9. О некоторых новых и новейших методиках и технологиях обработки сейсмических данных

1. Изобретение (если пользоваться этим термином) миграции и способа ОГТ фактически состоялось одновременно в тот самый момент, когда для целей практики начали использовать эффект взаимодействия падающих волн с локально-точечными элементами среды. В случае непрерывной горизонтальной границы глубинная точка, общая для пар приемник-источник входящих в группу ОГТ, является одновременно и общей глубинной точкой для тех же самых пар при миграции по способу Д-преобразований (для элементов Д-группы). Формально результат суммирования по годографу волны отраженной от непрерывной протяженной границы и по годографу дифрагированной волны от точки на этой границе будет одним и тем же. Поскольку интенсивность дифрагированной волны равна нулю, реальный размер "точки" определяется, в зависимости от длительности зондирующего сигнала, прямолинейным участком границы протяженностью в 1,5–2,0 зоны Френеля [27]. Реально это сотни метров. Шаг между средними точками профиля при работах по методу ОГТ равняется первым десяткам метров. Такие соотношения полезно иметь в виду при оценке утверждений типа: "важно еще раз подчеркнуть, что существует принципиальная возможность при многократной системе наблюдений получить годограф отраженной волны от точки на границе независимо от ее конфигурации" [4, с. 32].

2. Принятая в процедурах миграции модель "взрывающих границ" является на самом деле моделью "взрывающейся среды", поскольку заранее неизвестно какие образующие ее "небольшие тела, расположенные в точках", принадлежат протяженным границам раздела, какие тем участкам среды, где имеет место только дифракция, а какие тем, где на равных необходимо учитывать как эффекты отражения, так и дифракции (рассеяния). В этой модели отсутствуют помехи, за исключением самих полезных сигналов от соседних "точек". Она вызвана к жизни стремлением создать универсальную (одинаково эффективную при "произвольном строении геологической среды" и при любых фактически видах полевых наблюдений) систему обработки сейсмических данных, ориентированную, в конченом счете, на изучение всех деталей и подробностей ее акустических свойств.

3. Задача обсуждаемой обработки в обычном понимании не является ни прямой, ни обратной задачей сейсмики. В первом случае потому, что не определены параметры модели среды, по которым можно было бы рассчитать соответствующее ей теоретическое волновое поле. Во втором – уже потому только, что не решена прямая задача. В самой постановке данной задачи отсутствует важнейший (определяющий, в конечном счете, все последующее) этап изучения наблюдаемых в эксперименте волновых полей с целью выяснения того, в какой степени свойства сейсмических записей, исходнх для выбранной процедуры обработки, согласуются с теми о них представлениями, которые вытекают из особенностей принятой модели среды. При отсутствии такого согласования обсуждаемую задачу хотя и можно, как показывает практика, и ставить и решать, но ее нельзя решить. На различных стадиях процессов преобразования (любого) исходного волнового поля неизбежно получаются, однако, некоторые реализации временных и глубинных "разрезов", способные устраивать, по тем или иным причинам, исполнителей, а также (хотя вовсе не обязательно) и заказчиков проводимых сейсмических работ.

4. Отсутствие ясности в вопросе о том, что собой представляют (точечные) объекты среды, подлежащие выделению и изучению, делает невозможным решение прямых задач сейсмики в обычном (классическим) их понимании. Решение "обратных задач сейсморазведки" осуществляется заведомо в обход фундаментальных принципов современного естествознания. Можно было ожидать, что будут сделаны попытки использовать для оправдания применяемых процедур обработки и способов интерпретации некоторых иных ("более эффективных") принципов. И такая попытка действительно сделана в работе [10].

Рассматривая проблему формирования сейсмического описания геологической среды с точки зрения истории развития всей науки в целом, авторы упомянутой работы приходят к заключению, согласно которому в настоящее время в сейсморазведке имеет место "синтез двух методологических подходов в развитии естествознания: дескриптивного и структурного, пришедших к нам из древнего мира от Аристотеля и Платона соответственно" [10, с. 46]. Характерным представляется следующее высказывание в пользу ведущей роли дескриптивного подхода: "именно история развития сейсморазведки показала, что математические операции и физические модели имеют такое же отношение к описанию реальной, например, геологической природы, какое правила грамматики – к мысли ученого или поэта, выраженной с помощью этих правил" [10, с. 47]. Иначе говоря, никакого отношения, поскольку одна и та же мысль может быть выражена на языках с разными правилами грамматики.

Построение сейсмического изображения в рассматриваемой статье отнесено к сравнительному типу измерений и в этом усматривается его принципиальное отличие от построения сейсмической модели. По мнению авторов "нетрудно обнаружить обратное соответствие, альтернативность, дополнительность между формальной точностью, ясностью результата и его геологической информативностью, адекватностью" [10, с. 44]. Будучи весьма сложной, реальная геологическая среда в принципе не может, по мнению тех же авторов, быть полностью описанной в какой-либо форме, например, моделью. Поэтому считается, что при сейсмическом изображении среды лучше вообще отказаться от како-либо формализации волнового поля, поскольку таковая имеет оправдание лишь в случае количественных измерений. Отсутствие (математических) функциональных связей между (обработанным) волновым полем, лишенным аналитической определенности, и результативным описанием среды (интерпретацией) позволяет упомянутым авторам видеть цель сейсмического изображения (сейсмографии) в достижении “максимально возможного извлечения информации из самых мелких деталей сейсмического поля” [10, с. 45]. По поводу этого последнего утверждения заметим лишь, что достаточно обратить внимание на обязательное присутствие в составе обработанного волнового поля хотя бы самых мелких его элементов относящихся к помехам, как становится очевидной несбыточность и противоестественность упомянутой цели.

В более же общем плане, ничто, как кажется, не мешает понимать излагаемое в [10] в том смысле, что чем менее ясным и определенным является наше понимание того, каким на самом деле является волновое поле и к чему ведет его преобразование на этапе обработки, тем более информативной и геологически содержательной становится интерпретация получаемых сейсмических данных.

5. Частным, но весьма наглядным примером, подтверждающим сохранение кризисного характера в развитии сейсмического метода разведки, может служить прямое столкновение взглядов на роль и перспективы обработки и интерпретации сейсмических данных, изложенное в двух статьях случайно встретившихся на страницах одного и того же геофизического журнала. В одной из них [10], настоящее и будущее сейсморазведки связывается с переходом от сейсмоизмерений к сейсмовидению, в другой же, посвященной анализу возможностей и ограничений объемной сейсморазведки [28], делается заключение: “настало время” перейти от сейсмовидения к сейсмоизмерению.

10. О главных следствиях из истории развития сейсмического метода разведки

1. Выделяя главное в изменениях, которые произошли в сейсмической разведке на рубеже 60-70-х годов, отметим следующее. Переход от традиционного (классического) МОВ к современным методикам многократных перекрытий был одновременно переходом от сейсмического метода разведки локальных геологических объектов во вмещающей среде к сейсмическим исследованиям основанным на квазифизическом способе изучения псевдоакустических свойств среды во всех ее точках. Квазифизичность способа заключается в умозрительном (оторванном от эксперимента) характере модели среды, положенной в основу ее изучения, при отсутствии механизмов позволяющих судить об уровне приблизительности используемых предположений. Псевдоакустичность изучаемых свойств предопределяется не только недостоверностью исходной модели среды, но и ориентированностью процедур обработки на цели заведомо в точности на практике недостижимые, при одновременном отсутствии объективных критериев оценки действительной значимости получаемых сейсмических данных.

2. Все это означает, что в настоящий период в сейсморазведке, как в геофизическом методе, имеет место рассогласование (разобщение) ее физических и геологических аспектов. Завершение всех сейсмических работ на “физической ноте” (на построении акустических разрезов) соответствует лишь окончанию цикла технологической обработки данных, ориентированного на перестройку поля амплитуд сейсмических сигналов в значения акустической жесткости среды. Однако служба геологической разведки не входит в штат “экспериментальной физики”, в ней нет заказчиков готовых ограничиться решением “обратных задач сейсморазведки” с таким конечным результатом. Парадоксальным образом решение обратных задач для сред техногенного происхождения, сосуществует с очевидной невозможностью по отношению к ним опережающего решения прямых задач сейсмики.

3. Развиваемые в сейсморазведке подходы к способам получения и обработки данных не имеют опоры в классических представлениях о соотношении прямых и обратных задач сейсмики, равно как и в представлениях о роли исходной сейсмической модели изучаемых объектов во вмещающей среде и путях ее теоретико-экспериментального обоснования и практического использования. Для оправдания указанных подходов на передний план выдвигаются аргументы почерпнутые из теории, в которой главную роль играют “чувственные впечатления”, свободные от ограничений накладываемых исходными модельными представлениями. Оказываясь полностью “раскрепощенной”, избавленной от ограничений такого рода, геологическая интерпретация сейсмических данных, перестает быть контролируемой по степени детальности и возможному разнообразию выдвигаемых ею версий. Роль самих геологов при этом, являясь полностью пассивной в вопросах выбора и обоснования процедур обработки сейсмических данных, оказывается сугубо созерцательной по отношению к тому, что можно (или хочется) увидеть на предоставляемых им реализациях временных и глубинных “разрезов”, полученных в результате указанной обработки.

4. Методология современной сейсморазведки, сложившаяся в значительной степени стихийно, далека от совершенства, сохраняет кризисный характер. Все последние годы основное внимание сейсморазведчиков было привлечено к этапу обработки сейсмических данных, совершенствование которой проявлялось, главным образом, в ее технологизации. При этом глубокая технологизация процессов обработки по необходимости сопровождалась тем, что может быть названо технологизацией свойств самой среды. Более точно – примитивизацией и стандартизацией представлений об ее свойствах, делающих упомянутую обработку универсальной, способной функционировать в условиях широкой априорной неопределенности. Ярким проявлением этой тенденции служит точечная модель изучаемой среды, сформулированная без внесения ясности в вопрос о том, что следует понимать под входящими в нее “точками”.

Такой ход развития привел к тому, что обработка стала в определенном смысле самодостаточным этапом всего процесса сейсморазведки. Произошло обособление ее от предшествующего и последующего этапов реализации метода. Связь обработки с полевыми наблюдениями ограничивается, по сути дела, выбором параметров систем регистрации сейсмических колебаний. У этапа полевых работ нет общепринятого начала и нет критериев, позволяющих судить о качественности его проведения. Получила развитие тенденция сделать обработку завершающим этапом “всех сейсмических работ”, исходя из того, что трансформация поля амплитуд сейсмических колебаний в значения акустической жескткости среды, при предполагаемом отсутствии помех, есть (в рамках сейсмической разведки как “раздела экспериментальной физики") "масимум" того, на что способен сейсмический метод.

5. В самые последние годы, однако, набирают силу и иные тенденции в подходе к оценкам соотношения между обработкой и интерпретацией. Так в работе, посвященной вопросу о том, почему необходимо переобработать и переинтерпретировать данные сейсморазведки, полученные в Западной Сибири в предыдущие годы, утверждается: "Тезис о неразрывности обработки и интерпретации провозглашался всегда, но только с внедрением новой технологии и современного оборудования стало возможным создать действительную реальную основу для реализации данного тезиса" [29, с. 26]. Там же, далее говорится: "Сейчас интерпретатор участвует в обработке с самого начала и уже с первых ее результатов ориентируется в волновой картине: видит как улучшаются целевые горизонты от этапа к этапу обработки, понимает природу аномалий волнового поля и прослеживает динамику их изменений в процессе обработки (более четкое проявление одних, связанных с геологией, и ослабление других, связанных с поверхностными условиями или вызванных техногенными причинами)".

Как было видно из предыдущего, тезис о неразрывности обработки и интерпретации провозглашался далеко не всегда и на то были свои мотивы. Необходимость переобработки и переинтерпретации данных сейсморазведки мотивируется в рассматриваемом примере явным недоучетом в ходе предшествующих обработок такого мощного искажающего фактора, каким является присутствие многолетнемерзлых пород в верхней части разреза. Иначе говоря, недоучетом одного из факторов входящих в компетенцию сейсмики ВЧР, т.е. сейсмики толщи пород покрывающей объекты разведки. Сейсмика ВЧР и сейсмика объектов разведки определяются особенностями (геологическими и физическими) всего разреза. Лишь совместно они составляют содержание сейсморазведки как сейсмического метода решения геологоразведочных задач.

В процитированном тексте сохраняется устойчивое представление о том, что обработка ("с самого начала") совпадает лишь с процедурами преобразования сейсмических данных, поступивших в вычислительные центры в виде записей на рулонах магнитной пленки "первичных" материалов полученных в поле. Имеются, однако, все основания утверждать, что первые (и, во многих случаях, решающие) процедуры обработки исходных волновых полей, призванные, в том числе, устранить искажающее влияние ВЧР, требуется реализовать на этапе полевых работ. Некоторые из этих процедур, не будучи реализованными в поле, не могут быть скомпенсированы любыми, даже самыми совершенными в техническом отношении, способами обработки в вычислительных центрах. В этом, по-видимому, одна из причин отмеченной в [29] и о многом говорящей ситуации, когда геология одного и того же региона, при всей ее схожести, в результате обработки в различное время и по различным графам "была отображена в волновом сейсмическом поле абсолютно по разному".

6. Обращает на себя внимание и содержащаяся (в явном или неявном виде) в упомянутой статье оценка сложившегося соотношения между технологией сейсмического метода и тем, что может быть отнесено к его идеологии. Увеличение глубины технологичной обработки сейсмических данных, разработки новых ее процедур ориентированы, так или иначе, на более полное и точное отображение в "волновом поле" акустических свойств среды в ее отдельных точках. Но действительный сейсморазведочный интерес представляет "реальная модель среды, отображенная в волновом сейсмическоми поле". Как отмечается в [29], с участием интерпретатора в процессе обработки происходит поиск, учет и компенсация факторов искажающих указанную модель. Там же говорится, что "не известно случая в обработке, когда эта задача решалась бы полностью, поскольку всегда существует недоучет искажающих факторов, т.е. потери". Предлагается, в случаях когда последние не удается минимизировать, составлять "модель потерь" (понятие вводимое впервые автором [29], что он особо подчеркивает).

Представления о моделях изучаемой среды продолжают становиться все менее четкими (менее адекватными их действительной роли в практической реализации сейсмического метода). Отсутствие случаев определения "полной" модели среды является прямым следствием утраты представлений о моделях объектов разведки и игнорирования роли помех. В обрабатываемом волновом поле отображается не модель среды (в процедурах обработки среда состоит из точек), а лишь те зрительные ассоциации относительно ее устройства, которые возникают у интерпретатора (т.е. отображается та среда, которую данный интерпретатор "видит" в волновом поле). Вводимая же "модель потерь", надо полагать, каким-то образом должна включать в себя те сведения о свойствах среды, которые не нашли отображения в обрабатываемом волновом поле. Но чтобы составить себе о них представление неизбежно требуется знать "полную" модель среды, что сам же автор считает практически недостижимым.

7. Отсутствие определенности в свойствах "полезных сигналов", когда заранее неизвестно, что требуется в ходе обработки выделять, казалось бы, диктует необходимость пытаться строить стратегию и тактику сейсмической разведки опираясь на два главных фактора: а) предельно тщательное и глубокое изучение всех типов колебаний заведомо относящихся к помехам, с целью их последовательного исключения из сейсмической записи и б) сохранение стабильности параметров методики получения и обработки сейсмических данных в пределах всей площади исследований.

Реальная же действительность такова, что, начиная как раз с рубежа 60-70 годов, в литературе практически перестали появляться работы посвященные изучению сейсмических волновых полей и входящих в их состав полезных сигналов и помех. Изучение последних фактически подменяется предположениями об их достаточно полном подавлении на сейсмических записях поступающих в обработку, и практически полном устранении из суммотрасс подлежащих интерпретации. Решение же задач синтеза параметров систем наблюдений по методике ММП-ОГТ заменено ничем не обоснованным предположением об их очевидной однородности и стабильности, при одновременном отождествлении параметров ММП с параметрами заданных систем наблюдений.

Следствием такой подмены стало то, что в сейсмической литературе вопросы выбора параметров фланговых, центральных и встречных расстановок ОПВ обсуждаются при работах по схемам ММП-ОГТ как вопросы выбора "параметров систем наблюдений", выявляются и сопоставляются "положительные" и "отрицательные" их качества при решении разнообразных геологоразведочных задач. И это при том, что на самом деле указанные "системы наблюдений" таковыми, сами по себе, вовсе не являются. Действительная роль всех "систем", а точнее говоря – расстановок ОПВ с параметрами: x_1, x_1^*, К, ΔСП, ΔПВ заключается в формировании в средних точках профиля предполагаемой единственной, равномерной и однородной, системы наблюдений по МОГТ с заданными параметрами $1_1, n, \Delta 1$. Между данными группами параметров не существует однозначной аналитической зависимости. Попытки использовать в таком качестве формулу (1) не имеют под собой оснований. Удивительным образом шаг ΔПВ перемещения расстановок ОПВ вдоль профиля не относится в имеющейся литературе ни к числу параметров "системы наблюдений многократных перекрытий" [3, с. 67], ни (что естественно) к числу параметров МОГТ. Вместе с тем, именно этот параметр, при выбранной расстовке ОПВ, определяющим образом влияет на свойства формируемых ею систем наблюдений по МОГТ. Именно эти системы (а не предполагаемая одна) реализуются на практике, оставаясь для исполнителей работ неизвестными, оказываясь при этом, в общем случае, неоднородными и неравномерными, периодически повторясь в последовательности средних точек профиля.

8. Следствия, вытекающие из истории сложившегося в сейсморазведке отношения к помехам, заслуживают специального обсуждения. Проблема помех – одна из ключевых в сейсмике ВЧР, поскольку именно с этой (верхней) частью разреза связано формирование разнообразных по природе и доминирующих по интенсивности помех, как регулярных так и нерегулярных. Реальным стимулом для изучения помех в задачах сейсмической разведки в эпоху прямой осциллографной записи были ситуации, когда оказывалось невозможным визуальное прослеживание на сейсмограммах ОПВ осей синфазности, соответствующих целевым отражающим горизонтам. В этих случаях работы по МОВ вынужденно останавливались. Возникала необходимость срочного оперативного вмешательства в методику с целью быстрейшего возобновления работ. Требуемые в ней изменения могли наиболее успешно производиться (и производились) на основании учета получаемых в ходе опытно-методических работ данных о свойствах помех. Чаще всего эти данные ограничивались лишь сведениями о кажущихся скоростях распространения и видимых периодах доминирующих волн-помех, что позволяло, в частности, осуществлять корректировку параметров интерференционного приема. Однако наличие в тот период убедительного наглядного критерия качественной обработки волнового поля открывало и иной, более простой, путь совершенствования методики, не требующий специального изучения помех и потому особенно широко использовавшийся на практике: перебор варьируемых параметров возбуждения и приема колебаний вплоть до достижения желаемого результата. Разумеется, важную роль при этом играли интуиция и везение. Следует, однако, отметить, что с появлением воспроизводимой сейсмической записи и открывшейся вместе с ней возможностью откладывать успехи обработки на более поздние (постполевые) ее стадии, интерес к изучению помех, как и вообще к поиску путей совершенствования методики полевых работ, стал заметно угасать.

Как бы то ни было, фактом является то, что большинство опубликованных работ, посвященных изучению сейсмических помех, относится к периоду традиционного МОВ. Разумеется, очень многое в их свойствах продолжает оставаться не известным. Более того, неизвестными (или невостребованными в полной мере до сих пор) остаются свойства помех, имеющие для практики наиболее существенное значение. Укажем лишь на некоторые из них.

9. В качестве объектов изучения обычно выступают “волны-помехи”, входящие в состав регистрируемой сейсмической записи. Свойства же самого суммарного волнового поля фактически игнорируются (или уж, во всяком случае, остаются в тени) при том, что именно они имеют фундаментальное, определяющее значение для изучения входящих в него компонентов. При попытках описать в целом свойства суммарного волнового поля обнаруживается полная невозможность сделать это ни в терминах регулярных волн, ни в терминах нерегулярных колебаний. Подавляющая часть сейсмической записи (за исключением, возможно, лишь нескольких регулярных “главных” волн) представлена “волновыми фонами” – образованиями занимающими промежуточное положение между регулярными и нерегулярными колебаниями. Природа волновых фонов изучена пока совершенно недостаточно. В случаях, когда их формирование, будучи заведомо существенно интерференционным, не совпадает с процессами конструктивной интерференции, приобретаемые ими свойства могут принципиально отличаться от свойств присущих отдельным элементарным регулярным волнам. К важнейшим, как с позиций теории, так и практики, относится свойство некорректности некоторых волновых фонов по отношению к условиям возбуждения колебаний. Форма соответствующей им сейсмической записи меняется до неузнаваемости даже при весьма незначительном (но неизбежном в эксперименте) изменении условий возбуждения колебаний в источнике.

10. Как само существование волновых фонов, так и связанные с ними эффекты некорректности в свойствах сейсмических записей, относятся к числу факторов, учет которых требует коренного пересмотра сложившихся традиционных подходов к изучению сейсмических волновых полей и к выбору способов их преобразования с целью выделения полезных сигналов. Необходимо связать изучение помех с основательным изучением свойств формирующей их среды, с построением эффективных сейсмических моделей ЭСМ-ВЧР, способных сделать доступным понимание процессов возникновения и взаимного соотношения волновых фонов, перекрывающих, как правило, весь интервал рабочих времен.

Вошедшие в практику и в учебники способы определения исходных данных для синтеза параметров интерференционных систем опираются на использование в этих целях сейсмограмм ОПВ. Однако такой подход вполне оправдан лишь по отношению к параметрам групп приемников. Присутствие в составе волнового поля компонентов некорректных по отношению к условиям возбуждения колебаний потребовало в свое время разработки специальной методики определения исходных данных для синтеза параметров групп источников [30]. Современные интерференционные системы основаны на суммировании синтетических сейсмограмм, каждой трассе которых соответствует индивидуальная пара приемник-источник. Экспериментальные данные, приведенные в одной из недавно опубликованных работ, позволяют предположить возможность существования в составе волновых полей также и компонентов некорректных по отношению к условиям приема [31]. Из всего этого с очевидностью следует необходимость основывать синтез параметров систем наблюдений, например по МОГТ, руководствуясь исходными данными содержащимися в сейсмограммах ОГТ, не подменяя их данными из сейсмограмм ОПВ, как это обычно принято. Дополнительно заметим, что условия реализации принципа взаимности, на который чаще всего ссылаются при такой подмене (хотя, на самом деле, к вопросу о формировании некорректных компонентов волнового поля данный принцип отношения не имеет), продолжают оставаться не изученными. Без основательно поставленных специальных экспериментов нельзя рассчитывать на реальное продвижение в познании действительной роли указанного принципа в задачах сейсмической разведки.

11. Практическое использование эффекта некорректности в свойствах волновых фонов из класса доминирующих по интенсивности "среднескоростных волн-помех" осуществлено в масштабных по объему производственных работах на обширных территориях Средней Азии [32–34]. Реализация указанного эффекта входит в содержание методики полевого многоэлементного группирования, применение которой сделало возможным получение качественных материалов во многих районах считавшихся ранее недоступными для сейсморазведки МОВ. Главную роль играют многоэлементные группы источников, по отношению к которым поле упомянутых среднескоростных волн-помех утрачивает признаки регулярности и подавление образующих его колебаний происходит не за счет направленного, а за счет статистического эффекта группирования. При этом важнейшим для практики является то обстоятельство, что свойство нерегулярности суммируемого при группировании источников волнового поля, принадлежащего некорректной его компоненте, сохраняется при любом взаимном расположении источников в группе. Следовательно, можно применять компактные, с малой базой суммирования, группы из большого числа источников, обеспечивая за счет этого высокую степень статистического подавления полей волн-помех, независимо от того, какими кажущимися скоростями обладают входящие в их состав волновые элементы, не искажая при этом выделяемые полезные сигналы.

Представляется, что с использованием указанного эффекта (независимо от того, с какой степенью полноты он осознается на данный момент) многое связано в сейсморазведке уже сейчас и, несомненно, будет связано в дальнейшем. Во всем же возможном разнообразии своих проявлений роль некорректных компонентов в составе сейсмических волновых полей еще предстоит изучить.

10. О некоторых возможных направлениях и перспективах развития сейсмического метода

1. Приведем далее некоторые собственные соображения по поводу возможных путей дальнейшего развития сейсморазведки. В их основе лежит представление о том, что роль геологической составляющей сейсмического метода оказалась неоправданно заниженной на всех стадиях разведочного процесса. Прежде всего это относится к планированию сейсмической разведки и к проведению опытно-методических (теоретико-экспериментальных) работ по выбору и обоснованию методики ее проведения. Главным звеном на этом этапе должно быть формулирование на сейсмической языке геологических задач разведки. Для их решения вовсе не обязательно равномерно изучать физические свойства среды во всех точках ее объема. В каждом конкретном районе работ, на основании совокупности имеющихся априорных данных (и специально полученных дополнительных данных), можно установить (предположить) те особенности в геологическом устройстве среды, которые являются ключевыми для получения ответов на конкретные вопросы интересующие разведку. Иначе говоря, имеется необходимость и возможность построения исходной для процесса разведки сейсмо-геологической модели (или вариантов моделей), ее начальных приближений.

2. Достижение (минимально) необходимой ясности в вопросе о том, что именно в свойствах среды и с помощью каких особенностей формирующегося в ней волнового поля требуется изучать – путь к целеустремленному обоснованию и развитию всего дальнейшего процесса сейсмической разведки. Именно при таком подходе реализуется принцип, согласно которому лучше иметь меньше, но необходимой и достоверной информации, чем много информации, но сомнительного свойства. Исходя из представлений о том, что и как требуется выделять в регистрируемых волновых полях, производится выбор систем наблюдений, параметров возбуждения и приема колебаний, составляющих совместно набор процедур обработки ИВП, а также определяются критерии качества их реализации на этапе полевых работ. В зависимости от достигнутых на этом этапе результатов планируется дальнейшая (постполевая) обработка и интерпретация данных.

3. Роль геолога-геофизика перестает при этом быть пассивно-созерцательной. Именно на него возлагается задача выбора и уточнения наиболее правдоподобных (с позиций геологических концепций, апробированных применительно к району работ) параметров модели среды, вмещающей в себя объекты интересующие разведку. В сейсмическую разведку должна возвратиться составляющая ее принципиальную основу "привычная сейсмическая корреляция", утраченная при переходе к системам наблюдений в отдельных (средних) точках профиля. Расположенные во вмещающей среде объекты разведки проявляют себя в "сейсмическом отношении" через свойства соответствующих им компонентов сейсмического волнового поля. Последние, в свою очередь, формируются в результате того, что объект реагирует на (единый) входной сигнал как некоторый целостный упругий компонент среды или как совокупность таких компонентов. В этом случае предполагаемые свойства объекта разведки, заложенные в вариант модели среды, и свойства отвечающих ему особенностей наблюденного волнового поля могут быть сопоставлены и на этом основании либо подтверждены, либо отвергнуты.

4. Выделение и прослеживание опорных отражающих горизонтов (региональных и местных сейсмических реперов) продолжает играть важнейшую, ничем не заменимую роль в решении геологических задач сейсмической разведки. Отнесение, тем более в справочной литературе, соответствующих им полезных сигналов к категории "устаревших понятий" явно ошибочно. Вместе с тем совершенно очевидно, что в свете современных задач сейсмической разведки и, прежде всего, связанных с поисками и изучением неантиклинальных ловушек нефти и газа, под полезными сигналами недостаточно понимать только устойчиво коррелирующиеся по латерали оси синфазности.

В формировании объектов разведки в общем случае могут принимать участие неоднородности всех рангов: от крупномасштабных до мелкомасштабных. Так, например, обнаружению ловушек типа рифогенных образований в некоторых районах в значительной степени способствует учет характерных закономерностей в поведении прилегающих к ним реперных (крупномасштабных) элементов разреза. В иных случаях (угловое несогласие, боковое наращивание, косая слоистость, литологические замещения и др.) для формирования исходного варианта модели разведуемого объекта требуется совместное использование ограниченного числа разномасштабных элементов разреза. Это число должно быть минимальным, но достаточным для того, чтобы отобразить главные, принципиальные особенности исходного варианта модели объекта, отличающие его от других возможных альтернативных вариантов. Обсуждению различных аспектов теоретического и компьютерного обеспечения моделирования сложнопостроенных сред, применительно к решению насущных задач сейсмической разведки, посвящена, работа [35]. Наиболее трудными для сейсмического моделирования являются существенно неоднородные (гетерогенные) среды в районах применения рудной сейсморазведки, а также при изучении глубинного строения земной коры [36]. Главная роль в этих случаях принадлежит физическому моделированию.

5. Перспективам исследований в области изучения сигналов генерируемых сейсмическими источниками и управления процессами возбуждения колебаний в сейсморазведке необходимо уделить особое внимание. Важность этой проблемы признается в сейсморазведке с давних пор. Сошлемся на следующее авторитетное высказывание: "Определение формы сейсмического сигнала вблизи взрывного источника представляет важную проблему, с решением которой связана возможность совершенствования многих технических и методических средств, применяемых в сейсморазведке и сейсмологии. Решение этой проблемы сильно затруднено тем, что наблюдения вблизи источника связаны с преодолением значительных технических и принципиальных трудностей, а при наблюдениях вдали от него заметно сказывается трудно учитываемое влияние среды на пути до точки наблюдения. Кроме того, при попытках непосредственной регистрации должны удовлетворяться весьма жесткие требования в отношении свойств регистрирующей аппаратуры и условий сопряжения со средой (условия установки). Все эти обстоятельства привели к тому, что до настоящего времени отсутствуют ясные представления о форме сейсмического сигнала возбуждаемого взрывом, и тем более определенные сведения о его зависимости от таких условий взрыва, как вес и глубина погружения заряда, свойства вмещающей среды и т.п." [37, с. 36]. За прошедшие с тех пор десятилетия ситуация не улучшилась, она лишь обострилась. Потребность в управлении процессами возбуждения сейсмических колебаний и контроле за формой импульсов генерируемых источниками, особенно в связи с массовым использованием синтетических (многоимпульсных по происхождению) сейсмограмм в процедурах обработки, стала гораздо более настоятельной, но реального продвижения в решении этих проблем, применительно к условиям производственных сейсморазведочных работ, так и не происходит. Практически единственная значимая рекомендация по оптимизации условий возбуждения колебаний при наземных, а также и морских работах, многократно воспроизводимая в справочниках и руководствах, сводится к тому, чтобы погружать источник под резкую отражающую границу (подошва ЗМС, поверхность воды) на глубину равную 1/4 длины волны. Эта рекомендация не имеет ни теоретического, ни экспериментального убедительного обоснования и не подтверждается на практике.

Чтобы ощутимым образом продвинуться в рассматриваемой области, требуется выполнение по крайней мере следующих двух условий. Во-первых, необходимо уточнить конкретное содержание самого понятия "сигнал, генерируемый источником". Далее требуется продолжить теоретико-экспериментальное изучение условий (законов) формирования и распространения сейсмических импульсов на всем их пути от источников к объектам разведки, поставив на данном этапе во главу угла основательно подготовленные и достаточно убедительные экспериментальные исследования. Заметим, что такой подход вполне согласуется с содержащимся в известной монографии утверждением, согласно которому при отсутствии общей теории процессов, приводящих к излучению волн сейсмическими источниками "дальнейшее понимание проблемы зависит от хорошо поставленных экспериментов" [38, с. 50].

Теоретико-экспериментальным работам в области изучения и оптимизации условий возбуждения сейсмических колебаний посвящен цикл исследований, включая [39–45]. Под сигналом генерированным в глубь изучаемой среды предлагается понимать начальную интенсивную (сигнальную) часть сейсмической записи, регистрируемую на вертикальном (близком к вертикальному) луче и на таком удалении от источника, при котором процесс формирования импульса (включая волны-спутники) завершился настолько, что при дальнейшем углублении он практически не меняет своих свойств: форму огибающей, число фаз, период. Идея положенная в основу экспериментов по изучению свойств генерируемых сигналов заключается в следующем. Если расположить приемник сейсмических колебаний под источником в скважине на достаточно большой заданной глубине и варьировать условия возбуждения, строго фиксируя соответствующие им управляемые и неуправляемые параметры (глубину погружения заряда, его вес, тип взрывчатки, литологию пород в области заложения заряда, их физическое состояние, уровень грунтовых вод и др.), можно составить набор (картотеку) сигналов, которые источник данного типа способен генерировать на вход изучаемого объекта. Выбор подходящего сигнала из картотеки или необходимое ее пополнение и есть реальный процесс управления условиями возбуждения колебаний. Оптимизация условий возбуждения колебаний осуществляется раздельно "по помехам" и "по сигналу". Оптимальность состоит в разумном компромиссе между требованиями к источнику, которые вытекают из необходимости ослабления помех, и требованиями к свойствам генерируемых сигналов, обусловленными спецификой поставленной геологоразведочной задачи [39].

Эксперименты проводились на специально оборудованных стационарных опорных сейсмических полигонах, обеспечивающих возможность изучения процесса распространения сейсмических волн непосредственно от источника во всем интересующем объеме среды [40]. Не останавливаясь здесь на этом более подробно, выделим лишь центральный аспект данной проблемы, связанный с общей направленностью этих исследований, их перспективой.

Впервые получены уникальные экспериментальные данные отображающие, во всей их последовательности, процессы зарождения, формирования и стабилизации в прилегающей среде свойств импульсов генерируемых точечным сейсмическим источником [41]. Эти данные заставляют взглянуть на характер и особенности указанных процессов во многом совершенно иначе по сравнению с ранее сложившимися представлениями. Получены представительные данные, позволившие выявить и оценить действительную роль факторов оказывающих влияние на особенности импульсов генерируемых взрывными воздействиями. Определены параметры возбуждения, обеспечивающие стабильность формы генерируемого импульса в типичных для обширных территорий условиях ВЧР. Предложены сравнительные критерии оценки эффективности сейсмических источников различного типа [42–44]. С учетом полученных экспериментальных данных введено понятие "качество возбуждения колебаний", как важнейшего компонента более общего понятия "качество обработки ИВП на этапе полевых работ" [45]. Применительно к условиям работ на акваториях разработана методика прямого синхронного контроля за формой импульсов генерируемых морскими сейсмическими источниками [46].

Все же главным, нацеленным уже на ближайшую перспективу, в этих исследованиях было стремление приблизиться к практическому решению важнейшей проблемы сейсмического метода разведки, уже многие годы откладываемому на потом: систематическому, во всех пунктах возбуждения задействованных в ходе получения полевых материалов при массовых производственных сейсморазведочных работах по МОВ, контролю за формой импульсов генерируемых источниками на вход изучаемых объектов. Получены данные позволяющие рассчитывать на успешное решение этой задачи путем сочетания трех уровней контроля: фундаментального (основанного на результатах получаемых в ходе исследований на стационарных полигонах), оперативного (на каждом ПВ) и промежуточного (на выборочных ПВ) с целью получения прямых экспериментальных данных, подтверждающих достоверность получаемой информации.

6. Подчеркнем основную в контексте данного изложения сторону дела. В случаях нефтяной и рудной сейсморазведки, а также глубинного сейсмического зондирования присутствует прикладной, геологоразведочный аспект проводимых исследований. В большинстве случаев он является главенствующим, определяющим при постановке работ и оценке их результатов. Накопленные априорные данные в сочетании со специально полученными дополнительными данными – основа для формулирования геологических задач на языке исходных сейсмических моделей объектов разведки и вмещающей их среды. Сейсмические аспекты вмещающей среды относятся к компетенции сейсмики ВЧР. Сейсмика же объектов разведки отвечает за удовлетворительное (с точки зрения задач разведки) отображение их свойств в используемых моделях.

Литература

1. Р. Шерифф, Л. Гелдарт, *Сейсморазведка*. Т. 1 (1987).
2. И. И. Гурвич, Г. Р. Боганик, *Сейсмическая разведка*. М. (1980).
3. М. И. Мешбей, *Методика многократных перекрытий в сейсморазведке*. М. (1985).

4. А. Н. Телегин, *Методика сейсморазведочных работ МОВ и обработка материалов.* Л. (1991).
5. А. Г. Рудаков, *Об одном подходе к анализу свойств систем многократных перекрытий в сейсморазведке.* — Вестн. С.-Петерб. ун-та **Сер. 6**, вып. **4(28)** (1994), 36–43.
6. А. Г. Рудаков, Г. И. Петрашень, *О неоднородности сейсмического канала в технологичной сейсморазведке.* — Российский геофиз. журн. СПб **11–12** (1998), 94–100.
7. Г. И. Петрашень, А. Г. Рудаков, *О неоднородности измерительного канала в технологичной сейсморазведке, а также об обстоятельствах, способствующих ее применению.* — Зап. научн. семин. ПОМИ **253** (1999), 137–161.
8. И. И. Гурвич, *Сейсмическая разведка.* М. (1960).
9. О. К. Кондратьев, *О мнимых и действительных противоречиях технологичной сейсморазведки.* — Геофизика **1** (1996), 14–18.
10. К. Ж. Садыков, И. А. Непомнящих, *Тенденции развития современной сейсморазведки.* — Геофизика **2** (1999), 41–48.
11. Л. Р. Денем, *Интерпретация сейсмических данных.* — ТИИЭР **72(10)** (1984), 27–40.
12. А. Г. Рудаков, В. Я. Липовская, *Исходные волновые поля при сейсморазведке.* — Вопросы геофизики, СПб, вып. **24** (1994), 33–48.
13. Г. Н. Гогоненков, *Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой.* М. (1987).
14. А. Г. Рудаков, *Об эффективных сейсмических моделях геологических сред.* — Вестн. С.-Петерб. ун-та **Сер. 7**, вып. **2(14)** (1993), 96–99.
15. *Интерпретация данных сейсморазведки.* М. (1990), Справочник (под ред. О. А. Потапова).
16. И. А. Мушин, Л. Ю. Бродов, Е. А. Козлов, Ф. И. Хатьянов, *Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных.* М. (1990).
17. Р. М. Бембель, *Высокоразрешающая объемная сейсморазведка.* Новосибирск (1991).
18. А. Г. Рудаков, *Об эффектах некорректности в свойствах сейсмических волновых полей по отношению к условиям возбуждения колебаний.* — Вестн. С.-Петерб. ун-та **Сер. 7**, вып. **3(21)** (1992), 35–42.
19. И. А. Мушин, *Нефтегазовая сейсморазведка и сейсморазведчики в начале* XXI *века.* — Геофизика **1** (1999), 11–18.
20. Н. Я. Кунин, Е. В. Кочерук, *Сейсмостратиграфия в решении проблем поиска и разведки месторождений нефти и газа.* — Труды ВИНИТИ, **13** (1984).
21. И. А. Мушин, Ф. И. Хотьянов, Е. А. Козлов, *Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных.* М. (1990).
22. И. А. Мушин, Ф. И. Хотьянов, Л. Ю. Бродов, *Структурно-формационная интерпретация данных сейсморазведки.* — Прикладная геофизика вып. **112** (1985), 19–36.
23. Ю. В. Тимошин, *Импульсная сейсмическая голография.* М. (1978).
24. Д. Ф. Клаербоут, *Теоретические основы обработки геофизической информации.* М. (1981).

25. Л. Хаттон, М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин, *Обработка сейсмических данных.* М. (1989).
26. В. И. Векслер, *К обоснованию образной теории геофизических полей.* — Геофизика **2** (2000), 60–67.
27. Б. Р. Завалишин, *Анализ представлений о размерах эффективной области отражения.* — Прикладная геофизика вып. **100** (1981), 36–44.
28. В. В. Жданович, Ф. С. Фбдурахманов, *Возможности и ограничения кинематической интерпретации данных объемной сейсморазведки.* — Геофизика **2** (1999), 19–27.
29. В. А. Милашин, *Почему необходимо переобработать и переинтерпретировать данные сейсморазведки, полученные в Западной Сибири в предыдущие годы.* — Геофизика **4** (2000), 26–28.
30. А. Г. Рудаков, *О сравнительной эффективности групп приемников и источников.* — Разведочная и промысловая геофизика, М. вып. **50** (1963), 38–45.
31. М. Т. Близнецов, *Исключение реакции верхней части разреза по сейсмограммам общего пункта приема.* — Геофизика **5** (1997), 32–38.
32. А. Г. Рудаков, *Некоторые вопросы методики изучения волн-помех и выделения на их фоне отраженных волн.* II. *Выделение отраженных волн.* — В кн.: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, вып. 7. 1964, с. 173–194.
33. Е. И. Гальперин, И. Я. Ковальская, Р. М. Гальперина, *О природе волн-помех наблюдаемых при сейсморазведочных работах на обширных территориях Средней Азии.* — В кн.: Методика и результаты комплексных глубинных геофизических исследований. М. 1969, с. 223–237.
34. *Глубинное строение Ферганской впадины.* (Под ред. Б. Б. Таль-Вирского) Ташкент (1973).
35. Г. И. Петрашень. В. Н. Троян, *Теория распространения сейсмических волн в модельных средах как основа сейсморазведки.* — Геофизика **5** (1995), 2–13.
36. Н. А. Караев, Г. Я. Рабинович, *Рудная сейсморазведка.* М. (2000).
37. И. И. Гурвич, *Определение спектра сейсмического импульса взрыва вблизи очага по экспериментальным данным.* — Изв. АН СССР, сер. физика Земли No. 1 (1966), 36–41.
38. К. Уотерс, *Отражательная сейсмология.* М. (1981).
39. А. Г. Рудаков, *Актуальные проблемы методики сейсмической разведки неантиклинальных ловушек нефти и газа.* — Вестн. Ленингр. ун-та No. 24 (1982), 12–23.
40. А. Г. Рудаков, *Комплексное изучение сейсмических процессов в глубинной и верхней частях разреза на базе опорных полигонов.* — Вопросы геофизики **Вып. 29** (1982), 163–169.
41. А. Г. Рудаков, Е. А. Куксенкова, *Опыт экспериментального изучения процессов формирования сейсмических импульсов в источнике.* — Вопросы геофизики **Вып. 34** (1994), 48–54.
42. А. Г. Рудаков, Е. А. Алексаньянц, *О влиянии параметров верхней части разреза на характеристики сигналов генерируемых сейсмическими источ-*

никами. — Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. (Межвуз. сб.) вып. 12, Свердловск (1986), 100–106.
43. А. Г. Рудаков, Е. А. Куксенкова, *О некоторых характерных особенностях формы сейсмических сигналов, возбуждаемых взрывами из скважин.* — Опыт применения и пути улучшения методики геофизических исследований на рудных и нерудных месторождениях. (Межвуз. сб.) Свердловск (1988), 97–103.
44. А. Г. Рудаков, Е. А. Алексаньянц, *О сравнительном сопоставлении источников колебаний в сейсморазведке.* — Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. (Межвуз. сб.) Свердловск (1987), 64–70.
45. А. Г. Рудаков, *О качестве возбуждений колебаний в сейсморазведке.* — Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. (Межвуз. сб.) Пермь (1991), 37–44.
46. А. Г. Топорская, А. Г. Рудаков, *Прямой синхронный контроль формы импульсов, генерируемых морскими сейсмическими источниками.* — В кн.: Рациональный комплекс морских геофизических исследований. Л. (1983), с. 39–47.

Rudakov A. G. Some aspects of the history of development of seismic prospecting by the method of reflected waves.

A link is decribed between the periods in the history of seismic prospecting and the changes in understanding its physical and geological foundations. Particular attention is given to the influence of the technological progress in seismic data processing on the change in inderstanding the structure and composition of the medium under study.

С.-Петербургский государственный университет

Поступило 12 апреля 2001 г.