



ПУТИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕХОДА ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ К СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

1. ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МОВ

1.1. В составе наблюдаемых сейсмических волновых полей наряду с сигналами, несущими полезную информацию о глубинном устройстве геологической среды, обычно содержится множество разнообразных помех. От того, что в волновых полях воспринимается как полезные сигналы, а что как помехи, зависят стратегия и тактика всего процесса ведения сейсморазведочных работ. Длительный период развития метода отражённых волн, в течение которого его успехи напрямую зависели от результатов изучения помех (в предположении, что свойства полезных сигналов и так достаточно хорошо известны), сменился периодом, в котором главным стало изучение полезных сигналов в составе волновых полей и преобразование последних в сейсмические временные и глубинные разрезы, исходя из предположения, что помехи в них практически подавлены и отсутствуют. Причины, обстоятельства и последствия перехода от первого периода ко второму не стали в сейсмической литературе предметом специального изучения. Вместе с тем без такого анализа невозможно обоснованно судить о фактическом положении дел в современной сейсморазведке и о возможных путях её дальнейшего развития.

1.2. Первый из упомянутых периодов развития сейсмического метода естественно обозначить как классический и, соответственно, вести речь о классической сейсморазведке как о начальном этапе развития метода отражённых волн. Главные характеристики МОВ на этом этапе: модель изучаемой среды - двумерная толстослоистая; объекты разведки - опорные отражающие горизонты; системы наблюдений - непрерывное корреляционное профилирование; аппаратное обеспечение - прямая осциллографная запись.

Для классической сейсморазведки была характерна соразмерность всех её элементов, их соответствие законам естествознания. Была очевидной связь между элементами среды, представляющими разведочный инте-

рес в виде её реперных компонентов, и элементами волнового поля, несущими информацию об этих компонентах (оси синфазности, соответствующие опорным отражающим горизонтам). Первичные полевые материалы считались качественными, если получаемые сейсмограммы обеспечивали возможность непрерывной визуальной корреляции осей синфазности от целевых отражающих горизонтов. Утрата такой возможности приводила к вынужденной остановке сейсморазведочных работ.

Улучшение качества первичных материалов в различных экспедициях и сейсмопартиях стремились осуществлять “своим путём”, с минимальной затратой времени и средств. Иногда это удавалось путём простого подбора (перебора) имеющихся вариантов параметров возбуждения и приёма сейсмических колебаний. В более сложных случаях требовалось проводить специальные исследования помех. К их числу долгое время относили лишь волны со свойствами, заметно отличными от свойств полезных сигналов: поверхностные, прямые, звуковые, рефрагированные, кратно-отражённо-преломленные...

Классическая сейсморазведка изначально была ориентирована на решение структурных задач. Непрерывное корреляционное прослеживание целевых отражающих горизонтов позволяло уверенно обнаруживать и изучать антиклинальные ловушки углеводородов. Успешное решение таких задач сделало сейсморазведку ведущим геофизическим методом при поисках нефти и газа.

1.3. Переходу ко второму периоду развития сейсморазведки способствовал, тем или иным образом, ряд обстоятельств, которые заранее не планировались специально и последствия которых заранее невозможно было предвидеть. В этом отношении весьма показательной является следующая оценка причин и последствий произошедших изменений: “Применение цифровых способов регистрации и обработки данных в сейсморазведке привело геофизиков к необходимости почти неосознанно усложнить классы сейсмогеологических мо-

делей изучаемых сред. Более того, сейсмогеологические модели, всегда рассматривавшиеся как подкласс геологических, в последние годы становятся рабочей основой геологических гипотез в виде так называемой стратиграфической сейсморазведки” [22].

Требуется, однако, гораздо большая ясность в вопросе о том, как и за счёт чего было достигнуто “усложнение классов сейсмогеологических моделей изучаемых сред”, также как и во всем том, что касается действительного содержания “стратиграфической сейсморазведки”. В более общем плане необходимо изучить сами пути перехода от классического периода в развитии сейсморазведки МОВ к современному периоду, который условно можно обозначить как “технологический”.

1.4. Одним из факторов, определяющим образом повлиявших на кардинальную перестройку всего сейсморазведочного процесса, стало повсеместное внедрение в производство системы наблюдений, первоначальное предназначение которой не выходило за рамки решения задачи подавлениякратноотражённых волн-помех. Помехи этого типа, в силу близости их свойств к свойствам полезных (однократно отражённых) волн, наиболее трудны для обнаружения, изучения и исключения их из сейсмических записей. Считалось очевидным, что для борьбы с ними ранее разработанные в МОВ приёмы и методики не пригодны. В известном учебном пособии по сейсморазведке предложенная система наблюдений характеризуется следующим образом: “В 1950 г. Г. Мейн изобрел метод общей глубинной точки (ОГТ) как способ подавления помех, с которыми не удается справиться путем группирования” [51]. Широкое распространение этого метода на практике оказалось возможным лишь начиная с середины 60-х годов благодаря воспроизводимой цифровой записи, ставшей к тому времени основой сейсмической аппаратуры.

Ещё одним фактором, способствовавшим возникновению сейсморазведки нового типа, стал перенос основных интересов геологоразведочной службы с антиклинальных на неантиклинальные ловушки нефти и газа. Обнаружение и изучение ловушек такого типа в силу их локальных размеров, разнообразия структурных форм и вещественного состава - задача несравненно более сложная, чем в случае антиклинальных ловушек.

1.5. Метод ОГТ был разработан применительно к горизонтально-слоистой модели изучаемой среды. В этом случае сейсмограммы ОГТ и сейсмограммы ОПВ (общего пункта возбуждения) полностью совпадают (при одинаковых параметрах формирующих их пар приёмник-источник). С этих позиций в случае сред, близких по своим свойствам к горизонтально-слоистым, изобретать для борьбы с кратными волнами-помехами метод ОГТ (или, как его теперь более правильно называют, метод ОСТ - метод общей средней точки) не было необходимости. Результатом наблюдений, выполняемых независимым образом в последовательности средних точек профиля, являются суммотрассы ОСТ, при этом считается что все они получены при нулевой базе наблюдений, т. е. зарегистрированы приёмником и источником, совмещёнными в средних точках профиля.

1.6. Реализация метода ОСТ на практике осуществляется по методике многократных перекрытий (ММП), основу которой составляет перемещение вдоль профиля расстановок общего пункта возбуждения на расстояния, малые по сравнению с их длиной, и последующее формирование выборок трасс ОСТ из полученных данных. К сожалению, при разработке этой методики изначально были допущены далеко идущие по своим последствиям ошибки принципиального свойства. Они одновременно касаются как оценки самих параметров систем наблюдений по способу ОГТ, так и подхода к учёту реальных (подтверждаемых экспериментом) свойств регистрируемых волновых полей. Конкретно это проявляется в том, что во всей имеющейся сейсмической литературе обоснование параметров выборок трасс ОСТ осуществляется на основе теории, применимой лишь для изучения результатов группирования сейсмоприёмников, в условиях когда местоположение источников полезных сейсмических волн остается неизвестным.

1.7. Наиболее полно такая ситуация исследована Ф. М. Гольцманом в его известной монографии [8]. В качестве интерферирующих волн в ней рассматриваются идеально-регулярные плоские волны, распространяющиеся без затухания с постоянной скоростью во всем бесконечном пространстве. Такая “заведомо не соответствующая действительности абстракция оправдывается тем, что она позволяет более просто получить необходимые результаты, касающиеся теории приема регулярных волн в ограниченной области наблюдений”. Вопросы распространения волн внутри исследуемой среды при таком подходе не рассматриваются. По поводу помех отмечается отсутствие единой методики их изучения (что продолжает оставаться справедливым вплоть до настоящего времени), при этом результаты такого изучения “зависят от искусства и опытности экспериментатора”.

1.8. В согласии с данной теорией в сейсморазведке (как у нас в стране, так и за рубежом) давно сложилось и до сих пор продолжает действовать “общепринятое правило выбора параметров систем многократных перекрытий” в виде формулы:

$$n = K\Delta СП / 2\Delta ПВ, \quad (1)$$

где n - кратность системы наблюдений по способу ОСТ; K - число каналов в расстановке ОПВ; $\Delta СП$ - расстояние между каналами расстановки ОПВ; $\Delta ПВ$ - шаг перемещения расстановки ОПВ после каждого взрыва.

Исходя из указанного правила, предполагается, что в последовательности средних точек профиля формируются выборки из n трасс ОСТ с базой суммирования $K\Delta СП$. При этом положение источника относительно базы суммирования никак не фиксируется.

1.9. В действительности же параметры систем наблюдений по способу ОСТ не имеют, в общем случае, ничего общего с тем, что о них предполагается в соответствии с формулой (1). Попытка изменить такое положение дел была первоначально предпринята в работе [28].

Главным в ней является переход от сложившихся ранее представлений о группировании приёмников и источ-

ников на позиции более общей теории группирования пар приёмник-источник. Фундаментальным при этом является принцип, в соответствии с которым не существует отдельно взятого группирования приёмников или группирования источников. Во всех случаях группируются пары приёмник-источник, причём в первом случае общей для всех пар является координата плоскости наблюдений, совпадающая с источником, а во втором – с приёмником.

С этих позиций система наблюдений по методу ОСТ – есть ни что иное как группирование пар приёмник-источник с общей средней точкой. В развитие такого подхода опубликована серия работ, включая [25, 27 - 31]. Из материалов этих работ следует, что вместо предполагаемых известными и одинаковыми действительные параметры методики наблюдений по методу ОГТ оказываются неизвестными, и неодинаковыми.

Требуется пересмотреть весь круг вопросов, относящихся к обоснованию способов ведения полевых работ, основанных на использовании методики многократных перекрытий. Без этого нельзя рассчитывать на осознанную оценку действительных возможностей сейсмического метода в решении современных геологоразведочных задач.

1.10. С учётом вышеизложенного перейдем непосредственно к анализу содержания и последствий перехода от сейморазведки классической к сейморазведке технологической. Начинать приходится с возражений против сложившегося и устойчиво сохраняющегося представления о том, что обычный (классический) МОВ – это сейморазведка “малократного (1 - 3) прослеживания отражающих горизонтов”, а МОГТ – сейморазведка многократного их прослеживания (“многократного перекрытия”, “многократного профилирования”) [2]. Для современной (технологичной) сейморазведки исходным является утверждение, сформулированное в [46] следующим образом: “Все многообразие принимаемых на практике интерференционных систем основано на одном принципе и описывается общей теорией”. Это утверждение является глубоко (в корне) ошибочным. Традиционная (классическая) сейморазведка МОВ никогда не являлась и не является частным случаем методики многократных перекрытий. Методики традиционного МОВ и способа ОГТ основаны на принципиально различных сейсмических моделях среды. Для их описания используются принципиально различные теории.

Понятие “кратность” применительно к системам наблюдений по способу ОСТ, реализуемому по методикам многократного перекрытия, означает лишь число элементов, входящих в группу ОСТ. Когда говорят, что кратность метода ОСТ равна, например, двенадцати, то это означает лишь, что для полного подавления помех и выделения на суммотрассе полезных сигналов требуется, при независимо проводимых наблюдениях в каждой средней точке профиля, использовать группы ОСТ, состоящие из двенадцати элементов (двенадцати пар приёмник-источник). Никакого отношения к тому, чтобы многократно (12 раз) что-либо прослеживать, перекрывать, проводить профилирование, это не имеет. Крат-

ность (число элементов), как и все остальные параметры функций распределения чувствительности в группах ОСТ, определяется исходя из требований подавления волн-помех и выделения на их фоне полезных сейсмических сигналов.

1.11. К классической же сейморазведке понятие “кратность” вообще никак не применимо. В те времена, наряду с обычной (“простой”) системой непрерывного профилирования, различали ещё системы двойного и полуторного профилирования. Обе они представляют собой комбинации двух полных систем непрерывного корреляционного (позиционного и транспозиционного) прослеживания осей синфазности полезных отражённых волн. При двойном профилировании длина годографов в каждой из независимых систем одинакова, при полуторном – длина годографов в одной из них наполовину меньше, чем в другой. Все это и является отражением того, что под полезными сигналами в классической сейморазведке понимались оси синфазности волн, отражённых от опорных (реперных) горизонтов, а их непрерывное корреляционное прослеживание на фоне помех являлось её методологической основой.

1.12. Вместе с понятием “методика многократного перекрытия” в практику сейморазведки вкралась специфическая терминология, которую невозможно обозначить иначе как некий вид жаргона.

В учебнике по сейморазведке, являющемся основным в нашей стране, утверждается: “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, а 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” [9].

Сейсмические (сейсмогеологические) разрезы представляют собой результат комплексной интерпретации сейсмических и геологических данных. С получением новых материалов их можно изменять, улучшать, предлагать дополнительные варианты. Но их категорически нельзя суммировать, как и умножать, делить и подвергать прочим процедурам, принятым в математике. Если бы и в самом деле каждая из систем “однократного перекрытия” позволяла непрерывно прослеживать одну и ту же отражающую границу, то и не было бы никакой нужды проделывать это же самое многократно. То, что в приведённой цитате называется наложением (суммированием) n разрезов, на самом деле есть суммирование колебаний, зарегистрированных (независимым образом в каждой средней точке профиля) n парами приёмник-источник, входящих в группы ОСТ (“выборки трасс ОСТ”).

2. СЕЙСМОРАЗВЕДКА МЕТОДОМ ПОЛЕЗНЫХ ВОЛН

2.1. Сейсмическая разведка, опирающаяся на использование систем наблюдений, сводящихся в конечном счёте к последовательному перемещению вдоль профиля совмещённой пары приёмник-источник, явно нуждается в своём фундаментальном обосновании. На каких модельных представлениях о физических, геологических, сейсмических свойствах изучаемой среды принимается решение об использовании такой системы наблюдений и чем следует руководствоваться при интерпретации получаемых данных?

Регистрирующая система, состоящая из источника и приёмника, совмещённых в одной точке профиля, способна с одинаковым успехом фиксировать сейсмические колебания, возвращающиеся к ней из любых пунктов окружающего её объёма среды. Природа этих колебаний в общем случае может быть совершенно различной, и они могут относиться как к полезным сигналам, так и к помехам.

2.2. Чтобы сделать обоснованным применение на практике столь элементарной по своим параметрам и вместе с тем, универсальной (индеферентной к специфике внутреннего устройства среды) системы наблюдений, необходимо потребовать выполнения двух неперенных условий. Первое заключается в том, что сейсмические помехи должны практически отсутствовать. Такое возможно либо в результате их эффективного подавления, либо в силу особо благоприятных сейсмогеологических условий в районе проведения работ. Второе условие состоит в том, что параметры системы (возбуждение-приём) должны сохраняться устойчиво стабильными во всей последовательности пунктов наблюдения.

В результате выполнения первого условия сейсмические колебания на трассах (суммотрассах) в последовательности пикетов профиля попадают (вынужденным, в некотором смысле, образом) в разряд полезных сигналов. В формировании этой (“полезной”) записи принимает (так или иначе) участие весь подлежащий изучению объём геологической среды. Не греша особо против истины, можно при желании утверждать, что в процессе создания указанной записи изучаемая среда участвует всеми своими точками (попробуйте указать точку, которая не участвует). Совсем иное дело, если этот, литературный по сути дела, тезис положить в основу конструирования алгоритмов, предназначенных для изучения свойств геологической среды. Об этом ещё пойдет речь ниже.

Лишь при выполнении второго условия можно рассчитывать на то, что сохранение или изменение характера записей полезных сейсмических сигналов в последовательности соседних сейсмических трасс будет, каким-то (заранее совсем не ясно, каким) образом коррелироваться с сохранением или изменением тех или иных особенностей глубинного устройства среды. Именно это обстоятельство является тем, что объединяет результаты независимых наблюдений в отдельных точках профиля и даёт основание условно трактовать последовательность суммотрасс, ориентированных в глубину изучаемой среды, как “временной сейсмический разрез”.

2.3. Всю в целом эту систему наблюдений, вместе с принятым в ней способом изображения получаемых данных, можно (при соблюдении упомянутых выше требований к условиям проведения экспериментов) рассматривать как особый и вполне самостоятельный вид сейсморазведочных работ, основанных на распознавании образов, формируемых полезными сейсмическими сигналами. Главное, что делает оправданным применение этой системы на практике, заключается в том, что благодаря ей в точках наблюдений создаются условия для естественного (совпадающего с природными процессами распространения упругих волн в реальных средах) “самовыражения” сейсмических свойств изучаемой геологической среды в той степени, в какой это может (при отсутствии помех) происходить благодаря тому, что сейсмический метод отражённых волн является методом дифференциальным. При этом различным по форме импульсам, генерируемым источниками в глубь изучаемой среды и сохраняющимся стабильными в последовательности ПВ, будут соответствовать и различные реализации сейсмических временных “разрезов”.

2.4. Временной разрез визуально воспринимается как “рисунок сейсмической записи”. Что именно изображено на этом рисунке - вопрос открытый для индивидуального опыта, воображения и интуиции интерпретатора. В зависимости от сложности состава и строения изучаемой среды изображения на рисунках сейсмической записи могут соответствовать как вполне узнаваемым или предполагаемым геологическим сюжетам, так и быть “вещью в себе”, оставаясь, однако, при этом полезными сигналами и отражая, следовательно, какие-то особенности внутреннего устройства среды. Вместе с тем, возможны и иные ситуации. Поскольку отсутствуют критерии, позволяющие различать полезные и мешающие колебания на независимо получаемых трассах временного разреза, сохраняющиеся на записи помехи могут формировать в составе временных разрезов разного вида ложные геологические образы.

2.5. Рассмотренный способ выделения и наблюдения сейсмических записей в задачах сейсмической разведки может быть определен как “метод полезных волн”. В число последних могут входить волны различного типа: отражённые, дифрагированные, рассеянные... Важно лишь, чтобы их формирование по времени совпадало со временем прохождения в среде фронта падающей волны. Строение среды во всех её деталях является заведомо сложным и заранее неизвестным. В такой ситуации возможность решения прямой задачи сейсмологии исключена. Исключена, следовательно, и возможность опоры на исходную сейсмическую модель среды при обработке полученных данных.

2.6. Интерпретация материалов сейсмической разведки методом полезных волн возможна (не выходя за рамки научных принципов естествознания) лишь при соблюдении двух упомянутых выше условий: отсутствие помех и стабильность параметров приёма и возбуждения во всей последовательности точек наблюдений. К сожалению, однако, в течение последних нескольких десятилетий интерес к изучению помех в производственной сейсмо-

разведке фактически полностью угас. За все это время сейсмическая литература не обогатилась работами, в которых бы обобщался ранее накопленный опыт в области изучения помех и приводились бы новые данные, касающиеся их действительных свойств. То же самое относится и к разработке проблемы контроля стабильности условий возбуждения и приёма в последовательности пунктов наблюдений. Развитие сейсмического метода пошло по совсем иным путям.

3. СЕЙСМОВИДЕНИЕ, СЕЙСМОИЗМЕРЕНИЕ И СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЯ

3.1. Наиболее общего характера оценки развития сейсморазведки в период, последовавший за повсеместным внедрением метода ОСТ, даны в работе [6]. В ней отмечается, что ярким проявлением этого развития явилось формирование двух весьма различных направлений, которые можно охарактеризовать как “сейсмоизмерение” (т. е. определение параметров среды) и “сейсмовидение” (т. е. изображение среды). Так получил путёвку в жизнь интересный и весьма ёмкий по своему содержанию термин “сейсмовидение”. В работе [6] ему дано развернутое определение, в соответствии с которым к сейсмовидению относится сейсмологография, D-преобразование, преобразование временных разрезов в глубинные. Дополнительно указывается, что сейсмовидение также предполагает использование временного разреза как изображения среды, но это “допустимо лишь при изучении достаточно простых сред”.

3.2. Такое толкование понятия “сейсмовидение” нельзя признать совершенным. В самом деле, все включённые в него процедуры миграционных преобразований ориентированы в конечном счете на измерение параметров среды - определение численных значений акустической жёсткости (коэффициентов отражения, рассеяния) в её точках. Ограничение роли изображения среды случаем “достаточно простых сред” никак дополнительно не расшифровано. Ярким показателем того, насколько противоречивым может быть понимание данного термина на основе предложенных критериев служит, в частности, следующий пример. По случайности в одном и том же номере журнала “Геофизика” (№ 2, 1999 г.) встретились две работы, в одной из которых [45], все будущее сейсмического метода связано с сейсмовидением, позволяющим извлекать “максимум информации из самых мелких деталей волновых разрезов”. В другой же работе, посвящённой оценке возможностей и ограниченный интерпретации данных сейсморазведки 3D, утверждается - настало время перейти от “сейсмовидения” к “сейсмоизмерению” [10].

3.3. В данной работе понятие “сейсмовидение” трактуется как своего рода антипод по отношению к дифракционному, миграционному и прочим последующим преобразованиям волновых полей, полученных в эксперименте (при обязательном выполнении двух главных условий, заключающихся в устранении помех и обеспечении стабильности формы исходного импульса). В таком

понимании сейсмовидение есть умение осмысливать сейсмические изображения среды с позиций геологии. Рисунки сейсмической записи на временных разрезах, создаваемые таким художником, как природа, могут быть понятными или непонятными, они могут по тем или иным соображениям нравиться или не нравиться интерпретатору. Их, однако, невозможно “улучшать”, делать более “правильными”, поскольку иное означало бы, что нам лучше, чем ей (природе), известны законы, по которым происходит реальное развитие волновых процессов в тех средах, которые изучаются. Из этого следует, что мы не в праве по своему усмотрению, без согласования через эксперимент с ней (с природой), пользоваться механизмами связи свойств среды со свойствами формирующихся в ней волновых полей, сколь бы удобными для целей последующей обработки таковые не представлялись.

3.4. В изложенном выше понимании направление сейсмических исследований, объединяемое термином “сейсмостратиграфия” не относится к тому, что далее трактуется как технологичная сейсморазведка (по поводу же самого термина “сейсмостратиграфия” в литературе уже высказано немало справедливых критических замечаний). Основы этого направления не противостоят классическим принципам сейсмического метода. В полной мере используются как практическое отсутствие помех в составе исходных сейсмических записей, так и возможности, вытекающие из наглядности принятой формы изображения получаемых данных. Непрерывно заполняющие исследуемое пространство полезные сейсмические сигналы образуют ассоциации волновых элементов, различающихся по степени их упорядоченности, протяжённости, интенсивности. Анализ взаимоотношения этих ассоциаций (волновых фонов) на плоскости временных разрезов позволяет при благоприятных сейсмогеологических условиях (например, в пределах осадочных бассейнов) выявлять и проследить важнейшие элементы геологического устройства среды и на этой основе судить о закономерностях процессов седиментации, условия формирования и залегания углеводородных ловушек различного типа. При этом, однако, не следует упускать из вида, что при изменении формы исходного импульса, генерируемого источниками в глубь изучаемой среды, повсеместно изменятся и локальные особенности рисунка сейсмической записи. Главную ценность в сейсмике метода полезных сигналов представляют распределённые в пространстве сообщества волновых элементов, структурные особенности которых устойчивы к форме исходных импульсов.

4. ИСТОКИ ТЕХНОЛОГИЧНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ОБЩАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ РЕАЛИЗУЕМЫХ В НЕЙ ПРОЦЕДУР ОБРАБОТКИ

4.1. Истоки современной технологичной сейсморазведки связаны отнюдь не с технологией обработки получаемых сейсмических данных. Они располагаются в области технологизации свойств самой изучаемой геологи-

ческой среды. Что же касается задач обработки сейсмических данных, то здесь имеют место далеко идущие по своим практическим последствиям существенные (принципиальные) расхождения. На практике различают два подхода к обработке и интерпретации данных сейсморазведки: динамический и кинематический [2].

Согласно динамическому подходу главная задача (“обратная динамическая задача сейсморазведки”) состоит в том, чтобы преобразовать волновое поле полезных сейсмических сигналов в поле значений акустической жёсткости. Считается, что акустический разрез изучаемой геологической среды $\rho v(x, y, z)$ - “это максимально возможный результат обработки сейсмических материалов и всех сейсмических работ” [46].

Несколько позже появились, правда, высказывания, в соответствии с которыми получение такого (“максимально возможного”) результата “на современном уровне развития теории метода по ряду причин пока невозможно” [2]. Указывается, что на основе динамического подхода “достигнуты пока относительно скромные результаты”. Однако он быстро и эффективно совершенствуется, и высказывается предположение, что “в недалеком будущем на его основе станет возможным надежное получение важных и достоверных сведений о характере распределения во всем разрезе акустической жесткости и коэффициентов поглощения упругих волн”. На самом же деле получение такого результата в реальном эксперименте невозможно при любом уровне развития теории. Связи между физическими и геологическими (представляющими разведочный интерес) свойствами среды столь многообразны и неоднозначны, что их выявление и изучение представляло бы собой самостоятельную, практически неразрешимую проблему.

Таким образом, при “динамическом подходе” конечным результатом обратного преобразования всего очищенного от помех поля полезных волн должна быть информация о физических параметрах среды во всех её точках (при полностью открытом вопросе о том, кто и как будет осуществлять переход от этих данных к данным о геологии изучаемой среды).

4.2. В отличие от понятия “обратная динамическая задача метода ОГТ”, чётко сформулированного понятия “обратная кинематическая задача метода ОГТ” не существует [20, 21]. В статье [20] суть этой задачи раскрывается следующим образом: “конечной целью сейсмических работ является определение структурных и петрографических характеристик целевых геологических горизонтов”. Из этого следует, что обратная кинематическая задача по своему геологическому звучанию, чисто внешне, воспроизводит ту задачу, которая решается при обычном (классическом) МОВ. И в самом деле, речь здесь идёт об обратном преобразовании не всего наблюдаемого волнового поля, а лишь тех его компонентов, которые сформированы искомыми объектами в среде. Выделение этих компонентов и обратный переход от них к изучаемым объектам (целевым отражающим горизонтам) осуществляется, согласно [20], на основе “модельных представлений, управляющих законами распространения сейсмических волн в толстослоистых средах”. Однако в

дальнейшем рассмотрении и обосновании данной концепции многое вызывает недоумение и возражения. Утверждается, например, что “цифровая регистрация сейсмических волн по линейным и площадным системам многократного перекрытия... фиксирует в наименее искаженном виде практически полную информацию о волновом поле”. На основании этого делается вывод: “тем самым мы получили возможность перейти в область виртуальной геофизики, в которой можно осуществить любые преобразования цифровой информации, в т. ч. и относящиеся к классу физически нереализуемых”.

4.3. Сама по себе возможность осуществлять любые преобразования цифровой сейсмической информации на основе компьютерной технологии не содержит в себе ответа на вопрос, какие из них стоит осуществлять, а какие нет и почему. На основе каких модельных представлений о связи свойств волнового поля со свойствами изучаемой среды такие преобразования производятся? В соответствии с исходной посылкой обсуждаемой концепции в составе наблюдаемого волнового поля различаются полезные сигналы и помехи. Первым соответствуют волны от целевых отражающих горизонтов. Все остальные волны, в т. ч. и от неантиклинальных ловушек разнообразного типа, попадают при этом (во всяком случае, формально) в разряд помех. В каком смысле цифровая регистрация фиксирует о волновом поле практически полную информацию, причем в “наименее искаженном виде”? При отсутствии ясности в этих вопросах надежды возлагаются на “контроль наших действий с точки зрения следования физическим законам образования и распространения волн”. Поскольку, однако, наглядные общепринятые убедительные критерии такого контроля нацело отсутствуют, на практике применяются “сомнительные способы преобразований, иногда никак не согласующиеся со здравым смыслом”.

4.4. Основополагающие позиции технологичной сейсморазведки изначально были заложены в рамках “обратной динамической задачи сейсморазведки”. Обратимся к более детальному анализу процедур обработки сейсмических данных, ориентированных в конечном счете на решение указанной задачи.

По проблемам миграционных преобразований накопилась обширная литература. При этом, однако, в имеющихся публикациях продолжает сохраняться множество неясностей, противоречий, недоговоренностей по самым главным, фундаментальным аспектам указанных проблем. В различных изданиях одни и те же термины, определения, понятия часто трактуются совершенно по-разному. Так, например, в одной из работ миграции дается такое определение: “Построение поперечного разреза отражающих границ внутри Земли по сейсмическому профилю называется миграцией” [15]. Во многих случаях отсутствует должное обоснование необходимости и правомерности широко используемых в текстах математических преобразований. В имеющихся публикациях фактически полностью отсутствует доказательная (опирающаяся на эксперимент) база. Пожалуй, наиболее показательным в этом отношении является следующее высказывание из весьма авторитетной работы [16]:

“Полевые сейсмограммы слишком сложны для их осмысливания”. Альтернативой осмысливанию экспериментальных полевых сейсмограмм может быть лишь выдумывание из головы механизмов их формирования, что и реализуется в действительности. Обобщение накопленных к 1989 г. данных по теории и практике технологичной обработки сейсмических данных сопровождается следующим, о многом говорящем, утверждением: “Среди геофизиков программистов и пользователей геофизического программного обеспечения распространено мнение, что искусство обработки сейсмических данных – это своего рода черная магия”.

В журнале *The Leading Edge* (т. 21, № 6, 2002 г.), посвящённом обзору истории сейсмической обработки за 1982 – 2000 гг., сказано: “Обработка – это любые вычислительные способы, которые ориентированы на удаление помех или эффектов, связанных с распространением волн, и которые направлены на создание изображений земной коры”. Каждый волен по-своему трактовать смысл того, что может составлять, в соответствии с такого рода определением, действительное содержание обработки сейсмических данных.

4.5. Постулаты, положенные в основу решения обратной динамической задачи сейсморазведки, могут быть, по-видимому, сведены в основном к следующему. Путь к акустическому разрезу идёт через построение сейсмического изображения среды. Считается, что указанное изображение является решением дифференциального уравнения в частных производных, описывающего процесс распространения сейсмических волн в геологической среде. Сейсмические записи, получаемые в процессе полевых наблюдений, используются при этом в качестве “граничного условия”. Предполагается, что параметризация сейсмического изображения даёт достаточно детальные сведения об упругих свойствах изучаемой среды. Процедуры используемых преобразований осуществляются на основе принципа Гюйгенса и модифицированного интеграла Кирхгофа.

Прежде чем касаться вопросов, связанных с существом упомянутых постулатов, необходимо уточнить действительное содержание некоторых понятий и определений, на которые они опираются. В первую очередь это относится к оценке роли волнового уравнения в решении прямых и обратных задач.

4.6. Решить волновое уравнение – значит решить ту или иную задачу сейсмики в случае, когда задана структура среды, её параметры, а также параметры источника и условия распространения волнового поля через границы среды (граничные условия). В результате решения определяются значения волнового поля, удовлетворяющие во всех точках среды тому типу волнового уравнения, которое в принятой её модели описывает механизм распространения сейсмической энергии. Иначе говоря, чтобы решить прямую задачу сейсмики, требуется знать структуру среды, механизм распространения в ней упругой энергии, тип и параметры источника.

Чтобы решить обратную задачу сейсмики, требуется дополнительно к ограничениям и условиям, которые накладываются на исходную модель среды, знать ещё в

деталях историю формирования в ней наблюдаемого волнового поля. По отношению к средам неограниченного уровня сложности такого рода задачу невозможно не только решить, но даже и осмысленно её сформулировать. Что же в таком случае следует понимать под решением обратной динамической задачи в технологичной сейсморазведке? Как она соотносится с прямой динамической задачей? Решением какого уравнения является сейсмическое изображение среды?

4.7. Главным звеном в обосновании процедур преобразований, используемых технологичной сейсморазведкой, является точечная модель среды. В справочник по сейсморазведке это положение вошло в следующей предельно прямолинейной формулировке: “Согласно принципу Гюйгенса любую точку среды, которой достигла упругая волна, можно рассматривать как источник элементарных волн, аналогичных по своей природе дифрагированным волнам. Колебательный процесс, наблюдаемый на земной поверхности, можно рассматривать как процесс элементарных волн, пришедших от бесчисленного множества источников, расположенных в изучаемой толще горных пород” [12].

Такая формулировка вполне согласуется с утверждениями, содержащимися в монографиях, посвящённых фундаментальным проблемам миграционных преобразований. Одно из них, например, гласит: “Используемые при массовой обработке данных процедуры миграции не предполагают наложения каких-либо ограничений на строение среды. В соответствии с принципом Гюйгенса среда рассматривается как совокупность дифрагирующих точек, и задачей миграции является оценка относительной интенсивности дифрагированных волн, возникающих на каждой такой точке в отдельности, независимо от того, какова дифрагирующая способность соседних точек” [17].

4.8. На этот счёт имеются, однако, и совсем иные представления. Выдающийся советский (российский) физик-оптик С. И. Вавилов так определил содержание принципа Гюйгенса: “Принцип Гюйгенса в интерпретации Френеля очень удобен для элементарного рассмотрения дифракционных задач, но не может претендовать на значение большее, чем упрощенного математического приема, успешность которого оправдана только опытом. Кирхгофу удалось математически обосновать принцип Гюйгенса в пределах его применимости, но точное решение задач о распространении волн осуществимо только при отказе от принципа Гюйгенса и при непосредственном решении волнового уравнения при заданных граничных условиях (Зоммерфельд)” [3].

4.9. Изложенный в пункте 4.7 центральный постулат технологичной сейсморазведки волевым образом устраняет непреодолимые, казалось бы, принципиальные трудности на пути решения обратных задач сейсмики в случае сколь угодно сложно построенных сред. Его главная суть состоит в установлении однозначной связи между каждым точечным элементом среды и соответствующим ему волновым элементом сейсмического поля. Положение элемента среды каждый раз задается пространственными координатами точки, а элемента вол-

нового поля - голографом волны от точечного дифрактора в этой точке. При этом для всех точечных элементов среды скоростная характеристика покрывающей толщи считается известной. Иначе говоря, под сейсмическим изображением среды понимается сейсмическое изображение одиночных точек в среде, поскольку считается, что изображение каждой из них не зависит от изображений всех остальных соседних с ней точек.

4.10. Именно такая, стерильно умозрительная, конструкция сейсмических процессов в среде претендует (ни много ни мало) на способность представлять свою собственную (технологичную) версию истории формирования поля полезных сигналов, наблюдаемых в эксперименте. В соответствии с этой версией каждая точка среды есть "точечный дифрактор". Хотя это понятие является ключевым в технологической сейсморазведке, ни в одной из имеющихся работ ему не дается чёткого определения. С одной стороны, содержащиеся в основополагающих работах по миграции утверждения, в соответствии с которыми в формировании наблюдаемого волнового поля участвует "бесчисленное множество" дифракторов, имеющих "бесконечно малые размеры" и расположенных на "бесконечно близких удалениях друг от друга", настраивает на восприятие их как точечных источников сейсмической энергии. С другой стороны, эти источники вторичны. Их энергия рождается в процессе взаимодействия (отражения, рассеяния, дифракции) энергии первичного источника с различного рода неоднородностями среды.

4.11. Чтобы проявить себя в качестве вторичного источника каждая независимая от других "точка" должна, как минимум, включать в себя две среды с различающимися значениями акустической жесткости и иметь габариты, достаточные для того, чтобы энергия от неё могла быть зарегистрирована на земной поверхности после прохождения километровых расстояний в среде. Совместить в себе бесконечно малые размеры и возможность генерировать при этом конечную по величине энергию, точечный дифрактор не может. В понятии "точечный дифрактор" не содержится ничего, чтобы напоминало научный подход к изучению процессов дифракции на "точке".

4.12. Представление наблюдаемого в эксперименте волнового поля в качестве "граничного условия" в более конкретном плане означает, что заданы координаты пар источников и приёмников, участвовавших в его регистрации. Известно (в соответствии с принятой технологической версией), что поступающее в обработку наблюдаемое поле представляет собой суперпозицию элементарных волн, генерированных в сторону земной поверхности дифракторами, расположенными во всех точках изучаемой среды. Известны скоростные характеристики среды и, соответственно, лучи по которым шло распространение волн от источников к точечным дифракторам и далее от них к приёмникам. Уже только в силу принятой родословной технологичный вариант наблюдаемого волнового поля удовлетворяет однородному скалярному дифференциальному уравнению в частных производных, описывающему процесс распространения

продольных волн в упругой (жидкой или газовой) среде. Неизвестным является единственный параметр - относительная интенсивность точечного дифрактора. Этим параметром, правда, столько, сколько точек в изучаемом объёме среды, т. е. бесчисленное множество.

4.13. Точечная модель среды - модель техногенная, в ней нет ничего от геологии. Не существует доступного для понимания языка, на котором можно было бы описывать геологические свойства в отдельно взятых точках среды, независимо от её свойств в соседних точках. В этой связи примечательной является следующая, например, оценка роли геологической составляющей при сложившемся подходе к решению геофизических задач: "В хорошо (математически) поставленной геофизической задаче её попросту нет" [7]. Возникает, правда, вопрос - следует ли при решении задач геологической разведки физическими методами руководствоваться в их оценке тем, насколько они хорошо поставлены математически. К нему ещё придется вернуться.

4.14. Точечная модель среды - и не из класса физических моделей. На путях, ведущих к совершенствованию способов изображения земных недр, в качестве своего рода альтернативы способу ОГТ в свое время выступил метод импульсной сейсмической голографии [47, 49]. Его отправная посылка сводилась к тому, что "система обработки сейсмических записей по способу ОГТ практически не учитывает априорные сведения о свойствах наблюдаемых волновых полей и о строении изучаемой среды" [47]. Там же утверждалось, что "наиболее полную информацию о строении среды дает метод импульсной сейсмической голографии".

В обоснование данного утверждения в работах [47, 49] приводится множество сложнейших математических формул, с указаниями на то, что при их выводе использованы данные, полученные в свое время Клаербоутом, Кирхгофом, Френелем и другими классиками теоретической физики. В дальнейшем, однако, это направление исследований было оценено О. К. Кондратьевым как "недолгоживущий всплеск геофизической моды" [19].

Тенденция использовать имена классиков теоретической физики для оправдания направленности и характера технологической обработки сейсмических данных явно не служит на пользу делу. Построение эффективных сейсмических моделей геологических сред должно осуществляться самими сейсморазведчиками, опираясь на данные эксперимента. Точно также, как принцип Гюйгенса не имеет отношения к представлению геологических сред в виде множества точечных дифракторов, действующих независимо друг от друга, модифицированная формула Кирхгофа не имеет отношения к обоснованию способов определения интенсивности каждого из этих дифракторов на фоне всех остальных дифракторов [26].

4.15. Переход от наблюдаемого в эксперименте поля полезных сигналов к поточечному сейсмическому изображению среды относится к классу задач по выделению полезных волн на фоне помех. Задачи такого класса решаются с помощью систем интерференционного приёма. В каждом акте такого приёма полезной считается волна от данного точечного дифрактора. Волны же от всех

остальных точечных дифракторов выступают при этом в роли помех. Такой вариант приёма является группированием пар приёмник-источник по общей для них глубинной точке среды (группированием по ОГТ).

Указанное обстоятельство не только делает вновь актуальным, казалось бы, ранее достаточно ясный вопрос о том, что в сейсмической разведке относится к полезным сигналам, а что к помехам, но и требует ясности в совсем не тривиальном вопросе о том, что полезного в “полезных сигналах”. О таковых в справочнике по интерпретации данных сейсморазведки говорится следующее: “понятие полезного сигнала как выдержанной регулярной отраженной волны является в настоящее время устаревшим” [12]. К сожалению, за этим не следуют разъяснения относительно того, что же входит в современное (не устаревшее) понятие полезного сигнала в составе наблюдаемых волновых полей. При отсутствии такого определения утрачивается и ясность в понимании того, что относится к сейсмическим помехам.

Во всех случаях, однако, наблюденное волновое поле со всеми входящими в него полезными сигналами и помехами есть результат возбуждения изучаемой среды сейсмическим источником, основной характеристикой которого является исходный импульс, генерируемый им в глубь этой среды.

5. ОБ ИСХОДНОМ ИМПУЛЬСЕ

5.1. С давних пор в сейсморазведке существует острая для неё проблема изучения действительных свойств импульсов, генерируемых источниками в глубь изучаемой среды, и обеспечения стабильности их формы в процессе ведения сейсморазведочных работ. Однако признаваемая всеми важность этой проблемы так и не стала пока достаточным стимулом для достижения хоть скольконибудь ощутимых результатов в её решении. В процедурах, реализуемых на путях решения обратной динамической задачи сейсморазведки, форма импульса, генерируемого источником, перестала быть носителем полезной информации и даже превратилась в особый тип сейсмических помех. По этому поводу требуются специальные пояснения.

5.2. Процедуры обработки, реализуемые в технологической сейсморазведке, предполагают точное знание формы исходного импульса (исходного сигнала). Соответственно, требуется точно знать, что под этой формой понимается, с какой целью и как она изучается. Самому исходному сигналу при этом даётся следующее определение: “Физически под исходным сигналом понимается отразившееся от единичной границы и зарегистрированное стандартным приемным комплексом колебание, возбужденное источником и прошедшее некоторый путь в реальной среде, т. е. подвергшееся изменениям вследствие поглощения и прохождения тонкослоистой толщи” [5].

5.3. Изучать сигнал, отразившийся от единичной границы в среде, скоростная дифференциация которой лимитируется лишь размерами каротажного зонда, - дело

заведомо проблематичное, если не безнадежное. Принятое определение предполагает возможность судить по форме сигнала в пункте приёма (при условии, что она известна в пункте возбуждения) лишь о некотором интегральном воздействии среды на исходный импульс. Если же ни поглощение, ни прохождение тонкослоистой толщи заметного влияния не оказывают, форма сигналов в пунктах возбуждения и приёма оказывается одинаковой. Такое, с одной стороны, возможно лишь в средах с толстыми однородными слоями, разделёнными гладкими “единичными” границами. С другой стороны, это означает, что форма регистрируемой на земной поверхности отражённой волны никакой полезной информации ни о среде в целом, ни о свойствах отразившей её “одиночной” границы не несет. Более того, в качестве сейсмического изображения на временном разрезе она способна лишь дезинформировать интерпретатора относительно действительных свойств этой границы.

5.4. Вопросы изучения условий формирования исходных импульсов в окрестности источников, а также и закономерностей сопровождающих их распространение в толще земных недр фактически выпали из круга интересов технологической сейсморазведки. Со ссылками на сложность прямых экспериментальных определений этой формы в пунктах возбуждения главным о ней носителем информации считаются записи отражённых волн на суммотрассах ОСТ. Извлечение данных о свойствах исходного импульса из этих записей строится на системе не контролируемых экспериментом допущений и предположений. В их число входит и предположение об идентичности формы импульсов, генерируемых источниками, входящими в группы ОСТ, от выполнения которого зависит сама эффективность суммирования сигналов по этому методу.

5.5. Точное знание формы исходного импульса в технологической сейсморазведке требуется для достижения результата, идеальным воплощением которого должно было бы стать преобразование этой формы в δ -импульс. Говоря проще, знать точно форму регистрируемых полезных сигналов требуется лишь для того, чтобы её устранить как помеху, превратив в единственный амплитудный отсчёт. Для приближения к этой цели на практике используется процедура обработки, называемая деконволюцией. Её действительные возможности при решении практических задач получили в литературе соответствующую негативную оценку. Обратим внимание на ещё один аспект обсуждаемой проблемы.

Точное (по предположению) определение формы исходного импульса осуществляется независимым образом на каждом из множества близко расположенных друг к другу пикетов ОСТ. Казалось бы, это обстоятельство открывает путь для изучения свойств сигналов, генерируемых источниками, для оценки их выдержанности вдоль профиля, для выявления закономерностей, определяющих специфику влияния параметров ВЧР на эти свойства и т. д. Этого, однако, не происходит. В литературе отсутствуют материалы, в которых бы обобщались данные о точной форме исходных импульсов в последовательности пикетов профиля.

Не будучи в состоянии обеспечить достижение идеального результата по устранению формы полезного сигнала, процедура деконволюции, действуя независимым образом и с различной эффективностью на исходную запись в каждом из пунктов наблюдений, объективно делает более затруднительной позиционную корреляцию записей в последовательности трасс временных разрезов, осуществляемую на этапе интерпретации.

5.6. Вопрос об особой роли формы сейсмических импульсов и о требуемой степени её стабильности при решении современных геологоразведочных задач обсуждался и ранее [32]. В частности, привлекалось внимание к тому, что само построение модели изучаемой среды становится возможным лишь после того, как конкретизирована форма импульса, которым она облучается. В технологичной же сейсморазведке конструирование модельных представлений о строении среды производится без какой-либо оглядки на форму падающего импульса. Учёт этой формы при построении теоретических волновых полей, соответствующих принятым моделям среды, осуществляется на основе использования процедур “свертки”. В обращение вошёл термин “свёрточная модель среды”.

6. ОТ ТОНКОСЛОИСТОЙ (СВЁРТОЧНОЙ) К ТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

6.1. На пути от начальной в сейсморазведке двумерной толстослоистой модели среды к современному точечному её варианту располагается одномерная тонкослоистая (свёрточная) модель. Собственно созданием этой модели и было положено начало технологизации свойств изучаемых геологических сред на основе решения обратной динамической задачи сейсморазведки. На этом начальном этапе ещё делались попытки сохранить геологический фактор в качестве основополагающего при конструировании модельных представлений, на которые опираются процедуры массовой обработки получаемых данных. Некоторые ситуации принципиального характера, возникшие при этом, следует рассмотреть более подробно.

6.2. Свёрточная модель среды монтируется из таких привычных в сейсморазведке геологических элементов, какими являются слои и разделяющие их отражающие границы. Однако к специфике этой модели, помимо прочего (о чём ещё пойдет речь), относится предельно жёсткая её пространственная упорядоченность: все слои горизонтальны, непрерывны и неограниченны по протяжённости. Геологическая модель среды с такими особенностями глубинного устройства не может выступать в качестве реалистичной основы для управления процессом сейсморазведочных работ. Предпринятые попытки придать ей правдоподобность путём локализации сферы применимости входящих в неё параметров размерами зоны Френеля не являются состоятельными. Если свойства среды удовлетворяют принятому критерию локальности в любой точке наблюдений на площади исследований, то этот критерий должен выполняться

одновременно и по отношению ко всем остальным точкам на этой площади. Иначе говоря, сложную по строению среду нельзя разложить на ряд тесно примыкающих друг к другу реализаций локальных идеально упорядоченных сред [33]. К тому же, границы свёрточной модели задаются в виде непрерывной их последовательности по вертикали (определяя тем самым ничем не ограниченную тонкослоистость и независимость параметров модели от характеристик исходного импульса) и наделяются способностью отражать падающий импульс лишь однократно и только в одном направлении - в сторону источника. Все это, напомним, при том что поперечно-изотропная модель среды была положена в основу метода ОГТ, призванного подавлять многократно отражённые волны.

6.3. Тонкослоистая свёрточная модель сформирована умозрительно и недоступна для апробирования экспериментом. Она не имеет ни физических, ни геологических, ни просто логических оснований. Вместе с тем, её можно в соответствии с упомянутым выше постулатом рассматривать как частный случай точечной модели и описывать реализуемые в ней процедуры обработки в терминах миграционных преобразований. Известны высказывания, в соответствии с которыми, если бы миграцию изобрели несколько раньше, никакого ОГТ уже бы не потребовалось. Можно, правда, сказать, что если бы и в самом деле волну генерировала точка, расположенная на границе, а не сама отражающая граница, то не нужно было бы изобретать и миграцию. Действительным предметом изобретения технологичной сейсморазведки была точка, обладающая свойствами точечного дифрактора.

6.4. Обычно обсуждаемая в монографиях, справочниках и учебниках ситуация, призванная служить раскрытию сущности процедуры миграции, сводится к рассмотрению случая, когда единственным объектом в однородном нижнем полупространстве, способным обеспечивать возврат сейсмической энергии к профилю наблюдений, является точечный дифрактор. При наблюдениях по методике ОГТ в (виртуальном) волновом поле этот объект проявляет себя гиперболической осью синфазности. На временном разрезе ему соответствует рисунок сейсмической записи, позволяющий предположить наличие в среде антиклинального поднятия. Чтобы избавиться от “искажений” и вернуть объекту на временном разрезе его действительный вид, используются процедуры временной и пространственной миграции, с помощью которых амплитуды всех колебаний, образующих гиперболическую ось синфазности, суммируются в точке с координатами точечного дифрактора. Предполагается, что этим достигается желаемое соответствие точечного объекта в среде его точечному же (в принципе) сейсмическому изображению на глубинном разрезе.

Такая логика раскрытия сути процедуры миграции ничего на самом деле не раскрывает. Одно из двух - либо объект (в частности, объект дифракции) в среде имеет определённую форму и размеры, изучение которых представляет интерес для сейсморазведки, и тогда про-

цедуры обработки типа миграции по отношению к соответствующему ему волновому полю противопоказаны. Либо же миграция выступает в качестве процедуры, как бы специально предназначенной для устранения (стирания) изображений, сформированных на временных разрезах дифракторами, способными генерировать в сторону профиля наблюдений реальные, а не виртуальные дифрагированные волны.

6.5. Рассмотрим ситуацию, когда точка среды принадлежит горизонтальной границе. В этом случае на сейсмограмме ОСТ годограф отражённой волны формально в точности совпадает с годографом дифрагированной волны от точечного дифрактора, расположенного в общей глубинной точке этой границы. Соответственно и результат суммирования наблюденного волнового поля по ОСТ формально можно рассматривать как результат его D-преобразования. Развитию взглядов на точки среды как на точечные дифракторы могли, по видимому, способствовать представления о том, что результат суммирования по ОГТ будет продолжать сохраняться тем же самым и при последовательном стягивании всей горизонтальной границы в одну общую глубинную точку.

Вопрос о размерах участка плоской отражающей границы, эффективно участвующего в формировании наблюденной волны, напрямую связан с вопросом о том, что в действительности представляет собой “точечный” дифрактор. Следует признать, что этому (фундаментальному по сути дела) вопросу в сейсморазведке уделяется явно недостаточное внимание. В частности, нет единого общепризнанного критерия оценки размеров эффективной области отражения. Не исследован вопрос о зависимости размеров этой области от величины базы суммирования по ОСТ. Наиболее обстоятельно пока рассмотрена лишь ситуация для одной пары приёмник-источник с нулевым удалением. Не вдаваясь здесь в дальнейшие подробности, отметим, что в этом случае для сейсмического диапазона частот и интервалов глубин, характерных для сейсморазведки, протяжённость участка горизонтальной границы, эффективно участвующего в формировании сигнала отраженной волны, составляет сотни метров [11].

7. О РЕАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ РЕШЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ЗАДАЧ

7.1. Геологические задачи ставились и ставятся перед сейсмическим методом разведки без предварительного согласования с достигнутым в нём уровнем развития. Разумеется, сейсморазведчики стремятся наилучшим образом выполнять любые поставленные перед ними задачи. Важно, однако, уточнить - на каком языке эти задачи ставятся и какими реальными силами для их выполнения они (сейсморазведчики) располагают.

Независимо от важности и актуальности поставленных геологоразведочных задач сейсмический метод не может вложить в их решение больше того, на что он

способен. Чтобы оценить эти способности, задачи должны быть сформулированы на языке, понятном сейсмическому методу, т. е. на языке сейсмических моделей. Главное, что отличает сейсмическую модель от всевозможных моделей иного рода, заключается в том, что благодаря ей устанавливается связь между особенностями интересующих разведку объектов внутри изучаемой среды и тем, как эти особенности проявляют себя в составе волнового поля, наблюдаемого в эксперименте. В ходе работ, выполняемых по методике, разработанной на основе принятой модели, определяют и уточняют её конкретные параметры. Полученные данные используются для построения сейсмических разрезов и структурных карт. Обобщая такого рода материалы и дополнительно используя при этом всю имеющуюся полезную априорную информацию, формируют представления о геологической модели района работ. Именно такая схема построения и использования сейсмической модели среды реализуется в классическом варианте МОВ.

7.2. Обратимся к рассмотрению реальных возможностей сейсмического метода в решении задач технологичной сейсморазведки. Попытаемся при этом провести разделительную границу между тем, что составляет действительное содержание её “обратных динамических” и “обратных кинематических” задач. Предварительно напомним, что фактором, объединяющим обе эти обратные задачи, является прямая задача - в максимально полной мере служить целям, выдвигаемым геологической службой перед сейсмическим методом разведки.

Решением обратной динамической задачи сейсморазведки не предусматривается изучение структуры изучаемой среды. Она считается заранее известной и описывается либо одномерной свёрточной моделью, либо точечной моделью в случае среды двумерной. Конечная цель - построение поля значений акустической жёсткости во всех координатных точках среды.

7.3. Со времён, когда впервые обратная динамическая задача была поставлена перед сейсморазведкой, прошло много лет. Как оцениваются её роль и эффективность в решении современных геологоразведочных задач? Очень по-разному. Любопытной и весьма образной является оценка, даваемая автором работы [23]. Она гласит: “Я понимаю, что нет абсолютного решения обратной динамической задачи. И спасибо, что нет. Иначе быть нам с вами безработными”. И в самом деле, операторы-обработчики не способны решать задачи геологической разведки по независимым в каждой координатной точке среды значениям акустической жёсткости. В настоящее время в исследованиях по извлечению из волнового поля данных о петрофизических свойствах отдельных продуктивных пластов применяются подходы (“геостатистические”), в которых “решение обратной динамической задачи рассматривается как излишний промежуточный этап” [1].

7.4. Вместе с тем, на основе решения обратной динамической задачи разрабатываются также и способы построения “эффективных геологических моделей” изучаемых сред. Нельзя не обратить внимание на парадоксальность исходной методологической посылки, приня-

той в посвящённой этой проблеме работе [50]. По мнению её авторов для решения задач нефтяной геологии интерес представляет лишь та часть информации, распространяемой волнами в реальных геологических средах, которая связана с условиями и особенностями их распространения на пути от источника к месту регистрации. Информация же о самом источнике сейсмических колебаний, хотя и “тоже важна”, но самостоятельного интереса в этих задачах не представляет (такой интерес, по мнению авторов, может возникать лишь, например, при исследованиях очагов землетрясений, при решении некоторых горно-технических задач и т. п.). Столь явный отрыв свойств наблюдаемого волнового поля от свойств порождающего его источника ничем и ни в какой степени не оправдан. Разрабатываемые на такой основе способы обработки сейсмических данных не могут быть успешными не только в решении задач нефтяной, но и любой другой геологии.

7.5. Выделение, корреляционное прослеживание, стратиграфическая привязка и оценка относительной интенсивности опорных отражающих горизонтов - это те цели, достижение которых в определённом смысле роднит задачи, решаемые как при традиционном МОВ, так и в рамках обратной кинематической задачи сейсморазведки. Однако разительное отличие “бедных” по своей выразительности сейсмических разрезов классического МОВ от “поражающих многообразием своего содержания сейсмических картин, получаемых по ММП-ОСТ” [21], определяется вовсе не тем, что в первом случае применялась ручная, а во втором цифровая обработка данных. Принципиальным является различие в системах наблюдений, используемых при получении исходных данных для обработки, и в сейсмических моделях среды, на основе которых эта обработка осуществляется. Если в первом случае по этому вопросу имеется достаточная ясность, то во втором она полностью отсутствует. Какую из набора реализаций параметров систем наблюдений по ММП-ОСТ, периодически повторяющихся в последовательности средних точек профиля, использовать при обработке? Какие колебания на одиночных суммотрассах, формируемых независимым образом в ходе обработки в последовательности средних точек профиля, соответствуют полезным отражённым волнам, а какие сохранившимся помехам? В настоящее время ответов на эти вопросы нет ни у кого.

7.6. Сейсмические данные, используемые при решении как обратных динамических, так и обратных кинематических задач, получают в поле по одним и тем же системам наблюдений. При этом во всех случаях их обработка ведётся на основе модели, предполагающей, что среда состоит из точечных дифракторов, что помехи в составе наблюдаемого волнового поля отсутствуют, а оценивать достоверность принятых исходных предположений, сопоставляя их с экспериментальными данными, нет никакой необходимости. Фактически полностью игнорируя всем этим вопрос о достоверности исходной сейсмической модели изучаемой среды, основное внимание технологичная сейсморазведка сосредоточивает на анализе волновых картин, получаемых в ходе обработки.

7.7. Руководствуясь тем, что “из всех человеческих информационных каналов наиболее мощным является зрение”, основу анализа составляет визуальный обзор. Считается, что современные ЭВМ и “универсальное математическое обеспечение” создают условия, позволяющие просматривать сейсмические волновые картины не только в статике, но и в динамике, т. е. в процессе их развертывания в пространстве и во времени [13, 14]. Результатом обработки по способу динамической визуализации (ΔV) являются геолого-технологические модели изучаемой среды. Утверждается, что методы динамической визуализации “дают возможность математически точно в 4D-пространстве воссоздать не только современное строение осадочного бассейна, но динамику его формирования с применением аппарата палеотектонического и палеоседиментационного анализов”.

Такой подход к построению геолого-технологических моделей среды выдвигает на передний план множество вопросов. Затронем здесь лишь некоторые.

7.8. Конечно, мощь современных ЭВМ, позволяющая манипулировать огромными массивами многопараметрических исходных данных, способна поражать и восхищать. Но почему всё же о таких сугубо геологических явлениях, к каким относятся, в том числе, и палеотектонические и палеоседиментационные процессы, следует судить, опираясь на результаты разработки “универсального математического обеспечения”. Каким образом можно с “математической точностью” (!?) выделять и описывать размещение в среде различных геологических объектов, таких как: “структурные поверхности, тектонические нарушения, выклинивания горизонтов, литологические замещения и т. д.”. Почему вообще лишь на основе “оптимальных математических пространств” становится возможным “демонстрировать справедливость любых геологических гипотез”, а также “количественно оценивать как сами геологические процессы, так и их результаты”. О действительной роли геологической составляющей в хорошо (математически) поставленных геофизических задачах речь уже шла выше.

7.9. Можно согласиться с утверждением, согласно которому зрение является наиболее мощным из всех человеческих информационных каналов. Однако в случаях, когда предметом визуализации является многопараметрическая среда, различные зрители могут видеть её сейсмическое изображение совершенно по-разному. Это различие тем больше, чем сложнее сама среда и чем разнообразнее мотивы и стимулы такого видения. Специалисты с разными взглядами на историю формирования одного и того же осадочного бассейна будут стремиться к тому, чтобы разглядеть в сложной волновой картине подтверждение именно только своей точки зрения. Различное видение одного и того же в составе рисунка сейсмической записи может быть, например, у заказчиков работ и у их исполнителей, у представителей конкурирующих организаций и т. п. Расхождение в точках зрения иногда весьма отчётливо проявляется в случаях, когда авторы в подтверждение своих взглядов приводят конкретные результаты обработки (разрезы, кубы данных). Взгляды читателей на публикуемые образы часто могут

совсем не совпадать с теми взглядами на них, которых придерживаются авторы указанных публикаций.

7.10. Тезис об абсолютной независимости способов измерения геологического времени и глубины применительно к получаемым в ходе обработки сейсмическим волновым картинам и о возможности на этой основе восстанавливать (моделировать) историю формирования осадочных бассейнов во всей последовательности геологических эпох не представляется очевидным и убедительным.

В результате обработки исходных сейсмических данных в каждой средней точке площади работ получают трассу, на всём своем протяжении во времени соответствующую одному единственному сигналу источника (при другом сигнале была бы и совсем другая трасса). Уже одно только это обстоятельство делает принципиально невозможным судить (при любой “математической оболочке” способов обработки) о истории развития геологических процессов на заданных глубинах путём перемещения по вертикали сейсмических импульсов во времени. На самом деле заполняющие такие трассы колебания соответствуют импульсам как полезных волн, так и волн-помех, поступающих к пункту приёма со всевозможных направлений. Последующая их обработка на основе точечной модели приводит к формированию волновых картин, в которых причудливым (эклетическим) образом сочетаются принципы как сейсмовидения, так и сейсмоизмерения.

7.11. Диапазон геологоразведочных задач в нефтяной геологии, к решению которых в настоящее время привлекается сейсмический метод, необычайно широк. Наряду с восстановлением палеоистории формирования значительных по объёму блоков осадочных бассейнов, он включает также и задачи по восстановлению истории формирования в составе нефтегазовых залежей продуктивных пластов, мощность которых не превышает нескольких метров. Так, например, по мнению авторов работы [50], разработанный ими (на основе решения обратной динамической задачи) способ обработки сейсмических данных позволяет выделять и проследить на глубинах в несколько километров, типичных для указанных залежей, отдельные продуктивные пласты мощностью 3 - 4,5 м для терригенных и 5,5 - 6,5 м для карбонатных разрезов. Какие-либо экспериментальные данные, которыми бы такие результаты подтверждались на практике, не демонстрируются. То обстоятельство, что длины волн, распространяющихся в реальных геологических средах, измеряются сотнями метров, переводит приведенные оценки в разряд недостоверных.

8. О ПУТЯХ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

8.1. Сейсмический метод разведки не может развиваться и совершенствоваться без опоры на углублённое теоретико-экспериментальное изучение действительной структуры наблюдаемых в эксперименте волновых полей и на выявление связи этих свойств со свойствами

среды, в которой происходит их формирование. Поэтому в высшей степени важно обратить внимание на следующее. В эпоху традиционного МОВ изучение полезных сигналов и помех в составе сейсмических записей облегчалось рядом обстоятельств. Наличие убедительного наглядного критерия оценки качества получаемых полевых материалов открывало на практике путь к простому экспериментальному подбору благоприятных условий возбуждения и приёма колебаний. Вопрос о том, за счёт чего на том или ином участке профиля происходило требуемое относительное ослабление помех, оставался при этом фактически открытым. Когда для получения удовлетворительных результатов необходимо было проводить специальные опытно-методические работы, они обычно ограничивались получением дополнительных данных о кажущихся скоростях и частотном составе доминирующих по интенсивности волн-помех и внесением соответствующих корректив в параметры систем интерференционного приёма. И в том и в другом случае в первую очередь ценился конечный результат - обеспечение возможности непрерывного корреляционного прослеживания опорных отражающих горизонтов. Мешающие прослеживанию полезных сигналов компоненты волнового поля не выступали, как правило, в качестве объекта специальных исследований. В имеющейся справочной и учебной литературе так и не нашлось места для связного последовательного изложения вопросов, касающихся методики изучения сейсмических помех.

8.2. Сигналы полезных волн при работах по традиционному МОВ соответствовали для всех приёмников, входящих в расстановку ОПВ, единому для них исходному импульсу в источнике. Это делало надёжной позиционную корреляцию прослеживаемых осей синфазности. Транспозиционная корреляция облегчалась возможностью введения во взаимных точках постоянных поправок “за фазу”. В результате непрерывное корреляционное прослеживание целевых горизонтов на фоне помех могло осуществляться, в том числе, и при нестабильных воздействиях, и при неизвестной форме начальных импульсов в источниках.

8.3. Совсем иначе обстоит дело в задачах современной сейсморазведки. Чтобы эффективно подавлять “все” помехи, оставляя в составе волнового поля лишь полезные сигналы, требуется знать в определённом смысле, “всё” и о помехах и о полезных сигналах. Изучение действительной структуры сейсмических волновых полей становится насущной потребностью практики. В подтверждение приведём, по необходимости фрагментарно, лишь некоторые из уже полученных в этой области результатов, учёт которых необходим при решении задач по дальнейшему развитию метода.

8.4. Начиная с анализа ИВП - исходного (необработанного) волнового поля - становится очевидным, что описать структуру наблюдаемых в эксперименте волновых полей невозможно ни в терминах регулярных волн, ни в терминах нерегулярных колебаний [34, 35]. Подавляющая доля сейсмической энергии приходится на волновые фоны, состоящие из множеств волновых элементов, сочетающих в себе одновременно свойства как

регулярных, так и нерегулярных колебаний [4]. Будучи существенно интерференционными, сложными по своей природе образованиями, волновые фоны способны обладать специфическими свойствами, судить о которых, руководствуясь понятиями элементарных регулярных волн, невозможно. К числу таковых относится свойство некорректности некоторых компонентов волновых фонов по отношению к условиям возбуждения колебаний. Она (эта некорректность) проявляется в том, что при любом сколь угодно малом, неизбежном в эксперименте, изменении формы исходного импульса в источнике форма регистрируемой записи меняется кардинально, вплоть до полной неузнаваемости [36].

8.5. Давно успевшие стать хрестоматийными представления об эквивалентности группирования приёмников и источников не находят подтверждения в эксперименте [37, 38]. Принятый в литературе подход к обоснованию эффектов суммирования волн по методу ОСТ в рамках теории группирования сеймоприёмников не имеет оснований. Исходные данные для синтеза параметров интерференционных систем должны в полной мере характеризовать структуру именно той сейсмической записи, которая фактически суммируется указанными системами. Для получения таких данных должны быть разработаны соответствующие методики.

8.6. В области изучения свойств сигналов, генерируемых сейсмическими источниками в глубь геологической среды, получены результаты, делающие перспективу организации систематического контроля за их формой и стабильностью при производственных сейсморазведочных работах вполне реалистичной. Такие заключения позволяют сделать данные теоретико-экспериментальных исследований, выполненных на базе стационарных опорных сейсмических полигонов [39]. В ходе этих исследований получены уникальные экспериментальные материалы, впервые позволившие пронаблюдать и описать процесс формирования и стабилизации свойств сейсмических импульсов в источнике [40]. Опираясь на эти же данные, удалось исследовать влияние различных параметров ВЧР на характеристики сигналов, генерируемых сейсмическими источниками, и наметить подходы, ведущие к созданию трёхуровневой системы контроля за формой и стабильностью сигналов, генерируемых при сейсморазведочных работах [39, 41, 42].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. 1. Переход от классической к современной технологичной (ММП-ОСТ) сейсморазведке был одновременно переходом от многократного (во многих точках) корреляционного прослеживания малого числа протяжённых по латерали объектов разведки (опорных отражающих горизонтов) к однократному (в одной точке) вертикальному зондированию неограниченного числа отражающих элементов, непрерывно распределённых в поперечно-изотропных средах по нормали к земной поверхности. Системы корреляционного горизонтального профилирования сменились системами вертикального зондирования, воспринимаемого во многих случаях как некое подобие сейсмического бурения (включая “псевдокаротаж”, ППР и т. п.). Переход этот произошёл

в значительной степени стихийно. На фоне впечатляющих своим разнообразием временных разрезов метода ОГТ разведочные возможности традиционного МОВ мгновенно поблекли, и многие стали воспринимать его как нечто отжившее и ненужное (“мало кратное”).

2. При всем этом в сейсмической литературе осталось либо незамеченным, либо проигнорированным то главное, что при этом переходе сейсморазведка утратила. Исчезло само понятие “объект сейсмической разведки” [43]. Говоря точнее, утрачено понимание того, какими являются или должны быть элементы волнового поля, отвечающие сейсмическим моделям расположенных в геологической среде объектов сейсмической разведки. Тем самым утрачен единственно надёжный и наглядный критерий качества обработки наблюденного в эксперименте волнового поля [44]. Объектом изучения стала (вынужденным, в определённом смысле, образом) вся геологическая среда со всеми её деталями.

3. Обработка полученных данных в вычислительных центрах проводится на основе техногенной (точечной) модели среды. Свойства этой модели никаким образом не согласованы с модельными представлениями об устройстве среды, которые используются на этапе полевых наблюдений и при интерпретации полученных сейсмических данных. Она основана на в корне ошибочном представлении о том, что любая точка среды является дифрактором, генерирующим в состав наблюденного поля свою индивидуальную волну, независимо от того, что генерируют соседние с ней точки. Будучи свободной от реалий геологических и физических свойств изучаемых сред, равно как и от действительных свойств сигналов, генерируемых сейсмическими источниками, точечная модель используется для самых разнообразных трансформаций наблюденных волновых полей, являясь удобной питательной средой для всего того, что и получило в литературе название “чёрная магия”.

4. Процедуры обработки наблюденного волнового поля ориентированы на определение амплитудных отсчётов в точках среды, характеризующих излучательную способность расположенных в них точечных дифракторов. Форма сигналов суммируемых волн выступает при этом в качестве помехи. В то же время на этапе интерпретации форма сигналов выступает в качестве главного инструмента при изучении и анализе корреляционных свойств сейсмической записи на временных разрезах. Такое разнообразие стилей и подходов к изучению и преобразованию волнового поля на этапах получения, обработки и интерпретации является очевидным проявлением эклектики, пронизывающей весь процесс технологичной сейсморазведки. Что в применяемых процедурах от “сейсмоизмерения”, а что от “сейсмования” не известно, также как не известно, какой вариант мигрированного глубинного разреза следует считать окончательным, “финальным”. По этому поводу в литературе приводится краткое, но ёмкое высказывание: “какая фильтрация – такая геология” [24].

5. При отсутствии какой-либо ясности в вопросе о том, какими свойствами должны обладать (на предмет содержания в них полезных сигналов) сейсмические

записи, получаемые в поле, обоснование методики полевых работ и оценка их эффективности продолжают, по инерции, ограничиваться критериями, сложившимися при традиционном МОВ. В процессе интерпретации основное внимание на практике уделяется выделению и корреляционному прослеживанию осей синфазности, соответствующих целевым отражающим горизонтам. Предположения же о том, что привычная (фазовая) сейсмическая корреляция будет замещаться корреляцией геодинамической, “учитывающей морфоструктурные, дизъюнктивные и фациальные особенности разреза” [48], не опираются на данные эксперимента.

При извлечении из сейсмических данных “неструктурной информации” обычно руководствуются тем, что “критерием надёжной интерпретации является логичность, а не достоверность” [52]. Выявление и изучение неантиклинальных ловушек или иных локальных объектов на временных и глубинных разрезах, не имея под собой достоверных критериев, опирается чаще всего на не поддающиеся формализации опыт и интуицию наиболее “проницательных” интерпретаторов, многие годы проработавших в пределах какого-либо одного региона.

Всей совокупности перечисленных проблем современная технологичная сейсморазведка противопоставила институт так называемых “супервайзеров”. В этот институт входят лица, наделённые способностью наилучшим (супер) образом (взирать) на всё происходящее при наблюдениях по МОГТ в ходе проведения полевых работ, а также и в процессе дальнейшей обработки полученных данных. Не вдаваясь в обсуждение относящихся ко всему этому технологических вопросов, таких, например, как, установка сейсмоприёмников в грунт, соблюдение требуемой полярности при их подключении и т. п., выделим главное. От внимания супервайзеров полностью ускользают, как это было видно из предыдущего, вопросы выбора и обоснования систем наблюдений при работах по МОГТ. В результате продолжает сохраняться совершенно недопустимое положение, при котором между параметрами систем наблюдений, предполагаемыми исполнителями, и их действительными значениями в общем случае нет ничего общего.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авербух А. Г.*, 1998, Методика интерпретации данных сейсморазведки при интегрированном изучении нефтегазовых резервуаров: Геофизика, **1**, 13 - 19.
2. *Бондарев В. И., Крылатков С. М.*, 2002, Анализ данных сейсморазведки: Учебное пособие для высших учебных заведений: Екатеринбург.
3. *Вавилов С. И.*, 1930, Принцип Гюйгенса: М., Большая советская энциклопедия, т. 20. 55 - 57.
4. *Гельчинский Б. Я., Озеров Д. К., Рудаков А. Г.*, 1976, Волновой фон: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, **16**, 61 - 79.
5. *Гогоненков Г. Н.*, 1987, Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой: М., Недра.
6. *Гольдин С. В.*, 1979, Интерпретация данных сейсмического метода отраженных волн: М., Недра.

7. *Гольдин С. В.*, 2000, Исповедь геофизика-математика: Геофизика, **6**, 3 - 11.
8. *Гольцман Ф. М.*, 1964, Основы теории интерференционного приема регулярных волн: М., Наука.
9. *Гурвич И. И., Боганик Г. Н.*, 1980, Сейсмическая разведка: М., Недра.
10. *Жданович В. В., Абдурахманова Ф. С.*, 1999, Возможности и ограничения кинематической интерпретации данных объемной сейсморазведки: Геофизика, **2**, 19 - 26.
11. *Завалишин Б. Р.*, 1981, Анализ представлений о размерах эффективной области отражения: Прикладная геофизика, **100**, 22 - 36.
12. *Интерпретация данных сейсморазведки*, 1990: Справочник под редакцией Потапова О. А.: М., Недра.
13. *Кашик А. С.*, 1998, Изучение многомерных многопараметровых пространств на ЭВМ. Их формирование и представление методами динамической визуализации (Философия и идеология): Геофизика, **1**, 84 - 95.
14. *Кашик А. С., Кириллов С. А., Ческис В. Л.*, 2003, Решение геологических задач в четырехмерном многопараметровом пространстве: Геофизика, Спецвыпуск Технологии сейсморазведки-II, 3 - 15.
15. *Клаербоут Д. Ф.*, 1981, Теоретические основы обработки геофизической информации (с приложением к разведки нефти): М., Недра.
16. *Клаербоут Д. Ф.*, 1989, Сейсмическое изображение земных недр: М., Недра.
17. *Козлов Е. А.*, 1986, Миграционные преобразования в сейсморазведке: М., Недра.
18. *Кондратьев О. К.*, 1996, О мнимых и действительных противоречиях технологичной сейсморазведки: Геофизика, **1**, 14 - 18.
19. *Кондратьев О. К.*, 1994, Дискуссионные проблемы сейсморазведки: Прикладная геофизика, **131**, 71 - 79.
20. *Кондратьев О. К.*, 2003, Система анализа и обработки сейсмограмм с элементами искусственного интеллекта: Геофизика, Спецвыпуск Технологии сейсморазведки-II, 144 - 150.
21. *Кондратьев О. К.*, 1998, Идеология и средства обработки сложных сейсмических материалов: Геофизика, **5**, 3 - 11.
22. *Матвиенко Г. В., Пудовкин А. А., Тищенко И. В.*, 1987, Организация и технология обработки данных в сейсморазведке: М., Недра.
23. *Милашин В. А.*, 2003, Некоторые пути повышения эффективности обработки сейсморазведочных данных: Геофизика, **3**, 27 - 29.
24. *Мушин И. А.*, 1999, Нефтегазовая сейсморазведка и сейсморазведчики в начале XXI века: Геофизика, **1**, 3 - 11.
25. *Петрашень Г. И., Рудаков А. Г.*, 1966, Основные проблемы метода многократных перекрытий ОГТ и технологичных обработок его данных: Геофизика, **1**, 3 - 13.
26. *Петрашень Г. И., Рудаков А. Г.*, 2003, О недопустимых искажениях законов природы в фундаментальных началах технологической сейсморазведки: Г. И. Петрашень Воспоминания: СПб, Изд-во СПбГУ, 225 - 248.
27. *Рудаков А. Г., Петрашень Г. И.*, 1998, О неоднородности сейсмического канала в технологичной сейсморазведке: Российский геофизический журнал, **11 - 12**, 94 - 100.
28. *Рудаков А. Г.*, 1994, Об одном подходе к анализу свойств систем многократных перекрытий в сейсморазведке: Вестник СПб университета, **7**, **4** (28), 63 - 67.
29. *Рудаков А. Г.*, 1996, Метод ОГТ и методика многократных перекрытий в сейсморазведке МОВ: Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа (межвузовский сборник): Пермь, 36 - 42.

30. Рудаков А. Г., 1997, Системы наблюдений и способы их изображения в сейсморазведке методом отраженных волн: Вестник СПб университета, **7**, **1** (7), 36 - 43.
31. Рудаков А. Г., 1998, О кратности профилирования при сейсморазведке методом отраженных волн: Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа (межвузовский сборник): Пермь, 112 - 118.
32. Рудаков А. Г., 1992, Актуальные проблемы методики сейсмической разведки неантиклинальных ловушек нефти и газа: Вестник Ленингр. университета, **7**, **4** (24), 12 - 23.
33. Рудаков А. Г., 1993, Об эффективных сейсмических моделях геологических сред: Вестник СПб университета, **7**, **2** (14), 96 - 99.
34. Рудаков А. Г., 1962, Некоторые вопросы методики изучения волн-помех и выделения на их фоне отраженных волн. I. Изучение волнового поля: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, **6**, 163 - 180.
35. Рудаков А. Г., Липовская В. Я., 1994, Исходные волновые поля при сейсморазведке: Вопросы геофизики, **34**, 33 - 47.
36. Рудаков А. Г., 1992, Об эффектах некорректности в свойствах сейсмических волновых полей по отношению к условиям возбуждения колебаний: Вестник СПб университета, **7**, **3** (21), 35 - 42.
37. Рудаков А. Г., 1963, О сравнительной эффективности групп приемников и источников: Разведочная и промысловая геофизика, **50**, 38 - 44.
38. Рудаков А. Г., Петрашень Г. И., 1990, О взаимоотношении синтеза групп приемников и источников в сейсморазведке: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн, **30**, 169 - 178.
39. Рудаков А. Г., 1982, Комплексное изучение сейсмических процессов в глубинных и в верхней частях разреза на базе опорных полигонов: Вопросы геофизики, **29**, 163 - 169.
40. Рудаков А. Г., Куксенкова Е. А., 1994, Опыт экспериментального изучения процессов формирования сейсмических импульсов в источнике: Вопросы геофизики, **34** (Интерпретация геофизических наблюдений), 48 - 53.
41. Рудаков А. Г., Александрия Е. А., 1986, О влиянии параметров ВЧР на характеристики сигналов, генерируемых сейсмическими источниками: Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений (межвузовский сборник): Свердловск, 100 - 106.
42. Рудаков А. Г., Куксенкова Е. А., 1988, О некоторых особенностях формы сейсмических сигналов, возбуждаемых взрывами из скважин: Опыт применения и пути улучшения методики сейсмических исследований на рудных и нерудных месторождениях (межвузовский сборник): Свердловск, 97 - 103.
43. Рудаков А. Г., 2001, Некоторые аспекты истории развития сейсмической разведки методом отраженных волн: Записки научных семинаров ПОМИ, **274**, 165 - 215.
44. Рудаков А. Г., 1998, Проблема качества материалов сейсмической разведки методом отраженных волн: Вопросы геофизики, **35** (Уч. записки СПбГУ № 433): Изд-во СПбГУ, 59 - 67.
45. Сыдыков К. Ж., Непомнящих И. А., 1999, Тенденции развития современной сейсморазведки: Геофизика, **2**, 41 - 48.
46. Телегин А. Н., 1991, Методика сейсморазведочных работ МОВ и обработка материалов: Л., Недра.
47. Тимошин Ю. В., 1972, Основы дифракционного преобразования сейсмических записей: М., Недра.
48. Тимошин Ю. В., Бирдус С. А., Мерицкий В. В., 1989, Сейсмическая голография сложнопостроенных сред: М., Недра.
49. Тимошин Ю. В., 1978, Импульсная сейсмическая голография: М., Недра.
50. Хазиев Ф. Ф., Трофимов В. Л., 2003, Модельные исследования результатов решения обратной динамической задачи сейсмики: Геофизика, Спецвыпуск Технологии сейсморазведки-II, 27 - 37.
51. Шерифф Р., Гелдарт Л., 1987, Сейсморазведка, т. I: М., Мир.
52. Шерифф Р., Гелдарт Л., 1987, Сейсморазведка, т. II: М., Мир.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Александр Георгиевич РУДАКОВ - кандидат геол.-минер. наук, Санкт-Петербургский государственный университет.