Записки научных
семинаров ПОМИ
Том 274, 2001 г.

Г. И. Петрашень, А. Г. Рудаков

О ПУТЯХ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 20-ГО ВЕКА

Содержание.

Часть I. Общая оценка ситуации

1. В классический период 19-го и 20-го веков появилось несколько теорий сплошных сред (электродинамика, гидродинамика теория упругости или сейсмология, термодинамика и др.) с характерной общностью подходов к проблемам и с типичным взаимоотношением между теорией и экспериментом. При разработке теории сначала давалось общее (идеализированное) представление (понятие) о сплошной среде, как о носителе упругих колебаний, в которой данные процессы изучаются. Было введено понятие о невозмущенной среде и о среде, в которой волны начинают распространяться или заканчивают свое распространение. Затем, исходя из общих законов физики (или механики), устанавливался механизм связи, или взаимодействия между малыми соседними элементами среды, что на языке математики приводило к (дифференциальным) уравнениям движения (элементов) среды, а также – к граничным условиям на естественных, или на возникших при выделении элемента среды, границах ее раздела. Упомянутые уравнения и граничные условия представляли собой физико-математический формализм сплошной среды, причем он был такого рода, что об элементе среды dV (например, сейсмической) бессмысленно было бы говорить вне ее формализма, т.е. без учета всех тех процессов, в которых участвует, или может участвовать элемент, находясь на своем месте в рассматриваемой среде.

Задачи классической сейсморазведки ставились и решались (в идеале) строго для сейсмических сред, или их моделей. При этом модель сейсмической среды, если ее рассмотрение требовалось произвести, должна была задаваться не только (точнее, не столько) ее вещественными и геометрическими параметрами, как (прежде всего) – полным математическим формализмом ее сейсмического описания, т.е. уравнениями движения во всех материальных точках среды и соответствующими условиями на всех ее границах. При этом модель становилась "рабочей моделью среды" только в том случае, если существовал метод расчета в ней волновых полей, отвечающих любому набору значений ее параметров. Это позволяло результаты расчета полей в реализациях модели сопоставлять с зарегистрированными полевыми материалами и по степени соответствия (совпадения) главных частей расчетного и наблюденного полей решать поставленную перед разведкой задачу.

Правда, такой подход реализовать практически в то время было трудно из-за отсутствия компьютеров.

К изложенному здесь уместно присовокупить, во-первых, что полевые работы должны были проводиться без спешки (при анализе всех сведений об изучаемой среде), при предварительном тщательном изучении полей волн помех (с целью дальнейшего их подавления), с отработкой методики возбуждения первичных сигналов и, наконец, с контролем за работой сейсмоприемников. Перечисленные исследования, дополняемые всеми имеющимися априорными данными о среде, должны были предшествовать выбору схем проведения работ.

Во-вторых же, что на первом своем этапе работы проводились кинематическими методами (в рамках метода "полей и времен"), с обращением к динамике лишь в сомнительных случаях при установлении природы регистрируемой волны. Правда, и на более поздних этапах иногда требовалось обращаться и к динамическим постановкам задач, которых, ради краткости статьи, мы здесь касаться не будем.

Что же касается возбуждения сейсмической среды, то оно производилось, как правило, "одним источником". Это обеспечивало корреляционное прослеживание волн и придавало физическую определенность понятию "волна", как полезная, так и волна-помеха. Последнее обстоятельство, а также наличие поставленной перед разведкой конкретной (и в принципе разрешимой!) задачи придавали сейсмическим работам определенность, физическое содержание и уверенность в том, что решается именно сейсмическая задача, а не невесть-что?! (Ведь все алгоритмы выполнения работ были явно сейсмическими!)

Завершались же работы на этапе общего генерального интерпретационного исследования, когда выяснялось окончательно, что удалось уже установить и, что оставалось еще невыясненным. При этом всегда обсуждались наметки исследований, продолжающих проведенную работу, или же – продолжающие исследования по эксперементальному изучению новых волновых полей, с которыми в работе пришлось встретиться. (И такие встречи, кстати сказать, случались нередко.) Конечно, обработка первичного (полевого) материала могла бы быть более быстрой, если бы к ней был подключен компьютер, осуществление чего не требовало бы большого труда. Однако и сам первичный материал классической сейсморазведки представлял значительную познавательную ценность. По нему можно было судить о качестве выполняемых работ, предотвращать "сбои" в работе и прекращать работу, если становилось ясно, что она пошла "не по тому руслу". При этом очевидно, что ему без особого труда можно было бы придать технологичную форму. Но об этом писать подробнее уместно было бы в самой обсуждаемой статье. Здесь же следует уделить еще внимание и современной технологичной сейсморазведке. При этом мы будем следовать изречению 20-х годов, правда, несколько переориентированному, а именно: "О пользе технологии говорить не приходится, а потому поговорим о приносимом ею вреде, причем именно сейсморазведке".

2. В технологичной сейсморазведке, основанной на методе ОГТ, фактически также начинают с определения понятия о модели среды. Но придают этому понятию не естественно-научный, а "волевой" смысл – предписывая волнам в рассматриваеомй модели вести себя "так-то и так-то".

Вот, например, в случае "сверточной модели среды" речь идет не столько о геометрии слоистой среды и об ее вещественном составе в пачках, сколько о том, каким образом сейсмические волны должны проходить и отражаться от слоев пачки. При этом такое "предписание" вытекает только из простоты и удобства действий "обработчика", а не из законов теории распространения сейсмических волн. Более того, оно вступает в существенные противоречия с истинными процессами: отражения-преломления и интерференции в пачках волн, возбуждающихся в тонкослоистых средах!... Однако эти противоречия никого не волнуют и не беспокоят...

3. Также никого не беспокоит и не вызывает тревоги другое свойство среды и ее модели, предписываемое ей волевым путем "обработчиками", и претендующее на роль основного инструмента в решении ряда специальных задач сейсморазведки. Здесь имеются в виду так называемые "точечные модели" сейсмических сред.

Однако предварительно уместно напомнить о двойственности понятия "модель среды" в технологичной сейсморазведке, имевшего хождение еще совсем недавно. Тогда слово "модель" употреблялось в двух смыслах, существенно различных, судя по физической и производственной их зна́чимости.

Прежде всего, как и в случае любых других материальных сплошных сред, под моделью сейсмической среды понималось связное множество (или совокупность) ее материальных точек $M = (x, y, z)$[1], заполняющих некоторый объем V, в котором как функции от точек M задавались вещественные параметры ($\rho(M)$, $v_p(M)$ и $v_s(M)$) среды, а также все прочие параметры, входящие в уравнения движения или граничные условия, а также – в элементы среды, определяющие структурные ее особенности.

В других же (производственных) ситуациях под (технологичной) моделью сейсмической среды понимается результат волевого упрощения "сложного" реального процесса в изучаемой сейсмической среде с целью придания ему соответственной формы, достаточно хорошо приспособленной к подключению компьюте-

[1]С целью напоминания заметим, что под материальной точкой $M = (x, y, z)$ любой области B сплошной среды в естественных науках (значит и в сейсмологии) понимается любая точка $M' \in B$, удовлетворяющая неравенству
$$|M - M'| \leqslant \varepsilon, \tag{1}$$
где $\varepsilon > 0$ мало, (т.е. – любая точка M', лежащая в малой ε-окрестности материальной точки M. При этом малось величины ε устанавливается неравенством
$$|\varepsilon| \ll l, \tag{2}$$
по отношению к единице масштаба l, применяемого в рассматриваемой задаче.

ра к количественному описанию течения рассматриваемого процесса. Так было в несложном случае сверточной модели тонкослоистой среды. Подобным же образом развертывается ситуация и в общем случае точечных моделей исследуемых сред, о структуре которых технологичная сейсморазведка и знать (наперед) ничего не хочет.

4. Теперь, при обсуждении такого нетривиального представления о сейсмической среде, как "точечная ее модель", естественно, прежде всего надлежало обратиться к литературе. Однако, как и следовало ожидать, ничего определенного из литературы извлечь не удалось, так как высказывания технологичной сейсморазведки в этом вопросе сплелись в плотный клубок противоречий, неточностей, недомолвок и недопонимания!

Единственно в чем все авторы сходятся, так в том, что согласно Гюйгенсу[2], произвольная точка M любого волнового поля $\vec{u}(M,t)$ может рассматриваться как самостоятельный центр колебаний (т.е. как источник, или как центр дифракции), излучающий вторичные волны. (см. "Вместо предисловия" п. 5).

Таким образом, с ссылкой на Гюйгенса, есть некоторые основания полагать, что в исследуемом волновом поле может располагаться множество источников M_n волн, или центров дифракции, как некоторых решений волновых уравнений для вмещающей среды. Неясными пока здесь остаются общие вопросы, вроде следующих. 1) Где и как источники располагаются? 2) В какую среду они помещены? И 3) располагаются ли они дискретно, или континуально? На такие вопросы ответы напрашиваются почти сами собой.

Действительно, 1) если бы расположение точечных источников было континуальным (без лакун), то модель среды (путем непрерывной деформации расположения ее источников, а также – путем объединения-слияния их) могла бы быть сведена к единому суммарному источнику во вмещающей среде. Такой случай исключается из рассмотрения, как тривиальный. 2) Если бы вмещающей среды не было, а источники располагались дискретно, то среда должна была бы быть отвергнутой вследствие отсутствия в модели связности между ее элементами. Наконец, 3) если

[2] Е. А. Козлов. Миграционные преобразования в сейсморазведке. М., Недра. 1986, стр. 138.

бы источники M_n были дискретными, лишенными общих точек (т.е. такими, что при любых целых числах $n \geqslant 1$ и $p \geqslant 1$ выполнялись бы неравенства $|M_n - M_{n+p}| > 0$), и если бы источники M_n располагались в некоторой связной вмещающей среде B, допускающей решения $\vec{u}_m(M,t)$ уравнений движения и удовлетворяющей всем требуемым граничным условиям, такая вещественно-геометрическая сейсмическая среда (в соответствии с Гюйгенсом) могла бы быть выбрана в качестве "точечной технологичной модели сейсмической среды". Таким образом, название "точечная технологичная модель сейсмической среды" восходит к материальным точкам среды, являющимися центрами дифракции, рассматриваемыми как решения волновых уравнений для случая произвольной достаточно гладкой вещественной среды. Правда, в условиях практики вмещающая среда почти всегда выбирается среднескоростной!

В заключение п. 4 уместно отметить, что обсуждаемая в п. 2 сверточная модель оказалась представленной в результате упрощений в форме такой же пачки тонких слоев, но сделанных из воображаемого идеального материала, отражающего только однократные волны. В отличие же от этого здесь, в точечных моделях, (при упрощениях) о конструкции модели нет и речи. Зато предполагается, что вместо полного волнового поля в среде (состоящего из счетного множества полей центров дифракции, а также – некоторого добавочного поля $\psi(M,t)$ совершенно другой природы и структуры) учитывается только сумма полей всех дифракторов, а добавочное поле ψ отбрасывается, как несущественное для задач, которые разрешаются путем применения полей центров дифракции. При таком отбрасывании, конечно, нужно как-то оценивать отброшенные члены (что сделать, вероятно, непросто). Однако без таких оценок – все расчеты с центрами дифракции становятся фактически бессодержательными.

5. Тревогу вызывает и отсутсиве в технологичной сейсморазведке четко-научного обоснования представления о целях выполняемых разведочных работ, а также (что особенно важно) – о реальных возможностях "оценочного" решения задач, которые перед разведкой могут (обоснованно) ставиться. Ведь перед нею ставится великое множество совершенно химерных задач, вроде выполнения оценочных разведочных работ во всех "точках" материальной среды. В науке известно, что подобные задачи не имеют, или далеко не всегда имеют решения, если в среде присутствует поле волн помех, и если словам "решение задачи" придают должный естественно-научный смысл.

Однако технологичная сейсморазведка готова приступать к решению разведочных задач при наличии любых помех и при исходном полевом материале любого качества! Более того, она готова (и "способна") при этом "выдавать" решение задач в законченной форме тех или иных раскрашенных разрезов, достоверность и точность деталей которых ничем не подкрепляется!? Это, конечно, не может не настораживать тем более, что в технологической сейсморазведке полностью отсутствует категория "полей волн помех". (И это несмотря на то, что, как всем известно, помехи возникают даже тогда, когда параметры исследуемой среды задаются значениями, не совпадающими с истинными значениями основных ее параметров).

Не обращаясь к комментариям все же подчеркнем, что поля типа центров дифракции хорошо приспособлены к толкованию результатов технологичной обработки полевого материала. Поэтому полезно иметь достаточно четкое представление о том, в каких сейсмологических условиях поля типа центров дифракции могут возбуждаться.

Как указывается в п. 6, со ссылкой на на "очевидные" мысленные эксперименты, в однородных (или в весьма слабонеоднородных) средах поля типа центров дифракции возбуждаться не могут (а в эксперименте они не проявляются). В окрестностях же волновых фронтов, где волновое поле (вмещающей среды) изменяется наиболее быстро, они должны наблюдаться отчетливо (что фактически отмечено и в принципе Гюйгенса). Поля типа центров дифракции должны хорошо проявляться в процессах отражения-преломления волновых фронтов на границах раздела контактирующих сред, причем, повидимому, тем отчетливее, чем выше частотность рассматриваемых полей.

Приведенные здесь замечания носят явно предварительный характер вследствие того, что в них недостаточно полно использованы литературные данные. В некоторым из затронутых вопросов мы расчитываем возвратиться в ближайшем будущем.

6. Внушает тревогу и многое другое, в частности, бросающееся в глаза отсутствие единообразия (тождественности) в сейсмологическом смысле, придаваемым различными авторами одним и тем же понятиям или операциям. Это серьезно затрудняет научное общение между специалистами различного толка и “убивает” серьезную дискуссию о действительно злободневных проблемах.

Внушает тревогу и отсутствие в сейсмическом обиходе серьезного (научного) сейсмико-геологического эксперимента в области возбуждения и распространения сейсмических волн разных типов (от полезных – до волн помех различной природы), проводимого совместно с разработкой теории распространения сейсмических волновых полей в реальных естественных средах, близких к типовым (реальным) геологическим образованиям.

Ведь в условиях развернутого сейсмического эксперимента не представляло бы труда убедиться на практике в отсутствии в природе “технологичных центров дифракции” в средах, в которых нет инородных включений (т.е. – нет дифрагирующих тел). Инородные включения (вещественные или структурные) во вмещающей среде, конечно, могут вызывать упругую дифракцию и быть центрами дифракции. Однако структура их дифракционного поля существенно зависит от структуры центров дифракции, без знания которой невозможно организовать накопление полей, чтобы “выйти” на центр дифракции. Таким образом, привлекательная сторона “игры” с центрами дифракции на самом деле чревата множеством непреодолимых препятствий на пути получения объективно-правильных разведочных результатов. При этом опасности еще возрастают и становятся еще более запутанными в реальных случаях “значительных полей” волн-помех, которые в условиях современной сейсморазведки особенно велики именно потому, что разведка стала технологичной!...

Что же касается применяемых в сейсморазведке волевых подходов к использованию идеи о центрах дифракции в построении мигрированных разрезов, то она, по-видимому, имеет здесь под собой достаточное основание, если дело касается фронтов волн, которые продолжаются в обращенном времени [1] от точек “профиля”, где регистрировался годограф, к точкам искомой отражающей границы (или другого отражающего объекта). Однако и здесь не помешала бы бóльшая точность в постановках задач (что делается? зачем делается? и как это делается?), а также в освещении условий, при которых миграция применима. При всем этом следовало бы покончить с архаичностью и пользоваться методами современной математики [1, 2].

7. Наконец, великую тревогу и недоумение вызывает факт практически полного игнорирования в работах технологичной сейсморазведки теории распространения сейсмических волн в кусочно-неоднородных упругих средах с гладкими и с произвольными (непериодичными) разрывными (гетерогенными) границами раздела, в которых теперь, при наличии прекрасных персональных компьютеров, можно было бы получать глубокие и весьма полезные результаты. Ведь компьютер, неспособный к самостоятельному творчеству (где бы то ни было) можно заставить выполнять очевидно-крайне полезную работу в рамках истинной теории распространения сейсмических волн. При этом, правда, пришлось бы придавать значительно бóльший вес структурной стороне представления о моделях сейсмических сред. А разведку структурных особенностей среды – сводить к продуманному сопоставлению зарегистрированных (на серии подходяще-выбранных профилей) сейсмических волновых полей с расчетными данными, полученными (с требуемой точностью) в рамках расчетов волновых полей в семействе адекватных реализаций моделей изучаемой среды (т.е. – в той области разведки, для которой компьютеры предназначены самой природой)... Но ведь это же – возврат к классике, скажете Вы? Да, да – частный возврат к классике, но на несравненно более высоком уровне применения вычислительной техники для расчета полей волн во множестве реализаций структурно-вещественных моделей среды, допускаемых к конкуренции при решении задач разведки... А разве заимствовать у кого бы то ни было явно перспективные (научно обоснованные!) приемы работы – грешно? Что-то не верится, что грешно! Нужно проверить и попробовать!

8. Чтобы придать полемической статье спокойный – деловой характер, было решено придерживаться изложения материала в историческом ракурсе. И различные точки зрения на то или иное сейсмическое понятие, определение или процесс, давать (по возможности) словами или выражениями самих авторов, которые это понятие применяли или разъясняли. При этом мы хотим обратить внимание сейсморазведчиков на неприложный факт, что разнобой в смысле применяемых понятий и терминов в технологичной сейсморазведке достиг таких размеров, что речь уже идет о потере профессионального языка технологичной сейсморазведки. Это приводит, одновременно с потерей языка, также и к потере логики в изложении основных положений идеологии метода...

Ведь у технологичной сейсморазведки, претендующей на место "технического приложения к науке" должна же существовать своя четко изложенная идеология (т.е. – свод основных положений теории и руководств к действию)... И все это потонет в пучине неточностей, недоговоренностей и противоречий, если не будет наведен должный порядок в языке и методах именно технологичной сейсморазведки, т.е. если все применяемые понятия, термины и методы не получат своего точного и четко-непротиворечивого смыслового сейсмо-технологического значения.

Нельзя же забывать, что: "Путанность и нечеткость высказываний в Науке – прямое следствие ущербности мыслей их авторов", как гласил меткий постфронтовой студенческий свод афоризмов в Ленинграде середины 20-го столетия.

Так покончим же с элементами ущербности везде, где оно еще проявляется! Если не начать принимать меры сейчас, то будет уже поздно!

В желании способствовать наведению смыслового и идейного порядка в технологичной сейсморазведке, как раз и следует видеть одну из главных целей авторов этих строк.

Часть II. Историко-критическое обсуждение ситуации сложившейся в сейсморазведке

Вследствие естественных ограничений размеров журнальных статей, наш историко-критический раздел пришлось свести здесь, практически, к развернутой аннотации его содержания и к заключительным выводам из его разделов. Это заметно обеднило аргументацию ключевых его положений и придало статье оттенок конспективности. С целью выправления положения дел нам удалось поместить расширенный текст Части II здесь же – следующей отдельной статьей А. Г. Рудакова.

В предлагаемом обзоре за аксиому принимается, что любое поле в среде, возбуждаемое при сейсморазведочных работах, состоит из поля полезных волн и поля волн помех. При этом понятие "полезная волна" тесно увязывается с конкретной (корректной) задачей, которая перед сейсморазведкой ставится (или должна ставиться). При обсуждениях же проблем внимание обращается на прошлое, настоящее и (вероятное) будущее затрагиваемых вопросов, причем никогда не забывается о существовании волн-помех регистрируемом поле. Что же касается экспериментального (первичного) полевого необработанного поля, то ему у нас придается особое значение, как представителю сейсмической среды в ее первозданном виде, без вмешательства еще "обработчика".

1. Актуальность обзора и выбранного в нем направления анализа определяется рядом факторов. Сейсмический метод разведки стремительно развивается и это развитие на современном этапе, по мнению некоторых исследователей, "имеет взрывной характер" [4]. С такой оценкой характера развития можно согласиться, если иметь в виду отсутствие закономерной связи с физическими и геологическими основами метода (ведущее, по сути дела, к их подрыву). Весьма показательным в этом отношении является, например, следующее появившееся в литературе высказывание: "применение цифровых способов регистрации и обработки данных в сейсморазведке привело геофизиков к необходимости почти неосознанно усложнить классы сейсмогеологических моделей изучаемых сред. Более того, сейсмогеологические модели, всегда рассматривавшиеся как подкласс геологических, в последние годы становятся основой рабочих гипотез в виде так называемой стратиграфической сейсморазведки" [5, с. 90]. Иначе говоря, не ведаем, что творим! Поэтому имеется очевидная необходимость попытаться возможно более осознанно исследовать произошедшие в сейсморазведке перемены, выявить вызвавшие их причины и извлечь из результатов такого исследования следствия, полезные как для совершенствования современной сейсморазведки, так и для ориентирования ее дальнейшего развития.

2. Наряду во все углубляющейся технологизацией процедур обработки, стремительно растет и число различных вариантов систем наблюдений. Параллельно с этим делаются попытки представить все их в качестве реализаций некоторой одной, абсолютно совершенной в настоящем и будущем, методики многократных перекрытий (ММП). Выяснению действительной роли и места этой методики в сейсмической разведке, обсуждению вариантов ее реализации в последовательности исторических периодов развития метода, посвящены основные разделы обзора.

Главное внимание в них уделено вопросам соотношения между ММП и предшествовавшими ей методиками непрерывного корреляционного прослеживания целевых волн. Это обусловлено тем, что упомянутое соотношение трактуется в литературе (включая и учебники) искаженно, с выхолащиванием особенностей, принципиально разграничивающих указанные методики по содержательной их сущности. Многократно воспроизводимые в литературе описания преимуществ, которые приобрела сейсморазведка при тотальном переходе к методикам многократного перекрытия, не сопровождаются даже упоминаниями о том (главном), что она при этом утратила. Этим главным является принцип корреляционного прослеживания полезных волн на фоне помех, как индикатор эффективности всей совокупности процедур обработки исходного волнового поля (ИВП) и достоверности получаемых результатов.

Системы наблюдений во всех случаях специализированы на решении тех или иных задач разведки. На современном этапе эти задачи трактуются как “обратные задачи сейсморазведки”[3]. Противоестественность терминологии очевидна непосредственно из здравого смысла. По своей же общей направленности указанные задачи ассоциируются с обратными динамическими задачами сейсмики, сама возможность сколько-нибудь корректного решения которых в условиях сложных неоднородных сред (к каковым без сомнения относятся реальные геологические среды) нуждается в убедительных (полностью отсутствующих пока) доказательствах. Истинная роль и значение этого обстоятельства, фундаментального по своим последствиям для развития сейсморазведки МОВ, в литературе либо замалчивается, либо трактуется с явным искажением действительных масштабов и сути явлений сопровождающих такую ориентацию задач метода.

В ходе развития сейсмического метода происходила неоднократная смена модельных представления о структуре и составе изучаемых земных недр. Толстослоистая (малопараметрическая) модель среды, обеспечившая успехи сейсморазведки в начальный период ее развития, сменилась тонкослоистой поперечно-изотропной (сверточной) моделью, со множестовм слоев неограниченно малой мощности. Эта модель положена в основу метода ОГТ, занявшего на многие годы главенствую-

[3] Без точного определения смысла этого очень непростого понятия.

щую роль в сейсморазведке МОВ. Неправомочность сверточной модели как методологической основы решения обратных динамических задач сейсмики трактуется в данном обзоре, главным образом, с позиций учета реальных свойств геологической среды в осадочных бассейнах. Если с этих позиций указанная модель не выдерживает критики, менее актуальной становится ее оценка с любых иных позиций в ситуациях, когда сейсмический метод ориентирован на решении геологоразведочных задач. Анализируется также роль "мощных средств обработки сейсмических данных" в качестве средства насильственного приведения наблюдаемого волнового поля "к такой модели, в рамках которой возможно устойчивое решение обратной динамической задачи"!?.

4. Рассматривается широко обсуждаемая в литературе проблема определения детальности расчленения пачек слоев формирующих разрез, необходимой для удовлетворительного описания их отражающих свойств. Рассмотрение ведется опираясь на учет и анализ неизвестных ранее (обнаруженных в эксперименте) явлений, которыми сопровождается неограниченных рост степени дифференциации разреза при конечной длительности суммируемых сигналов. Начиная с некоторого предела, сейсмические записи формируемые сигналами от границ тонких слоев пачки, благодаря их тесной взаимной интерференции, приобретают свойства некорректных (по отношению к условиям возбуждения колебаний) компонентов наблюдаемого волнового поля, что ведет к далеко идущим последствиям как в обработке, так и интерпретации получаемых данных.

Уделяется внимание обсуждению проблемы приоритетов и акцентов при анализе и оценке роли физических и геологических факторов в основах сейсмического метода разведки. Одна из крайностей сводится к тому, что сейсморазведка рассматривается как метод экспериментальной физики, в котором обработка считается заключительным этапом всех сейсмических работ, а их окончательным результатом является псевдоакустический разрез изучаемой среды. Такая "концовка" сейсмических работ могла бы, конечно, во многих случаях облегчать жизнь сейсморазведчикам. Сторонники же иной позиции ориентируются практически на неограниченно полное отображение геологии в сейсмических разрезах, начиная его реализацию, однако, фактически лишь с этапа интерпретации. И в том и другом случае образуется ничем не оправданный разрыв между обработкой сейсмических данных и их интерпретации. Если указанные тенденции, наряду с существующим разрывом между получением первичных материалов и их обработкой, получат дальнейшее развитие, в сейсморазведке не будет порядка в лице настоящего “хозяина”; способного вполне осознанно и полноценно отвечать за весь цикл сейсмических работ, начиная с их проектирования и заканчивая контрольным проверочным бурением.

5. Обсуждаются и наиболее острые по актуальности, но и наименее четко и ясно освещенные в литературе вопросы, связанные с обоснованием и оценкой эффективности новых и новейших методик и технологий в сейсморазведке МОВ.

Со временем все более очевидной становится обреченность метода ОГТ в исторической перспективе, в силу явной неадекватности исходной модели, на которую он опирается, действительной сложности изучаемых сред в подавляющем большинстве районов работ. Нетерпимость такого положения проявилась со всей очевидностью в связи с переориентацией сейсмического метода на поиски и разведку неантиклинальных ловушек нефти и газа, представляющих собой ограниченные по размерам и разнообразные по форме и составу включения во вмещающей среде. Реакцией на сложившуюся ситуацию стало появление новой модели среды, предназначенной как для исправления того, что получается при использовании сверточной модели, так и для полной ее замены.

Новая модель получила название “точечная”, а процедуры преобразования волнового поля на ее основе обозначаются термином “миграция”. Главное их назначение – обеспечение возможности изучения внутреннего устройства сред практически любого, заранее неизвестного, уровня сложности путем “решения” обратных динамических задач. Точечная модель среды трактуется в литературе как модель (поточечно) “взрывающихся границ”. Такое толкование воистину взрывает классические (физические) представления о границах в сплошных средах, а заодно и роль граничных условий при распространении в них упругих колебаний.

Во всем, что касается точечной модели, роль термина является ключевой. От того, воспринимается ли “точка” как координатный отсчет в сплошной среде, или как инородное в нее включение, обладающее конечными размерами и индивидуальными свойствами, зависят любые дальнейшие рассуждения. В литературе нет сколько-нибудь четкого и внятного толкования этого термина применительно к задаче сейсморазведки. Нет его и у такого многоликого термина, как "миграция". Приведем одно, из авторитетного учебного пособия (Р. Шерифф, Л. Гелдарт, Сейсморазведка, Том. 2, с. 121): "Миграционное преобразование – это процедура перемещения элементов отраженных волн в истинные положения, соответствующие точкам отражения на границе или точкам дифракции". Там же чуть далее говорится: "Методы машинной миграции в общем сводятся к решению волнового уравнения". Получается, что ответить на вопрос – что есть миграция – значит задать новые, совсем не менее сложные, вопросы типа: что значит "элемент отраженной волны" и как его переместить в "точку" на отражающей границе (или уж, тем более, в точку дифракции); как обосновываются и к чуме в общем сводятся сами решения волновых уравнений в обратных динамических задачах сейсморазведки?

Рассуждать о решении обратных задач вряд ли имеет смысл вне четкого осознания того, что значит решить прямую динамическую задачу в средах упомянутого класса сложности. На участке эксперимента, в зависимости от условий возбуждения и приема колебаний, можно получать волновые поля самого разнообразного вида и содержания. Какое из них, с какой степенью соответствия и, главное, с какой целью требуется рассчитать, решая прямую динамическую задачу? Как, вообще, подступиться не к решению даже, а к постановке такой задачи в условиях априорной неопределенности относительно внутреннего устройства среды? Не углубляясь далее в подобного рода вопросы, и считая очевидной невозможность получения на них конструктивных положительных ответов исходя из принципов классического (в [4] оно называется формально-математическим) мышления, попытаемся представить себе – на чем могут основываться рассуждения, ведущие к обоснованию правомочности решения обратных динамических задач на основе точечной моделия, руководствуясь иным типом мышления, называемого в [4] образно – эстетическим? Может быть (хотя и совсем не обязательно) в них, наряду с прочим, имеют место и соображения такого, например, типа: в формировании наблюденного волнового поля участвует вся среда в районе наблюдений (что соответствует действительности). Если участвует вся среда, то значит и все точки этой среды (и это в каком-то смысле верно – попробуйте указать точку, которая не участвовала), а если так, то вроде бы не заказан и обратный путь от свойств волновго поля к свойствам точек среды, однако участие всех точек среды не означает участия каждой из них по отдельности. Отдельно взятую точку, может быть, и имеет смысл воспринимать как некий эстетический образ, но в качестве самостоятельного элемента модели она не может выступать до тех пор пока не будет четко определены ее индивидуальные физические и геологические свойства в общем объеме изучаемой среды.

6. Если, однако, руководствуясь теми или иными соображениями, точечную модель все же конструируют в виде отдельных, изолированных друг от друга, равномерно распределенных "точек", отличающихся друг от друга лишь по степени рассеивающей (или отражательной, когда под точкой вдруг начинают понимать плоскую границу) способности, то такую модель нельзя причислить к классу физических, геологических или математических моделей. Это техногенная модель. Она не может быть основой для решения осознанно поставленных прямых или обратных задач сейсмики. Единственной не решенной в ее рамках является задача определения рассеивающей (отражательной) способности каждой из множества точек среды (точнее того, что под ними подразумевается) на фоне рассеивающей способности всех остальных точек. Это задача, похожая на задачу группирования. Ключ к ее решению – в знании или узнавании (из разного рода источников) данных о скоростных параметрах вмещающей среды, позволяющих определять координаты амплитуд волнового поля от глубинных точек, общих для всех элементов (пар приемник-источник) входящих в группы, формируемые принятой системой наблюдений.

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 всего лишь в одной отдельно взятой "точке", требуется точно знать свойства всей вмещающей ее среды. Не слишком ли большая цена за столь мизерный результат.

7. В заключение естественно остановиться на некоторых возможных перспективах. Из следствий привлечем внимание к одному, но важнейшему. Речь идет о положении дел, сложившихся в области изучения действительных свойств сейсмических помех. В задачах сейсмической разведки волновое поле состоит из сигналов и помех. Изучение последних не менее важно, чем первых. Практически же все связанное с помехами отодвинуто далеко на задний план, в зону умолчания. На передний план вышло широкое использование предположений, в соответствии с которыми помехи всегда удается (как-то) подавить настолько, что присутствием их в составе волнового поля можно пренебречь.

Мы склонны пытаться пеломить 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 реализации 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; разработка и обоснование эффективности методики многоэлементного группирования приемников и источников и источников для подавления среднескоростных волн-помех; не согласующиеся с традиционными представлениями данные о свойствах и т.н. "поверхностных" волн; обоснование природы "взрывного гула" и др. Однако наиболее значительную (фундаментальную) роль, в этом круге вопросов имеет введение понятия исходного (необработанного) волнового поля ИВП, как точки отсчета, как стандартной пространственно-временной сейсмической характеристики среды, как объекта, с изучения свойств которого начинается цикл всех последующих целенаправленных процедур обработки и истолкования получаемых в эксперименте данных.

8. При обсуждении перспектив, естественно, пытаться заглянуть в будущее сейсмического метода. Возможности прогресса мы связываем, в первую очередь, с возвращением в сейсмическую разведку классического для нее принципа выделения и корреляционного прослеживания в составе волнового поля (а не "разреза") полезных сигналов на фоне помех. Вместе с тем, представляется, что на путях дальнейшего развития естественным образом осуществится синтез наиболее сильных, апробированных практикой достижений, приобретенных методов в различные времена и периоды. 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 наблюденного в эксперименте волнового поля обосновывать достоверность тех предполагаемых в данном районе особенностей устройства среды, которые интересуют разведку.

Найдет себе место разумное сочетание способов наблюдений и обработки, основанных на распознавании локальных неоднородностей среды путем сопоставления выявленных аномалий с известными их 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 и геологическая составляющая сейсмического метода разведки. Возрастет роль геолога-геофизика, четко представляющего себе практическую направленность проводимых исследований, знающего специфику геологического строения районов работ, владеющего основами динамической теории распространения сейсмических волн, способного со знанием дела ответственно руководить всеми стадиями сейсморазведочного процесса.

Часть III. Что же такое технологичная сейсморазведка?

1. В свете изложенного естественно возникает вопрос: “почему же тогда технологическая сейсморазведка (как-то) работает, т.е. позволяет, например, прогнозировать расположение и глубину скважин для бурения на нефть и газ”. В ответ на это следует отметить, прежде всего, что работает она достаточно плохо, так как процент пустых скважин из запрогнозируемых сейсморазведкой всегда весьма высок. Что же касается ее структурных и “вещественных” построений, то здесь дело обстоит даже много хуже. В деталях (притом отнюдь не в мелких деталях) они, как правило, не имеют ничего общего с действительностью, что подтверждается прямо многими неопровержимыми фактами, которые, правда, принято замалчивать.

Однако для того, чтобы сейсмический метод (как-то) работал, т.е. – позволял бы обнаруживать “объект”, на поиск которого метод фактически нацелен, совершенно не требуется чтобы получаемые им картины строения среды правильно отображали какие-либо конкретно-структурные элементы геологического разреза.

Вполне достаточно, чтобы подобные картины как-то отображали общую (неформализованную) ситуацию в геологическом разрезе, находящуюся в корреляционном соответствии с объектом, поиск которого является истинной целью сейсморазведочных работ. При этом упомянутое корреляционное соответствие может устанавливаться также неформальзованным, но весьма естественным и автоматически реализующимся путем, вроде следующего.

Сейсморазведочные работы производились и производятся стандартными способами на огромном множестве территорий, подозреваемых, например, на нефть и газ. В каждом случае в результате работ получается какой-то "снимок" среды, например, в форме временных и мигрированных разрезов. Такой снимок всегда имеет иероглифическую природу: он "мутный" и осложненный бесконечным множеством неконтролируемых помех. Однако он содержит в себе "нечто", связанное с реальными свойствами той среды, на которой ведутся работы, так как последние производятся (однотипно!) стандартными путями. При этом по получению упомянутых "снимков" всегда осуществляется прямая проверка (бурениями) наличия или отсутствия искомого геологического объекта на участке выполнения разведочных работ. Таким образом, в результате выполнения такого рода исследований и их осмысливания постепенно, автоматически устанавливается некоторая (неформализованная) корреляционная связь между иероглифическими особенностями упомянутых снимков разрезов среды и фактом наличия, или отсутствия в ней искомого геологического объекта. Таким корреляционные связи устанавливаются на основе обобщения результатов сейсморазведочных работ на огромном множестве участков сейсмических сред, подозреваемых на содержание нефти и газа. Вследствие этого они приобретают характер эмпирически-устанавливаемых статистических закономерностей, которые должны как-то работать(!) и как-то работают в условиях технологичной сейсмической практики.

Именно в этом и следует видеть причины того, что без наличия на "снимках" разреза даже подобия истинной структуры среды, опытный интерпретатор (через руки которого прошли сотни таких снимков с пометками "объект обнаружен", или "объекта нет") сможет выносить веростностно-правильные суждения о наличии, или отсутствии искомого объекта в районе работ; что и требуется!

2. Остается еще раз подчеркнуть, что из успехов технологичной сейсморазведки ни в коей мере не вытекает правомерность ее структурных построений. Правильность результатов геофизических методов разведки, выражаемая в вероятностной мере, должна была бы вытекать из физической обусловленности применяемого метода, а также из аккуратных оценок погрешностей на всех этапах его реализации. В технологичной же сейморазведке нет и намека на оценки погрешностей ее построений. В ней не видно даже путей, на которых могла бы покоиться такая оценка, так как без корреляционного прослеживания волн (изгнанного из обихода технологичной сейсморазведки) продвижение здесь просто не мыслимо!

3. Нам представляется несомненным, что совершенствование методов сейсморазведки следует проводить на надежном, апробированном практикой, фундаменте, основа которого (с необходимостью) должна покоиться: во-первых, на методах и результатах теории распространения волн в реальных сейсмических средах, содержание и результативность которой неизмеримо возрасли бы при подключении к ее разработке части В.Ц., работающих на технологичную сейсморазведку. Во-вторых, – соответствующие разделы теории информации и математической статистики и, наконец, в-третьих, – целенаправленный и продуманный сейсмический эксперимент, проводимый в рамках классических принципов корреляционного прослеживания регистрационных волн.

При этом во главу таких исследований, конечно, должна быть положена широкая, открытая и деловая научная дискуссия по всем принципиальным проблемам сейсморазведки, свободная от "личностей" и от конъюктурных соображений.

Литература

1. Г. И. Петрашень, С. А. Нахамкин, *Продолжение волновых полей в задачах сейсморазведки.* Наука, 1973, 170.
2. В. И. Смирнов, *Курс высшей математики.* том 4, гл. 1, Наука, 1981.
3. В. В. Решетников, *Разработка инженерных подходов к изучению интерференционных волновых полей, возбуждающихся в пачках тонких упругих слоев. II, §4.* Зап. научн. семин. ПОМИ, **253** (1999), 162–244.
4. Д. В. Матвиенко, А. А. Пудовкин, И. В. Тищенко, *Организация и технология обработки данных сейсморазведки.* М., Недра, 1987.
5. И. А. Непомнящих, *Международная геофизическая конференция.* С.-Петербург, Тезисы докладов, 2000.

Petrashen G. I., Rudakov A. G. On avenues for the development of seismic prospecting of the twentieth centure.

The theory and practice of seismic prospecting whose development is subdivided into two periods are discussed: the classical period approxi-

mately till the 70s years of the twentieth center and the up-to-date period of technological seismic prospecting.

С.-Петербургское отделение
Математического института
им. В. А. Стеклова РАН

С.-Петербургский
государственный университет

Поступило 10 апреля 20001 г.