



Г. И. Петрашень
А. Г. Рудаков

О НЕДОПУСТИМЫХ ИСКАЖЕНИЯХ ЗАКОНОВ ПРИРОДЫ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ ТЕХНОЛОГИЧНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Как известно, сейсморазведка в настоящее время развивается в двух формах - классической и технологической. Первая из них идейно стара - почти как сама сейсмология. Возраст второй - примерно тридцать-сорок лет, и она безусловно относится к категории дисциплин "из молодых, да ранних".

В настоящее время почти все сейсморазведочные работы производятся в рамках технологической сейсморазведки, оснащённой широким ассортиментом электронно-измерительной и вычислительной аппаратуры при почти полном отсутствии новых геофизически обоснованных, логически предметно увязанных и достаточно чётко изложенных статей и книг, посвящённых целям исследований, а также постановкам и решениям задач технологической сейсморазведки.

К изложенному здесь остаётся ещё добавить, что читателю, желающему всерьёз ознакомиться с классической сейсморазведкой, достаточно проштудировать любой солидный курс по сейсмологии и ознакомиться для примера с несколькими статьями по сейсморазведке, посвящёнными решению структурных задач сейсмики. Уже одно это позволит ему составить правильное представление о классической сейсморазведке как о сейсмическом методе, выясняющем структурные свойства среды со всеми особенностями.

Совсем не так обстоит дело в технологической сейсморазведке. При попытках выяснения её сущности, естественно, следует обращаться к специальной литературе. И здесь читателя подстерегают глубокие разочарования! С каждой новой прочтённой статьёй или книгой у него возникают все больше неясностей и новые противоречивые недоумения, а не наоборот, как должно быть в нормальной ситуации. Каждая новая статья не только не снимает неясностей, замеченных в уже прочтённом тексте, а наоборот, обычно ещё более запутывает обсуждаемый вопрос. И происходит это часто потому, что многие статьи текущей специальной литературы уже успели пройти "повторную (волевою) читательскую коррекцию

и математические упрощения", в результате которых тексты потеряли как точный математический смысл, так и остатки былой логики. В качестве ярких примеров здесь достаточно указать, во-первых, на пачки тонких упругих (плоско-параллельных) слоёв, заменяемых (ради упрощения!?) на такую же пачку слоёв, в которой все преломления отброшены (аннулированы), или, во-вторых, на так называемую точечную модель среды, которая состоит только из математических точек (т. е. из дискретных точечных элементов, которые лишены внутренних связей друг с другом и в которых, вместе с этим, действует дифференциальный аппарат теории упругости !?).

Едва ли нужно подчёркивать всю "смелость" подобных предложений. Однако тот факт, что близкие по абсурдности высказывания весьма часто встречаются в технологической сейсморазведке, несомненно следует отметить! В этом проявляется одна из типичных черт технологической сейсморазведки, в которой остаётся теперь не так уж и много "сейсмичности". Правда, об этом ещё пойдёт речь ниже.

I. ВВОДНОЕ ПОЯСНЯЮЩЕЕ ЗАМЕЧАНИЕ

1. Для полного понимания и оценки сущности современной технологической сейсморазведки целесообразно кратко напомнить состояние классической сейсморазведки в конце XX в.

Уникальной особенностью последней является то обстоятельство, что её практическое развитие протекало в рамках одного и того же математического формализма теории упругости, из того же класса количественно-структурных моделей сейсмических сред, что и при разработке динамической теории сейсмических волн с присущими ей логическими построениями. Поэтому любой рабочей модели среды, применяемой в практике сейсморазведки, отвечает в точности такая же модель среды и при теоретическом её описании (отображении).

А отсюда сразу же вытекает возможность использования на практике оптимального метода решения задач сейсморазведки, основанного на разумном переборе возможных (допустимых) вариантов структуры, укладываемых в строгие информативно-статистические каноны.

Полезно также напомнить, что задачи классической сейсморазведки всегда сводились к выяснению (и оценке) тех или иных количественных параметров характеристик структуры (или элементов структуры) модели среды, согласующихся с принятыми в исследованиях априорными представлениями об их сущности. На основании таких представлений формировалось множество (класс D) моделей сред, допускаемых к конкуренции при отборе из них оптимальной модели D_0 среды, наилучшим образом согласующейся с зарегистрированными экспериментальными данными. Для осуществления же такого отбора, решающего задачу сейсморазведки, для каждой выборочной модели среды из класса D следовало рассчитать волновое поле в той части области модели, где предполагалось сопоставлять поля и на основании принятого в проводимом исследовании “критерия близости сопоставляемых полей” производить отбор требуемой оптимальной модели D_0 , решающей задачу.

С логико-информативной точки зрения подобный подход к проблемам сейсморазведки представлялся бы безупречным в отношении математической строгости и практической эффективности, если бы не затруднения, связанные с вычислениями полей для множества выборочных моделей сред класса D . Однако в век компьютерной техники подобные затруднения не представляются принципиальными, тем более что вынужденное преодоление их должно было бы способствовать обогащению теории сейсмических волн новыми методами расчёта волновых полей в средах более сложного строения, расширяющих область применимости классических методов проведения сейсмологических работ.

В таких направлениях как раз и должна была бы развиваться классическая сейсморазведка в конце XX в. И это должно было ознаменовать начало нового многообещающего технологичного подхода к сейсмологическим исследованиям, основанным строго на закономерностях динамической теории распространения сейсмических волн, а также - на методах теории информации и математической статистики. Однако судьба распорядилась иначе, и развитие сейсморазведки пошло не по тому пути...

2. Примерно в это же время в сейсморазведке началось брожение, скорее - даже смута, вызванная появлением в кругах сейсморазведчиков неких нечётко очерченных идей (связанных в основном с голографией и вычислительными возможностями компьютеров), завладевших умами нетерпеливых и не слишком широко образованных работников сейсмических компаний. Возникло представление, что с применением компьютеров все затруднения классической сейсморазведки разрешатся сами собой. Это привело к опрометчивому привлечению к группам интерпретаторов сейсморазведочных компаний парка работающих компьютеров “со стороны”, но, к сожалению, не одних компьютеров, а с собственным

штатом операторов-программистов, имеющих слабое представление о специфике теории и практики распространяющихся сейсмических нестационарных волновых полей, а также - об естественных постановках задач сейсморазведки.

Подобные программисты, воспитанные в лучшем случае на задачах радиосвязи и радиолокации, имеющих, как известно, крайне мало общего с процессами в низкочастотной волновой (нестационарной) сейсмике, загипнотизированные до мозга костей (якобы) неограниченными возможностями современных компьютеров, не захотели обстоятельно знакомиться с сейсмологией и с динамической теорией распространения сейсмических волн. Они сочли возможным (и наилучшим) сразу же начать придумывать удобные “для себя” закономерности в распространении сейсмических волн и в рамках таких волевых закономерностей предлагать методы проведения полевых работ сейсморазведки. При этом в основе требований к выбору способов упрощения оригинального текста статьи практически всегда оказывались внешне бросающиеся в глаза, но в действительности отнюдь не наиболее важные элементы упрощаемых выражений, выбираемые без учёта истинной математической их значимости. Поэтому при подобных упрощениях часто возникало серьёзное искажение как смыслового, так и логически увязанного сквозного текста.

3. Так начала формироваться технологичная сейсморазведка, потерявшая скоро остатки своих былых связей с истинной “сейсмичностью” применяемых подходов к разведке и утратившая полностью категорию “сейсмический эксперимент” в своем научном арсенале! При этом вследствие своих внешне привлекательных атрибутов (применение компьютеров как доказательство использования передовой вычислительной техники(!); доступная пониманию обывателей “выдуманная” наглядная теория волн, “обосновывающая” предполагаемую методику выполнения сейсморазведочных работ (!); причудливо-раскрашенные глубинные разрезы среды (!)) технологичная сейсморазведка выиграла в глазах “власть имущих” конкурентную борьбу с классической сейсморазведкой, которая не скрывала явных или таящихся затруднений в проведении научно обоснованных работ по сейсморазведке, в то время как технологичная сейсморазведка множество встречаемых ею затруднений замалчивала...

Если бы она их только замалчивала, то не было бы ещё большей беды. Однако большая беда наступает немедленно, когда замалчивание затруднений (в науке или в технике) сопровождается зажимом публичной критики, особенно в такой баснословно-прибыльной “области индустрии”, в какую превратилась теперь сейсморазведка, утратившая в своем существовании былые элементы методов сейсмологии как науки.

4. И вот, с целью критики основных положений технологичной сейсморазведки, отсутствие процветания которой ложится пятном и на геофизиков России, представляется настоятельно необходимым коснуться здесь ряда фундаментальных положений теории сейсмических волновых полей, используемых в современном варианте

технологичной сейсморазведки в недопустимо искаженной форме. Даже краткое обсуждение таких вопросов в предлагаемой статье должно способствовать скорейшему продвижению современного “точечного варианта” технологичной сейсморазведки в явно заслуживаемое им научно-производственное небытие!

Что же касается множества более второстепенных вопросов, освещаемых технологичной сейсморазведкой с недопустимыми искажениями истины, засоряющих плотной грудой литературу по технологичной сейсморазведке, то их обсуждение и пересадка на здоровую логически осмысленную научную почву требует уже широкого обсуждения проблем сейсморазведки всей геофизической общественностью.

II. О “МЕТОДЕ” ТОЧЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СРЕД

5. Наступление технологичной сейсморазведки на классическую можно было бы характеризовать прежде всего решительным (революционным) переходом от примитивного уровня технического оснащения работающих сейсмических разведочных компаний к компаниям, укомплектованным современной (хотя иногда и бесполезной) компьютерной техникой. При этом в идейном отношении борьба сначала шла на полное исключение из описания разведываемых сред каких-либо количественно-структурных представлений в понятиях о моделях сейсмических сред, причём голословно (хотя и очень настойчиво) требовалось, чтобы сейсморазведка определяла все физические параметры среды в каждой её математической точке.

Что же касается таких параметров, то вследствие отказа от структурно-модельных представлений они приобретали постепенно смысл плотности и акустических жёсткостей (или модулей упругости ρ , λ и μ)¹ в каждой точке среды подобно тому, как это принято в математической теории обратных динамических упругих задач (которую невредно было бы, по-видимому, упомянуть здесь подробнее, несмотря на то что число полученных в ней разведочных результатов ещё крайне мало).

Таким образом, апологеты или идеологи технологичной сейсморазведки (ТС) полностью исключили в конце концов из описания сейсмических явлений классы количественно-структурных моделей сред, широко и успешно использованные в классической сейсморазведке и являющиеся одновременно с этим (как следует из раздела III) представителями одного из классов областей среды, нуждающихся (со всей непреклонностью) в собственном раздельном рассмотрении для придания точного смысла понятию о решении (или решениях) урав-

¹ В отличие от технологичной сейсморазведки, в теории обратных динамических задач сейсмологии применяются действительно строгие математические методы исследования и оценки. В отношении же учёта волн-помех положение дел и там и здесь нельзя считать удовлетворительным.

нений движения сейсмической среды (в т. ч. и решений волновых уравнений).

Вне классов количественно-структурных моделей сред представление о волновом поле как о решении уравнения движения сейсмической среды не имеет смысла (!). Вследствие этого исключение таких классов сред из рассмотрения фактически лишает (обоснованно) возможности пользоваться при исследованиях важными результатами теории распространения сейсмических волн...

Однако, несмотря на все это, “волевые измышления” идеологов ТС настойчиво продолжались при полном игнорировании указанного утверждения, и они привели в конце концов (вне логики или какого-нибудь серьёзного научного фундамента) к технологичному представлению о следующих точечных моделях сейсмических сред.

6. При этом в качестве одной из “основ” представления о таких моделях полагался тривиальный факт “точечного образования” моделей из каких-то там точек (и даже не просто из точек, а из “математических” (!) точек, что подчеркивается во всех статьях и учебниках по технологичной сейсморазведке). Конечно, одной “точечности” для образования (точечной) модели среды было недостаточно. Необходимо было ещё как-то определить закон взаимодействия между точками, удерживающий точки в состоянии динамического равновесия друг с другом и не позволяющий разлетаться в разные стороны подобно частицам пыли.

Необходимо было построить из “точек” конструкции, представляющие все элементы математического формализма упругой среды, т. е. построить векторы смещения, определить скорости распространения волн в среде и создать физическое представление о механизме процесса их распространения. Наконец, необходимо было показать, как ведут себя в точечной среде векторы и тензоры напряжений, как проявляют себя плотности потенциальной энергии и потока энергии среды и т. д. и т. п.

Таким образом, лишь на основе представления о наличии математических точек следовало построить все элементы математического формализма теории и показать, что эти элементы “работают”, т. е. взаимодействуют друг с другом именно так, как это предписывается динамической теорией упругости.

Непростой вопрос о том, можно ли и как, если можно, это сделать - мы обсуждать не будем, тем более что и сами идеологи ТС этого не делают. Они принимают на веру возможность непротиворечивого построения точечного варианта математического формализма динамической теории упругости, причём считают необходимым дополнять его ещё новым принципом Гюйгенса, допускающим следующую формулировку.

ЛОЖНЫЙ ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА. “Под действием волнового фронта проходящей волны каждая изолированная (математическая) точка A сейсмической среды становится вторичным точечным источником колебаний типа дифрактора”. При этом детали такого “становления и структуры” дифрактора замалчиваются. Утверждается только, что все дифракторы возникают и действуют всегда независимо друг от друга.

Указанное утверждение, не встречающееся в литературе, посвящённой математической и физической теории распространения и дифракции волн, идеологами ТС приписывается Гюйгенсу. Однако в действительности оно не имеет никакого отношения (по его смыслу) к Гюйгенсу (см. ниже п. 10). Оно ложно (т. е. выдуманно) от начала и до конца! Появление же его в основах технологической сейсморазведки объясняется лишь стремлением снабдить (всеми правдами и неправдами) удобными и внешне правдоподобными вычислительными алгоритмами “метод сейсморазведки”, основанный на использовании точечных моделей сейсмических сред (этих логически бессмысленных, научно противоречивых порождений ТС!).

Вследствие важности для технологической сейсморазведки такого принципа Гюйгенса, упоминанием о котором пестрят все статьи, посвящённые “новой сейсморазведке”, далее в п. 10 приводится полная формулировка и толкование классического принципа Гюйгенса и обсуждается его роль в методе точечных моделей сейсмических сред. При этом выясняется, что сам (настоящий) классический принцип Гюйгенса не имеет никакого отношения к технологической сейсморазведке, в которой под принципом Гюйгенса фактически всегда понимается сформулированный здесь ложный принцип Гюйгенса.

7. В методе точечных моделей сред расчёты всегда ведутся в рамках средних скоростей, значения которых ϑ и $\vartheta(M)$ на изучаемом участке среды устанавливаются по каротажным данным ещё до начала основных разведочных работ. Затем выбирается (по произволу) множество $\{A_n\}$ координатных математических точек A_n , в которых предполагается определять параметры участка исследуемой среды.

При выбранных значениях A_n и $\vartheta(M)$ уже могут быть построены требующиеся далее семейства $\{l_{nq}\}$ лучей l_{nq} , выходящих под различными полярными углами из каждой фиксированной точки A_n (как из источника волн) и доходящих до точек $x = x_{nq}$ профиля OX на земной поверхности $z = 0$ исследуемого участка среды. При этом схема распространения сводится примерно к следующему:

Пусть в момент времени $t = t_n^0$ приведён в действие источник O_n первичного (запального) волнового фронта S_n , который (как полагают), проходя в момент $t = t_n > t_n^0$ через соответственную (координатную) точку A_n , превращает эту точку и её окрестность (якобы по Гюйгенсу) в некоторой точечный дифрактор (источник) D_n , порождающий вторичное волновое поле, например, вида

$$u_n = \frac{e_n}{R_{nq}} \varphi[t - t_n - \tau_{nq}(x)], \quad R_{nq} \geq R_0 > 0. \quad (1)$$

Здесь $\tau_{nq}(x)$ - время пробега волны от точки A_n до переменной точки $x = x_{nq}$ профиля вдоль луча; R_{nq} - геометрическое расхождение лучей l_{nq} (или расстояние $|A_n - x_{nq}|$, поскольку рассуждения ведутся в рамках средних скоростей), а $\varphi(t)$ - произвольная функция формы волны, испускаемой дифрактором (1) как источником

вторичных волн². Наконец, величины e_n из уравнения (1) обозначают относительную “силу точечных дифракторов”, связанную (каким-то неведомым образом) с плотностью или с акустической жёсткостью среды в точках A_n . При этом ответ на вопрос о том, что представляет собой акустическая жёсткость в математической точке A_n среды, в которой полностью игнорируется категория структуры (среды), а следовательно, и факт наличия в ней границ раздела, может дать, вероятно, только наиболее убеждённый идеолог технологической сейсморазведки.

Энергия вторичных волн из уравнения (1), испускаемая дифрактором D_n , распространяется от (известной) точки A_n вдоль лучевых трубок, построенных на семействе лучей $\{l_{nq}\}$ в сторону земной поверхности $z = 0$, и, достигая точек $x = x_{nq}$ профиля OX в моменты $t = t_{nq}$, образуют гиперболические годографы $x = x_{nq}(t)$.

И вот, “накопительное суммирование” поля u_{nq} вдоль таких годографов (с использованием соответственных временных задержек) позволяет (как полагают) определить в точках $x = x_{nq}(t)$ профиля (на фоне помех) значения функции $u_{nq}(x, t)$ из уравнения (1) поля дифрактора D_n , расположенного в точке A_n . На основании же этого при известных значениях $R_{nq}(x)$ и функции $\varphi(t - t_n - \tau_{nq}(x))$ формула (1) позволяет произвести оценку величины e_n , т. е. “силы” дифрактора D_n . Этим как раз и решается (как полагают) задача на определение “вещественного состава среды” в каждой её (выбранной) математической точке A_n , а тем самым - и задача сейсморазведки.

8. К изложенной здесь принципиальной схеме допущений выполняемых расчётов по методу точечных моделей сейсмических сред уместно ещё добавить несколько замечаний. Во-первых, отметим, что в литературе, по-видимому, отсутствует достаточно полное и логически связанное (без лагун) изложение предположений о свойствах среды и свойствах возбуждаемых в ней волновых полей, равно как и о последовательности действий, реализующих схему работ в рамках метода точечных моделей сейсмических сред. Удаётся найти лишь изложение фрагментов такой модели и схемы её применения, лишённых какого-либо научного обоснования и изложенных “бессистемно”, т. е. так, как представляет это себе каждый автор соответствующей журнальной статьи или книги. При этом причиной такого положения вещей является, по-видимому, смутное чувство каждого автора о наличии какого-то серьёзного неблагоприятия в физико-математических основаниях метода, на исправление которого у него не хватает решимости.

Во-вторых, следует обратить внимание на необходимость в методе точечных моделей сред прибегать существенным образом к элементам аппарата теории распространения волн для вычисления времён пробега t_n^0 , t_n и др. Сначала - при посылке первичного волнового фронта S_n от источника O_n до точки A_n , а затем - при распространении волны (1) от дифрактора D_n в известной точке A_n до точки $(x = x_{nq}, z = 0)$ профиля OX регистрации

² отождествляемых обычно с δ -функцией, что, впрочем, не обязательно.

“полезных разведочных сигналов”. Точное определение таких времён предполагает детальное знание структуры исследуемой среды - той самой структуры, которую технологичная сейсморазведка всегда старалась полностью исключить из рассмотрений. А здесь структура среды всплывает сама собой! И вот, чтобы её всё-таки исключить (хотя бы приближённо), предлагается воспользоваться данными каротажа и проводить рассмотрение полей лишь при небольших углах падения (относительно вертикали) в рамках средних скоростей...

Таким образом, в методе точечных моделей сред в этом месте просматривается явная логическая непоследовательность, а также - несомненные затруднения в получении результатов с количественно оцениваемой погрешностью. Однако все это приходится считать мелочью по сравнению с основным пороком метода, восходящим к ложному принципу Гюйгенса из п. 6, заставляющему метод точечных моделей сейсмических сред считать грубо ошибочным (см. пп. 9 и 10).

9. При обращении к оценочным суждениям о методе точечных моделей сейсмических сред, в основу основ которого положен ложный принцип Гюйгенса из п. 6, каждого должно охватывать чувство беспредельного недоумения! - Каким образом (уже сильно ослабленный) волновой фронт S запального поля (возбуждённого обычным сейсморазведочным источником), проходя через любую обыкновенную фиксированную математическую (неособую) точку A среды, может породить в этой (математической) точке дифрактор типа (1) ненулевой наблюдаемой интенсивности? Не касаясь гипотетически-спекулятивных механизмов такого “порождения”, будем интересоваться только фактом появления или непоявления дифрактора типа (1) в точке A после прохождения через неё волнового фронта S .

Так вот, возникает вопрос: а наблюдал ли такой дифрактор в чистом виде кто-нибудь из числа великого множества лиц, изучавших теоретически или экспериментально процессы распространения волновых фронтов? Очевидный ответ на этот вопрос гласит - нет, никто и никогда не наблюдал! Хотя распространение волновых фронтов действительно изучали многие.

Более того, вот здесь (сейчас) легко можно убедиться, что в однородной упругой среде фронты S_q “запальных” волн пусть, например, вида

$$u_q(M, t) = \frac{1}{R_q} \Phi_q \left(t - \frac{R_q}{\vartheta} \right),$$

$$R_q = |M - O_q|, \quad (\Phi_q(\varepsilon) = 0, \tau < 0), \quad (2)$$

возбуждаемых сейсмическими точечными источниками O_q , включаемыми при $t = 0$ (и удовлетворяющими условиям единственности при решении задач о волновых полях источников), никаких дифракторов в точках A не порождают, когда эти фронты $\left| t - \frac{R_q}{\vartheta} \right| = \text{const} = 0$ пересекают точки A . (Ведь при указанном пересечении видно, что каждая точка A среды колеблется так, как ей пред-

писывает вектор смещения проходящей волны из соотношения (2).)

Совершенно такой же результат получается и в случае неоднородных (упругих) сред, допускающих (как известно) построение точечных волновых полей $u(x_k, t)$ в прифронтных их зонах $|t - \tau(x_n)| < \varepsilon$ в форме лучевых разложений вида

$$\bar{u}(x_k, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \bar{u}^{(n)}(x_k) f_n[t - \tau(x_k)] \quad (3)$$

по разрывным функциям $f_n(\xi)$, связанным друг с другом соотношениями

$$\frac{df_n(\xi)}{d\xi} = f_{n-1}(\xi) \quad (n \geq 1). \quad (3')$$

Метод построения (сходящегося) лучевого разложения (3) в окрестности волнового фронта вида

$$t - \tau(x_k) \equiv t - \tau(x_1, x_2, x_3) = 0 \quad (4)$$

хорошо известны. Однако даже сокращённое их изложение требует значительных выкладок и пояснения, вследствие чего оно здесь опускается [1].

Таким образом, без труда выясняется, что при прохождении запальных волновых фронтов S_q через точки A неособых областей среды (в которых скорости $\vartheta(M)$ распространения волн и плотности среды $\rho(M)$ непрерывны вместе с их частными производными до второго порядка, где нет инородных включений, нет угловых граничных точек и др.) никакие точечные дифракторы D_q не возбуждаются! А это означает, что в природе не существует вторичных источников волн (с точно известной пространственной их локализацией), на которых могли бы базироваться все построения метода точечных моделей сейсмических сред!

Здесь уместно ещё заметить, кстати, что если в ложном принципе Гюйгенса из п. 6 учитывать не одну точку A , а все точки $A \subset S$, пересекаемые запальным фронтом S одновременно (и уже по одному этому подлежащие совместному рассмотрению), то ложный принцип Гюйгенса превращается в правильный принцип Гюйгенса, дающий, как известно, лишь наглядную качественную иллюстрацию процессу дальнейшего распространения волнового фронта S . И только! А о дифракторах D_q в точках A здесь не может возникнуть и речи!

Итак, как это ни грустно, но идеологам ТС приходится признать, что метод точечных моделей сейсмических сред покоится на принципиально не устранимых, грубо ошибочных положениях, противоречащих основам теории возбуждения и распространения сейсмических волновых полей. Вследствие этого все результаты, полученные в рамках метода точечных моделей сейсмических сред, следует считать неправильными и нуждающимися в коренном пересмотре, равно как пересмотра же требуют и направления дальнейшего развития технологичной сейсморазведки.

Поэтому в будущем, по-видимому, окажется целесообразным выделять из технологичной сейсморазведки самостоятельное научно-методическое направление исследований с поручением ему разработки научно обоснованных подходов к структурным (в основном) задачам сейсморазведки, базирующихся на развивающейся динамической теории распространения сейсмических волн, на теории информации и на математической статистике, а также - подбора физически осмысленных алгоритмов с целью придания разработанным подходам адекватной технологичной формы. Подобную программу исследований можно было бы осуществить даже в случае классических количественно-структурных моделей среды, если при её реализации отказаться от форсированно-производственного отношения к проблемам интерпретации данных сейсморазведки, и такого, в котором все уже обдуманно запрограммировано заранее, и компьютер лишь штампует разрезы среды по (сомнительным) вычислительным алгоритмам, не связанным с индивидуальными особенностями строения участка среды.

При этом к процессу интерпретации результатов хорошо поставленных наблюдений волновых полей следует относиться как к крайне серьёзному научному исследованию, которое может потребовать: 1) изменения алгоритмов выполняемых расчётов в процессе работы, 2) остановки расчётов с целью анализа возникающих затруднений и даже 3) прекращения расчётов, если появились указания на то, что исследование пошло не по тому пути. При этом методики выполнения исследований обязательно должны обладать обратной связью, позволяющей судить о геофизическом качестве получаемых результатов. Целью сейсмических исследований должен быть качественно-количественный анализ структурных особенностей строения пород изучаемого района или характерных особенностей составных его частей. При этом методики выполнения исследований должны вписываться в теоретико-экспериментальный подход к решению проблемы, требующей параллельного (или даже упреждающего) численного изучения исследуемой среды в рамках соответственной ей модели. При таком подходе затрачиваются, конечно, немалые усилия для количественно-программного описания новой структуры исследуемой среды, встречающейся “впервые”. Однако выполненная комплексная разработка участка новой среды поступает на сохранение в банк структурных программ и применяется при расчётах сходственных полей, встречающихся в других средах не менее сложного строения. Расчётно-технологичная рентабельность таких банков при геофизических ВЦ представляется очевидной. Деталю организации их деятельности предполагается посвятить скоро специальную статью или заметку.

10. Однако остаётся ещё вопрос: а каким же это образом могла возникнуть идея о возбуждении проходящей волной с фронтом S в каждой фиксированной (изолированной) точке A неособого участка среды³ вторичного

³ Её вещественные параметры (типа скоростей $v(M)$ и плотностей $\rho(M)$ среды) не имеют особенностей и представляются достаточно гладкими функциями.

независимо действующего источника волн типа точечного дифрактора? Ведь если бы в отдельных или во многих произвольно разбросанных точках таких участков среды появились вторичные источники волн подобного рода, то в природе не существовало бы прямых распространяющихся (объёмных) волн, так как всякую прямую волну сопровождал бы “хвост” вторичных волн (порождённых дифракторами) наподобие хвоста больших комет! Ничего такого в природе не наблюдается, и каждый идеолог ТС не мог не знать этого, так как он, несомненно, изучал задачи на возбуждение и распространение полей волн точечных источников хотя бы в однородных упругой и акустической средах!

Однако искушение воспользоваться полями дифракторов D_n в точках A_n (пересекаемых “запальными” волновыми фронтами S_n в легковычисляемые моменты времени t_n) было велико, так как очень хотелось бы строить методы разведки на “точечной (бездумной) основе”, связанной с пресловутыми точечными моделями сред! Но переходить “рубикон” было опасно, если бы не подвернулась возможность опереться на авторитет Гюйгенса (трёхсотлетней давности), которому вследствие какого-то злосчастнейшего недоразумения в технологичной сейсморазведке приписываются утверждения, совпадающие по смыслу с утверждениями ложного принципа Гюйгенса из п. 6.

И вот, случилось так, что большинство статей конца XX в., посвящённых технологичной сейсморазведке, оказались забитыми голословными ссылками на Гюйгенса в связи с его принципом. При этом формулировки сути принципа Г. (т. е. Гюйгенса) нигде в этих статьях найти не удалось, зато бросалось в глаза недоумённое жонглирование фразами вроде следующих: “Согласно принципу Г... [2]”; “В силу принципа Г... [3]”; “Следуя принципу Г... [4]” и далее - “сейсмическая среда рассматривается как совокупность дифрагирующих точек (дифракторов), действующих независимо друг от друга” [5] и т. д.

По своему смыслу все такие высказывания почти буквально укладываются в утверждение ложного принципа Г. из п. 6, который не имеет ничего общего с настоящим (классическим) принципом Гюйгенса, формулируемым следующим образом: “Каждая точка среды, которую достигла волна, может рассматриваться как источник вторичных (сферических) волн, распространяющихся со скоростью, свойственной среде. Огибающая поверхность, т. е. поверхность, касающаяся фронтов всех вторичных (сферических) волн в том положении, которого они достигли к (рассматриваемому) моменту времени $\bar{t} = t + dt$, и определяет (представляет) собой волновой фронт падающей волны в момент времени $\bar{t} = t + dt$ ” [6, 7, 8].

Гюйгенс применял свой принцип для качественного доказательства правомочности волновой трактовки природы (видимого) света. При этом первая фраза принципа определяет воображаемый внутренний механизм процесса распространения волнового фронта, а вторая - указывает на общий результат действия этого механизма.

У Гюйгенса обе фразы находились в органичном единстве. В результате этого принцип Г. принимал ясный смысл, не имеющий никакого отношения к (каким-то

там) дифракторам D_n в точках A_n среды, пересекаемой фронтом S_n запальных волн! В такой форме прибегать к принципу Гюйгенса для подтверждения волевых построений технологичной сейсморазведки, связанных с точечной моделью сейсмических сред, было явно бессмысленно. Чем же тогда определялся интерес сейсморазведчиков к Гюйгенсу?

При попытке ответа на такой вопрос могла возникнуть “привлекательная” идея - отбросить вторую фразу в формулировке принципа Гюйгенса (сочтя её за фразу, не несущую полезной информации в рассматриваемой проблеме), а вторую фразу - сократить, дополнив её подходящей поясняющей концовкой. В результате такого (волевого) “совершенствования текста статьи” (в высшей степени характерного для технологичной сейсморазведки) фраза сохраняет свою принадлежность Гюйгенсу. А по своему смыслу она тесно смыкается с ложным принципом Г. из п. 6, который идеологов ТС вполне устраивает...

Таким образом, вполне возможно, что примерно по такой схеме и развивались события в действительности. Это хорошо согласуется с (упоминавшимся) обилием бессодержательных ссылок на Гюйгенса в современной литературе по технологичной сейсморазведке. Ведь для многих её статей “логические выверты” в тексте, подобные рассмотренному только что, действительно оказываются типичными.

Доставляют ли такие физически маловесомые ссылки на Гюйгенса достаточную поддержку методу точечных моделей сейсмических сред, решать предстоит идеологам ТС, мнение которых сразу же будет сообщено и нам. При этом хотелось бы попросить уважаемых наших оппонентов пользоваться общепринятыми в теории упругих волновых полей понятиями и закономерностями как в общем формализме теории, так и при частном переносе энергии волнового поля от “запальной” волны (с “пространственно-протяжённым фронтом S ”) к математически точечному источнику-дифрактору волны в точке A_n . Хотелось бы также знать, как следует представлять себе поэлементное строение точечных моделей сред? Как взаимодействуют такие элементы друг с другом? Каков механизм распространения (упругих) волн в точечных средах или в их моделях, отвечающих реальным сейсмическим структурам и т. п. и мн. др.

Вопросов возникает множество и ответить на них, по-видимому, непросто. Вследствие этого многие из них, вероятно, придётся отнести к будущему. А здесь прежде всего целесообразно задержаться на достаточно тривиальных (однако важных для сейсморазведки) положениях, касающихся естественно-научных моделей сейсмических сред (раздел III), в которых одновременно правомочны как теоретические, так и экспериментальные описания процессов распространения сейсмических волновых полей.

III. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МОДЕЛЯХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СРЕД

В сейсмологии уже давно признано, что в частотных диапазонах работ сейсморазведки и на свойственных ей

глубинах (под земной поверхностью) течение процессов распространения сейсмических волн достаточно хорошо укладывается в рамки динамической теории упругости. Исследования же на осадочных толщах (выдержанных по латерали) даже подтвердили хорошую количественную корреляционную связь между геологически ожидаемой структурой изучаемой среды и особенностями наблюдаемых волновых полей. Вследствие этого следует считать утвердившимся убеждение о том, что при разумном использовании динамической теории упругости сейсморазведка сможет с большой точностью и достоверностью решать стоящие перед нею естественные структурные задачи⁴. А раз так, то и представления об естественных моделях сейсмических сред в практике сейсморазведки не должны отличаться от подобных же моделей, обеспечивающих корректное описание процессов распространения сейсмических волн. Определение же класса моделей последнего типа сводится к обсуждению постановок корректных задач на распространение волн для уравнения Ламе или, что практически (почти) одно и то же, - для волнового уравнения.

11. Таким образом, для выяснения интересующих нас здесь вопросов достаточно вспомнить (корректные) постановки задач на распространение волн, определяемых уравнением

$$\Delta u(M, t) - \frac{1}{\vartheta^2(M)} \frac{\partial^2 u(M, t)}{\partial t^2} = f(M, t), \quad (6)$$

в котором функции $\vartheta(M)$ и $f(M, t)$ заданы.

С уравнениями вида (6) приходится встречаться в огромном множестве проблем сейсмологии, физики и техники. При этом установлено, что в основе всех таких проблем лежат математические задачи, допускающие следующую постановку:

В конечной или бесконечной области (B) точек $M \equiv (x_i) = (x_1, x_2, x_3)$, при $t > 0$, ограниченной достаточно гладкой поверхностью S с точками $N \in S$, заданы функции $\vartheta(M)$ и $f(M, t)$. При указанных далее свойствах гладкости функции $\vartheta(M)$ требуется построить решение $u(M, t)$ уравнения (6), удовлетворяющее в точках N границы S одному (и только одному) из условий (7):

$$u(M, t)|_{M=N} = U_0(N, t), \quad (7a)$$

$$\left. \frac{\partial u(M, t)}{\partial n} \right|_{M=N} = V_0(N, t), \quad (7б)$$

$$\left(u + h \frac{\partial u}{\partial n} \right) \Big|_{M=N} = W_0(N, t), \quad (7в)$$

(где n - внешняя нормаль к поверхности S , а $U_0(N, t)$, или $V_0(N, t)$, или $W_0(N, t)$ - заданная функция), подчинённое при $t = 0$ следующим начальным данным:

⁴ После изложения раздела II статьи представляется необходимым прямой возврат к количественно-структурным постановкам задач перед сейсморазведкой.

$$u(M, t)|_{t=0} = u_0(M);$$

$$\left. \frac{\partial u(M, t)}{\partial n} \right|_{t=0} = \vartheta_0(M) \quad (8)$$

с заданными функциями $u_0(M)$ и $\vartheta_0(M)$. При этом в задачах на возбуждение сосредоточенными воздействиями волн в области (B) в условиях (8) полагают

$$u_0(M) = \vartheta_0(M) = 0,$$

что отвечает состоянию покоя в области (B) при $t \leq 0$.

Функция из правой части (действующего) граничного условия из (7), равно как и функция $f(M, t)$ из уравнения (6) задаются обычно в виде гладких δ -образных функций типа $\delta_\beta(N - N_0)\delta_\alpha(t)$ и $\delta_\beta(M - M_0)\delta_\alpha(t)$, содержащих параметры α и β , стремление которых к нулю превращает указанные функции в требуемые обычно сосредоточенные воздействия.

Что же касается свойств гладкости функции $\vartheta(M)$ из уравнения (6), то от них зависят детали, уточняющие постановку задачи (6) - (8), равно как и свойства гладкости решения $u(M, t)$.

Так, выясняется, что если функция $u(M)$ непрерывна в области (B) вместе со всеми её первыми и вторыми частными производными по x_ν , то задача (6) - (8) имеет в области (B) единственное решение $u(M, t)$ (непрерывное с первыми его частными производными по x_ν), имеющее определённый физический смысл.

Если же в области (B) имеются границы Σ_q "раздела сред" в виде достаточно гладких поверхностей, при переходе через которые (по некасательным путям) функция $u(M)$ или первые её частные производные по x_ν изменяются скачком, то к указанной формулировке задачи (6) - (8) добавляются ещё условия контакта (обычно жёсткого) на границах раздела Σ_q , записывающиеся в виде следующих предельных равенств⁵

$$u^+(N_q, t) = u^-(N_q, t); \quad \left[\frac{\partial u(N_q, t)}{\partial n_q} \right]^+ = \left[\frac{\partial u(N_q, t)}{\partial n_q} \right]^-. \quad (9)$$

При добавлении к прежним условиям задачи (6) - (8) ещё условий контакта (9) на всех внутренних границах Σ_q

⁵ В пояснение равенств (9) заметим, что сначала строится (непрерывная) нормаль $n_q(N)$ к поверхности Σ_q в её точках $N \in N_q$. По нормали $n_q(N)$ определяются положительная (куда направлена нормаль) и отрицательная стороны поверхности Σ_q . Затем рассматриваются (например) точки M , лежащие на положительной части нормали n_q^+ , и в них вычисляются значения $u(M, t)$ и $\frac{\partial u(M, t)}{\partial n_q^+}$. После этого точка M устремляется (вдоль нормали n_q^+) к граничной точке $M = N_q \in \Sigma_q$. Это как раз и приводит к значениям $u^+(N_q, t)$ и $\left(\frac{\partial u(N_q, t)}{\partial n_q} \right)^+$ из левых частей условий (9). Аналогично вычисляются значения из правых частей условия жёсткости контакта (9), отвечающих отрицательной стороне границы раздела Σ_q .

раздела сред в области (B) понятие "решение уравнения (6) в области (B) " восстанавливает свой смысл, причём это решение сохраняет и свойство "единственности решения в области (B) ".

(Полезно ещё отметить, что часто употребляемая в сейсморазведке фраза "решение волнового уравнения" бессмысленна, если ничего не сказано об условиях (7) и (9) на границах S и Σ_q в области (B) .)

12. Таким образом, при обсуждении постановок задачи на возбуждение и распространение волн в области (B) сразу выясняется, что решение корректно поставленной задачи для уравнения движения в области (B) (т. е. для волнового уравнения (6) в рассматриваемом частном случае) приобретает смысл тогда и только тогда, когда область (B) задаётся "структурно" по отношению к параметрам, входящим в уравнение движения (здесь - по отношению к функции $\vartheta(M)$). При этом структурность области (B) сводится прежде всего к необходимости учёта наличия (или отсутствия) в ней границ раздела сред Σ_q (задаваемых некоторым числом геометрических параметров $\{h_q\}$, а также - скоростными параметрами ϑ_q^\pm - с различных сторон границы Σ_q), на которых параметры уравнения движения испытывают разрывы непрерывности, а решения $u(M, t)$ таких уравнений должны удовлетворять условиям контакта типа соотношений (9).

Если в области (B) имеется несколько границ раздела Σ_q , причём расстояния между ними "велики", то условия контакта сред приводят к описанию (во всех деталях) процессов отражения-преломления волн на границе раздела сред Σ_q . Если же какие-либо границы Σ_q пересекаются друг с другом, образуя криволинейный двугранный угол (зона выклинивания), то к условиям (9) необходимо добавлять ещё требование интегрируемости плотности энергии волнового поля в окрестности вершины упомянутого угла. Наконец, если в области (B) присутствуют инородные тела (включения), вызывающие явления дифракции волн, то на их граничных поверхностях поле $u(M, t)$ также должно подчиняться соответственным граничным условиям (типа условий контакта (9)), зависящим от природы включений...

Изложенное подчёркивает непреложное обстоятельство, что без фактического (или без предварительного предположительного) задания геометро-вещественных структурных параметров модели среды в области (B) понятие о решении $u(M, t)$ уравнения движения (хотя бы волнового уравнения (6)) не имеет смысла, и потому им нельзя пользоваться без риска совершить очевидную грубую ошибку. При этом интерпретация полученного полевого материала с непреклонной необходимостью требует применения геометро-вещественных структурных моделей среды, подобных моделям, применявшимся в классической сейсморазведке. Здесь, конечно, предполагается, что обработка экспериментального материала, выполняемая в рамках таких моделей, должна производиться с необходимо широким использованием компьютерной техники (что, очевидно, не может встретить серьёзных технических затруднений)...

Теперь (после изложенных соображений) становится достаточно ясным взгляд на сейсморазведку как на на-

учно обоснованный (теоретико-экспериментальный) подход к исследованию структуры земной коры и на вытекающие из этого естественные сейсмические модельные представления. При таком подходе и задачи, возникающие естественным образом перед сейсморазведкой, должны относиться к структурным элементам применяемой модели среды и должны давать вероятную количественную оценку входящим в неё геометрическим и вещественным параметрам.

Геометро-вещественная структурность применяемой рабочей модели среды (с возможно более узкими доверительными промежутками для входящих в модель параметров) представляет собой именно то, к чему может и должна приводить настоящая научно обоснованная сейсморазведка, базирующаяся на развивающейся динамической теории распространения сейсмических волн, на теории информации или математической статистике, при изучении поверхностных толщ земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петрашень Г. И.*, 1981, О лучевом методе ...: Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Вып. XXI: Л.
2. *Интерпретация данных сейсморазведки*. Справочник. Под ред. Потапова О. А.: М, 1990.
3. *Козлов Е. А.*, 1986, Миграционные преобразования в сейсморазведке: М., Недра
4. *Васильев С. А.*, 1973, Некоторые вопросы теории продолжения волнового поля в сторону источника: Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, **3**.
5. *Робинсон Э. А.*, 1988, Метод миграции в сейсморазведке: М., Недра.
6. *Принцип Гюйгенса*. Большая советская энциклопедия, т. 20: М., 1930.
7. *Ландсберг Г. Ф.*, 1986, Элементарный учебник физики, т. 3: М., Наука.
8. *Ландау Л., Лифшиц Е.*, 1967, Теория поля: М., Наука.