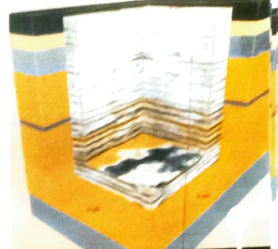


Многоволновая сейсморазведка - новые возможности и перспективы

Кузнецов В.М., ВНИИГеофизика, г. Москва



МНОГОВОЛНОВАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА

Название "Многоволновая Сейсморазведка (МВС)" в последнее время все чаще и чаще фигурирует в различных докладах на научно-практических конференциях, планах работ при решении конкретных геологических задач. Поэтому представляется интересным и актуальным разобраться, на какой физико-геологической основе построены ее принципы, рассмотреть круг геологических задач, которые наиболее успешно можно решать средствами МВС, и осмыслить возможные направления, по которым в ближайшем будущем будет развиваться метод.

Краткая история разработки.

В России работы по практическому использованию волн разных типов в разведочных целях начались на 5-10 лет раньше, чем на Западе [1]. Систематические исследования геологического разреза с помощью поперечных волн начали проводиться в 60 годах прошлого века. Практически в это же время проводились работы с использованием преломленных обменных волн. В 70-80 годы основные усилия значительных коллективов были сосредоточены на разработке способов генерации сдвиговых волн, исследовании условий оптимизации передачи энергии в среду для грунтов различных типов, разработке и опробованию вибрационного способа возбуждения поперечных волн. К этому времени относится внедрение способа селекции волн по направленности в источнике путем использования парных воздействий. Были получены данные по прослеживанию отражающих границ, залегающих на глубинах 5 - 6 км, по монотипным S-волнам. Проведены первые эксперименты по изучению анизотропии скоростей волн разных типов. Таким образом, к 90-м годам в основном были разработаны физико-геологические основы технологии МВС и созданы все условия для решения разведочных задач по поиску перспективных ловушек не только по морфологическим (геометрическим) признакам, но и по изменению вещественного состава разреза, получению дополнительных сведений о внутренней структуре, слагающих разрез пород - трещиноватости, тонкослоистости, напряженном состоянии, исследуя поляризацию S (PS) волн и анизотропию измеряемых упругих параметров, затухание волн разных типов. Уровень разработки МВС достаточно высок [2,3] - в 1986 году она удостоена Государственной премии СССР. До 1991 г в МВС работало более 20 сейсморазведочных партий и целая экспедиция, что составляло около 15% от общего объема сейсморазведочных работ в СССР, в то время как за рубежом эта цифра не превышала 5%. В настоящее время объемы выполняемых работ МВС за рубежом выросли до 20 - 40% от общего объема, в то время как в России они практически не проводятся. Технология МВС уже опробована во многих районах и на разных геологических объектах, получены убедительные результаты успешного решения широкого круга геологических задач. В настоящее время МВС нуждается в получении новых экспериментальных данных на основе современных технических средств и форсировании научно-производственных работ.

Физико-геологические основы.

Как известно из теории упругости, независимо от типа источника упругих колебаний в среде всегда распространяются два типа колебаний - компрессионные и сдвиговые. Напомним хорошо известные формулы, позволяющие

понять связь физических параметров и геологических характеристик. Малую деформацию можно охарактеризовать симметричным тензором деформации, где диагональные члены характеризуют растяжение-сжатие, а остальные - сдвиг

$$\epsilon_{ij} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} & \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Напряженное состояние тела в данной точке определяется симметричным тензором напряжений.

$$\tau_{ij} = \begin{pmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{yz} & \tau_{zz} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Закон Гука для однородной упругой среды связывает тензоры напряжения и деформаций

$$\tau_{ij} = \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 C_{ijkl} \epsilon_{kl} \quad (3)$$

где тензор модулей упругости C_{ijkl} полностью характеризует упругие свойства среды. Учитывая симметрию напряжения ($\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$), только шесть из уравнений независимы, а с учетом симметрии деформаций ($\epsilon_{ij} = \epsilon_{ji}$), только шесть членов в этих уравнениях независимы. В силу этого общепринято от тензора C_{ijkl} переходить к тензору C_{ij} с учетом замены индексов $11 \Rightarrow 1$, $22 \Rightarrow 2$, $33 \Rightarrow 3$, $32 = 23 \Rightarrow 4$, $31 = 13 \Rightarrow 5$, $12 = 21 \Rightarrow 6$.

В общем случае для описания среды с произвольной симметрией и с учетом равенства $C_{ij} = C_{ji}$ необходимо задавать 21 константу:

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ & & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ & & & & C_{55} & C_{56} \\ & & & & & C_{66} \end{pmatrix} \quad (4)$$

В случае изотропной среды достаточно двух констант C_{ij} :

$$\begin{pmatrix} C_{33} & (C_{33} - 2C_{44}) & (C_{33} - 2C_{44}) \\ & C_{33} & (C_{33} - 2C_{44}) \\ & & C_{33} \\ & & & C_{44} \\ & & & & C_{44} \\ & & & & & C_{44} \end{pmatrix} \quad (5)$$

которые связаны с константами Ламе и, соответственно, со скоростями продольных и поперечных волн следующими соотношениями:

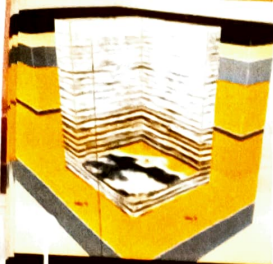
$$C_{11} = \lambda + 2\mu = \rho V_p^2 \quad (6)$$

$$C_{44} = \mu = \rho V_s^2$$

Однородная упругая изотропная среда, подчиняющаяся закону Гука, характеризуется двумя модулями упругости. В качестве таковых используются либо модуль Юнга и коэффициент Пуассона (E, ν), либо константы Ламэ (λ , μ) (параметр μ называется модулем сдвига). Кроме указанных величин, иногда используется модуль всестороннего сжатия K.

$$E = \mu(3\lambda + 2\mu)/(\lambda + \mu); \mu = \lambda/2(\lambda + \mu);$$

$$\lambda = \sigma E/(1 + \sigma)(1 - 2\sigma); \mu = E/2(1 + \sigma);$$



Многоволновая сейсморазведка ТЕОРИЯ

$$K = E / 3(1 - 2\sigma) = \lambda + 2\mu / 3 \quad (7)$$

Для большинства горных пород:

$$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2; \sigma = 0,1 - 0,48$$

$$\lambda = 4 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2; \mu = 10^9 - 5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$$

$$K = 5 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$$

В сейсморазведке достаточно часто используют соотношения параметров волн разных типов (продольных и поперечных). Под параметрами подразумевается скорости распространения, форма импульса и поляризация, а также производные от них частота, время регистрации, затухание и т.д. В частности

$$V_s / V_p = \sqrt{(1 - 2\sigma) / 2(1 - \sigma)} = \gamma \quad (8)$$

зависит только от коэффициента Пуассона. В жидких и газообразных средах вращение частиц происходит без сопротивления, значит, модуль сдвига $\mu = 0$. Отсюда следует, что поперечные волны могут существовать только в средах, обладающих упругостью формы, тогда как продольные волны генерируются и распространяются в любых связанных системах.

При косом падении на границу продольной волны в процессе отражения и прохождения одновременно возникают поперечные волны, получившие название обменных PS. Происходит и обратное явление - образование продольных волн SP из падающих поперечных, если при косом падении на границу имеется нормальная составляющая вектора смещения.

Таким образом, принципы совместного использования волн разных типов (продольных и поперечных) для решения задач геологической разведки базируются на независимости их распространения в геологических средах. Другими словами - измеряя параметры волн разных

типов для одного и того же геологического объекта (породной формации) мы получаем более полную характеристику его упругих свойств. Последние неразрывно связаны с геологическими характеристиками породы - ее литологическим составом, внутренней структурой (те другим составом и т.д.). Кроме того, получая разные изображения геологической среды по разным упругим параметрам, можно уточнить конфигурацию геологических границ и различия объектов.

Решаемые геологические задачи.

Базируясь на физических и геологических принципах МВС, очертим круг основных геологических задач, которые целесообразно решать на основе комплексирования волн разных типов.

Условно их можно разделить на три группы.

I. Структурные - повышение точности и надёжности картирования пологих структур, выделение малоамплитудных разрывов, выклиниваний и т.п. Возможность решения основывается здесь на независимости данных, получаемых по продольным, обменным и поперечным волнам, и подчас большей точности результатов, получаемых по поперечным волнам в силу их меньшей длины.

II. Литологические - оценка изменений литологии, в частности, локальных литологических неоднородностей разреза. Задачи эти имеют большое значение в связи с поиском перспективных в нефтегазоносном отношении ловушек не только по морфологическим признакам, но и по изменению вещественного состава геологического разреза. Важными здесь являются данные о скоростях волн разных типов и их соотношениях (коэффициентах Пуассона).

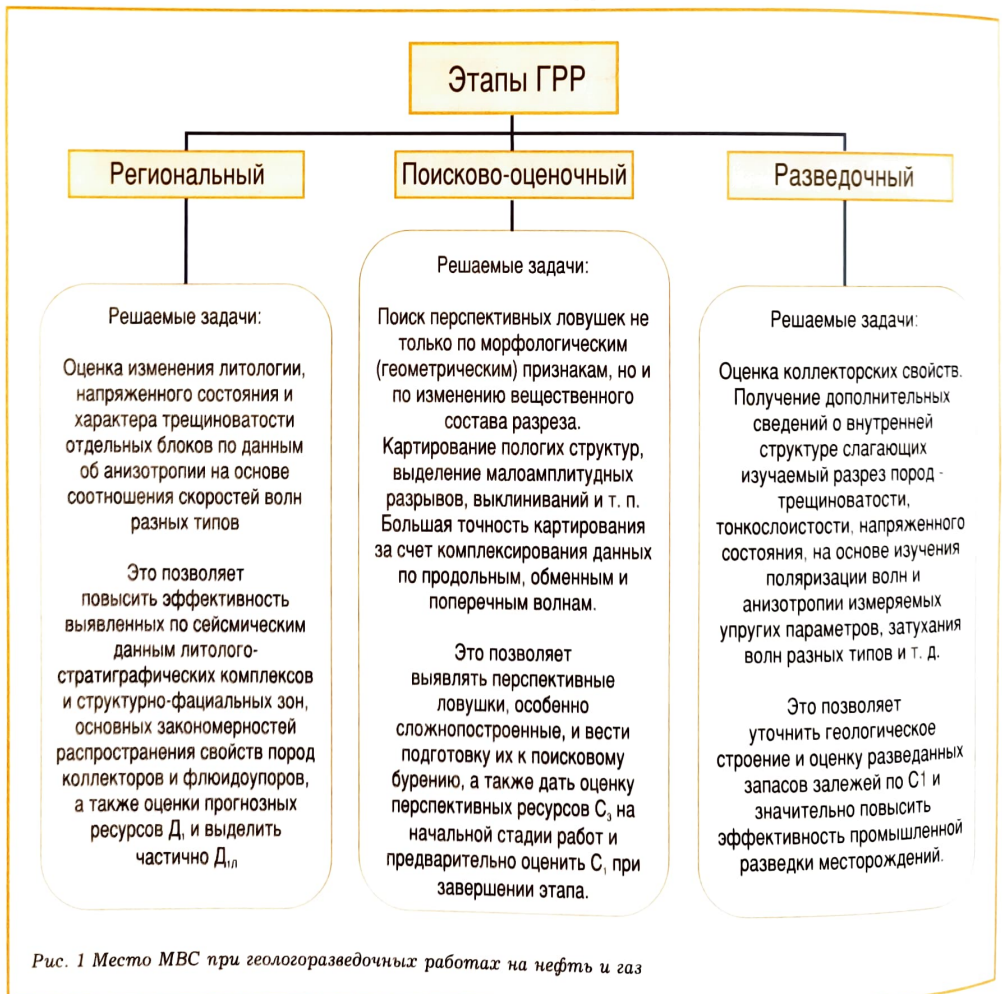


Рис. 1 Место МВС при геологоразведочных работах на нефть и газ

III. Получение дополнительных сведений о внутренней структуре слагающих изучаемый разрез пород - трещиноватости, тонкослоистости, напряженного состояния. Решение этого круга задач оказывается возможным на основе оценки характеристик поляризации волн разных типов и анизотропии измеряемых упругих параметров, их затухания и т.д.

Совершенно очевидно, что МВС не призвана (во всяком случае, на сегодняшний день) заменить сейсморазведку на продольных волнах. Она используется в тех случаях и районах, где традиционно используемые методы дают неоднозначные результаты, и постановка задач требует получения дополнительной информации об исследуемых объектах. МВС имеет свое место при геолого-разведочных работах на нефть и газ и позволяет создать новую геолого-геофизическую модель и на этой основе более корректно и эффективно планировать поисковое, разведочное и эксплуатационное бурение (рис.1). Исходя из вышесказанного, можно выделить ряд геологических задач, при решении которых МВС наиболее эффективно дополняет традиционно используемую сейсмическую информацию:

1. Уточнение структурных особенностей разреза по волнам разных типов - на основе разной разрешающей способности волн Р и S для тех или иных объектов (различные длины волн, контраст по акустическим жесткостям и т.д.).

2. Изучение изменений литологического состава (глинизация, литологическое замещение и т.п.) целевых интервалов разреза на основе оценки изменений соотношения интервальных времен, скоростей, частот и т.д. волн разных типов.

3. Обнаружение и локализация в разрезах различного литологического состава трещиноватых интервалов и оценка их ФЕС с разделением интервалов, характеризующихся различной трещиноватостью и свойствами, выделение по разрезу зон аномального пластового давления, отслеживание в режиме мониторинга характера изменений характеристик порово-трещинного пространства в процессе эксплуатации месторождений, границ или при гидроразрывах пластов - на основе оценки параметров анизотропии волн разного типа и поляризации;

Следует отметить, что для решения определенных задач методики наблюдений МВС подбирается и конструируется особым образом. В журнале этому посвящены отдельная работа.

Прогноз внутренней структуры породных комплексов между отражающими границами.

Вполне очевидно, что наиболее перспективное направление в рамках комплексирования волн различных типов и классов, это вовлечение в интерпретационный процесс анизотропных моделей различного типа симметрии и установление связей параметров этих моделей с геологическими параметрами различных объектов поиска. Применение задач на уточнение структурного плана объектов ограничено сейсмогеологическими условиями, не позволяющими повысить разрешенность по поперечным волнам, и возможностями повышения частотности поперечных волн при возбуждении - уменьшение длины продольных волн часто требует меньших затрат и усложнения методики. Решение литологических задач используется чаще, особенно в последнее время. Но по различным причинам большинство геофизиков предпочитает решать их через использование АВО или обратную динамическую задачу только по продольным волнам, хотя подобные подходы имеют свои ограничения и точность. Интенсивно развиваются в последнее время подходы к решению тектурных задач с помощью МВС. В силу того, что корректно решать подобные задачи можно только на основе комплексиро-

рования волн разных типов, это направление в ближайшее время будет наиболее выигрышно для МВС.

Внутренняя структура изучаемых горных пород формируется, как известно, разнообразными включениями - порами, кавернами, трещинами, которые различаются по форме, размерам и количеству в единице объема. При описании внутренней структуры различных геологических объектов следует учитывать преимущественную ориентацию различных систем включений (для пор, в силу хаотичности их распределения в породе это не актуально), или характер распределения направлений их ориентации. Свойства пород при нулевой пористости и трещиноватости называют также параметрами матрицы. Матрица может быть как изотропной, так и анизотропной. При этом причина анизотропии матрицы для разных пород может быть разной. Для глинистых образований матрица исследуемых горных пород анизотропна в силу первичной анизотропии и вполне определенной ориентации породообразующих минералов. Для карбонатов анизотропия матрицы чаще всего связана с тонкой слоистостью формационных объектов, трещиноватость которых подлежит изучению. Свойства пород при нулевой пористости и трещиноватости называют также параметрами матрицы.

Вполне естественно, что геологическая анизотропия приводит к анизотропии физических свойств горной породы. Упругие свойства анизотропных сред в зависимости от присущей им симметрии характеризуется определенным количеством независимых констант. Для большинства пород-коллекторов их анизотропные свойства соответствуют гексагональной или орторомбической симметрии. В свою очередь каждый тип симметрии характеризуется также ориентацией плоскостей симметрии и осей симметрии, называемых главными элементами симметрии, и описывается определенным количеством параметров.

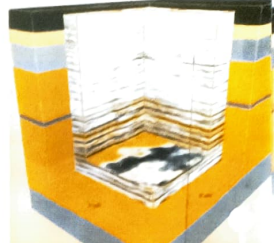
Анизотропия трещиноватых коллекторов с гексагональным типом симметрии характеризуется осью симметрии шестого порядка (вертикальной при горизонтальной трещиноватости, горизонтальной при вертикальной трещиноватости или наклонной) и перпендикулярной ей плоскости.

Для описания упругих свойств сред такого типа симметрии необходимо использовать пять независимых параметров C_{ij} :

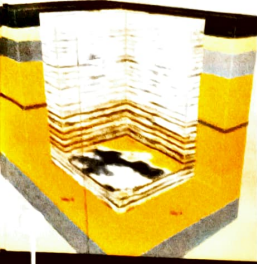
$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{13} & C_{13} \\ C_{33} & (C_{33} - 2C_{44}) & C_{33} \\ & C_{44} & C_{66} \end{pmatrix} \quad (9)$$

или кинематических $V_{P1}, V_{P2}, K_{11}, K_{12}, K_{13}$ и K_{14} и плотность $\rho(V_{P1}, V_{P2}, K_{11}, K_{12}, K_{13}, K_{14}, \rho)$ - скорости волн соответствующего типа по оси 3 (вертикали); $K_{11}, K_{12}, K_{13}, K_{14}$ - коэффициенты анизотропии волн соответствующего типа в плоскости (ij). Звездочкой обозначены кажущиеся коэффициенты анизотропии, получаемые при эллиптической аппроксимации индикатрис скорости в некотором диапазоне отклонения лучей от оси симметрии. Для наиболее распространенных горных пород это диапазон 0-25°. В случае горизонтальной плоскости симметрии (плоскость (12)) коэффициенты анизотропии можно определять и в плоскости (23). Для случая с вертикальной плоскостью симметрии коэффициенты анизотропии определяются в ортогональной ей вертикальной плоскости.

Среда с только одной доминирующей системой трещин является поперечно изотропной (гексагональной) с осью симметрии перпендику-



МНОГОВОЛНОВАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ТЕОРИЯ



лярной плоскости, в которой расположены трещины. В силу действия геостатического и латерального горного давлений часто доминирует система вертикальных трещин. В этом случае ось симметрии горизонтальна, а плоскость вертикальна. Параметры анизотропной среды зависят от свойств матрицы, степени трещиноватости, заполнителя трещин и так далее.

Анизотропная среда с орторомбической симметрией характеризуется тремя взаимоперпендикулярными плоскостями симметрии и перпендикулярными им тремя осями симметрии второго порядка. Для ее описания необходимо девять независимых параметров C_{ij}

$$\begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & & & \\ & C_{22} & C_{23} & & & \\ & & C_{33} & & & \\ & & & C_{44} & & \\ & & & & C_{55} & \\ & & & & & C_{66} \end{vmatrix} \quad \{10\}$$

или кинематических $V_{P(111)}$, $V_{S(111)}$, KSH(1313), $K_{SH(131)}$, $K_{SH(121)}$, $K_{SH(112)}$ и плотность ρ .

Параметры среды зависят от параметров слоистости, трещиноватости, литологии пород, составляющих матрицу, и материала, заполняющего трещины. Свойства анизотропных сред отображаются лучше всего индикаторами скоростей (фазовых и групповых) волн разных типов, т.е. зависимостью скорости от направления в пространстве.

Через эффективные кинематические параметры [4] установлена взаимосвязь тензора упругих модулей C_{ij} с параметрами волн разных типов, измеряемых по зарегистрированным компонентам волнового поля. Далее, различные модели взаимосвязи C_{ij} со структурой порово-трещинного пространства увязывают параметры коллектора с сейсмическими параметрами волнового поля [5]. Таким образом появляется возможность по измеренным характеристикам волн разных типов решить обратную геологическую задачу, т.е. оценить параметры включений в целевом объекте.

Естественно, что возможность решения этих задач закладывается уже на этапе проектирования методики работ МВС (см. статью "От геологической задачи к конструированию методики МВС" настоящем журнале). Корректность получаемых результатов обеспечивается специальными техническими средствами - многоточечными трехкомпонентными скважинными зондами ВСП, трехкомпонентными сейсмоприемниками, сейсмостанциями с увеличенным числом каналов и т.д.

Что касается обработки и интерпретации трехкомпонентных многоволновых данных [6], то в настоящее время это наиболее быстро развивающееся направление. Во многих пакетах уже имеются основные процедуры, позволяющие учитывать специфику данных МВС и анизотропных моделей среды. Поскольку данные для ВСП уже продолжительное время получают только с помощью трехкомпонентных зондов, программное обеспечение для обработки этих данных позволяет наиболее полно реализовать требования к обработке многоволновых данных с учетом анизотропии волн разных типов и выходом на решение задачи оценки ФЕС трещиноватых объектов по сейсмическим данным. В качестве примера можно привести известный пакет "3C-INTERAKT", который позволяет проводить анализ поляризации волн, включает процедуры расчета компонент волнового поля с использованием направленности I-го рода (в источнике и на приеме), определять параметры анизотропии, проводить миграцию (лучевую и Кирхгоффа) по волнам разных типов

(включая обменные) и классов (включая проходные) с учетом анизотропии.

Отдельные результаты работ МВС

Чтобы не сложилось впечатление, что приведенным выше обзором возможностей МВС, кроме слов не стоит, можно показать несколько примеров подобного рода работ. Следует отметить, что таких примеров множество. Достаточно внимательно изучить материалы последних конференций SEG, приблизительно 30% которых демонстрируют результаты комплексирования волн разных типов.

Наиболее полными по опробованным методическим приемам и схемам наблюдений, а также уникальными по сложности поставленной геологической задачи, являются работы в Ставропольском крае. Здесь была отработана технология поиска и локализации трещиноватого коллектора в глинистых (майкопских) отложениях. Глинистый коллектор является наиболее сложным типом коллектора для изучения геофизическими методами. По большинству физических характеристик он ничем не отличается от вмещающих пород, что не позволяет с достаточной степенью надежности выделять его даже по данным ГИС. Для него характерно всегда наличие АВПД, часто относительно пониженная температура, иногда некоторое уменьшение скоростей Р-волн. Современным структурным планом распределения глинистых коллекторов, как правило, не контролируется.

К сожалению в России эти работы не получили продолжения, и новые практические эксперименты по МВС после этого проводятся только в последние 2-3 года. По тем же временам даже в рамках мирового опыта это была уникальная работа по комплексированию монотипных поперечных, продольных и обменных волн, вовлечению в обработку и интерпретацию анизотропных моделей со сложным (ортотропным) типом симметрии, опробованию элементов пространственных схем наблюдения 3D-3C и выходом на решение обратной задачи с оценкой структуры порово-трещинного пространства и его параметров по данным МВС.

Результаты работ МВПС-ВСП, проводившемся на первом этапе работ, позволили выявить следующие закономерности (Рис. 2):

- скорости продольных волн практически не чувствительны к изменению свойств глинистых пород, перспективных для обнаружения нефти;
- скорость поперечных волн в глинистых породах, обогащенных твердой органикой (которые могут быть нефтематеринскими), на 10-15% больше, чем во вмещающих глинистых породах;
- все глины характеризуются высокой степенью аксиальной анизотропии, причем коэффициенты анизотропии в вертикальной плоскости

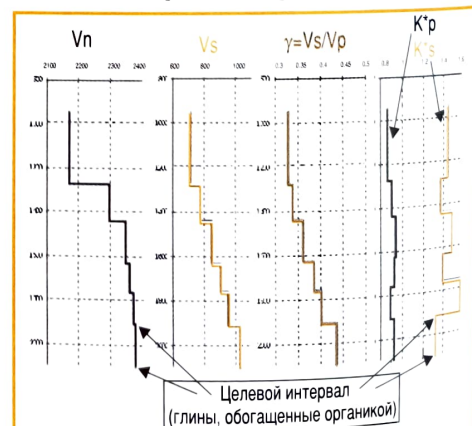
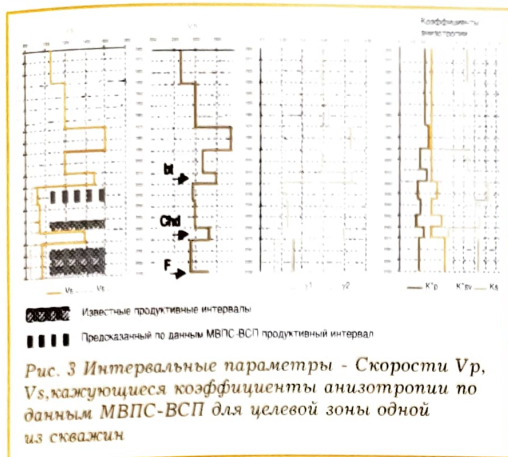


Рис. 2 Интервальные параметры для толстослойной модели глинистых отложений Ставропольского края

могут различаться для разных глинистых слоев на 15-25%;

- для нефтематеринских пород степень аксиальной анизотропии уменьшается,
- для продуктивных интервалов (Рис. 3) скорость поперечных волн ниже, а степень аксиальной анизотропии выше по сравнению с вмещающими глинами. Изменение скоростей поперечных волн достигает 10-15%, тогда как изменение скоростей продольных волн находится в пределах ошибок измерения.



- для продуктивных интервалов обнаружено наличие азимутальной анизотропии, что говорит о возможном наличии для данных отложений вертикальной трещиноватости.

Решение обратной геологической задачи - определение внутренней структуры порового пространства, для продуктивных глинистых интервалов в значительной степени осложнялось отсутствием данных о породной матрице. Поскольку глины сами по себе обладают достаточной анизотропией, параметры матрицы задавались анизотропные как в непродуктивных вмещающих глинах, для которых отсутствуют вертикальные трещины. Результат решения обратной задачи для продуктивных интервалов, приведенных на рис. 3 получился следующий:

Слой 1 - горизонтальные включения $N_{ch}=0.096$; вертикальные трещины $N_{cv}=0.093$; азимут трещиноватости $\theta=325$ N.

Слой 2 - $N_{ch}=0.108$; $N_{cv}=0.068$; $\theta=20$ N.

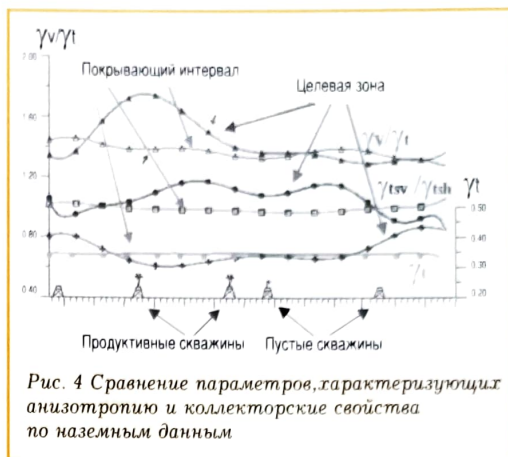
Слой 3 - $N_{ch}=0.108$; $N_{cv}=0.071$; $\theta=40$ N

Слой 1, выделенный по данным МВПС, как перспективный, впоследствии был подвергнут повторным испытаниям. Из этого интервала были получены притоки нефти. Таким образом, специальные работы ВСП в данной ситуации могут дополнять комплекс ГИС и помогать в обнаружении и локализации по разрезу глинистых трещиноватых интервалов, перспективных для обнаружения запасов нефти.

Данные, полученные при работах ВСП, послужили основой для проведения наземных работ МВПС, их обработки и интерпретации. По ним осуществлялась стратиграфическая привязка отражений волн разных типов, их отождествление. После обработки профильных данных по временным разрезам волн разных типов для отождествленных интервалов проводилась оценка и анализ кинематических параметров ($V_{\text{эфф}}$, эффективных и интервальных, $\gamma_{\text{в}}$, их соотношений и т.д. (рис. 4). По профильным данным и работам 3D-ЗС были построены карты соотношений различных параметров волн разных типов. В частности, карта по параметру γ (рис. 5) построена для целевого интервала хадумских и баталпашинских глинистых отложений по данным МВПС. Оранжевый цвет соответствует низким значениям γ (что коррелируется с ослабленными

трещиноватыми зонами в глинистых отложениях). Полученные данные хорошо согласуются с известной продуктивностью скважин. В тоже время был спрогнозирован ряд новых участков, для которых перспективы обнаружения залежи в глинистых отложениях значительны.

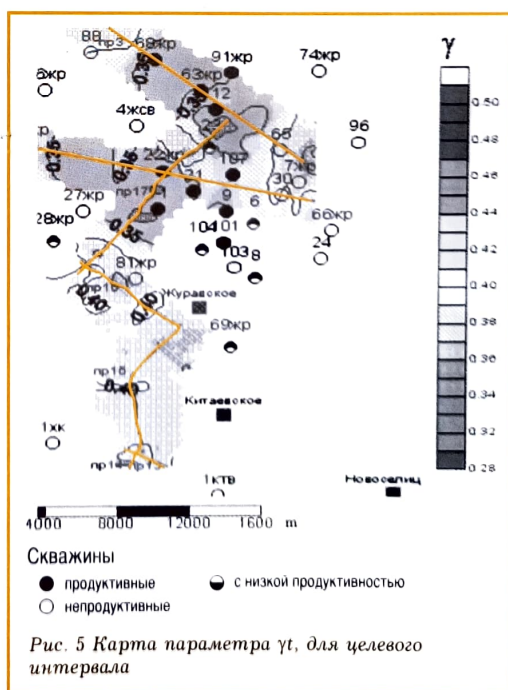
Подчеркнем, что этот пример не нов, технические компоненты выполненных работ не соответствуют современным требованиям, тем не менее, по кругу решенных задач и хорошему подтверждению результатов интерпретации он



занимает достойное место среди результатов практического использования МВС.

Из последних примеров можно привести результаты работ МВС-ВСП на ЮТЗ [7]. Для оценки возможностей поиска и разведки трещиноватых карбонатных коллекторов в вендрийских отложениях Восточной Сибири с помощью МВС и выработки разведочных критериев для данной технологии, в нескольких скважинах в пределах ЮТЗ были проведены работы МВС-ВСП по специальной методике. Кроме того, в целевых интервалах проводился отбор керна с выходом 80%, стандартный комплекс ГИС, пластовая наклонотомия (индукционным и контактным способом) и АКШ.

Результаты обработки и интерпретации данных МВС-ВСП выявили определенные особенности динамических (поляризация) и кинематических (скорости) характеристик волн



МНОГОВОЛНОВАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ТЕОРИЯ

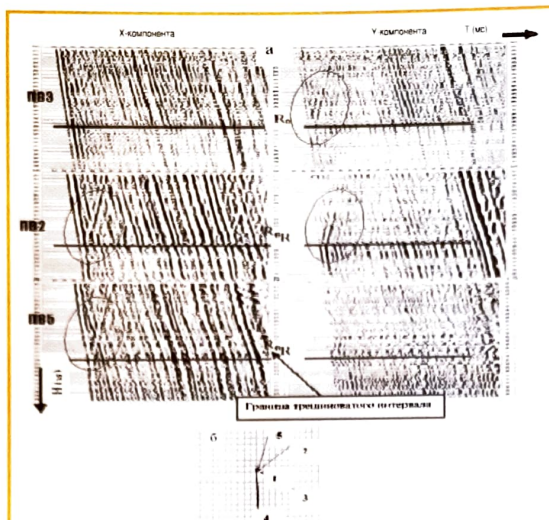
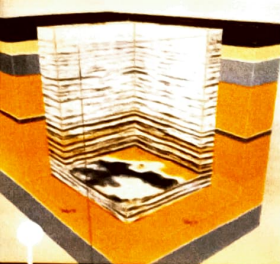


Рис. 6 Локализация по данным ВСП интервалов с субвертикальными трещинами в карбонатном разрезе ЮТЗ - а - сейсмограммы ВСП, б - схема размещения ПВ

разных типов (продольных и поперечных). Это позволило сделать вывод о значимых изменениях этих параметров при измерении их в различных направлениях (лучевых плоскостях и углах подхода волн). Полученные экспериментальные данные ВСП позволили выделить в разрезе трещиноватые объекты на качественном уровне уже на первом этапе обработки (Рис.6). На горизонтальных компонентах волнового поля четко проявляется азимутальная зависимость поляризации отраженной от трещиноватого объекта поперечной волны. При отсутствии азимутальной анизотропии, а значит, субвертикальной трещиноватости с определенной преимущественной ориентацией плоскостей трещин, эта волна была бы поляризована в плоскости ПП-ПВ для каждого ПВ (только на Х компоненте). В данном же случае, не зависимо от ориентации ПВ, она поляризована в направлении ПВ5, что говорит о преимущественной ориентации в этом направлении плоскостей трещин. Анализ волнового поля показал, что при постановке наземных работ МВС на данном объекте, трещиноватость проявится только в определенных лучевых плоскостях (для направления на ПВ5 в плоскости ZX, на ПВ3 в плоскости ZY, на волнах SH). Таким образом, МВС-ВСП позволяет правильно спроектировать наземную систему наблюдений и отождествить трещиноватые объекты по ней.

По характеристикам поляризации проходя-

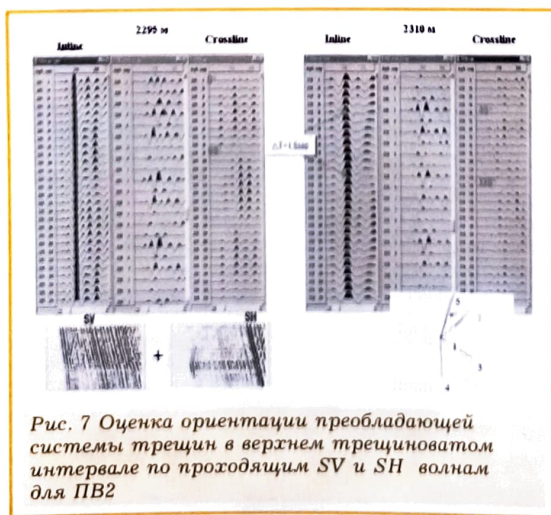


Рис. 7 Оценка ориентации преобладающей системы трещин в верхнем трещиноватом интервале по проходящим SV и SH волнам для ПВ2



Рис. 8 Результаты локализации трещиноватых интервалов, оценки параметров трещиноватости и сопоставления с данными ИПН

щих поперечных волн, можно оценить преимущественную ориентацию систем трещин для различных интервалов (Рис.7), и прогнозируемых коллекторских свойств объекта. Совместный анализ разнополяризованных волн (волны SV и SH, изменение их поляризации и скорости в целевом интервале) с помощью специальных процедур обработки позволяет оценить ориентацию преобладающей системы трещин в каждом интервале и степень трещиноватости. Количественный анализ позволил выделить в едином на первый взгляд интервале два трещиноватых интервала с разными параметрами трещиноватости. В верхнем интервале ориентация преобладающей системы трещин практически совпала с азимутом на ПВ5 (отличие 10°), в нижнем интервале отличается на 40°.

Полученный результат совпадает с данными индукционной пластовой наклонометрии (ИПН) и подтверждается результатами исследования керна (рис.8). На основе исследованных закономерностей можно вывести разведочный критерий обнаружения зон трещиноватости - изменение скоростей волн разных типов в различных направлениях, закономерно связанных с направлениями преимущественной ориентации систем трещин. Выявленные закономерности могут служить основой разрабатываемой методики обнаружения и локализации по разрезу трещиноватых карбонатных коллекторов ЮТЗ с использованием многоволновой сейсморазведки.

Литература

1. Пузырев Н.Н., Зарождение и развитие многоволновой сейсморазведки в России. Возбуждение и регистрация волн. Геология и геофизика. Новосибирск 2003, № 4,5 том 44, сс. 277-285, 465-473
2. Пузырев Н.Н., Бродов Л.Ю., Трегубов А.В. и др., "Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн", Москва, "Недра", 1985, с.274.
3. Бродов Л.Ю., Кузнецов В.М., Лебедева Т.Н. и др., "Рекомендации по методике проведения работ по изучению поляризации и анизотропии". Москва, 1990, с.32.
4. Невский М.В. Квазианизотропия скоростей сейсмических волн, Москва, Наука, 1976, 177с
5. Brodov L.U., and others., Estimating physical parameters of cracked-porous oil reservoirs by inverting shear-wave splitting. Geophys.J.Int. 1991, 107, p. 429-432.
6. L. Brodov, V. Kuznetsov, Interactive three component VSP processing and interpretation., Houston, 2000. Exp. Abstr., 9 Int. Workshop on Seismic Anisotropy
7. Г.А. Шехтман, В.М. Кузнецов, А.С. Ефимов и др., Прогноз микро- и макроструктуры околоскважинного пространства в условиях Юрубченской зоны на основе комплексирования ВСП и пластовой наклонометрии., "Гальперинские чтения-2001" научно-практическая конференция на тему: "ВСП, ГИС и наземная сейсмика совместные наблюдения, обработка и интерпретация" тезисы докладов, Москва 2002г, с 141-146.