



Г. В. Голикова
М. В. Чижова

НИИФИЗИКИ им. В. А. ФОКА, СПбГУ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
НИИФИЗИКИ им. В. А. ФОКА, СПбГУ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ПРИРОДА ВОЛН, ФОРМИРУЕМЫХ В КОЛЛЕКТОРАХ, И ВЫДЕЛЕНИЕ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ РАЗРЕЗА

АННОТАЦИЯ. В настоящей публикации приводится обзор свойств полей интерференционных волн, формируемых в системе слоёв, содержащих коллекторы и разделённых между собой контактами с проскальзыванием. Предлагается методический подход, который заключается в построении сейсмической модели, выполнении численного моделирования и анализе спектрального состава теоретического и экспериментального полей. В процессе интерпретации используется разбиение наблюдаемых спектров на типичные группы, которые могут являться в дальнейшем основой картирования. Получены предварительные данные о возможности опознавания нефтенасыщения и контура месторождения.

ВВЕДЕНИЕ. В последнее десятилетие широкое развитие получило направление обработки и интерпретации сейсмических данных, основанное на использовании специального спектрального анализа волнового поля в коротком временном окне и методики спектральной декомпозиции и инверсии для изображения и картирования временных пластовых мощностей и геологических нарушений по 3D-сейсмическим наблюдениям [5 - 7]. Основные физические положения таких исследований заключаются в том, что по амплитудной и спектральной характеристикам отражённого от слоя сейсмического поля можно получить информацию о временной мощности этого слоя и его физических параметрах. Согласно [5 - 7], применение разработанных технологий спектральной декомпозиции и инверсии позволяет решать ряд важных разведочных задач, в частности, прогнозировать стратиграфию осадочных отложений, картировать погребённые речные русла, конусы выноса, береговые валы и другие флюидонасыщенные объекты, проводить мониторинг разработки месторождения и др. Однако указанные публикации имеют по большей мере рекламный характер, физическое обоснование конкретных процедур даётся в них схематично и упрощённо, и совсем не затрагиваются многие вопросы, связанные с природой и свойствами волнового поля, формируемого в флюидонасыщенных зонах геологического разреза.

G. V. Colikova, M. V. Chizhova. The nature of reservoir waves and identification of fluid saturated intervals.

ABSTRACT. In the present publication the review of properties of the wave field formed in system of layers, containing collectors, and divided among themselves by sliding contacts is discussed. The methodical approach which consists of construction of seismic model, performance of numerical modeling and also from the analysis of spectral structure theoretical and experimental wave fields is offered. During interpretation splitting observational spectra on typical groups which can be in the further a basis mapping is used. Preliminary data about an opportunity of the identification of fluid-saturation and a contour of a deposit are obtained.

В настоящей публикации кратко излагается развитие собственных представлений авторов о природе и особенностях волнового поля, образованного во флюидонасыщенных интервалах разреза, и рассматривается некоторый опыт изучения частотных, амплитудных и поляризационно-динамических характеристик поля с целью их использования для выделения таких интервалов. Наше направление возникло независимо на базе изучения природы волн, формируемых во флюидонасыщенных отложениях и зарегистрированных при трёх компонентных наблюдениях вертикального сейсмического профилирования - ВСП.

На международной геофизической конференции SEG 1995 г. в Санкт-Петербурге, а также в публикациях 1996 г. (журнал "Геофизика", № 5 - 6) были представлены новые результаты о свойствах полей отражённых и преломлённых волн, распространяющихся в осадочных флюидонасыщенных отложениях. На основании многолетней поляризационно-динамической интерпретации сейсмического поля по материалам ВСП из удалённых пунктов взрыва в разрезе, содержащем коллекторы, обнаружено явление существования двух полей. Одно поле представлено чистыми продольными волнами (отражёнными, кратными); другое - обменными волнами, прошедшими тонкие флюидонасыщенные слои со скоростью поперечных волн, а остальную часть - со скоростью про-

дольных волн. Обменные волны по условиям образования, поляриционно-динамическим характеристикам и своей значимости для целей разведки предлагалось выделить в класс особых волн и назвать их аномальными. Совместное существование двух полей, перекрывающих друг друга по времени, приводило к ситуации, когда в изолированном виде аномальные поля не наблюдались. Это порождало неверие в их существование. На первых этапах удалось обнаружить следующие проявления аномальных волн.

- Совместная регистрация двух типов волн приводит к образованию изломанных диаграмм поляризации, связанных главным образом с различной частотой записи указанных типов волн. При выходе из зоны регистрации аномальных волн характер диаграмм поляризации меняется. Они становятся эллиптическими в вертикальной плоскости и линейными - в горизонтальной.
- Зафиксировано образование обменных волн *PS* на подошве коллектора и отражённых *SS* снизу от кровли (коэффициенты отражения 0,3 - 1,0). Для объяснения наблюдаемых коэффициентов отражения была выдвинута гипотеза существования в флюидонасыщенных отложениях контактов с проскальзыванием. Выполненные расчёты коэффициентов отражения - преломления для контактов с проскальзыванием в основном подтвердили наблюдаемые в эксперименте величины [1, 3]. В развитие полученных нами результатов с 1999 по 2004 г. выполнялись исследования по дальнейшему изучению природы аномальных полей, а также их характеристик. Были привлечены данные интерпретации полей ВСП по трём регионам. В каждом из этих регионов обнаруживалось существование аномальных полей. Однако проявления таких полей в общем поле были различными.
- На последующих этапах была предпринята попытка вычитания прямой падающей волны из наблюденного поля ВСП вблизи первых вступлений с целью обнаружения поля аномальных волн под полем прямой волны. Остаток поля отмечался эпизодически в небольших интервалах глубин, отвечающих флюидонасыщенным коллекторам, и состоял преимущественно из поперечных волн и преломлённых типа *SP* [4].
- В дальнейшем существенный результат был зафиксирован при выполнении теоретических расчётов полного волнового поля [2] для моделей среды, отдельные слои в которой имели с вмещающей средой контакты с проскальзыванием. Математическое моделирование показало, что в интервале глубин между двумя контактами с проскальзыванием образуется интенсивное волновое поле, и подтвердило высказанное ранее предположение о возможности образования интерференционного поля в коллекторах [3]. Это позволило окончательно утверждать, что наблюдаемые аномальные волны являются интерференционными. Как показала динамическая обработка полей, зарегистрированных внутри коллекторов, они образуются из обменных *PS*- и поперечных *SS*-волн. Теоретические сейсмограммы, в свою очередь, выявили следующие

их важные признаки: они характеризуются почти постоянной частотой записи и слабым затуханием во времени. Резонансная частота таких волн зависит от мощности слоя и скорости распространения поперечных волн в слое. В целом большой этап исследований, описанный в данном пункте, показал возможность и целесообразность изучения характеристик интерференционных волн для решения некоторых важных практических задач сейсмологии.

- В настоящее время можно констатировать, что мы приблизились к пониманию природы волнового образования, возникающего на выходе объекта, называемого месторождением углеводородов. В работе [3] и других было показано, что коллекторы являются особыми слоями. Внутри них распространяются преимущественно поперечные волны, а при преломлении поперечных волн через границы коллектора в окружающую среду образуются преимущественно (по интенсивности) продольные волны. Границы коллекторов являются природными разделителями волн по поляризации. Продольная волна, которая образовалась в результате преломления интерференционной поперечной волны, например через кровлю коллектора, не является обычной продольной. Она получила неотделимую от неё добавку интерференционной волны, что сказалось на изменении поляризации продольной волны, её скорости и частотной характеристики. Поскольку месторождение представляет собой серию слоёв, среди которых могут быть несколько коллекторов, волновая картина образования отражённой волны от месторождения представляется еще более сложной. Ввиду значимости данного направления исследований для практических целей необходимо дальнейшее теоретическое изучение формирования поля от системы слоёв, разделённых контактами с проскальзыванием. В настоящее время изучение частотных характеристик аномальных волн стало приоритетным, хотя исследование поляризации волн и её интерпретация также представляют большой интерес для решения практических задач. Но для изучения поляризации поля, формируемого в месторождениях, требуются трёхкомпонентные наблюдения на поверхности. Заметим, что во временных интервалах прослеживания аномальных волн происходит искажение параметров основных продольных волн, что создаёт трудности при их обработке и интерпретации. Таким образом, в результате многолетних теоретико-экспериментальных исследований в разрезах, содержащих флюидонасыщенные интервалы, обнаружено неизвестное ранее свойство волновых полей. Оно проявляется в наложении однотипных продольных волн и аномальных обменных, связанных с коллекторами и искажающих стандартную характеристику основного продольного поля. В связи с полученными результатами встаёт вопрос, как можно использовать свойства сложного интерференционного образования для его опознавания, изучения областей флюидонасыщения и определения их внутреннего строения. Сейчас уже выявлены те характеристики аномального поля, которые могут быть

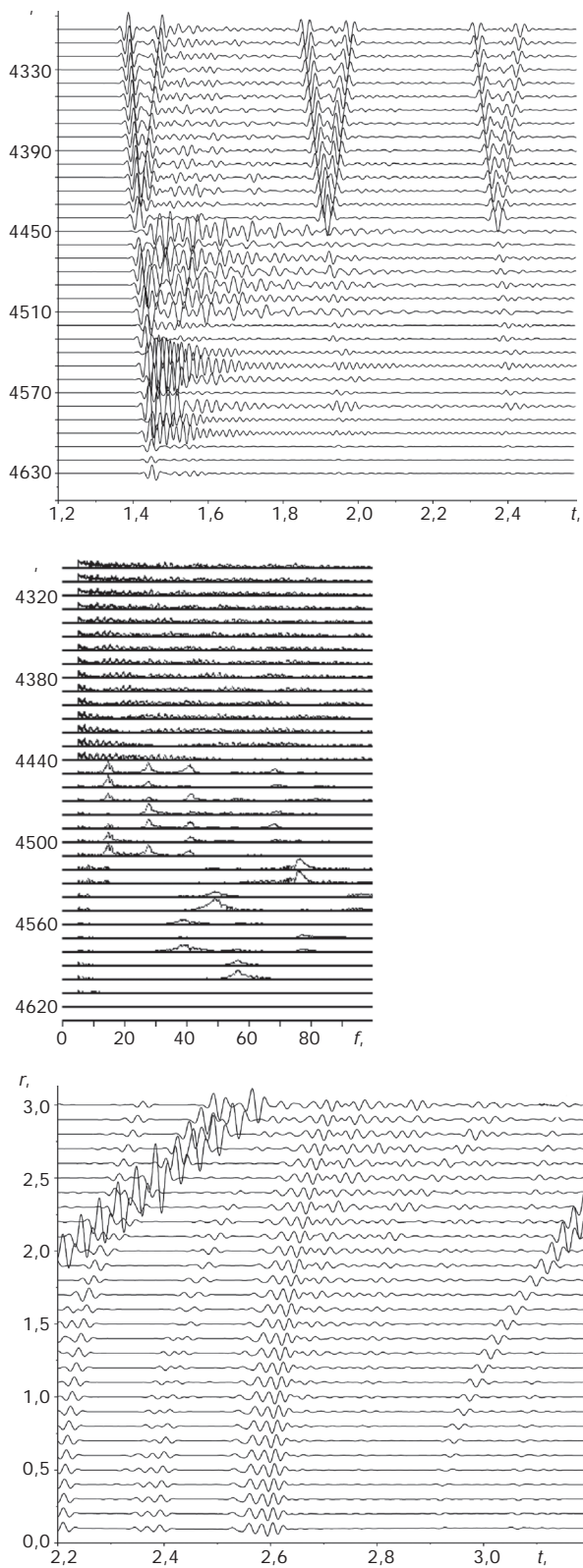


Рис. 2.

должим сопоставление на другом экспериментальном материале.

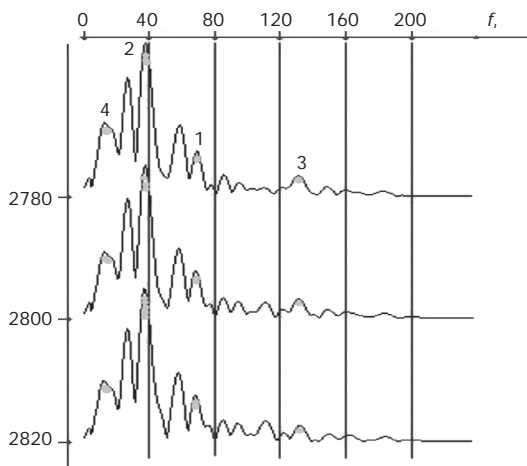
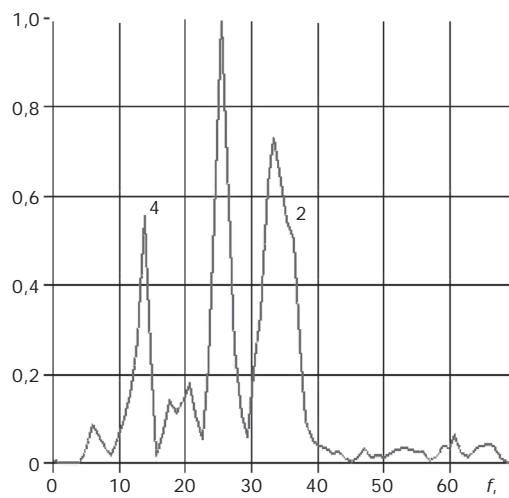
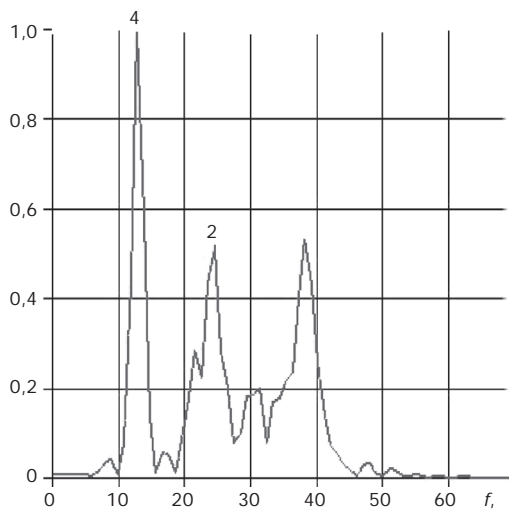
Амплитудные спектры изучаемого поля рассчитывались от годографа вступления волны, отражённой от кровли покрывки в интервале времени 150 - 300 мс, что составляет удвоенное или учетверённое время пробега обменных волн PS внутри слоёв модели месторождения. Именно в этом окне по времени проявляются спектры интерференционных волн. Расчёты выполнялись вдоль всего ствола скважины: по X -компоненте в глубинной части разреза (именно там интерференционные волны образовались) и по Z -компоненте во всей перекрывающей части разреза. На земной поверхности вычисления амплитудных спектров велись по четырём профилям ОПВ, проходящим вблизи скважины для пунктов взрыва. Такой подбор экспериментальных данных проводился специально с целью доказательства того факта, что интересующие нас частоты и форма частотных характеристик прослеживаются не только в скважине, но и на земной поверхности и могут быть проинтерпретированы аналогично и в том, и в другом случае.

На рис. 3 дано сравнение форм спектральных кривых, вычисленных по скважинным записям поля и по полю на земной поверхности. На экспериментальных спектральных кривых легко выделяются и опознаются отмеченные при расчётах резонансные частоты. Здесь же видны кратные гармоники, которые необходимо исключить из процесса интерпретации. За поведением указанных характеристик можно следить по мере удаления от скважины. Форма амплитудных спектров имеет вид биений, отвечающих сумме периодических функций. Каждый экстремум наблюдаемой сложной кривой после исключения возможных кратных отвечает одному слою. Если обозреть всю совокупность полученных амплитудных и фазовых характеристик, то оказывается, что её можно разбить на несколько групп. Внутри каждой группы отмечается относительная стабильность формы спектров: число экстремумов, количественные характеристики экстремумов - частота, амплитуда. Каждая такая группа отвечает разному строению среды, разному типу насыщения и разному типу существующих контактов внутри изучаемого флюидонасыщенного блока.

Описать все наблюдаемые изменения в поле и в частотных характеристиках мы ещё не готовы. Остановимся на основных и значимых особенностях строения среды и соответствующих этим особенностям спектральных и амплитудных характеристиках.

Первая группа изучаемых спектров по числу наблюдаемых экстремумов согласуется со структурой модели. К этой группе были отнесены кривые, имеющие наибольшую относительную интенсивность выделяемых экстремумов. На таких кривых хорошо опознаются все изучаемые коллекторы. На основании многочисленных экспериментальных данных такие спектры (и соответствующие им волны) отвечают водонасыщенным слоям. Пример, соответствующий этому виду спектральных характеристик, приведён на рис. 4.

К второй группе отнесены кривые, на которых наблюдаются спектры уменьшенной амплитуды для первого,



второго и третьего коллекторов. При этом экстремумы на 75 и на 100 Гц зачастую очень слабы и совсем не наблюдаются. По нашему мнению, такие спектры указывают на наличие нефтенасыщения. Заметим, что контакты нефтенасыщенных слоёв с вмещающей средой являются, по-видимому, контактами с частичным проскальзыванием. Возникающее при этом интерференционное поле является более слабым, чем в случае скользящего контакта. Кроме того, можно предположить существование влияния поглощения энергии волн в коллекторах.

Третья группа отвечает изменению строения покрывки. Если в основной модели (см. рис. 1, а) рассматрива-

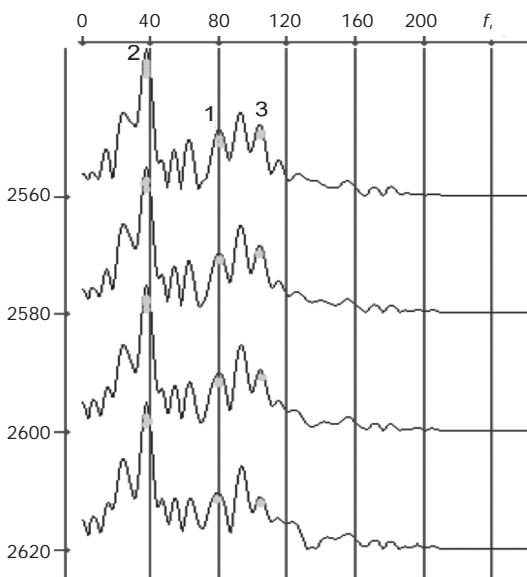
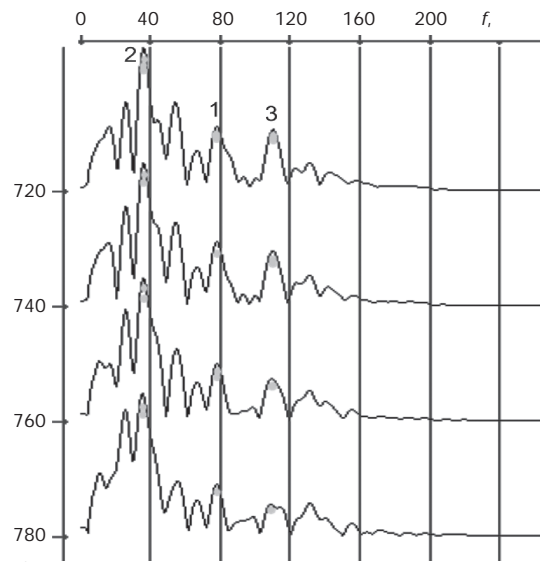


Рис. 3.

Рис. 4.

() : (,)
 (. 1, 2, 3, 4) : (. 1,)

() : (. 1,) ; 1, 2, 3
 Z ; (. 1,)

емая покрывка учитывалась в качестве одного слоя мощностью 65 м, то по особенностям спектральных кривых была рассмотрена двухслойная модель покрывки, что привело к появлению экстремумов на 20 Гц (для первого слоя) и 40 Гц (для второго слоя). Изменение частот, соответствующих двухслойной покрывке, проверилось расчётами.

К четвертой группе отнесены спектры, в форме которых не наблюдаются биения. Это свидетельствует об исчезновении интерференционного поля и, следовательно, об отсутствии флюида. По такой форме спектра можно проводить контур флюидонасыщенного разреза.

Области существования данных групп можно картировать на площади. Очевидно, что описанные результаты интерпретации отвечают некоторому варианту модели, которая может претерпевать изменения в зависимости от конкретного геологического строения площади. В связи с этим представляется необходимым пройти некоторый этап обучения с привлечением дополнительной информации о возможных изменениях реальных моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. В настоящей публикации выполнено обобщение свойств полей интерференционных волн, формируемых в системе флюидонасыщенных слоёв, содержащих коллекторы. Предложено одно из направлений использования интерференционных волн для изучения строения флюидонасыщенных толщ, мощностей слагающих её слоёв и типа флюидонасыщения. Предложен методический подход, связанный с использованием скважинных и наземных наблюдений, построением модели интересующего нас интервала разреза, выполнением численного моделирования и изучением спектрального состава теоретического и экспериментального полей. В рамках данного подхода предлагается использовать в процессе интерпретации разбиение

спектров на некоторые типичные группы, которые могут являться в дальнейшем основой картирования. Всё вышперечисленное вносит вклад в развитие физических основ метода сейсморазведки, расширяет наше понимание процессов распространения волнового поля в реальных средах и имеет большое прикладное значение. Последнее заключается в разработке критериев распознавания нефтенасыщения и построения контура месторождения.

Авторы весьма благодарны главному геологу Нарьян-Маргеофизики Ю. Ф. Иванцову и ведущему геофизику Р. Ф. Мерцши за обсуждение проблемы и за предоставленные экспериментальные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голикова Г. В., Ковтун А. А., Чижова М. В., 1998, Динамические особенности полей отражённых волн в окрестности сейсмических границ в осадочных флюидонасыщенных отложениях: Российский геофизический журнал, **9 - 10**, 100 - 106.
2. Голикова Г. В., Ковтун А. А., Чижова М. В., 2006, Образование интерференционного поля в коллекторе и результаты его интерпретации: Технология сейсморазведки, **2**, 54 - 59.
3. Голикова Г. В., Чижова М. В., 1999, Поле отражённых волн в осадочных флюидонасыщенных отложениях: Геофизика, **3**, 31 - 39.
4. Голикова Г. В., Чижова М. В., 2005, Природа сейсмических волн в осадочных разрезах, содержащих месторождения углеводородов: Российский геофизический журнал, **29 - 30**, 4 - 9.
5. Liu J. and Marfurt K. J., 2007, Instantaneous spectral attributes to detect channels: Geophysics, **72**, **2**, 23 - 31.
6. Partyka G., Gredley J. and Lopez J., 1999, Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization: The Leading Edge, **18**, **3**, 353 - 360.
7. Peyton L., Botjer R., Partyka G., 1998, Interpretation of incised valleys using new 3D seismic techniques: A case history using spectral decomposition and coherency: The Leading Edge, **17**, **9**, 1294 - 1298.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Галина Викторовна ГОЛИКОВА - старший научный сотрудник лаборатории динамики упругих сред НИИфизики СПбГУ, кандидат физ.-мат. наук.

Марианна Владимировна ЧИЖОВА - старший научный сотрудник лаборатории динамики упругих сред НИИфизики СПбГУ, кандидат физ.-мат. наук.