

К вопросу совершенствования технологий сейсморазведки при изучении глубокозалегающих сложнопостроенных нефтегазоперспективных объектов

Куколенко О.В., Селезнев В.А., ФГУП «НВНИИГТ» г. Саратов

На протяжении длительного времени, начиная с 70-х годов прошлого столетия, при выполнении региональных, поисковых, детальных сейсморазведочных работ с регистрацией отраженных продольных волн (РР) широко (практически повсеместно) используется метод ОГТ – 2D. До настоящего времени эта методика существенных изменений не претерпела. Внедрены наиболее оптимальные источники возбуждения сейсмических колебаний – как импульсные (взрывного и невзрывного типов), так и вибрационные, оптимальные для соответствующих сейсмогеологических условий виды группирования вертикальных сейсмоприемников, увеличены разности источник-приемник. Все эти методические приемы способствовали повышению эффективности МОГТ.

Вместе с тем, в системах наблюдения по ОГТ по-прежнему используются вертикальные сейсмоприемники, которые обладают круговой характеристикой направленности. Поэтому на сеймограммах регистрируется большой фон разного рода помех: обменного и поперечного типов, боковые волны в условиях выраженной соляно-купольной тектоники, и др. Особое место занимают помехи частично-кратного типа, волны-спутники, сопровождающие сейсмический импульс, снижающие динамическую разрешенность сейсмической записи, а также соотношение сигнал-помеха.

Несмотря на развитую технологию обработки сейсморазведочных материалов с использованием современных программных комплексов, существенно ослабить такой тип помех не представляется возможным. Поскольку эти помехи по кинематике совпадают с полезными отражениями, то принцип их ослабления по расхождению кинематических характеристик, заложенный в обрабатывающих программах, не работает. То есть в данном случае селекция волн по кинематическому признаку не может быть реализована.

Рассматриваемый тип помех может быть ослаблен при использовании поляризационных характеристик волн. Исследования по изучению характера смещения частиц среды при регистрации сейсмических колебаний на дневной поверхности, выполненные НВНИИГТ в 90-е годы, показали, что:

- большинство регистрируемых волн интерференционны;
- волны-спутники, сопровождающие полезный импульс отраженной волны, увеличивая его длительность, отличаются по поляризации.

В это же время был обоснован высоконаправленный прием сейсмических колебаний по признаку поляризации (ВП) [5,6]. Для его реализации использована двухкомпонентная установка наклоненных и противоположно направленных сейсмоприемников.

Суть высоконаправленного приема по признаку поляризации заключается в выделении линейно поляризованной части сейсмического колебания и в ослаблении или устранении



нелинейной (расфазированной) части этого колебания. В итоге, регистрируемые импульсы отраженных волн укорачиваются, а сейсмическая запись в целом становится динамически более разрешенной, повышается соотношение сигнал/помеха, частично возрастает временная разрешенность. Все это реализуется в процессе обработки и преобразования двухкомпонентных записей. Преобразования могут быть направлены на выделение поля продольных волн (РР) или волн поперечного типа (PS, S).

Высоконаправленный прием волн по признаку поляризации (ВП) был реализован в системе наблюдения по ОГТ. Была также обоснована новая технология: высоконаправленная поляризационная модификация ОГТ (ВП ОГТ) [7].

Разработанная конструкция азимутальной платформы включает два установленных на ней компонента (Ik, Ik). Каждый компонент представлен группой наклоненных сейсмоприемников, разнесенных по азимуту относительно друг друга на 30°. 5 сейсмоприемников охватывают сектор 120°. На конструкцию азимутальной установки (АМУС) Центральным сертификационным органом системы сертификации геофизической продукции Госстандарта РФ» выдан «Сертификат соответствия». Угол наклона сейсмоприемников относительно горизонта составляет 35°20'. Выбор оптимального угла наклона для конкретных сейсмогеологических условий осуществляется в процессе обработки путем пересчета двух компонент на другой угол.

Азимутальная платформа в определенной степени универсальна. При установке сейс-

СУПЕРВАЙЗИНГ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

моприемников в сегменты, разнесенные по азимуту на 120° при угле наклона к горизонту $35^\circ 20'$, может быть сформирована симметричная ортогональная 3-х компонентная установка (I, II, III) с одиночными сейсмоприемниками (вариант предложен Гальпериным Е.И.) [3]. Отметим, что все модификации ОГТ с использованием вертикальных сейсмоприемников мы рассматриваем как стандартную модификацию ОГТ.

Технология работ в поле при ВП ОГТ отличается от стандартной методики ОГТ тем, что при полевых работах используются две параллельные сейсмокоды: одна - для подключения I-го компонента азимутальной установки сейсмоприемников, другая - для подключения II-го компонента. При ВП ОГТ могут быть использованы любые источники возбуждения продольных волн. Что касается ориентации азимутальных установок, то линия профиля должна совпадать с линией, проходящей через центральные сегменты (сейсмоприемники) I, II компонентов.

ВП ОГТ прошло опытное опробование в различных сейсмогеологических условиях Поволжского региона на территориях: Оренбургского вала, Бузулукской впадины, Каменско-Золотовского участка, Прикаспийской впадины. Результаты, полученные на всех участках на продольных волнах (PP), свидетельствуют о большей эффективности предложенной методики по сравнению со стандартной методикой ОГТ [7].

С целью решения геологических задач за последние 5 лет по ВП ОГТ в сложных сейсмогеологических условиях выполнены производственные работы в объеме более 1200 п.км. Работы выполнялись в основном с ориентацией на выделение и использование продольных волн.

В условиях Старополья решалась задача изучения внутреннего строения палеозойского фундамента, с одновременной регистрацией и сравнительной оценкой данных стандартного ОГТ и ВП ОГТ. На рис. 1 приведены фрагменты временных разрезов по профилю Ха для стандартного ОГТ (рис. 1А) и ВП ОГТ (рис. 1Б). При обработке регионального профиля Ха в обеих модификациях использованы одинаковые системы наблюдения по ОГТ - фланговая расстановка сейсмоприемников $X_{\max} = 6.0$ км, $k = 60$, вибрационный источник - ЛЧМ свип-сигнал. При стандартной модификации ОГТ использованы группы вертикальных сейсмоприемников GS-20DX, при ВП ОГТ - двухкомпонентные азимутальные установки сейсмоприемников GS-20DX-1.

Сравнительная оценка временных разрезов показывает следующее.

Волновое поле на временном разрезе ВП ОГТ, освещающее толщу палеозойского фундамента, более просветленное, динамически более выраженное, чем на разрезе стандартного ОГТ. Здесь выделяются куполовидные

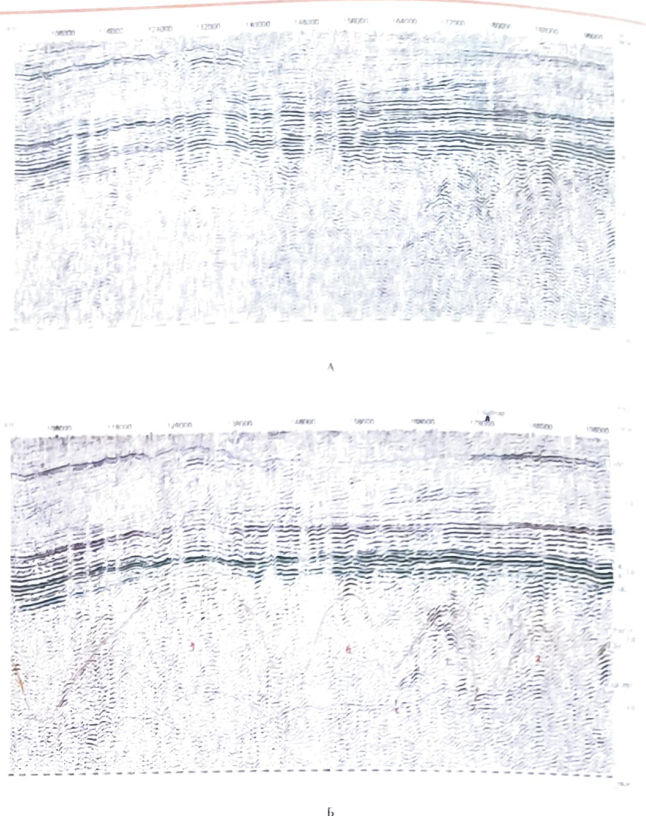


Рис. 1 Характер волновых полей, отображающих внутреннее строение палеозойского фундамента по профилю Ха на территории Ставропольского края: А- временной разрез стандартного ОГТ, $\Sigma 60$; Б- временной разрез ВП ОГТ, $\Sigma 60$.

структуры, в основании которых прослеживается относительно пологий горизонт с отображением надвигов и нарушений (рис. 1Б). Волновое поле стандартного ОГТ, освещающее палеозойский комплекс, чрезмерно заинтерферировано остаточным фоном помех, на котором можно выделить только структуры 7, 8, отображаемые наиболее сильными отражениями. Пологое подстилающее основание структур выделить практически невозможно. В условиях слабой дифференциации акустических жесткостей границы толщи фундамента за счет ослабления определенного класса помех при ВП ОГТ удается выделить слабые сигналы от границ этой толщи.

Модель строения палеозойского фундамента подтверждена двумя параллельными региональными профилями IXa, XIIIa, обработанными по ВП ОГТ. В результате, на территории Ставропольского края впервые получены сейсмические данные, по которым составлено новое представление о модели строения палеозойского фундамента - складчато-надвиговая модель строения. По результатам работ ОГТ прошлых лет на данной территории модель строения фундамента представлялась сильно дислоцированной средой, пронизанной хаотичными интрузивными образованиями.

В условиях развитой солянокупольной тектоники внутренней части бортовой зоны Прикаспийской впадины (Озинская зона, Саратовская область) в прошлые 70-80 годы был выполнен достаточно большой объем сейсморазведочных работ по стандартной методике ОГТ, но значимых подсоловых структур



СУПЕРВАЙЗИНГ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

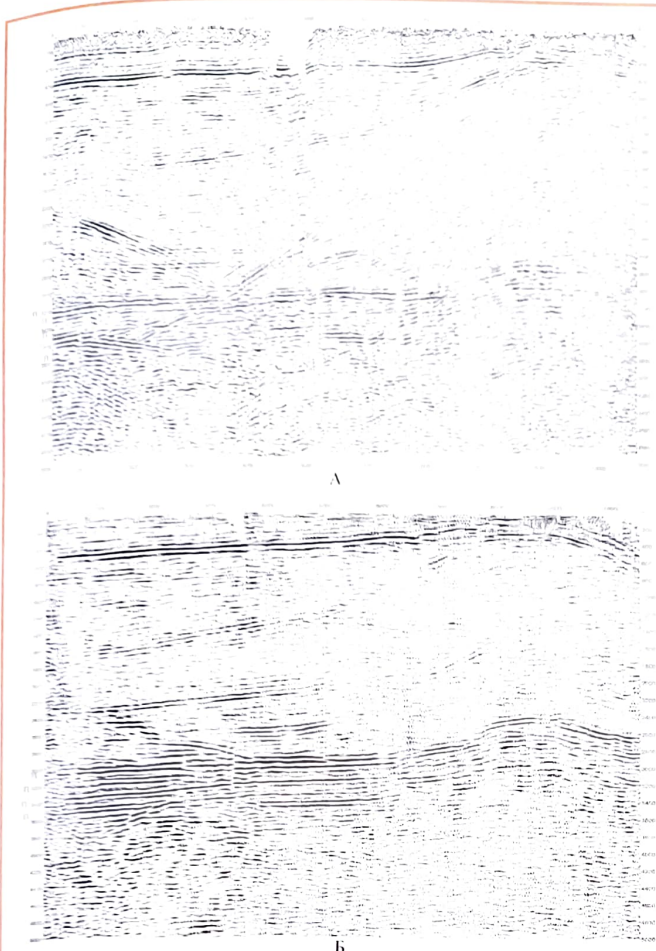


Рис. 2 Сравнительная оценка волновых полей для условий с развитой солянокупольной тектоникой (Озинская зона, Саратовская область)
А- Временный разрез стандартного ОГТ, профиль 30986-8, (скважинный источник);
Б- Временный разрез ВПОГТ, профиль 006/1-0605-4 (вибрационный источник).

не выявлено. В 2006 году на этой территории поставлены работы ВП ОГТ по ряду профилей, которые позволили повысить качество временных разрезов. В частности, на временных разрезах ВП ОГТ заметно ослаблен уровень боковых и дифрагированных волн, выделяемых на временных разрезах стандартного ОГТ (профиль 30986-8, рис. 2А) и осложняющих прослеживание подсолевых горизонтов. По профилю 006/1-0605-4 на временном разрезе ВП ОГТ (рис. 2Б) все типы упомянутых выше волн-помех существенно ослаблены, качество прослеживаемости подсолевых горизонтов возросло. Линии профилей практически совпадают. Так ПК-1300 профиля 30986-8 совпадает с ПК-0 профиля 006/1-0605-4. Еще один пример, который характеризует качество выделения по данной территории надсолевых и подсолевых горизонтов на временных разрезах в пределах соляного купола на взаимно пересекающихся профилях под углом 15°: 011097-6, отработанного стандартной методикой ОГТ (рис. 3 А) и 006/1-0605-1, отработанного ВП ОГТ (рис. 3Б), (ПК-0 профиля 011097-6 соответствует ПК-6000 профиля 006/1-0605-1). Сравнительная оценка показывает, что преимущество волнового поля временного разреза ВП ОГТ очевидно.

В итоге работ по ВП ОГТ на данной территории по серии профилей с использованием наиболее информативных временных разре-

зов стандартного ОГТ выделена достаточно крупная Озинская структура по подсолевым отложениям.

Несмотря на положительные результаты внедрения ВП ОГТ, технология выполнения работ требует совершенствования. Использование сейсмостанции «Прогресс – 3» могло бы способствовать сокращению кабельного оборудования, поскольку к трехканальному полевому модулю данной сейсмостанции можно подключить три компоненты: вертикальный сейсмоприемник, устанавливаемый в центре азимутальной установки (АМУС), и компоненты наклоненных сейсмоприемников I, II. Этот технологический вариант позволит одновременно получить информацию на продольных (РР) волнах вертикальным сейсмоприемником (Зк.) и по высоконаправленному приему (ВП), оценить уровень сложных волн – помех, более эффективно их ослабить, повысить качество волнового поля полезной информации. Кроме того, этот технологический вариант предусматривает выделение по ВП волн поперечного типа (обменных волн PS).

Технология полевых работ еще более упростилась бы при создании трехканальных блоков бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы (БТСС)). Одноканальный вариант БТСС, разработанный ОАО «Саратовским СКБ сейсмического приборостроения», прошел полевые испытания (2010 г.) в Озинской зоне (отработано 123 п.км профилей), которые продемонстрировали работоспособность этой системы сбора данных, ее эффективность и перспективность.

Из зарубежных публикаций просматривается тенденция развития технологий сейсморазведки в направлении применения трехкомпонентных установок Z,X,Y с одиночными сейсмоприемниками и совместного использования волн продольного (P) и поперечного (S) типов.

В статье Пола Брэтвуда [13] обсуждается новое направление – многоволновое отображение. Статья носит рекламный характер. На базе использования трехкомпонентных установок Z,X,Y в едином корпусе, оснащенных цифровыми одиночными акселерометрами – Vector Seis (разработка компании Input/Output [4]), перечисляются возможности совместного использования продольных (P) и поперечных (S) волн: определение коллекторских свойств пород, изображение газонасыщенных толщ, определение типов флюида, идентификации литологических изменений пород и др. Под поперечным типом волн понимаются обменные отраженные волны. К сожалению, данные возможности использования P и S волн в статье не подкрепляются какими-либо конкретными результатами. Не продемонстрирована

эффективность выделения волн поперечного типа (обменных PS волн).

Из данной статьи можно сделать вывод лишь о том, что в свете развития моговолновой сейсморазведки целесообразно использование трехкомпонентных установок с одиночными сейсмоприемниками, а при совместном использовании Р и S волн необходимо ориентироваться на обменные (PS) волны.

По неофициальным данным в результате применения датчиков Vector Seis на территориях РФ существенного прироста сейсмической информации не получено.

В СССР и России вопросами моговолновой сейсморазведки (МВС) начали заниматься с 50-х годов прошлого столетия. Но, несмотря на большие возможности МВС по изучению внутреннего состояния пород: вещественного состава, коллекторских свойств, флюидонасыщения и др. с раскрытием приемов возбуждения, регистрации и особенностей обработки материалов разнотипных волн, до настоящего времени широкого практического применения МВС не получила.

На начальном этапе геофизиками СО АН СССР, работавшими под руководством Пузырева Н.И., и его последователями большое внимание уделялось использованию поперечных волн SH типа [8-11]. Разрабатывались источники взрывного и невзрывного типа по возбуждению и регистрации SH волн. Был выполнен большой объем опытных работ, но широкого применения этот тип волн не получил. В дальнейшем, рядом специалистов под руководством Гальперина Е.И., Бродова Л.Ю. и др. вопросы применения волн поперечного типа ставились шире, в частности, проводились исследования по использованию волн SV типа и обменных волн PS [1-3, 8].

На наш взгляд использование поперечных волн SH типа при изучении глубоких горизонтов малоперспективно по причине их быстрого затухания с глубиной и необходимости применения специальных источников, которые либо громоздки, либо недостаточно эффективны. Этот тип волн целесообразно использовать при изучении ВЧР или неглубоко залегающих отражающих горизонтов.

При изучении глубоких горизонтов целесообразнее использовать обменные отраженные волны PS типа. Возбуждение PS волн не требует специальных источников, их регистрация возможна от любого типа источника возбуждения продольных волн. До границы отражения распространяется продольная (Р) волна, испытывая меньшее поглощение, на границе отражение претерпевает обмен на (S) волну, которая в таком качестве восходит к дневной поверхности. При этом, чем больше угол падения в интервале углов 0° - 45° на отражающую поверхность, тем интенсивнее

образуется S волна.

ВП ОГТ, как поляризационная модификация ОГТ, предназначена для эффективной регистрации как продольных (PP), так и обменных волн (PS). Однако основной упор в применении ВП ОГТ сделан на эффективное выделение и использование PP волн для решения геологических задач. Использование одновременно PP и PS вызывает большие трудности.

В зарубежных публикациях использование PS волн рассматривается как само собой разумеющееся. Никакие сложности в получении информации по PS волнам во внимание не принимаются, а примеры совместного использования Р и PS приводятся для простых моделей сред с небольшими глубинами залегания. В нашем опыте применения ВП ОГТ получить временной разрез PS представилось возможным только по профилю 029501 в Каменско-Золотовской зоне (Саратовское Правобережье) при глубинах залегания фундамента ≈ 4 км. Были выделены аномальные зоны (типа «Риф») по волновым полям Р и PS волн и пониженным значениям $\gamma = V_S/V_P$ (V_S и V_P скорости соответственно S и P волн) [7]. При этом были использованы нетрадиционные приемы обработки PS волн и составления временного разреза. На других территориях с более сложным строением изучаемых объектов (Ставрополье, Прикаспийская впадина и др.) сходу получить качественную информацию по PS волнам не пред-



Рис. 3 Характер волновых полей, в зоне выделения соляного купола (Озинская зона, Саратовская область)
А- временной разрез стандартного ОГТ, $\Sigma 60$, (вибрационный источник) по профилю 011097-6;
Б- временной разрез ВП ОГТ, $\Sigma 60$, (вибрационный источник) по профилю 006/1-0605-1.

ставилось возможным.

Одной из возможных причин неудачи - это использование вибрационных, а не импульсных источников. Для успешного использования PS волн необходим целый комплекс исследований и опытных работ.

Среди вопросов, которые нуждаются в проработке, можно назвать следующие:

- приемы регистрации S волн при изучении ЗМС (ВЧР) и получения статических поправок по поперечным волнам;
- учет асимметрии луча PS волн и суммирования PS волн по общим точкам обмена в процессе составления временных разрезов, создание соответствующего матобеспечения;
- выработка приемов отождествления горизонтов по P и PS волнам, связываемых с одной и той же границей раздела;
- выработка приемов ослабления поверхностных волн, которые на сейсмограммах PS волн значительно интенсивнее, а диапазоном их кажущихся скоростей шире;
- приемы ослабления поперечных волн SV типа на сейсмограммах PS волн.

При работах ВСП (при непродольном профилировании) можно и нужно получать информацию о скоростях по S волнам.

Без успешного решения вышеперечисленных проблем, надеяться на широкое применение PS волн совместно с PP волнами нет никаких оснований.

Применение цифровых датчиков типа Vector Seis едва ли позволит повысить информационность разрезов продольных, а тем более обменных волн. Учитывая их высокую стоимость, перспектива их широкого применения не велика.

По мнению авторов, на данном этапе развития многоволновой сейсморазведки наиболее оптимальным вариантом является использование азимутальной платформы АМУС, которая обеспечивает высоконаправленный прием волн продольного и поперечного типа. Для получения надежной информации по PS волнам необходимо решить выше поставленные вопросы, которые не связаны с точностью регистрации трехкомпонентных записей.

В перспективе азимутальная многокомпонентная установка сейсмоприемников (АМУС) может быть модернизирована:

- уменьшены габариты платформы;
- на ее базе сформирована трехкомпонентная симметричная установка I,II,III с одиначными сейсмоприемниками (все компоненты этой установки ортогональны, но все они составляют с горизонтом угол $35^{\circ}20'$);
- симметричная трехкомпонентная установка могла бы быть оснащена пьезоэлектрическими датчиками и при использовании современных бескабельных технологий регистрации сейсмоданных могла бы быть реализована передача сигнала в цифровом виде;
- пьезодатчики могут быть разработаны и изготовлены ОАО «Саратовского КБ сейсмического приборостроения» (такой опыт у КБ имеется).

В таком виде трехкомпонентная установка могла бы стать альтернативой Vector Seis, причем в отличие от Vector Seis при применении азимутальной установки I,II,III может быть реализован высоконаправленный прием про-

дольных и обменных волн.

К сожалению, в последние годы научно-исследовательские и опытные работы практически не финансируются госбюджетом.

Для решения наиболее важных вопросов, связанных с эффективным использованием волн продольного и поперечного типов, была бы целесообразна постановка исследовательских и опытных работ по данному направлению как часть работ в рамках контрактов «Роснедра» на геологоразведочные работы. В противном случае, так и будем пользоваться дорогостоящими зарубежными образцами, далеко не идеальными по возможностям решения сложных геологических задач.

Литература:

1. Бродов Л. Ю. Некоторые вопросы возбуждения поперечных волн. - В кн.: Поперечные и обменные волны в сейсморазведке. М., «Недра», 1976, с. 81-89 с ил.
2. Гальперин Е. И. Вертикальное сейсмическое профилирование. М., изд-во «Недра», 1971.
3. Гальперин Е. И. Поляризационный метод сейсмических исследований. М., «Недра», 1977.
4. Жгенти С. А., Смирнов Д. Н. Новейшее оборудование INPUT/OUTPUT делает наземную 3-х компонентную сейсморазведку высокопроизводительной и надежной. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, №03(05), 2003.
5. Куколенко О.В. Патент СССР № 1329410. Способ регистрации сейсмических колебаний/ Бюл. № 29, 1987 г.
6. Куколенко О. В. Обоснование высоконаправленного приема волн по признаку поляризации. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, №03(05), 2003.
7. Куколенко О. В., Живодров В. А., Селезнев В. А., Резепова О. П. Технология работ по высоконаправленной поляризационной модификации ОГТ (ВП ОГТ). Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, №03(05), 2003.
8. Пузырев Н. Н., Бродов Л. Ю. Оценка эффективности возбуждения поперечных волн. - «Геология и геофизика», 1969, №5, с. 81-88 с ил.
9. Пузырев Н. Н., Кефели А. С., Лебедев К. А. Возбуждение поперечных волн в скважинах. - «Геология и геофизика», 1968, №10, с. 82-92 с ил.
10. Пузырев Н. Н., Тригубов А. В., Бродов Л. Ю., и др. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн. - М.: Недра, 1985.
11. Пузырев Н. Н., Тригубов А. В., Лебедева Г. Н. Трехкомпонентная регистрация сейсмических волн различных типов от симметричных и несимметричных источников. - В кн.: Экспериментальные и теоретические исследования отраженных волн. Новосибирск, «Наука», 1975, с. 5-28 с ил.
12. Denis Mougnot 3C Акселерометры на базе MEMS для Наземной сейсмической Разведки. Пришло ли их время? Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, №03(05), 2003.
13. Пол Брэтвуд Многоволновое изображение. Шаг к исчерпывающему отображению среды (www.iongeo.com)

СУПЕРВАЙЗИНГ В РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ