

Обоснование высоконаправленного приема волн по признаку поляризации

Куколенко О.В., ГУФП "НВНИИГГ", г. Саратов

Эффективность сейсморазведки при решении любых геологических задач в значительной степени определяют два важных показателя: входное (на первичных сейсмических записях) соотношение сигнал/помеха и разрешенность записи.

Для повышения этих показателей в практике сейсморазведки используются интерференционные системы 2-го, различные средства, обеспечивающие расширение спектра сигнала.

Использование интерференционных систем 2-го рода, осуществляющих селекцию волн по направлению фронта волны (по кажущейся скорости V^*), с целью увеличения соотношения сигнал/помеха в настоящей момент достигло определенной степени предела. Более того, в силу своей ограниченности они практически не эффективны при разделении волн с близкими кинематическими характеристиками, способствуют повышению интерференционности волнового поля, а следовательно снижению его разрешения. Различные средства, применяемые в сейсморазведке для повышения разрешения волнового поля, в основном ориентированы на наполнение спектра сигнала высокочастотными составляющими и также не всегда достигают необходимого эффекта. Это связано с тем, что в значительной части случаев слабое разрешение волнового поля (его низкочастотность) объясняются не столько потерей высокочастотных составляющих спектра сигнала в процессе его распространения, сколько интерференций волн с близкими кинематическими характеристиками [1].

Вместе с тем, в массовой практике сейсморазведки слабо используются интерференционные системы I-го рода, осуществляющие селекцию волн по признаку поляризации (по направлению преобладающих векторов смещения частиц среды) т.е. практически опускается важнейший параметр волнового поля - поляризация волн.

Применение известных интерференционных систем I-го рода: вертикальных и горизонтальных сейсмоприемников [2,3] или трехкомпонентных симметричных азимутальных установок сейсмоприемников [3] для регистрации продольных и обменных (или поперечных) волн - не обеспечивает необходимого ослабления помех при выделении продольных волн, а также не дает существенного ослабления помех, в том числе остаточного фона продольных волн при выделении обменных (поперечных) волн.

Попытка исследователей под руководством Гальперина Е.И. [2] реализовать высоконаправленную систему I-го рода в наземном варианте РНП I рода к настоящему времени по ряду причин не позволила достичь желаемых результатов, и работы в этом направлении пошли на спад [3,4].

В то же время, само направление исследований по-прежнему представляется актуальным и перспективным. Исследовательские работы Нижне-Волжского НИИГГ по использованию поляризации волн подтвердили

перспективность данного направления, позволили на базе теоретических и экспериментальных данных обосновать новый способ регистрации сейсмических колебаний (патент №1329410 [5]). Показана возможность эффективного высоконаправленного приема по признаку поляризации волн (ВП).

Известно, что диаграмма направленности одиночного (или группы в точке) электродинамического сейсмоприемника представляет собой две окружности соприкасающихся в начале координат (рис.1). Для вертикального сейсмоприемника максимальная чувствительность диаграммы соответствуют оси Z, для горизонтального - оси X.

В связи с этим одиночные сейсмоприемники (или их группа с нулевой базой) обладают невысокими направленными свойствами. Например, вертикальный (горизонтальный) сейсмоприемник регистрирует сейсмические колебания достаточной интенсивности с широким веером

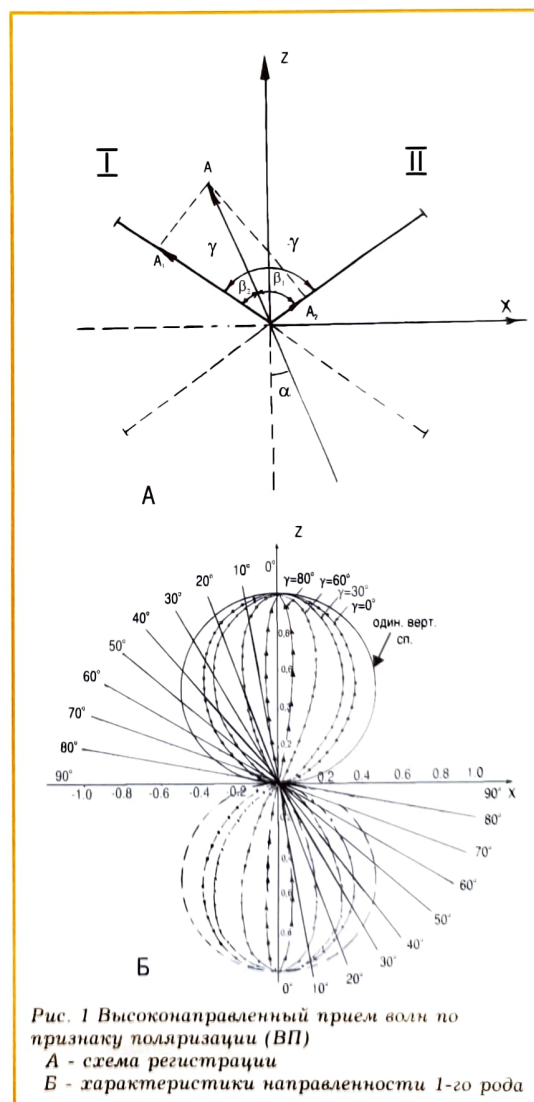
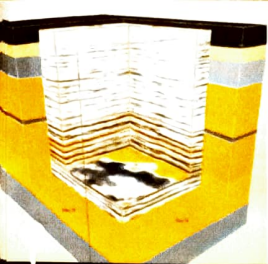


Рис. 1. Высокнаправленный прием волн по признаку поляризации (ВП)
А - схема регистрации
Б - характеристики направленности 1-го рода

МНОГОВОЛНОВАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА
ТЕОРИЯ



Многоволновая сейсморазведка ТЕОРИЯ

векторов смещения* вплоть до направлений (α , рис.1а) близких к горизонтали (вертикали). В результате на сейсмозаписях Z-компоненты (X-компоненты) наблюдается значительный фон волн поперечного (продольного) типа, направления векторов которых существенно отличаются от вертикали (горизонтали).

Теоретические расчеты показывают, что одновременная регистрация сейсмических колебаний сейсмоприемниками на I и II компонентах под некоторым углом γ к вертикали (рис.1а) и соответствующее преобразования составляющих на этих компонентах позволяет реализовать высоконаправленный прием I рода и получить характеристику направленности I рода с более высокими направленными свойствами по сравнению с характеристикой одиночного сейсмоприемника (рис.1б).

На рис.1б представлена серия диаграмм направленности для одиночного сейсмоприемника и системы высоконаправленного приема при разных значениях γ . Характеристики направленности (рис.1б) для разных углов γ рассчитаны по формуле:

$$H = \frac{A\alpha}{A_{\max}} = \frac{\cos 2\gamma + \cos 2\alpha}{2 \cos^2 \gamma}$$

для углов, удовлетворяющих неравенствам
 $-(90 - \gamma) \leq \alpha \leq (90 - \gamma)$
 $-(90 + \gamma) \leq \alpha \leq (90 + \gamma)$, где

α - угол, составленный вектором смещения и вертикалью,

γ - угол, составленный направлением компонент регистрации (I, II) и вертикалью,

A и $A_{\max}$ - амплитуды векторов смещения соответственно для текущего угла α и $\alpha = 0$.

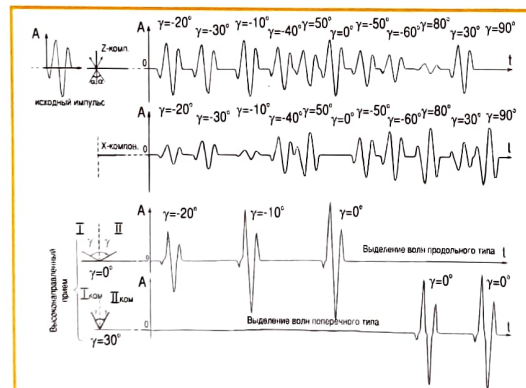


Рис. 2 Выделение полезных волн продольного и поперечного типа при высоконаправленном приеме (ВП)

Из рисунка 1б следует, чем больше величина γ , тем уже лепесток диаграммы направленности, тем больше векторов смещения не попадают в область максимальной чувствительности системы, а значит ослабевают, то есть осуществляются эффективная селекция волн по направлению векторов смещения (α). Для наилучшего выделения волн продольного типа система регистрации I, II должна быть ориентирована относительно оси Z (рис.1а), для наилучшего выделения волн поперечного типа система

*сейсмоприемник электродинамического типа регистрирует первую производную (скорость) смещения частиц среды, но для простоты последующего изложения будем употреблять просто слово "смещение"

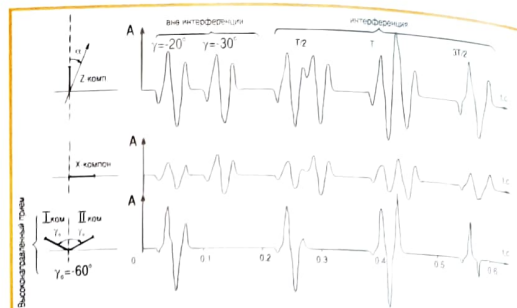


Рис. 3 Выделение полезного сигнала в условиях его интерференции с помехой при высоконаправленном приеме (ВП)

должна быть ориентирована относительно оси X, т.е. развернута на 90 по отношению к системе на рис. 1а.

Для оценки эффективности предлагаемого способа проведена серия теоретических расчетов на базе моделирования.

В качестве примера представлены результаты моделирования регистрации волн с разными направлениями векторов смещения на Z и X компонентах и по высоконаправленному приему в условиях отсутствия интерференции (по времени) импульсов разнотипных волн.

При моделировании предполагалось, что полезные волны продольного типа соответствуют $\alpha = 0^\circ, -20^\circ, -30^\circ$, поперечного типа $\alpha = 80^\circ, 90^\circ$ для всех остальных α волны рассматривались как помехи. Результаты расчетов представлены на рис.2.

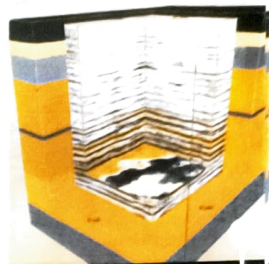
Аналогичные расчеты проведены для более сложного случая - интерференции во времени соседних импульсов для $\alpha = -20^\circ$ и -30° с наложением последнего на первый в полпериода ($T/2$), периода (T), полтора периода ($3T/2$) для волн продольного типа. При этом предполагалось, что полезная волна соответствует $\alpha = -20^\circ$, помеха $\alpha = -30^\circ$ (рис.3).

Рассмотрение данных на рис. 2,3 показывает следующее.

В первом случае на Z и X компонентах волны как продольного, так и поперечного типа имеют достаточную составляющую на обеих компонентах за исключением волн для $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 90^\circ$, имеющих нулевые составляющие, соответственно на X и Z компонентах. Импульсы для всех промежуточных α имеют достаточно большую составляющую и на Z, и на X компоненте как для волн продольного, так и поперечного типа, с некоторым превышением продольного типа волн на Z компоненте, поперечного типа - на X компоненте. В итоге, селекция волн по направлению вектора смещения недостаточно эффективна, как на Z, так и на X-компоненте.

При высоконаправленном приеме на трассе волн продольного типа выделяются только полезные продольные волны $\alpha = 0^\circ, -20^\circ, -30^\circ$, на трассе волн поперечного типа выделяются только полезные поперечного типа волны $\alpha = 80^\circ$ и 90° , при нулевых составляющих всех помех (рис.2).

Во втором случае, при интерференции импульсов (на примере продольных волн) ни на Z, ни на X-компонентах не представляется возможным ослабить помеху, выделить полезный сигнал как вне интерференции, так и при интерференции импульсов.



Многоволновая сейсморастворка ТЕОРИЯ

При высоконаправленном приеме надежно выделяется сигнал $\alpha = -20$ как в условиях отсутствия его интерференции с помехой, так и при интерференции, причем даже при самой неблагоприятной ситуации интерференции в 3/2 Т.

Таким образом, теоретические расчеты показали, что высоконаправленный прием волн позволяет осуществлять высокоэффективную селекцию волн по признаку поляризации по сравнению с традиционными приемами. Наиболее важным преимуществом нового способа регистрации сейсмических колебаний является возможности выделения сигнала в условиях сильной интерференции с помехой незначительно отличающейся направлением вектора смещения.

Обоснование высоконаправленного приема, оценка его эффективности на базе теоретических расчетов и моделирования подтверждается экспериментальными материалами, полученными на зондированиях (при мощности ЗМС порядка 25м) в пределах Фадеевской площади (Ближнее Саратовское Поволжье).

В процессе экспериментальных исследований на разных участках площади осуществлено изучение поляризационных характеристик волн. Показано, что, во-первых, практически все реальные волны, регистрируемые на дневной поверхности интерференционны; во-вторых, диапазон изменения направлений преобладающих векторов смещения достаточно широк, то есть имеются предпосылки эффективного использования ВП для повышения соотношения сигнал /помеха и разрешения полезных волн на сейсмических записях [6].

На рис. 4-6 для разных площадей показаны волновые поля продольных (PP) и обменных (PS) волн, выделенных по высоконаправленному приему (ВП) для разных углов γ с одиночными приборами на I и II компонентах. Волновые поля получены на рис. 4 при возбуждении сейсмических колебаний взрывом из одиночной глубокой скважины ($h = 30\text{м}$, $Q = 0,8\text{кг}$), на рис.6 при возбуждении поверхностным источником СИМ - 40 (свободнопадающий груз ВНИГНИ) при 48 накапливаниях.

Анализ волновых полей показывает следующее.

Сравнение сейсмограмм для одиночных сейсμοприемников (Z-комп.) и сейсмограмм продольных волн при ВП (рис.4а) показывает, что на Z компоненте отмечается повышенный фон помех с $V^* = 400\text{--}850\text{ м/с}$ и $V^* = 1600\text{--}1800\text{ м/с}$, которые, интерферируя с основными отражениями, образуют интерференционное поле со слабой динамической выраженностью и неустойчивой прослеживаемостью отражений. На сейсмограммах ВП значительно лучше выделя-

ются полезные волны с повышенным динамическим и частично временным разрешением, причем этот эффект усиливается с увеличением угла наклона γ . При значениях $\gamma = 45^\circ, 50^\circ$ достигается наибольшее ослабление высоко- и низкоскоростных помех с сохранением достаточной интенсивности отражений. При значениях $\gamma > 60^\circ$ наряду с помехами заметно ослабляются полезные волны, что свидетельствует о существенном обострении характеристики направленности и попадании полезных волн в область гашения.

На сейсмограммах ВП (рис.4б) выделяются динамически выраженные отражения обменных волн $t=1,3, 2,0, 2,2\text{с}$. Наблюдается отражение на временах $t=3,1\text{с}$, регистрируемое в зоне

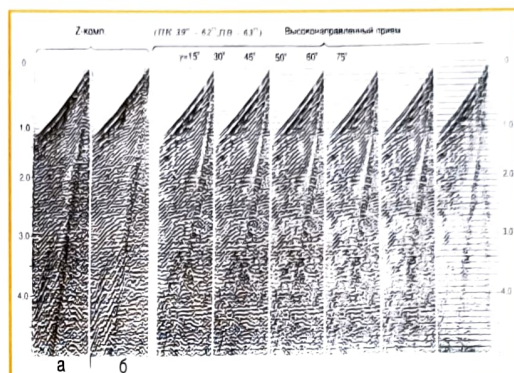


Рис. 5 Сравнительная оценка выделения PP волн при ВП и при вертикальных сейсμοприемниках (Zн); а - одиночные сейсμοприемники; б - группирование сейсμοприемников

интерференции с низкоскоростными помехами, которое на X-компоненте коррелировать невозможно. При ВП существенно ослабляется фон продольных волн по сравнению с X-компонентой, особенно это четко наблюдается в начальной части записи. Разрешенность волнового поля и степень ослабления помех возрастает по мере уменьшения γ .

Представляет интерес волновое поле PP волн, выделенное по ВП (рис.5) в сравнении с волновыми полями для одиночного вертикального приемника и традиционного группирования вертикальных сейсμοприемников ($n=12, D=50\text{м}$). Сравнительная оценка показывает, что волновое поле для одиночного вертикального сейсμοприемника (рис.5а) сильно искажено наложением фона низко и высокоскоростных помех. На сейсмограмме отмечается слабое выделение отражений с низкой динамической разрешенностью. При группировании вертикальных сейсμοприемников (рис.5б) несколько улучшается прослеживаемость отражений, но интерференционность записи не снижается, ее динамическая разрешенность не возрастает.

При высоконаправленном приеме $\gamma = 15^\circ - 75^\circ$ существенно возрастает динамическая разрешенность отражений за счет ослабления низко и высокоскоростных помех, а следовательно, снижения интерференционности волнового поля.

Динамическая разрешенность возрастает по мере увеличения угла γ , свидетельствуя о повышении направленности системы. При угле $\gamma = 75^\circ$ характеристика направленности системы регистрации становится настолько острой, что приводит к ослаблению не только помех, но и полезных отражений. Наиболее оптимальным углом наклона для данных сейсмогеологических условий является $\gamma = 45^\circ - 50^\circ$.

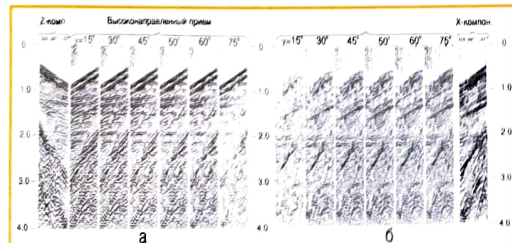


Рис. 4 Выделение продольных (PP) и обменных (PS) волн по высоконаправленному приему (ВП), источник возбуждения - взрыв из одиночной под ЗМС; ПВ - 34" расстановка приборов ПК 20" - 27", а - PP волны; б - PS - волны

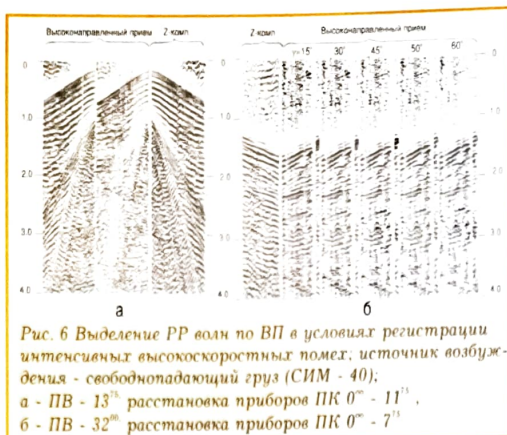
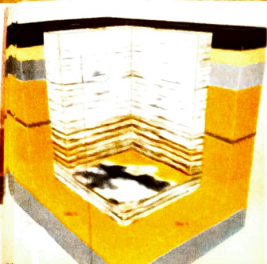


Рис. 6 Выделение РР волн по ВП в условиях регистрации интенсивных высокоскоростных помех, источник возбуждения - свободнопадающий груз (СИМ - 40);
а - ПВ - 13^м расстановка приборов ПК 0° - 11°;
б - ПВ - 32^м расстановка приборов ПК 0° - 71°

Выполненная оценка с одной стороны, свидетельствует об эффективности регистрации по ВП в сравнении с традиционной регистрацией продольных волн при группировании вертикальных сейсмоприемников. С другой стороны, о необходим выбор оптимального угла наклона сейсмоприемников поляризационной установки в зависимости от сейсмогеологических условий, характера волнового поля, желаемой степени ослабления помех при сохранении надежного прослеживания отражений и динамической разрешенности записи.

Важным результатом при опробовании ВП является оценка его эффективности при использовании поверхностного типа источника возбуждения и выделения сигнала в условиях близости его кинематических признаков волнам помехам (рис.6).

В качестве поверхностного источника использован невзрывной источник - свободнопадающий груз (СИМ-40, разработка ВНИГНИ) с выносом пункта возбуждения (ПВ) на 200м (ближний ПВ, рис.6а) и на 2425м (дальний ПВ, рис.6б). Для обоих пунктов возбуждения количество накоплений - 48.

Система регистрации по ВП настроена на выделение продольных волн с перебором углов $\gamma = 15 - 75^\circ$.

На сейсмограммах Z-компоненты для ближнего и дальнего пунктов возбуждения (рис.6) волновое поле характеризуется низкочастотной квазигармонической записью в интервале регистрации полезных отражений, где их выделение невозможно ни по динамическим, ни по кинематическим признакам. Это вызвано регистрацией Z-компонентой интенсивных кратных преломленно-отраженных волн, превышающих уровень полезных волн и поля низкоскоростных помех при наблюдениях вблизи ПВ.

При применении ВП, ориентированного на выделение РР волн, волновое поле существенно упрощается за счет снижения уровня помех, выделяются устойчивые динамически выраженные отражения.

Так, при $\gamma = 75^\circ$ (рис.6а) отмечается предельное ослабление низко и высокоскоростных помех, на фоне которых выделяются устойчивые динамически выраженные отражения.

Аналогичный результат виден на рис. 6б. Здесь на Z-компоненте полезные волны практически не выделяются из-за близости кинематических признаков высокоскоростных помех и целевых отражений. На сейсмограммах ВП выделяется серия динамически выраженных отражений на

временах $t = 2.1 - 2.2, 2.5 - 2.7, 2.8 - 3.1$ с, подкратных высокоскоростных волн существенно ослаблено при $\gamma = 45^\circ, 50^\circ$.

Таким образом, на базе теоретических (модельных) и экспериментальных данных показана эффективность нового способа высоконаправленного приема сейсмических колебаний по признаку поляризации по повышению соотношения сигнал/помеха и динамической разрешенности на первичных сейсмических записях при выделении РР и PS волн. Высокоскоростной прием волн по признаку поляризации может быть реализован как при двухкомпонентной (I, II), так и трехкомпонентной (I, II, III) регистрации сейсмических колебаний (I, II, III - симметричная трехкомпонентная установка Гальперина Е.П.). Способ не противопоставляется направлениям сейсморазведки, связываемым с приемами, обеспечивающими наполнение спектра исходного сигнала высокочастотными составляющими, с ориентацией на временное разрешение а эффективно дополняет их. Он может найти широкое применение в различных системах наблюдения и областях сейсморазведки.

Использование способа должно осуществляться в сочетании с интерференционными системами 2-го рода, но в основном как статистических, для сглаживания неидентичности частотных и фазовых характеристик сейсмоприемников, установки и ориентации платформ сейсмоприемников и др. Наиболее важным является включение ВП в систему наблюдения по ОГТ.

Высокоскоростной прием волн по признаку поляризации, реализованный в системе ОГТ, позволит сделать заметный шаг в повышении эффективности сейсморазведки при решении различных задач, в частности:

- достоверное и детальное освещение геологического разреза на продольных волнах в широком диапазоне глубин залегания отражающих горизонтов в условиях регистрации интенсивных волн кратного типа;

- изучение вещественного состава отдельных литолого-стратиграфических комплексов на базе совместного использования продольных и обменных волн.

Литература

1. Куколенко О.В. Возможности повышения разрешения волнового поля при регистрации волн на значительных удалениях от пункта взрыва // Обработка и комплексная интерпретация геофизических данных в условиях Прикаспийской впадины. 4.1 Саратов: Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики, 1990, - с.56-66.
2. Сейсмическая разведка методом поперечных и обменных волн/ Н.Н. Пузырев, А.В. Тригубов, Л.Ю. Бродов и др. М.: Недра, 1985.
3. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований. М.: Недра, 1977.
4. Гальперин Е.И., Иванов Л.И., Мирзоян Ю.Д. Применение поляризационного метода (МП) сейсморазведки для поисков нефти и газа // Обзор / ВНИИОЭНТ, сер. "Нефтегазовая геология и геофизика", 1981. Вып.2.
5. Патент СССР №1329410. Способ регистрации сейсмических колебаний/ Куколенко О.В. Бюл. №29, 1987.
6. Куколенко О.В. Высокоскоростной прием сейсмических волн по признаку поляризации / Недра Поволжья и Прикаспия, региональный научно-технический журнал, Нижне-Волжский НИИГ, четвертый выпуск, февраль 1993.