

Подавление обменных волн на Z-компоненте для сейсмических данных OBN

- Казанин А.Г., Базилевич С.О., Литвачук А.В., Нагаев Р.Р., Ведьманов В.О., АО «МАГЭ», г. Москва
- Романов В.В., РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва

Аннотация. При регистрации 4С сейсмических данных с помощью донных модулей (OBN, ocean bottom nodes) компонента давления (P) обычно хорошего качества, тогда как на компоненте вертикального геофона (Z) зачастую наблюдается высокий уровень шума, представленный как классическими случайными помехами, так специфическим видом помех для донных съемок – обменным шумом (Vz-noise). Тем не менее, свободная от широкого класса помех Z-компонента требуется для достижения положительного результата полного разделения волновых полей, что является необходимым условием качественного подавления волн-спутников, а также выполнения специфических для OBN процедур обработки, таких как, например, деконволюция восходящего и падающего полей (UDD/DDD). В случае, когда обработка сейсмических данных выполняется в целях решения задачи 4D-мониторинга и обнаружения тонких эффектов волнового поля, значимость качественного подавления шумов различной природы возрастает. В статье представлены результаты подавления обменных волн-помех на вертикальном геофоне с помощью алгоритма, основанного на свойствах восходящего и нисходящего волновых полей и соотношениях давления и скорости смещения частиц. Описываемый подход позволяет эффективно ослабить обменный шум при сохранении амплитуды полезного сигнала. Работа выполнена на примере тестового набора данных, полученного АО «МАГЭ» в акватории Охотского моря в период навигации 2022 г. Сейсмические данные зарегистрированы с помощью донного модуля «КРАБ».

Ключевые слова. 4D, 3D4C, OBN многоволновая сейсморазведка, разделение волновых полей, Vz-помехи, преобразование Радона, донный модуль «КРАБ».

Введение

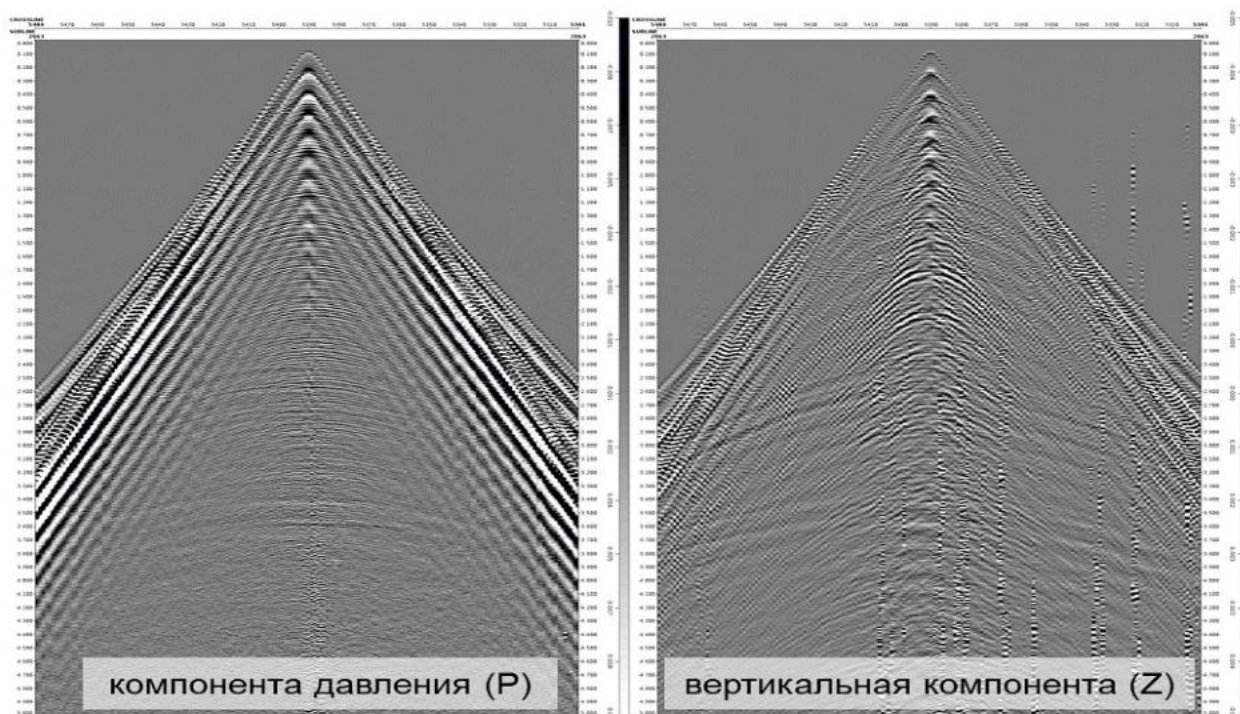
При выполнении съемок 3D4C с донным оборудованием в подавляющем большинстве случаев используются бескабельные нодальные системы (OBN), которые позволяют регистрировать одновременно компоненту давления (P, гидрофон) и полный вектор скорости смещения частиц (ZXY, геофон).

Данные Z-компоненты по сравнению с P-компонентой часто искажаются за счет повышенного уровня шума. На рисунке 1 показаны сейсмограммы ОПП для вертикального геофона и гидрофона. Несмотря на то, что данные зарегистрированы одновременно, наблюдаются различия в уровне случайного шума. Дополнительно на сейсмограмме Z-компоненты

обнаруживаются и когерентная низкочастотная помеха, основная энергия которой сосредоточена в области ближних удалений. Данная помеха (Vz-noise) имеет обменную природу и обнаруживается только при донной регистрации.

В случае, если какие-либо помехи не будут оптимальным образом подавлены до разделения волновых полей, остаточный шум в итоге распространится как на восходящее (P+Z), так и падающее (P-Z) волновые поля. В случае, если при подавлении помех была допущена утечка сигнальной части записи, это неминуемо приведет к искажению динамических характеристик в результирующем поле.

В основе разделения волновых полей лежат физические принципы регистра-



▲ Рис. 1 Пример исходной сейсмограммы компонент P и Z (ОПП).

ции сейсмического события с помощью геофона и гидрофона. Фаза сигнала для гидрофона (P) не зависит от направления прихода волны, тогда как для геофона (Z) происходит ее полное обращение в зависимости от направления прихода волны. Данная особенность позволяет «отличить» волны, приходящие к пункту приема «снизу» (DOWN) и «сверху» (UP):

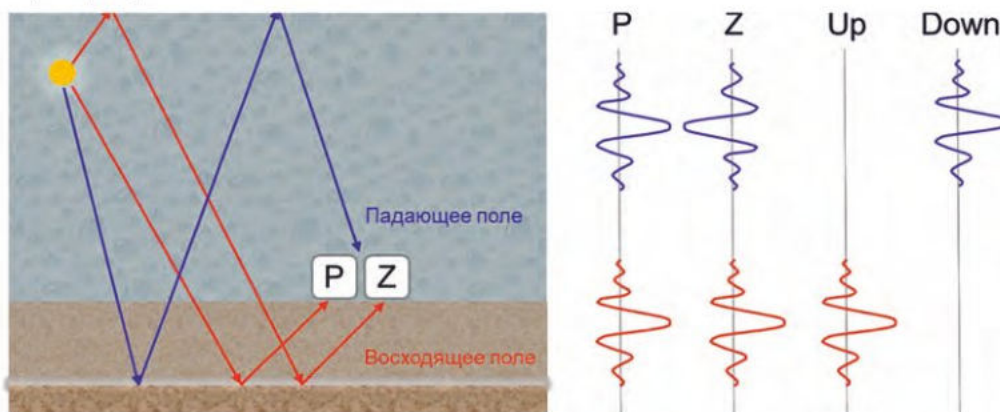
- восходящее волновое поле ($UP = \frac{P+Z}{2}$) содержит отраженные, преломленные, кратные волны и волны-спутники;
- падающее (нисходящее) волновое поле ($DOWN = \frac{P-Z}{2}$) содержит прямую

волну, кратные волны и волны-спутники [1].

Общая схема, иллюстрирующая разделение волновых полей представлена на рисунке 2:

Эффективное и точное разделение волновых полей является базой обработки 4С-данных, однако уровень помех может быть настолько сильным, что результаты разделения становятся практически непригодными для дальнейшего использования, что ставит под сомнение успешность всей последующей обработки.

▼ Рис. 2. Принцип разделения волновых полей.



Технологические особенности подавления обменных шумов

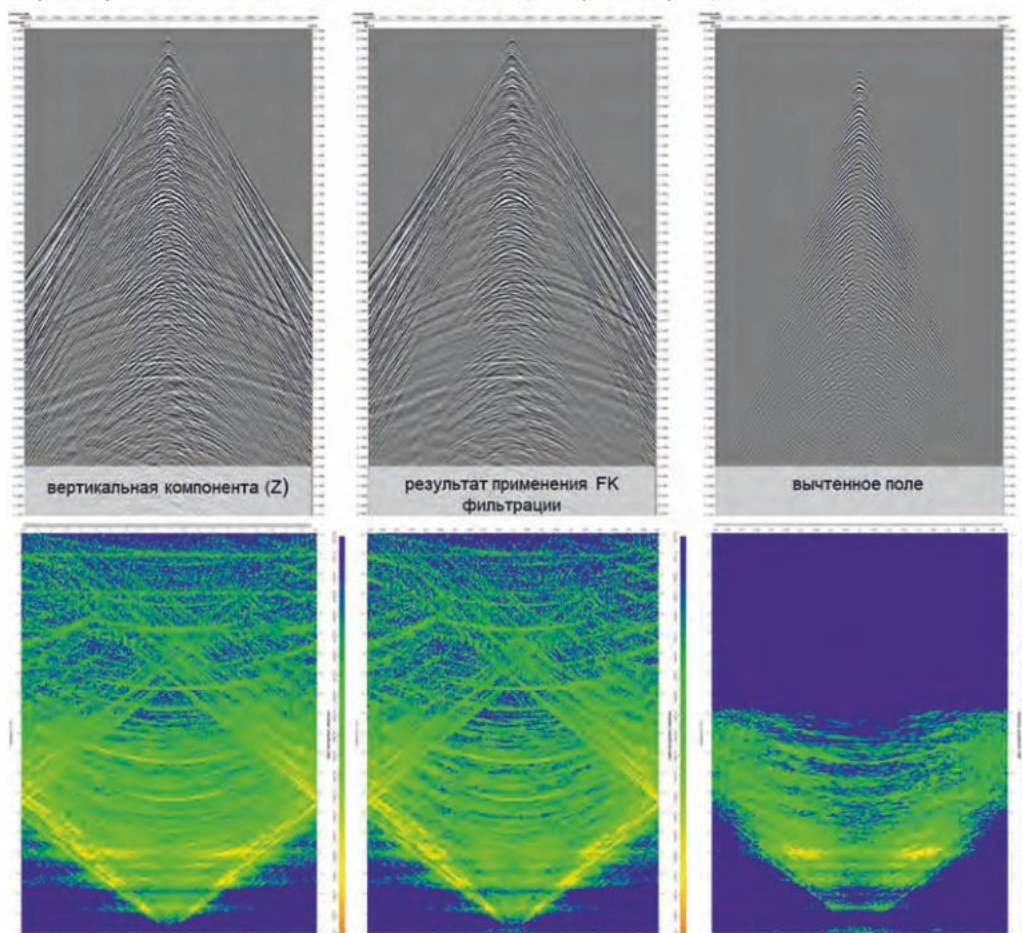
Vz-шум на геофоне вызван обменными волнами и является когерентным в подборке ОПП, но некогерентным в ОПВ. Vz-шум характеризуется низкими скоростями смещения частиц, его энергия сильно зависит от контакта датчиков с грунтом и условий на морском дне (coupling). При этом глубина моря не является определяющим фактором для генерации и регистрации данного вида помех [3]. Очевидно, что указанная помеха является существенным фактором, осложняющим всю последующую обработку – обменный шум практически полностью маскирует полезный сигнал в области ближних удалений.

В случае 4D-обработки стандартный подход к подавлению такого рода помех,

состоящий из подавления когерентного шума в ОПП, за которым следует подавление некогерентного в ОПВ, не подходит из-за большой сложности разделения сигнала и помехи на ближних удалениях, что непременно приведет к и последующей утечке полезного сигнала.

На рисунке 3 приведен результат подавления Vz-помех одним из типовых методов борьбы с когерентными событиями – фильтрацией в FK-области. Как можно заметить, хотя и выбран довольно жесткий вариант подавления, указанная процедура не позволяет полностью подавить помеху на малых удалениях, при этом на средних удалениях наблюдается потеря полезного сигнала. Практика показывает, что даже при более тщательных настройках FK или применении других когерентных фильтров добиться

▼ Рис. 3. Пример подавления Vz-помех с помощью фильтрации в FK области.



качественного подавления указанного вида помех практически невозможно.

На первый взгляд может показаться очевидным использовать для ослабления V_z -шума подход, при котором зашумленная Z -составляющая приводится к P -составляющей без шума. Однако, на практике этот подход неосуществим, поскольку он искажает сигнал (шум) ввиду известных амплитудных и фазовых различий записей гидрофона (P) и геофона (Z).

Для эффективного подавления обменного шума в современных пакетах обработки сейсмических данных реализованы специальные алгоритмы. В данной статье показан метод, основанный на использовании падающего поля (P - Z) и данных гидрофона (P) реализованный по следующей схеме:

1. Выполнение трехмерного (t - px - py) преобразования Радона для P -компоненты и падающего поля (P - Z);
2. Деление каждой из компонент на N полос частот;
3. Определение для каждой из N полос частот огибающей (функции, описывающей основные характеристики сигнала, включая периоды, амплитуду и фазу);
4. Определение коэффициента огибающей, который представляет собой отношение огибающей для N -й полосы частот гидрофона к огибающей для N -й полосы частот падающего поля;
5. Масштабирование каждого из диапазонов частот падающего поля на соответствующий коэффициент огибающей;
6. Суммирование масштабированных диапазонов частот падающего поля и обратное t - px - py преобразование [2, 5];
7. Получение модели V_z -помехи.

Важным свойством нисходящего (падающего) волнового поля является то,

что оно не содержит энергии первичной отражений, таким образом сводя к минимуму риск потери полезных отражений. При вычислении коэффициентов огибающей используется пороговое значение для разделения энергии на только шум и шум с полезным сигналом. Этот метод эффективен, но требует предварительной калибровки P - и Z -компонент [4].

Результаты тестов, выполненных в АО «МАГЭ», показали высокую эффективность указанного подхода к решению задачи подавления V_z -помех.

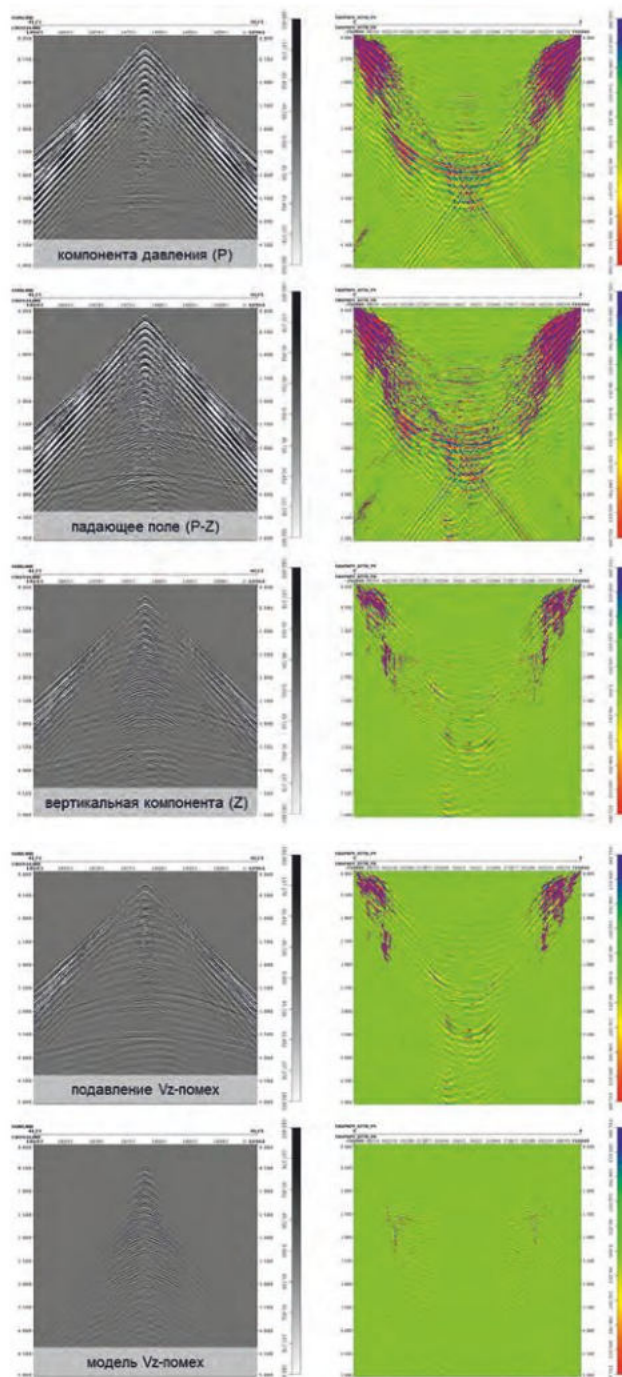
Практический пример

Для иллюстрации практического применения описываемого подхода была выбрана единичная сейсмическая запись ОПП, полученная с помощью донного модуля «КРАБ». Указанный пример сейсмограммы является типовым – уровень обменных помех для данной записи соответствует стандартному уровню для площади тестовых работ.

К исходным полевым данным перед подавлением V_z -помех применен следующий набор процедур:

- вертикализация Z -геофона;
- калибровка P - и Z -компонент;
- фильтр низких частот;
- поправка за сферическое расхождение;
- подавление случайных помех;
- подавление пространственного алейсинга;
- подавление линейных помех.

Как видно из примера (рис. 4), в результате применения процедуры уровень V_z -помех значительно ослабевает, при этом полезная часть сигнала не задета. Работа процедуры дополнительно проиллюстрирована на примере разложения в t - px - py область.



▲ Рис. 4. Данные OBN после трехмерного (t - rx - ry) преобразования Радона.

При детальном сравнении сейсмических записей в t - rx - ry области обменные волны легко различимы, при этом становится очевидным (ввиду фазового и амплитудного различия сигнала) – вычистить их напрямую не представляется возможным.

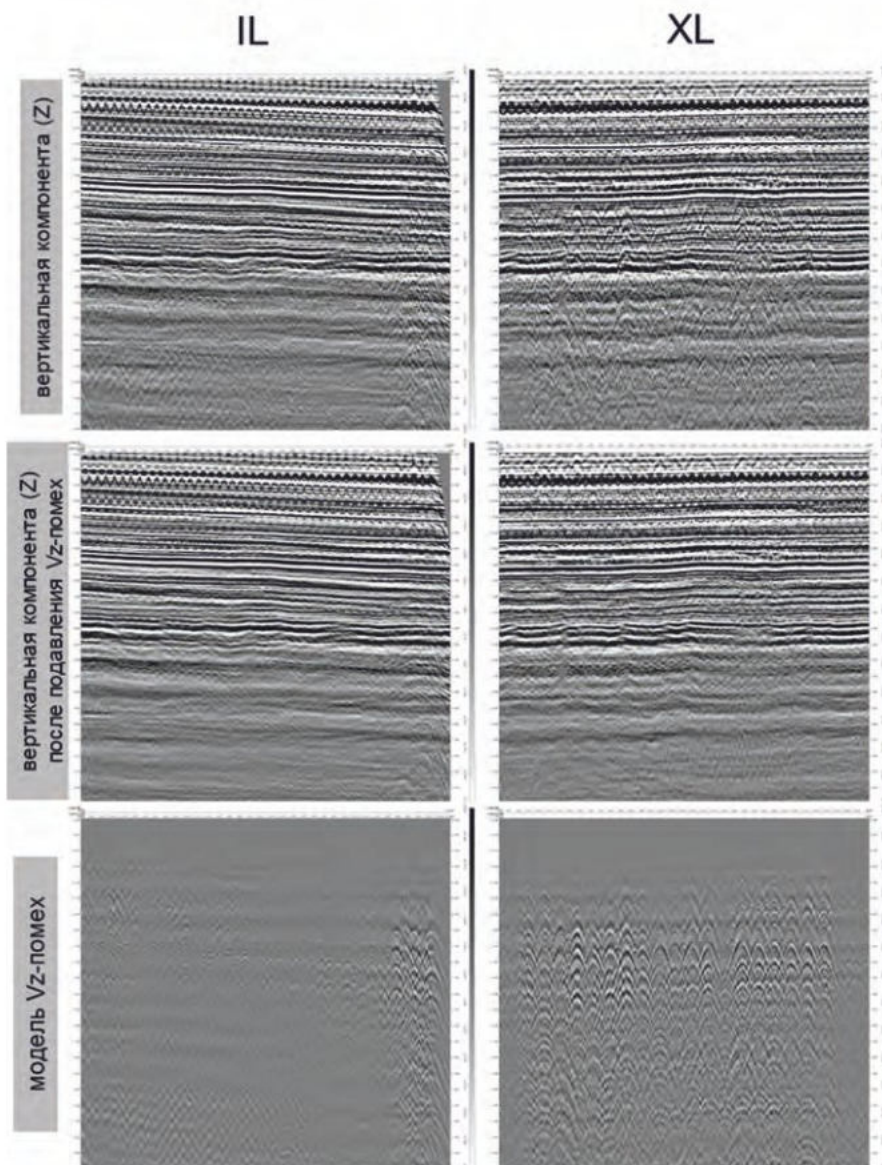
Важно заметить, что некорректное

применение процедуры (ввиду работы в узкой области ближних удалений) однозначно приведет к нарушению истинного распределения амплитуд. Как это обычно бывает в практике обработки сейсмических данных, степень подавления желаемой помехи определяется как компромисс между уровнем остаточного фона помех и толерантностью к утечке сигнальной части записи. В случае, когда речь идет о 4D-обработке, искажение сигнала абсолютно не допустимо, что приводит к необходимости фиксации некоторого уровня остаточных помех для подавления на последующих более поздних этапах обработки.

Результаты работы процедуры дополнительно рассмотрены на уровне куба сейсмических данных (Рис. 5). Данный пример, с одной стороны, показывает, насколько интенсивны V_z -помехи относительно сигнальной части, а с другой – наглядно иллюстрирует эффективность рассматриваемого в статье подхода.

Выводы

Количество сейсморазведочных работ 3D4C в мире и России с годами только увеличивается. В основе развития данного рынка лежит очевидное преимущество донной регистрации относительно регистрации с буксируемым оборудованием в части как увеличения информативности продольного сейсмического поля, так и привлечения дополнительной информации за счет регистрации обменного PS-поля. Однако, сейсмические данные, получаемые с донным оборудованием, имеют ряд особенностей и требуют от сервисных компаний привлечения передового набора методических приемов и процедур обработки, нацеленных на получение сейсмического изображения максимального качества. Один из таких примеров - описанный в



▲ Рис. 5. Фрагменты суммарного куба.

статье подход к подавлению обменных волн на Z-компоненте, позволяющий на высоком уровне решить одну из специфических задач обработки сейсмических данных 3D4C.

Литература

1. Amundsen, L.. 1993. Wavenumber-based filtering of marine point-source data..Geophysics, 58, 1335-1348..
2. Craft, K.L.. 2008. Geophone noise attenuation and wavefield separation using multi-dimensional decomposition technique. 70th EAGE Conference & exhibition. Expanded Abstract, G037.
3. Paffenholz, J., Docherty, P., Shurtleff, R. and Hays, D.. 2006. Shear wave noise on OBC Vz data: Part I & II. 68th EAGE Conference & Exhibition, Expanded Abstract, B046 & B047.
4. Trad, D., Ulrych, T., Sacchi, M.. 2003. Latest views of the sparse Radon transform. Geophysics, 68, 386-399.
5. Zabihi, E., Baboulaz, L., Grion, S.. 2011. Enhanced wavefield separation: 73rd EAGE Conference & Exhibition. Expanded Abstract, B003.