

# Multicomponent Seismic Acquisition Improves Data in Arctic Conditions

## Многоволновая сейсморазведка в условиях Крайнего Севера

Mikhail Shimorin, Project Geophysicist, Moscow office

Михаил Шиморин, геофизик проекта, московское представительство

The acquisition of seismic data in Arctic conditions is characterized by specific requirements in the field operations as well as the data quality. The first obstacle to overcome is that the shooting season is short and most of the projects are located in remote areas. Furthermore, the near-surface velocity challenges in frozen tundra conditions have not been properly addressed by existing technologies. Therefore, the main goal of seismic prospecting under such conditions is to maximize the amount of good quality data with minimum equipment and field personnel.

This article demonstrates the advantages of single-point receiver technology using VectorSeis® sensors when com-

PHOTO: EGS • ФОТО: ГСД



● Mikhail Shimorin, project geophysicist, Moscow office  
● Михаил Шиморин, геофизик проекта, московское представительство.

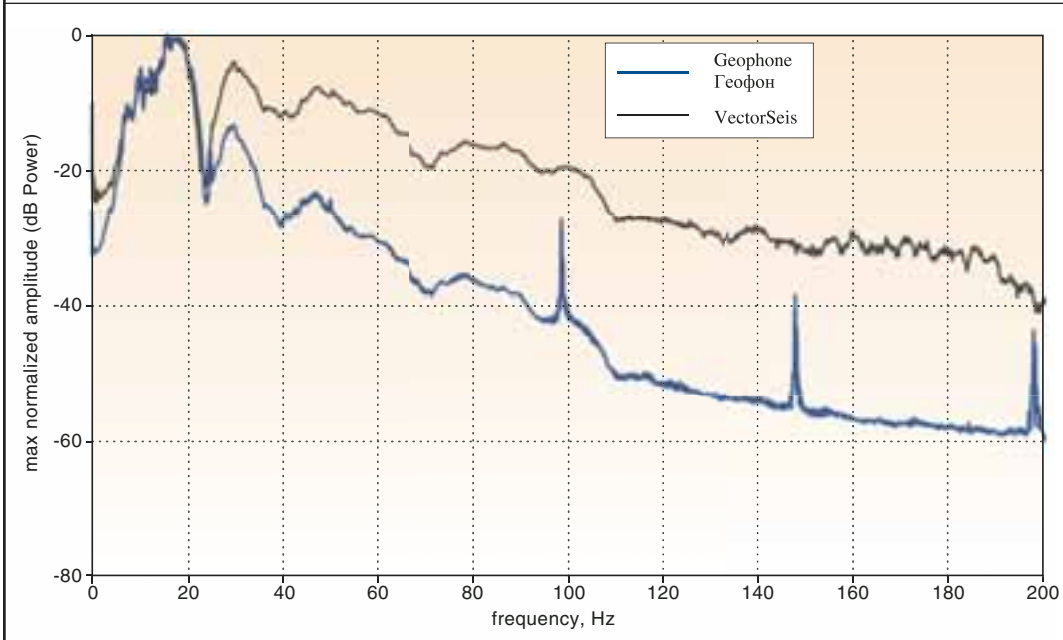
**AUTHOR'S BIOS:** Mikhail Shimorin is a Project Geophysicist in the Moscow Branch Office of the international geophysical company, Input/Output.

При проведении сейсмических работ в арктических условиях мы имеем дело со специфическими требованиями, предъявляемыми как к полевым работам, так и к качеству получаемых данных. Полевой сезон длится непродолжительное время, а работы, как правило, проводятся в труднодоступных районах. Поэтому основной задачей сейсморазведки является получение максимального количества сейсмической информации в минимальные сроки с минимальным количеством оборудования.

В данной статье мы рассмотрим преимущества использования методики точечной многокомпонентной регистрации сейсмического поля приемниками VectorSeis® по сравнению со стандартной регистрацией группами геофонов.

VectorSeis представляет собой цифровой трехкомпонентный акселерометр, изготовленный по технологии MEMS. В отличие от стандартного сейсмоприемника, имеющего спад в нижней части амплитудно-частотной характеристики, VectorSeis обладает линейной АЧХ от 1-2 Гц. Три акселерометра, установленных перпендикулярно друг другу в нижней части прибора для изоляции от ветровых помех, позволяют регистрировать полное волновое поле с

**ОБ АВТОРЕ:** Михаил Шиморин – геофизик проекта, московское представительство Input/Output



● Fig. 1. Collocated recording of geophone and VectorSeis. Amplitude spectra.

● Рис. 1. Сравнение спектров электродинамического сейсмоприемника и VectorSeis.

pared to conventional seismic acquisition with geophone arrays.

VectorSeis is a full-wave (multicomponent) sensor with three digital accelerometers, designed using MEMS technology. Unlike traditional geophones characterized by a reduced response in the lower part of the frequency range, VectorSeis response is linear down to from 1-2 Hz. The sensor's design, with the three accelerometer units located orthogonally to one another in the lower part of the housing, helps avoid wind noise and allows for the recording of the full wavefield with a high degree of accuracy and vector fidelity. There is no need to place the accelerometers exactly vertically as they automatically determine the tilt and recalculate data to the vertical. Thin wire connects the sensors to the main cable of the recording platform, System Four, thus reducing wind noise and enabling crew personnel to efficiently connect or replace the sensor if necessary. Obviously, the use of single-point receivers significantly decreases the quantity of equipment and tools required for field operations, which is very important for remote areas characterized by harsh conditions, as are the decrease in the number of crew personnel and the increase in operational productivity.

At the present time, seismic surveys are often conducted in environments with a high level of industrial noise, e.g. production monitoring, detailing surveys in existing fields looking for bypassed reservoir, etc. Frequency of the noise may fluctuate over time, thus masking a range of frequencies within the seismic signal. The fact that VectorSeis does not pick up the 50/60Hz electrical cycle noise can be important in such case. Fig. 1 demonstrates the difference between the VectorSeis and geophone recording data. Also note the broader bandwidth for VectorSeis.

Single-point receiver technology creates an opportunity to use smaller receiver spacings than with geophone arrays. Geophone arrays at small receiver spacings proved to be inefficient. Using VectorSeis, we can get higher spatial resolution and are able to better characterize shallow horizons. The abil-

высокой степенью точности. Акселерометр не требует точной вертикальной установки, так как он автоматически определяет свой угол наклона и пересчитывает данные к вертикали. Прибор присоединяется к приемному кабелю сейсмостанции SystemFour тонким проводом, что снижает ветровые помехи и позволяет персоналу в случае необходимости быстро подключать или менять сенсоры. Таким образом, при работе с одиночными акселерометрами значительно снижается количество

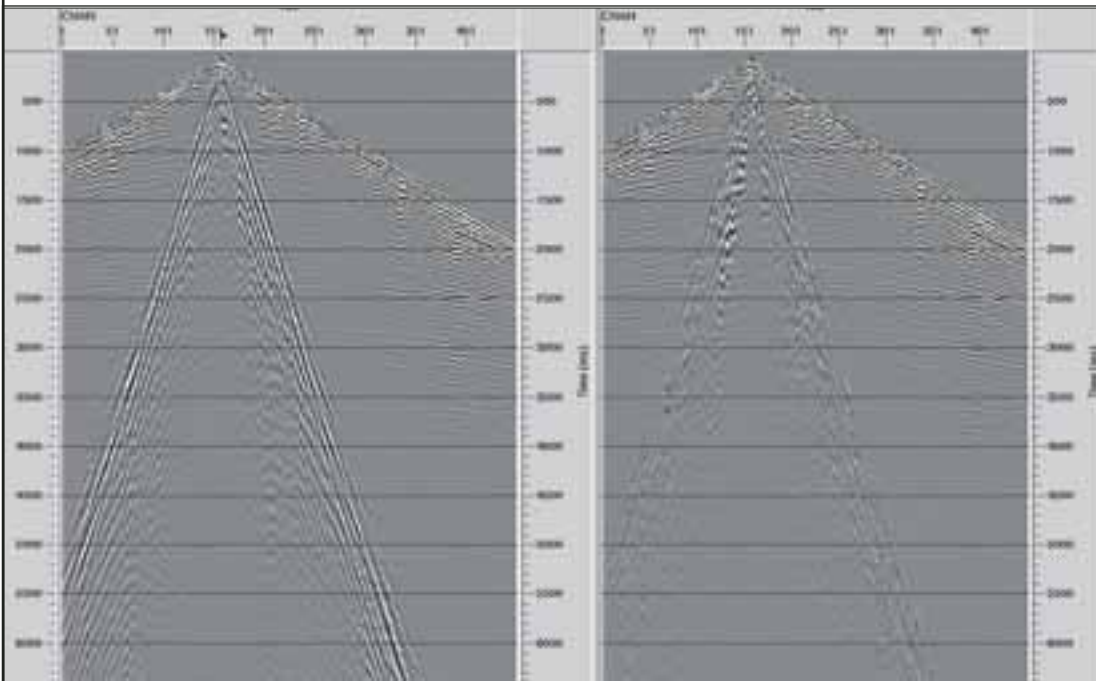
оборудования, необходимого для полевых работ, уменьшается число обслуживающего персонала и сроки работ.

Современные сейсморазведочные работы часто проводятся в районах с высоким уровнем промышленных помех, например мониторинг действующего месторождения, уточнения положения новых скважин и т.д., причем частоты этих помех не постоянны. В связи с этим важно отсутствие электромагнитных наводок на записи VectorSeis, так как оцифровка сигнала производится в самом сейсмоприемнике. На рис. 1 следует также обратить внимание на более широкую полосу частот у сигнала, зарегистрированного датчиком VectorSeis.

При регистрации одиночными акселерометрами можно использовать шаг между приемниками более мелкий, чем при работах с группами геофонов, так как группирование на малых базах неэффективно. Этим достигается более высокое пространственное разрешение и появляется возможность построения менее глубоких горизонтов. Для работ в арктических условиях это имеет большое значение в связи с наличием в верхней части разреза зоны многолетней мерзлоты. Решение проблемы статических поправок при наличии кровли и, что желательно, подошвы мерзлоты в сейсмических данных значительно упрощается.

При сейсморазведочных однокомпонентных работах для регистрации волнового поля часто применяют группы сейсмоприемников. Основное назначение групп состоит в подавлении регулярных волн-помех, распространяющихся от источника в направлениях, близких к горизонтальным. К таким волнам относятся преимущественно поверхностные волны и объемные преломленно-отраженные волны, образующиеся в приповерхностном слое. Однако выбор группы всегда является компромиссным решением, учитывающим ряд ограничений и противодействующих факторов. Группы образуют интерференционные системы, которые обладают свойствами направленности, частотной фильтрации, относительного ослабления случайных помех. Для правильного выбора параметров группы (количество приемников, расстояние между ними и длина группы) необходимо иметь сведения о полезных волнах и регулярных помехах – их амплитуды, кажущиеся скорости и длины волн. Все эти параметры определяются при анализе экспериментальных данных, которые получают при проведении специальных опытных работ в характерных участках района исследований. Однако, в случаях сильно меняющихся

SOURCE: GDS • ИСТОЧНИК: ГСД



● Fig. 2. Shot record before (left) and after (right) adaptive filtering. Ground roll is attenuated.  
● Рис. 2. Сейсмограмма до и после векторной фильтрации. Поверхностные волны подавлены.

ity to image the shallow part of the reservoir is especially beneficial for the Arctic environment due to near-surface velocity changes (existence of permafrost) and complex statics conditions. A static solution becomes considerably simpler if we can image the top and bottom of a permafrost layer.

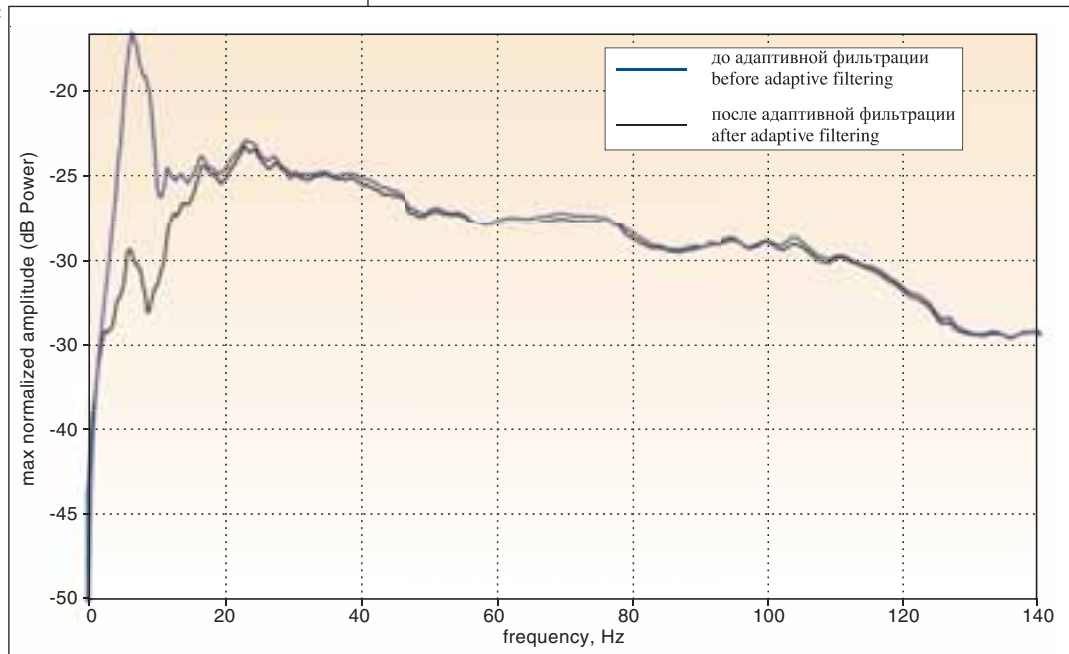
Conventional seismic acquisition relies heavily on the use of the geophone arrays. The main purpose of these arrays is to attenuate the regular noise generated by sources and propagating in near-to-horizontal directions. Generally speaking, ground-roll and near-surface, refracted/reflected waves are considered to be regular noise. However, the choice for grouping is always a compromise due to a number of limitations. Geophone arrays work as interference systems with azimuthally varying characteristics, frequency filtering and partial ambient noise suppression. Adequate parameterization of the geophone arrays, such as the number of receivers, spacing and length requires that we have a priori information on seismic waves and noise: amplitudes, apparent velocities and wavelengths. All these parameters are determined from experimental data, which is recorded during the test surveys before full-scale production starts. However, under the varying surface and relief conditions, finding optimal group parameters becomes a challenge.

Another way to deal with ground-roll is to use a single-point receiver and high vector-fidelity multicomponent recording. Multicomponent surveys collect full-wave data including both P-waves and S-waves for seismic signal and noise and more detailed information about the upper

поверхностных условий и рельефа площади, мы сильно ограничены в выборе параметров группирования сейсмоприемников.

Существует другой способ борьбы с поверхностными волнами-помехами – многокомпонентная регистрация волнового поля. При трехкомпонентной регистрации мы получаем наиболее полную информацию о роли волн P и S как полезных сигналов или помех, а так же более детальную информацию о строении верхней части сейсмогеологического разреза. Поверхностные волны имеют эллиптическую поляризацию, поэтому они одновременно регистрируются на нескольких компонентах, и, задав одну из них как содержа-

SOURCE: GDS • ИСТОЧНИК: ГСД



● Fig. 3. Amplitude spectra of records (Fig. 2) with and without adaptive filtering.  
● Рис. 3. Спектры по сейсмограммам (рис. 2) до и после адаптивной фильтрации.

part of geological section. Ground-roll is characterized by an elliptical particle motion at the surface and, therefore, it is simultaneously recorded on all three components. By utilizing well-known and existing adaptive filtering algorithms, we can remove the noise by using a combination of traces recorded on mutually-orthogonal components of the VectorSeis sensor. Vector filtering is a single-station process, so the ground roll will be suppressed even if the data is aliased, where the conventional tools (F-K, t-p) can be applied with a lesser success. Trace-to-trace dynamics are also preserved due to the single-station nature of the process. The adaptive filtering technique is routinely applied to multicomponent data acquired in Western Siberia, and is characterized by 10-15 dB of ground-roll suppression. Gathers before and after vector filtering, and their spectra, are demonstrated in Figs. 2 and 3. At the same time, the low frequency signal is preserved. It is also necessary to note the consistent seismic signal present at high frequencies on VectorSeis records, while it is lost with geophone arrays due to summation (averaging) within the groups and geophone characteristics, Fig. 4.

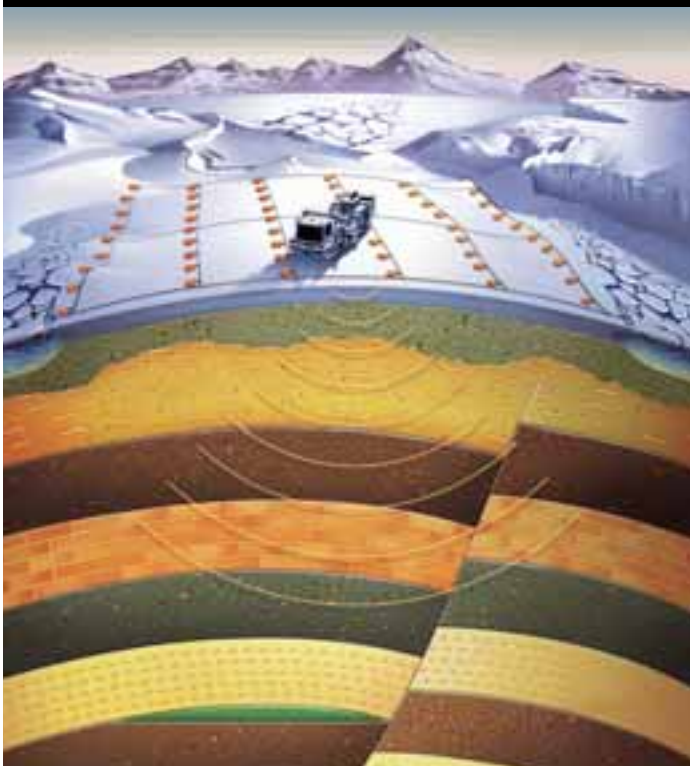
In many cases, the upper part of the section in Arctic surveys contains high velocity permafrost zones. In this case, unlike for conventional low velocity, near-surface environments, the angle at which seismic energy arrives to the receiver is far from the vertical. Thus, a significant part of the P-wave data may be recorded on the horizontal component, especially on far offsets. This energy is inadvertently lost in conventional 1C surveys. Figure 5 demonstrates P-wave data recorded on the horizontal component. Under similar circumstances the vertical component

щую оценку шума, мы можем вычесть этот шум из другой компоненты. Для оценки энергии поверхностных волн можно использовать любую компоненту или сразу несколько из них. Векторная фильтрация является одноканальным процессом, при его выполнении не происходит смещения трасс и возможно подавление поверхностных волн даже осложненных пространственным алясингом, где другие процедуры (F-K, t-p) не так эффективны. Процедура адаптивной фильтрации была применена к данным многих проектов в Западной Сибири и ее результатом является подавление энергии поверхностных волн на величину 10-15 дБ, при этом сигнальная составляющая в этой же полосе частот остается. На рис. 2 представлены сейсмограммы до и после векторной фильтрации, а на рис. 3 – их спектры. Энергия поверхностных волн в значительной степени подавлена. Так же необходимо отметить сохранение энергии сигнала на высоких частотах, в отличие от групп сейсмоприемников, где эта информация частично теряется при суммировании (рис. 4).

Для работ в арктических условиях характерно наличие в верхней части разреза зон многолетней мерзлоты с высокими скоростями, где угол подхода продольной волны далек от вертикального. Таким образом, значительная часть энергии продольной волны может находиться в горизонтальной компоненте (и при одноканальной регистрации мы бы потеряли ее), а в вертикальной – будет присутствовать часть энергии обменных волн. На рис. 5 мы можем наблюдать значительное присутствие энергии продольных волн на горизонтальной компоненте. Сумма получена со скоростями и статикой рассчитанными для продольных волн. Однако с помощью преобразования координат мы легко можем повернуть компоненты таким образом, что энергия продольной волны будет присутствовать только в вертикальной компо-

В Е Ч Н А Я М Е Р З Л О Т А В А Р К Т И К Е ?

## Положитесь на многоволновую сейсморазведку.



### СЛОЖНЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТ

Короткий зимний полевой сезон ограничивает возможности. Жесткие требования к окрестной среде требуют использования специального оборудования и технологий. Резкие приповерхностные аномалии искажают сейсмические изображения.

### МНОВОЛНОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПАНИИ I/O



VectorSeis® - отмеченный наградами трехкомпонентный цифровой датчик. Широкая полоса частот, высокоразрешенные данные без группирования. Повышенная производительность полевых работ в наиболее сложных поверхностных условиях.



System Four™ – регистрирующая система с дружелюбным интерфейсом. Поддерживает очень высокую канальность, широкоазимутальные съемки с максимальной эффективностью и надежностью.



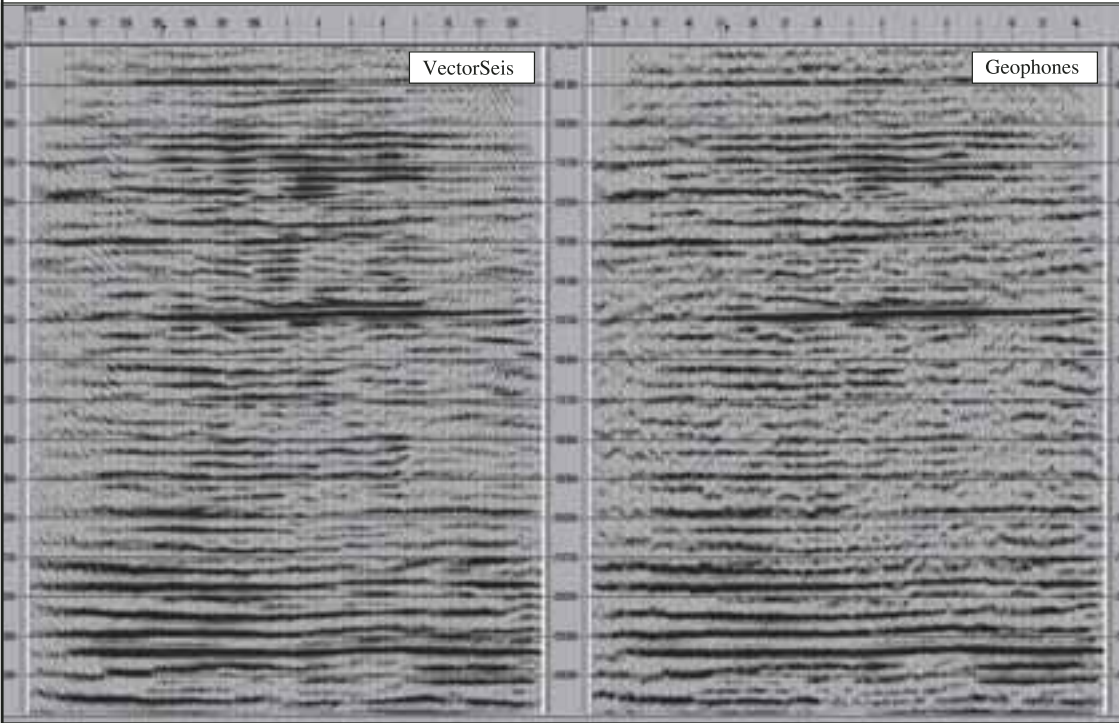
Революционные процедуры обработки, такие как AZIM™, для анализа сейсмической анизотропии. Преимущества регистрации полного волнового поля используются для улучшения изображений среды в случае сложной глубинно-скоростной модели.



[www.i-o.com/full-wave](http://www.i-o.com/full-wave)

Многоволновое отображение среды. Возьмите это на вооружение.

SOURCE: GDS • ИСТОЧНИК: ГСД



**Figure 5** Рис. 5  
 • Collocated survey of VectorSeis (left) and geophone (right). Distance between single-point VectorSeis and geophone center is 25 m.  
 • Сравнение разрезов полученных одиночными датчиками VectorSeis и группами геофонов. Расстояние между центрами групп и одиночными приборами 25м, база группирования 25м.

will get part of the converted waves. However, with multi-component recording and through the process of coordinate rotation, we can easily rotate the components so that the P-wave will be present only on the vertical component and the converted-wave energy on the horizontal. As a result, amplitude estimation and AVO analysis will become more accurate especially for long offsets. Component rotation also opens an opportunity to find a better statics solution and results in the final seismic image reflecting the real geology of the region.

Wide-azimuth, long offset, 3D 3C surveys with single-point receivers give geophysicists an opportunity to study seismic anisotropy and delineate heterogeneities reflecting the real geological structure and lithology of the field and, therefore, reduce exploration risk. ●

ненте, а обменной – в горизонтальной. В результате оценка амплитуд и AVO анализ с использованием больших удалений будут иметь большую точность. Также после поворота компонент появляется возможность лучше скорректировать статические поправки и получить сейсмическое изображение, наиболее приближенное к реальной геологической среде.

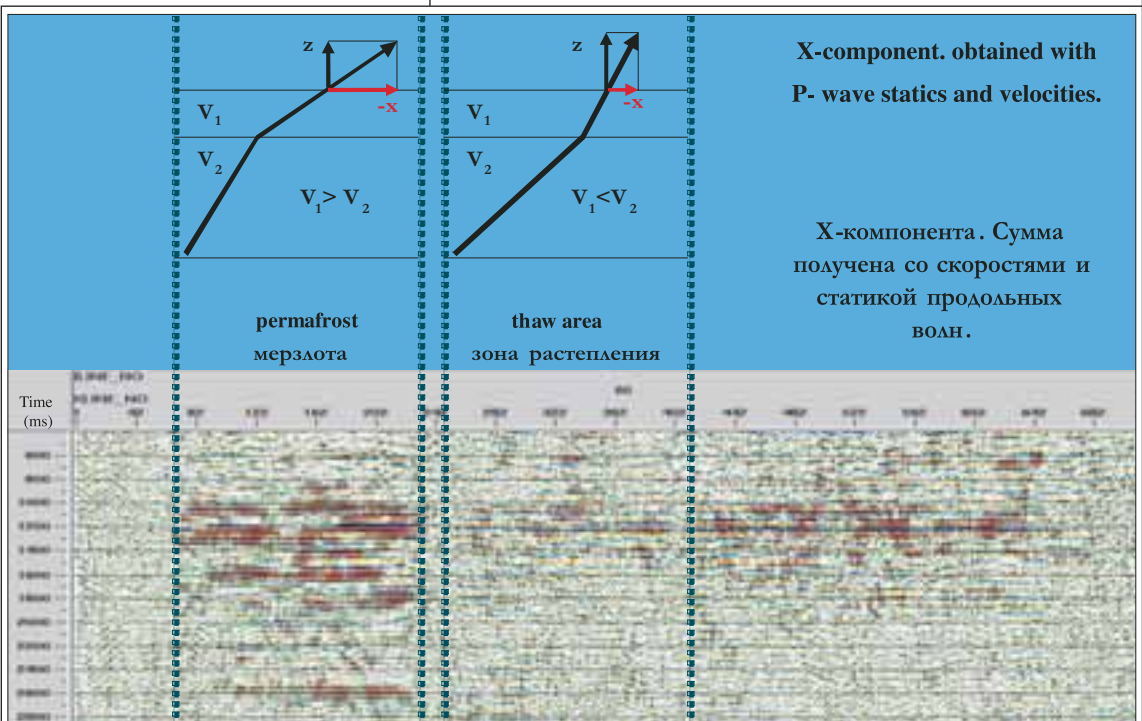
С помощью широко-азимутальной 3D съемки с использованием точечного трехкомпонентного приемника VectorSeis мы имеем возможность провести более точное исследование сейсмической анизотропии, опираясь как на продольные, так и на обменные волны.

Таким образом, используя методику точечной многокомпонентной регистрации, возможно достичь значительного прироста сейсмической информации для более детального изучения геологического разреза. ●

• Fig. 4. P-wave recorded on the horizontal component. Courtesy of GDS.

• Рис. 4. Продольные волны, зарегистрированные на горизонтальной компоненте. С разрешения ГСД.

SOURCE: GDS • ИСТОЧНИК: ГСД



X-component. obtained with P- wave statics and velocities.

X-компонента. Сумма получена со скоростями и статикой продольных волн.