

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

04/2015

Издается с 2002 г.



ТЕМА НОМЕРА:

Разведочная геофизика: проблемы и решения



**СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ
СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**



ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

С.В. Гурьев - У семинара "ГЕОФЕСТ" хорошее будущее

СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ

XZ ne



353477 Россия, Краснодарский край, г.Геленджик, ул.Ручейная,8
т.:(86141)26615, ф.:(86141)26601
office@intromarin.ru, www.intromarin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

С Новым годом, дорогие коллеги, друзья!

7 Турлов П.А.

ИНТЕРВЬЮ

8 У геофизического семинара «ГЕОФЕСТ» хорошее будущее

ИНТЕРВЬЮ Генерального директора ООО «Фирма «Геосейс»» Гурьева С.В. Главному редактору журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» Турлову П.А.

ТЕХНОЛОГИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

11 Современное состояние вибрационной сейсморазведки. Обзор методик

Шнеерсон М.Б., Жуков А.П.

Аннотация: В статье приведен обзор современных методов вибрационной сейсморазведки. Авторы показали, что в арсенале вибрационной сейсморазведки имеются значительные возможности по повышению качества получаемых материалов и производительности полевых работ, которые основываются на практическом применении новых технологий.

Ключевые слова: сейсмика, вибрационная сейсморазведка, вибросейсмическая технология

19 Методики выполнения сейсморазведочных работ в зонах с экологическими ограничениями

Гурьев С.В., Пацев В.П., Юров А.А.

Аннотация: В статье показано, что использование малогабаритных импульсных источников сейсмических колебаний (взрывных и невзрывных) и применение уплотненных систем наблюдения обеспечивает более детальное отображение строения геологической среды, улучшает качество получаемых разрезов по сравнению с «классической» системой и значительно снижает нагрузку на окружающую среду в районе выполнения сейсморазведочных работ.

Ключевые слова: сейсмика, экологическая безопасность, импульсный источник Геотон-15, маломощный взрывной источник, уплотненная система наблюдения, сейсмический разрез

27 Опыт применения невзрывных импульсных источников «Геотон-15» в сейсмогеологических условиях Припятского прогиба

Громыко В.М., Смолянченко О.В., Панько Ю.Г., Юров А.А., Лопухов Г.П.

Аннотация: В статье показано, что группа импульсных невзрывных источников типа «Геотон-15» позволяет решать задачи скважинной сейсморазведки по изучению скоростной характеристики разреза и уточнению геологического строения околоскважинного пространства в круглосуточном режиме. Это обеспечивает сокращение сроков для проведения ВСП и сокращает финансовые затраты на строительство скважин.

Ключевые слова: сейсмика, ВСП, невзрывной импульсный источник, «Геотон-15», скоростная характеристика, околоскважинное пространство

31 Опыт совместной отработки площади различными типами источников в условиях Восточной Сибири

Куприянов И.С., Шишигин Ф.А.

Аннотация: В данной статье авторы делятся опытом проведения сейсморазведочных работ в условиях Восточной Сибири с

CONTENTS

EDITORIAL

Happy New year, dear colleagues, friends!

Turlov P.A.

INTERVIEW

The future prospects of geophysical seminar "GEOFEST" are good

An INTERVIEW of General director of the company "Firm "Geoseis"" Guriev S.V. to Turlov P.A., the editor-in-chief of the journal "Instruments and systems for geophysical prospecting"

TECHNOLOGIES FOR EXCITATION OF SEISMIC WAVES

The current state of vibroseis survey. Review of methods.

Shneerson M.B., Zhukov A.P.

Abstract: Review of the modern vibroseis survey methods is presented in the article. The authors have demonstrated that an arsenal of vibroseis survey has significant potential of data quality and field operations productivity improvement on the base of practical application of new technologies.

Keywords: seismics, vibroseis survey, vibroseis technology

Methods of seismic prospecting in the zones with ecologic restrictions

Guriev S.V., Patsev V.P., Yurov A.A.

Abstract: It is shown in the article that use of the compact impulse sources of the seismic waves (explosive and nonexplosive) and application of the dense acquisition configurations provides more detailed representation of earth structure, improves the quality of obtained sections in comparison with the "classic" system and considerably decreases environmental load in the seismic exploration area.

Keywords: seismics, ecological safety, impulse source Geoton-15, small explosive source, dense acquisition configuration, seismic section

Experience of application of nonexplosive impulse sources "Geoton-15" in seismogeological conditions of Pripyat deflection

Gromyko V.M., Smolianchenko O.V., Panko Yu.G., Yurov A.A., Lopukhov G.P.

Abstract: It is shown in the article that the group of nonexplosive impulse sources "Geoton" type enables to solve the problems of well logging seismic studies of subsurface velocity distribution and of more precise definition of borehole environment geology, in round-the-clock operation. This reduces VSP time and cuts down well construction expenses.

Keywords: seismics, VSP, nonexplosive impulse source, "Geoton-15", velocity distribution, borehole environment

Experience of joint usage of different types sources for shooting a seismic survey over the area in Eastern Siberia environment

Kupriyanov I.S., Shishigin F.A.

Abstract: In this article the authors share experience of seismic survey

совместным использованием для отстрела площади исследований импульсного и вибрационного источников. С учетом результатов выполненных работ приведены достоинства и недостатки каждого из использованных типов источников

Ключевые слова: сейсмика, импульсный источник «Енисей» КЭМ-4», вибратор СВ-30/120М

using the impulse source and vibrator for combined shooting a survey over the area in Eastern Siberia environment. With due account taken from the results of performed works, the merits and demerits of each used source type are presented.

Keywords: seismics, impulse source "Enisey CEM-4", vibrator SV-30/120M

36 Опыт применения импульсных источников «ЕНИСЕЙ» и «ГЕОТОН» при сейсмо-разведочных работах на лицензионных участках ОАО «НГК «Славнефть»

Сафаров Ю.Н.

Аннотация: Применение импульсных электро-динамических источников "Енисей" и "Геотон" позволяет проводить сейсморазведочные работы на территориях, недоступных для технологий взрывного и вибрационного возбуждения упругих колебаний. Резльтирующие геолого-геофизи-ческие материалы, полученные с импульсными источниками, по качеству сопоставимы с материалами, полученными со взрывной технологией возбуждения упругих колебаний.

Ключевые слова: сейсморазведочные работы, эксклюзивная зона, электродинамический источник, взрывная технология, временной разрез

Experience of application of impulse sources "Enisey" and "Geoton" for seismic survey on licensed areas of JSC "NGK "Slavneft"

Safarov Yu.N.

Abstract: It is shown in the article that the application of the impulse electrodynamic sources "Enisey" and "Geoton" permits to carry out seismic prospecting in the territories, inaccessible for explosive and vibratory technologies of the seismic waves excitation. The quality of the resulting geological-geophysical data, received with application of the impulse electrodynamic sources, and the quality of the data, received with application of the explosive technology, are comparable.

Keywords: seismic prospecting, exclusive zone, electrodynamic source, explosive technology, time section

НЕСТАНДАРТНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

41 Методические результаты применения UNIQ – технологии МОВ-ОГТ 3D на севере Западной Сибири

Кузнецов В.И., Долгих Ю.Н., Санин С.С., Мазниченко М.В., Грамматчиков С.Н., Смирнов В.А.

Аннотация: В статье приведены результаты впервые примененной на севере Западной Сибири UNIQ – технологии МОВ-ОГТ 3D. Полученный уникальный полевой сейсмический материал, позволяет объективно оценить методический потенциал новой технологии по сравнению со стандартными технологиями МОВ-ОГТ 3D.

Ключевые слова: сейсмика, технология UNIQ, МОГТ 3D

UNCONVENTIONAL FIELD TECHNOLOGIES

Methodological results of UNIQ – CMP 3D technology application in the North of Western Siberia

Kuznetsov V.I., Dolgikh Yu.N., Sanin S.S., Maznichenko M.V., Grammatchikov S.N., Smirnov V.A.

Abstract: The results of the first UNIQ – CMP 3D technology application in the North of Western Siberia are presented in the article. Received unique field seismic data permits to give an objective appraisal of methodological potential of new technology in comparison with the standard CMP 3D technologies.

Keywords: seismics, UNIQ technology, CMP 3D

47 Опыт выполнения сейсморазведочных работ ОАО «Калининградгеофизика» в густонаселённых районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью с применением бескабельного регистрирующего оборудования и одиночных геофонов

Карпухин И.В.

Аннотация: В данной статье автор делится опытом проведения сейсморазведочных работ в Сербии. С учетом результатов выполненных работ автором даны рекомендации по проведению сейсморазведочных работ в густонаселенных районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью.

Ключевые слова: сейсмика, бескабельная система сбора данных, одиночный геофон, вибратор

JSC "Kaliningradneftegeophysika" seismic survey experience in heavily populated and agricultural areas with application of wireless recording equipment and single geophones

Karpukhin I.V.

Abstract: In this article the author shares experience of seismic survey in Serbia. With due account taken from the results of performed works, the author gives the guidelines concerning seismic survey carrying out in heavily populated areas with developed agriculture.

Keywords: seismics, wireless data acquisition system, single geophone, vibrator

54 Опыт применения уплотненных систем наблюдения совместно с технологией «слип-свип»

Ефимов В.И.

Аннотация: В статье рассмотрена реализация метода «слип-свип» с уплотнением ПВ при использовании одиночного вибратора (точечное возбуждение сейсмических колебаний) или использовании двух вибраторов (уменьшение базы группы). Показано, что применение уплотнённых систем наблюдения совместно с технологией «слип-свип» обеспечивает: увеличение производительности сейсморобот, хорошее качество окончательных сейсмоданных, увеличение количества сейсмической информации.

Ключевые слова: сейсмика, вибратор, «слип-свип» технология, система наблюдений, пункт возбуждения, база группы

Experience of application of high-density surveying systems together with "slip-sweep" technology

Efimov V.I.

Abstract: The article discusses the implementation of "slip-sweep" method with shorter intervals between source points with single vibrator (point excitation of seismic waves) or with two vibrators (reduction of the group length). It is shown that the application of high-density shooting scheme together with "slip-sweep" technology provides: increase in productivity of seismic shooting, high quality of final seismic data, increase of the seismic information amount.

Keywords: seismics, vibrator, "slip-sweep" technology, shooting scheme, shot point, group length

ОБРАБОТКА СЕЙСМОДАННЫХ

60 Адаптивное суммирование при накоплении сейсмограмм

Романов В.В.

Аннотация: Рассмотрен алгоритм и практическая реализация автоматического адаптивного суммирования с использованием взаимнокорреляционной функции на примере данных инженерной сейсморазведки. Установлено значимое возрастание качества сейсмических данных по сравнению со стандартной процедурой суммирования.

Ключевые слова: сейсмика, суммирование сейсмограмм, взаимнокорреляционная функция, адаптивное суммирование, импульсные источники, инженерная сейсморазведка, качество сейсмограмм.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ

64 Кратные волны в методе вертикального сейсмического профилирования: проклятье или подспорье?

Шехтман Г.А.

Аннотация: В статье показано, что кратные волны, рассматривавшиеся на начальном этапе развития метода ВСП исключительно в качестве помех, несут в себе полезную информацию о параметрах геологического разреза и волновом поле внутри среды и на земной поверхности. В некоторых случаях кратные волны можно использовать для формирования изображения верхней части разреза. Для этого в существующие пакеты обработки данных ВСП необходимо внести соответствующие изменения.

Ключевые слова: сейсмика, ВСП, кратные волны

70 Комплексная интерпретация данных наземной сейсмической разведки 3Д и скважинных сейсмических исследований (ВСП) на Южно-Осташковском месторождении нефти (восточный блок)

Громыко В.М., Чечёткина Е.А., Смейн О.И.

Аннотация: В статье представлены новые данные о строении восточного блока Южно-Осташковского межсолового месторождения нефти. Эти новые данные получены в результате комплексной интерпретации данных наземной сейсмической съемки 3Д и скважинных сейсмических исследований (ВСП), выполненных на данном месторождении.

Ключевые слова: месторождение нефти, 3Д сейсмика, ВСП, интегрированная интерпретация

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

74 Опытное опробование блоков сбора данных бескабельной телеметрической сейсморегирующей системы «SCOUT» в электроразведке ЗС-ЗИ

Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Горячев В.В., Ларин С.В.

Аннотация: В статье приведены результаты опытного использования двухканальных блоков сбора данных бескабельной сейсморегирующей системы «SCOUT» при геофизических исследованиях электроразведочными методами зондирования становлением в ближней зоне и индукционного зондирования. Для сравнения была использована электроразведочная аппаратура «Цикл-7». Полученные результаты подтвердили хорошие перспективы использования системы «SCOUT» в электроразведке.

Ключевые слова: электроразведка, сейсморегирующая система, методы зондирования

PROCESSING OF SEISMIC DATA

Adaptive summation when seismograms summing
Romanov V.V.

Abstract: Cross-correlation function based algorithm and practical implementation of the automatic adaptive summation are examined with regard to the data of near-surface seismic. The significant increase in the quality of the seismic data versus the standard procedure of summation is revealed.

Keywords: seismics, summation of seismograms, cross-correlation function, adaptive summation, impulse sources, near-surface seismic, quality seismograms

VERTICAL SEISMIC PROFILING

Multiple waves in VSP survey: damnation or a help?
Shekhtman G.A.

Abstract: It is demonstrated in the article that the multiple waves, which on initial stage of VSP method development have been exclusively considered as the noise, carry the useful information concerning geological section parameters, subsurface and surface wave fields. In some cases the multiple waves can be used to form the images of near-surface section. It demands to make appropriate changes in existing VSP data processing packages.

Keywords: seismics, VSP method, multiple waves

Integrated interpretation of the data of land 3D seismic surveying and well logging seismic studies (VSP) on South-Ostashkovichskoe oil field (eastern block)

Gromyko V.M., Chechetkina E.A., Smeyan O.I.

Abstract: The new data concerning the structure of eastern block of South-Ostashkovichskoe intersalt oil field are presented in the article. These new data are received as the result of integrated interpretation of the data of land 3D seismic surveying and well logging seismic studies (VSP), carried out on this field.

Keywords: oil field, 3D seismics, VSP, integrated interpretation

INSTRUMENTS AND SYSTEMS

Experimental testing of data acquisition units of wireless telemetry seismic system "SCOUT" in electrical prospecting with inductive and TEM sounding methods

Bucharsky B.V., Bondarenko D.N., Goryachev V.V., Larin S.V.

Abstract: The results of experimental testing of two-channel data acquisition units of wireless telemetry seismic system "SCOUT" in electrical prospecting with inductive and near-field TEM sounding are presented in the article. Electrical exploration equipment "Cycle-7" has been used for comparison. The results of experimental testing confirmed promising perspectives of application of the system "SCOUT" in electrical prospecting.

Keywords: electrical prospecting, seismic data acquisition system, sounding methods

77 Использование донных автономных модулей (нодов) в геологоразведке*Крис Уолкер, Дэвид Хэйз*

Аннотация: В статье показано, что совместное использование автономных донных модулей сбора сейсмоданных и технологии возбуждения сейсмических колебаний в режиме flip-flop позволяет повысить эффективность и рентабельность морских сейсмических исследований и расширить возможности для широкоазимутальных исследований.

Ключевые слова: морская сейсморазведка, автономный донный модуль, технология возбуждения, "flip-flop", широкоазимутальные исследования

Ocean bottom modules (nodes) application in geological survey*Chris Walker, David Hays*

Abstract: It is demonstrated in the article that joint use of ocean bottom nodes and "flip-flop" shooting technology increases efficiency and cost-effectiveness of off-shore seismic exploration and expands possibilities for full azimuth exploration

Keywords: off-shore seismic, ocean bottom node, shooting technology, "flip-flop", full azimuth exploration

НАШИ ПАРТНЕРЫ

Приборы и системы разведочной геофизики.

Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издается с 2002 г.

Главный редактор:

к.т.н. П.А. Турлов
paturlov@mail.ru

Редакционная коллегия:

Н.П. Алелюхин,
к.т.н. А.В. Белоусов,
к.т.н. С.В. Горбачев,
д.г.-м.н. В.Я. Воробьев,
д.т.н. Г.Н. Гогоненков,
С.В. Гурьев,
к.т.н. В.А. Детков,
д.т.н. А.П. Жуков,
Б.В. Запорожец,
д.г.-м.н. С.И. Михеев,
к.т.н. О.М. Сагайдачная,
к.т.н. Н.В. Тарасов,
д.т.н. Г.Я. Шайдуров,
д.т.н. Г.А. Шехтман,
д.т.н. М.Б. Шнеерсон.

Выпускающий редактор:

И.М. Кузнецов

Координатор проекта:

С.А. Матвеев

Учредитель:

СРО МОО ЕАГО

Издатель:

ООО «Информ-ГеофизСервис»

Директор:

Турлов П.А.

Адрес издательства:

410019, Саратов,
ул.Крайняя, д.129
Тел. +7 (8452) 64 14 32

Обложка и оформление:

Д.В. Мокроусов

Вёрстка:

Д.В. Мокроусов

Тираж отпечатан в

типографии ООО

«Формат»

Тел. +7 (8452) 39-33-77

Тираж: 300 экз.

Подписано в печать:

10.12.2015

Дата выпуска:

25.10.2015

В оформлении обложки
использовано фото
ООО «Фирма «Геосейс»

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редакция может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов. Контакты с авторами статей ведутся через редакцию.

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ № 77-7906 от 27.04.2001 г.

ISSN: 2074-8906

Web-сайт: psrgео.ru

© Турлов П.А.,
составление, 2015
© ООО «Информ-геофизсервис», 2015

С Новым годом, дорогие коллеги, друзья!

■ Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

В настоящее время, в силу известных причин, нефтегазовая отрасль страны испытывает определенные трудности. Цены фьючерсов на нефть колеблются в районе 40 - 50 долларов США. При этом ожидается, что избыток предложения на рынке нефти в 2016 году сохранится. А еще на дворе кризис, санкции – плохое время для инвестиций в геологоразведку, что является основным препятствием для роста в области программ получения и обработки данных сейсморазведки. Вместе с тем, чтобы постоянно получать нефть и газ, нужно не прекращать их поиски. Будем надеяться, что инстинкт самосохранения у нефтегазовых компаний сработает и в 2016 году рынок сейсморазведочных работ начнет восстанавливаться.

Как правило, в новогодних номерах журналов вспоминают о животных, которые являются символами наступающего года. Согласно китайскому календарю в 2016 году на земле будет править Обезьяна, но не простая обезьяна, а огненная, так как символом будет огонь.

Обезьяна – креативный знак. Это животное очень симпатизирует творческим людям. Люди, рожденные под этим знаком гороскопа, могут просто фонтанировать фантазией, новыми идеями, предложениями, задумками и Обезьяна в обязательном порядке воплотит их в жизнь, так как она очень ценит профессиональный подход.

Обезьяна - это символ изобретателей, конструкторов, людей, любящих созидать. И это здорово! Ведь именно такие люди и заняты поиском и добычей природных ресурсов, именно такие люди и создают приборы и системы разведочной геофизики и именно такие люди составляют основной контингент наших читателей!

Таким образом, наступающий 2016 год – год всех наших читателей, с чем я вас и поздравляю!

Что касается нашего издания, надеюсь, вы уже ознакомились с представленным в третьем выпуске журнала 2015 года планом публикаций на 2016 год. Он включает следующие темы выпусков журнала:

• **№1(55)\2016 - Контроль качества полевого материала (подача материала для публикации до 15 февраля)**

• **№2(56)\2016 - Оптимизация обработки сейсмических данных (подача материала для публикации до 15 мая)**

• **№3(57)2016 - Современные сейсморегистрирующие комплексы (подача материала для публикации до 15 августа)**

• **№4(58)2016 - Современные сейсмотатчики (подача материала для публикации до 15 ноября)**

Мы постарались подобрать тематику выпусков журнала таким образом, чтобы каждый читатель смог найти для себя что-нибудь интересное. Хочу еще раз напомнить, что приведенный выше перечень тем выпусков журнала не является догмой. Как всегда, мы готовы рассмотреть Ваши предложения, уважаемые коллеги, и, при необходимости, внести соответствующие коррективы в тематику выпусков журнала.

В целом, я ожидаю, что 2016 год будет достаточно оживленным для нашего издания, и мы постараемся обеспечить вас свежей и интересной информацией. Так что в Новом году под знаком Обезьяны вам скучать не придется.

С наилучшими пожеланиями,



П.А.Турлов

Главный редактор

У геофизического семинара «Геофест» хорошее будущее

■ Интервью Генерального директора ООО «Фирма «Геосейс» Гурьева С.В.

Главному редактору журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» Турлову П.А.



Гурьев
Сергей Владимирович

генеральный директор
ООО «Фирма «Геосейс»

В июле месяце сего года (с 14 по 16 июля) в Конаково РиверКлаб (Московская область) состоялся геофизический семинар «ГЕОФЕСТ». Семинар был проведен под патронажем геофизической компании ООО «Фирма «Геосейс»», специализирующейся на проведении сейсморазведочных работ в эксклюзивных зонах, а также на поставках геофизического оборудования, предназначенного для проведения сейсморазведочных работ, включая хорошо известные среди российских, да и не только российских, геофизиков источники возбуждения сейсмических колебаний «Геотон».

Генеральный директор ООО «Фирма «Геосейс» С.В. Гурьев любезно согласился ответить на ряд вопросов Главного редактора журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» П.А. Турлова, касающихся состоявшегося геофизического семинара.

Турлов: Что послужило поводом для организации и проведения геофизического семинара «ГЕОФЕСТ»?

Гурьев: Поводов на самом деле несколько. Можно сказать, что наш семинар проводится под девизом «Современные тенденции сейсморазведки – в научно-производственную практику». Этот девиз уже говорит сам за себя. На геофизических мероприятиях порой не хватает времени на детальный разговор о тех или иных нюансах использования технологий у коллег. А в них, в нюансах, зачастую и заключается суть проблемы.. Выяснять детали после уже труднее и в результате новое и передовое не распространяется в широкую практику. Мы хотели сделать неформальное, не заорганизованное мероприятие, которое понравилось бы

участникам и расширило возможности общения единомышленников. На мой взгляд, после 20 лет переходного периода, когда геофизики России были разобщены, назрела необходимость проведения такого семинара, даже просто для того, чтобы выяснить, какие проблемы интересуют геофизическое сообщество.

Турлов: Как я понял, это и побудило Вас стать главным организатором этого семинара?

Гурьев: Решение организовать геофизический семинар «ГЕОФЕСТ», наряду с естественным стремлением к объединению российского геофизического сообщества, связано с весьма прагматичным желанием посмотреть

на технологические проблемы в сейсморазведке изнутри. Идея организации семинара родилась у меня совместно с Василием Степановичем Ковалевым, начальником Управления полевых сейсморазведочных работ РУП "ПО "Белоруснефть". Семинар решено было проводить раз в 2 года. С тех пор это наше 4 мероприятие. До этого его проводили в г. Речица Республика Беларусь на берегу Днепра. В этот раз, в связи с пожеланиями постоянных участников семинара и рядом других обстоятельств, организаторы решили провести семинар в России. Выбрали Подмосковье, берег Волги.

Турлов: Насколько семинар оправдал Ваши ожидания? Был ли достаточно представительным состав участников семинара?

Гурьев: Думаю, затея с семинаром удалась! Программа семинара, на мой взгляд, была интересной и обширной, а состав участников – достаточно представительным. Содержательность мероприятия на 95% определяется составом выступающих и должен отметить, что уровень докладов был высоким. С этой точки зрения я вполне удовлетворен.

Несомненным достижением явилась возможность, особенно ценная для «нестоличных» геофизиков, личных встреч со старыми друзьями и коллегами, разбросанными по всей стране, и дискуссий в ходе семинара. Уверен, у семинара «ГЕОФЕСТ» хорошее будущее.

Турлов: Какие наиболее интересные моменты в тематике выступлений, докладов Вы можете выделить?

Гурьев: Тематика докладов и выступлений была чрезвычайно обширной. Сами доклады и их обсуждения были очень активными и конструктивными. Все многообразие докладов и подходов, представленных на семинаре, на мой взгляд, можно сгруппировать на два блока: в первом блоке были представлены доклады, содержащие аналитические обзоры по той или иной тематике; во втором – основное внимание уделялось практическим результатам, полученным в ходе выполнения геофизических исследований. При этом, что отрадно, между этими двумя блоками докладов удалось соблюсти определенный баланс. Что касается меня, то я с большим интересом выслушал практически все доклады. Некоторые доклады были по просьбе участников повторно представлены в последний день работы семинара. Наиболее актуальными для меня были доклады по методикам, снижающим нагрузку на экологию при проведении сейсморазведочных работ и связанные с этим обсуждения, а также доклады по новым технологиям, впервые примененным в России. Мне понравилась активная дискуссия. Широко были представлены Заказчики, которые активно участвовали в работе семинара, предлагая свое видение геофизических услуг. Я считаю, что многое из того, что было заслушано на семинаре, достойно быть представленным на страницах Вашего журнала.

Турлов: Ну что ж. Уже сейчас могу Вам сказать, что ознакомившись с докладами, представленными на семинаре «ГЕОФЕСТ», редакция журнала приняла решение о публикации ряда докладов в ближайшем выпуске журнала. Кстати, там же будет опубликовано и данное интервью.

Гурьев: Чудесно! Учитывая очень широкую читательскую аудиторию Вашего журнала, это решение, во-первых, позволит многим геофизикам, не сумевшим принять участие в работе семинара, познакомиться с интересной научно-технической информацией, доложенной на семинаре, а, во-вторых, привлечет их внимание к нашему семинару. Думаю, что данное взаимодействие между семинаром и журналом должно практиковаться и в будущем.

Турлов: Надеюсь, что так оно и будет. По крайней мере, так обычно происходило после каждой научно-практической конференции «Встречи на Волге». Кстати, не дублируют ли эти мероприятия друг друга?

Гурьев: Ни в коей мере! Основной контингент участников конференции «Встречи на Волге» это разработчики и изготовители геофизического оборудования. Наш основной контингент – геофизики. А вообще я исповедую такой принцип: «Пусть будет много семинаров - разных, интересных и полезных». Жаль, что эта конференция в последнее время не проводится. Если она возродится, то удобным форматом

будет ее проведение раз в 2 года, в очередь с «ГЕОФЕСТом».

Турлов: Почему формат Вашего мероприятия - семинар?

Гурьев: Мы проводим семинар, а не конференцию или, скажем, международный симпозиум, хотя контингент участников, высокий научный уровень докладов и выступлений вполне позволяют реализовать и такой формат. Научный семинар в академических кругах посещают только заинтересованные люди. Именно это имеет место и на нашем научно-производственном семинаре, где царит непринужденное и свободное общение профессионалов. В отличие от конференции семинар менее заорганизованное мероприятие.

Турлов: Согласен! Ну и в заключение наш традиционный вопрос: «Что Вы хотите пожелать нашим читателям?»

Гурьев: Помимо традиционных пожеланий здоровья и успехов в работе, я приглашаю Вас и читателей журнала принять участие в очередном международном семинаре «ГЕОФЕСТ», который состоится в 2017 году. Этот год будет для нашей компании юбилейным. Будем стараться провести запоминающийся семинар. Надеюсь, что информацию о времени и месте проведения семинара читатели смогут найти и на страницах Вашего журнала.

Турлов: Договорились и спасибо за приглашение.

Современное состояние вибрационной сейсморазведки.

Обзор методик

■ Шнеерсон М.Б., проф. МГРИ и РГУ нефти и газа,

■ Жуков А.П., проф. МГУ, г.Москва

Введение

Практика применения вибрационной сейсморазведки показывает, что она достаточно эффективна и обоснована теоретически и экспериментально [1,2]. Тем не менее, необходимость решения все более сложных задач и стремление к снижению стоимости работ обосновывают необходимость развития и совершенствования методики полевых вибросейсмических работ. В последние годы наметились достаточно эффективные направления развития методики полевых вибросейсмических работ, основные из которых следующие: расширение частоты возбуждаемых колебаний в сторону низких и высоких частот, адаптивная вибрационная сейсморазведка (АВИС); повышение производительности полевых работ; использование совмещенных, смешанных систем наблюдений; переход на одноточечные схемы возбуждения и приема колебаний. Рассмотрим основные положения этих направлений и результаты их применения [3].

1. Расширение частотного состава возбуждаемых колебаний.

Общепринятая технология работ предусматривает возбуждение колебаний в полосе частот от 8 – 10 Гц до 80 – 100 Гц, т.е в пределах 3,0 – 3,5 октав. Современные требования к качеству конечных материалов сейсморазведки обосновывают необходимость расширения полосы частот регистрируемых колебаний до 5 – 6 октав. Увеличение октавности вибрационных записей возможно путем смещения частоты возбуждаемых колебаний в сторону низких (до 1 – 4 Гц) частот и повышения уровня излучаемых коле-

баний за счет уменьшения скорости изменения частоты управляющего сигнала на высоких частотах (адаптивная вибрационная сейсморазведка).

1.1. Возбуждение низких частот (ВНЧ)

Эффективная работа вибраторов на частотах до 6 Гц ограничена рядом технологических факторов, из которых ключевыми являются «ход поршня», величина усилия, развиваемого вибратором, и время излучения колебаний [3]. Значимость этих параметров основывается на том, что при квазигармоническом излучении колебаний справедливо следующее соотношение, которое вытекает из второго закона Ньютона:

$$f = (F / 4\pi^2 S M_r)^{1/2},$$

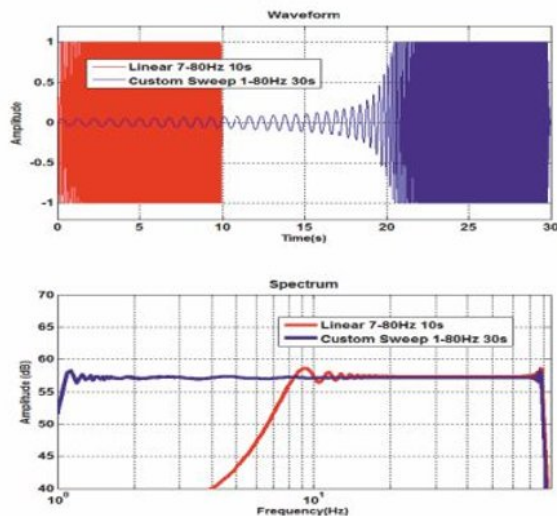
где f – частота возбуждаемых волн, F – усилие, развиваемое вибратором, S – ход поршня и M_r – реактивная масса вибро-возбудителя (масса гидравлического цилиндра).

Из приведенного уравнения следует, что смещение в сторону низких частот возможно путем снижения силового параметра вибратора, увеличения «хода поршня» и инерционной массы. Работы по созданию широкополосного вибратора с рабочей полосой частот 6 и более октав ведутся в двух направлениях:

Первое - предусматривает снижение уровня возбуждаемых колебаний и увеличение длительности излучения на частотах менее 6 Гц на существующих вибрационных источниках.

Второе – предусматривает изменение, модернизацию конструкции вибратора.

Низкочастотное возбуждение на основе существующих вибрационных

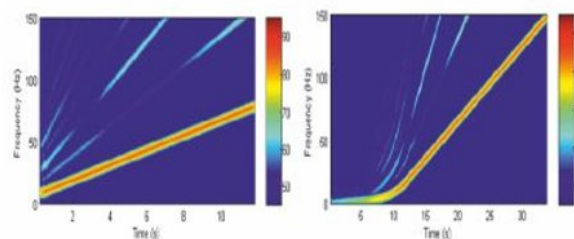


▲ Рис. 1. Амплитудные кривые и спектры управляющих сигналов с частотами 7 – 80 Гц (красные кривые) и 1 – 80 Гц (синие кривые).

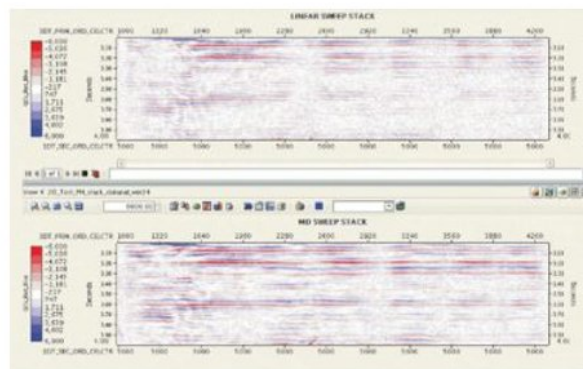
источников реализовано путем применения нелинейных управляющих сигналов с уменьшенным уровнем силового воздействия на среду [4] и скорости развертки управляющего сигнала в его начальной (низкочастотной) части, в области скоса от 8 – 5 Гц до 1,5 – 2 Гц. Снижение интенсивности генерируемых волн компенсируется увеличением времени излучения колебаний на этих частотах, что реализовано в зарубежных и отечественных вибраторах, а используемые при этом управляющие сигналы получили название «свипы максимального смещения» (maximum displacement sweep) [3]. На рис. 1 и 2 приведены характеристики этих сигналов и кривые изменения частоты во времени для линейного сигнала и сигнала максимальной длительности, которые отражают особенности последнего.

Выборочные материалы, иллюстрирующие эффективность применения расширенных по частоте управляющих сигналов, показаны на рис. 3.

Второе направление по расширению полосы частот возбуждаемых колебаний



▲ Рис. 2. Характер изменения частоты линейного управляющего сигнала частотой 8 – 80 Гц (слева) и сигнала «максимальной длительности» частотой 1,5 – 150 Гц (справа).

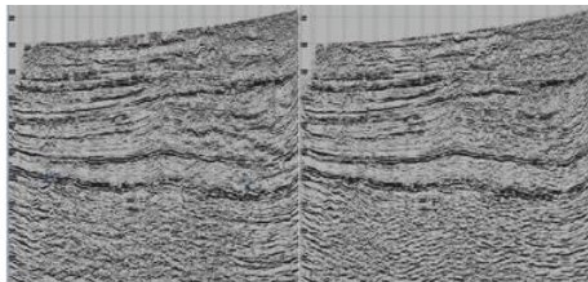


▲ Рис. 3. Временные разрезы, полученные со стандартным линейным свипом (сверху) и свипом максимальной длительности (внизу).

предусматривает модернизацию стандартных вибраторов. В [7] приведены результаты ее реализации на примере стандартного вибратора Kz2BLF-V3 для работы на частотах до 5 Гц. Они предусматривали увеличение величины хода поршня, изменение размеров излучающей плиты и некоторых других узлов.

Анализ полученных материалов показал, что разрез со свипом 1,5 – 84 Гц оказался лучше, чем с 3 – 84 Гц, особенно, в низкочастотной части (Рис.4).

Развитие вибрационной техники в этом направлении связано с созданием и промышленным применением низкочастотных сверхмощных вибраторов с усилием 80000 фунтов для работ по одноточечной технологии без группирования источников колебаний. Уход в



▲ Рис. 4. Временные разрезы, иллюстрирующие работу вибратора с сигналами 1,5 – 84 Гц (слева) и 3,0 – 84 Гц (справа).

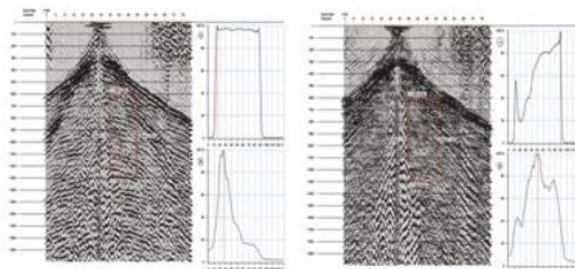
сторону низких частот при работах с отечественными вибрационными источниками также получил практическое применение в России.

1.2. Повышение уровня высоких частот (Адаптивная вибрационная сейсморазведка, АВИСейс).

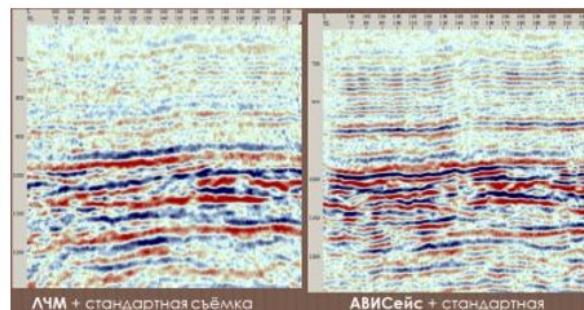
Возможности вибрационной сейсморазведки по относительно увеличению уровня высокочастотных составляющих колебаний в спектре излучаемых волновых полей реализованы в отечественном методико-аппаратурном комплексе «Адаптивная вибрационная сейсморазведка, АВИСейс» [2]. Его теоретической и методическими основами является наличие прямой зависимости уровня излучаемых колебаний от скорости изменения частоты управляющего сигнала. Поэтому ее увеличение или уменьшение приводят к соответствующему уменьшению или увеличению амплитуд генерируемых волн. Аппаратурной основой технологии АВИСейс является система управления работой вибрационных источников колебаний с набором программ, позволяющих на основании спектрального анализа зарегистрированных волн, рассчитывать параметры управляющих сигналов, компенсирующих дефект амплитуд целевых волн в заданной полосе частот. Комплекс может работать практически со всеми современными вибрационными источ-

никами и приемно-регистрирующими системами. К настоящему времени комплекс опробован и успешно применяется при проведении поисковых и детальных работ 2D и 3D. На рис. 5 и 6 приведены материалы, иллюстрирующие особенности и эффективность комплекса АВИСейс.

Сравнение коррелограмм и их спектров



▲ Рис. 5. Пример расширения спектра волн при использовании технологии «АВИСейс».



▲ Рис. 6. Фрагменты временных разрезов, полученных с сигналами ЛЧМ (слева) и по технологии АВИСейс.

Полученные материалы по увеличению октавности возбуждаемых колебаний в вибрационной сейсморазведке показывают, что совместное применение технологий «ВНЧ» и «АВИСейс» определяет перспективы развития вибрационной сейсморазведки и делают ее действительно широкополосной..

2. Повышение производительности работ.

Повышение производительности полевых работ было и остается одной из актуальных задач сейсморазведки.

Специфика вибрационной сейсморазведки, обусловленная возбуждением

протяженных во времени и различных по параметрам частотно-модулированных колебаний в сочетании с последующей корреляционной обработкой получаемых первичных записей и вычислительными возможностями современной аппаратуры, позволили предложить, обосновать и реализовать оригинальные схемы проведения полевых наблюдений, позволяющие значительно повысить производительность полевых работ. В них она достигается путем одновременной отработки нескольких физических точек, сокращения и исключения затрат времени на прием колебаний и переезд вибраторов при соответствующих изменениях аппаратуры, технологии и организации работ. Особенно эффективными эти технологии оказались при проведении работ в открытых пустынных и полупустынных районах Азии [3,7].

2.1. Разновременное возбуждение колебаний.

Один из первых способов повышения производительности работ предусматривал одновременную работу двух групп вибраторов на одну приемную расстановку, из которых одна группа вибраторов излучала сигналы с разверткой вверх (А), а другая - вниз (Б). Проведенные опытные работы подтвердили возможность разделение записей. Тем не менее, это направление не получило практического применения из-за относительно низких отношений сигнал/помеха на результирующих записях, не превышающих 30 дБ.

Следующий способ повышения производительности работ, получивший название «скользящий» свип или «slip-sweeper» [3], предусматривает работу на одну приемную расстановку приборов двух и более групп источников, расположенных на одном или разных пунктах возбуждения, с определенными, задан-

ными задержками времени. Наблюдения ведутся по схеме, по которой одна группа вибраторов возбуждает колебания, а другая - перемещается на следующий пункт возбуждения и готовится к работе. Затем начинает работать вторая группа, а первая перемещается и так далее. При этом интервалы времени между последующими воздействиями разных групп вибраторов выбираются не меньше временной глубины разведки для возможности освещения разреза на всю временную глубину. Времена начала вибрирования и положение каждой группы излучателей фиксируются и заносятся в память для последующей обработки записей. Колебания с разных пунктов возбуждения принимаются и регистрируются в памяти большого объема, образуя суммарную виброграмму. При обработке она последовательно коррелируется с использованным управляющим сигналом, но каждый раз с известными временными сдвигами, соответствующими временам излучения данного управляющего сигнала, что и позволяет разделить записи и получить коррелограммы, соответствующие отработанным пунктам возбуждения. Технология «скользящего свипа» получила применение при съемках 3D в пустынных районах ближнего Востока и в некоторых районах России. Однако, возникающие при корреляции нелинейные компоненты волновых полей (гармоники) от следующих воздействий накладываются на полезные записи от предыдущих возбуждений, снижая тем самым, качество получаемых результатов. При этом наиболее интенсивной оказывается вторая гармоника. Для ее ослабления было предложено несколько способов, которые позволяют существенно снизить уровень этих помех. Практика показывает, что наличие достаточно эффектив-

ных способов подавления гармоник расширяет перспективы применения технологии «slip-sweep» и повышения производительности полевых работ.

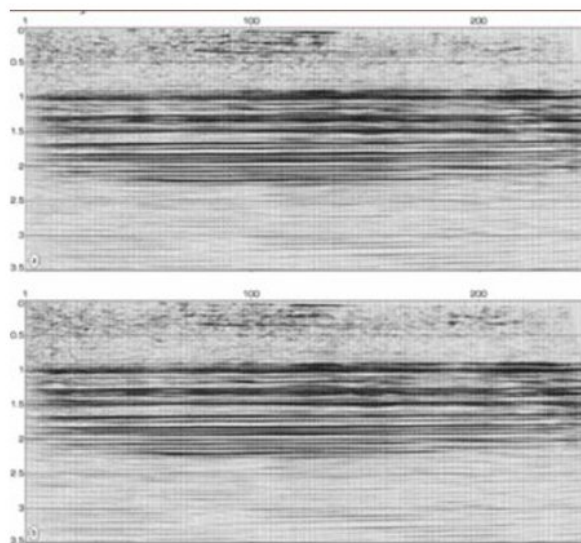
2.2. Исключение времени слушания между посылками излучаемых колебаний.

Рассматриваемая технология предусматривает излучение заданной последовательности идентичных по частоте и длительности управляющих сигналов, следующих непрерывно друг за другом и регистрацию поступающих колебаний без затрат времени на прием и регистрацию волн, кроме последнего. Эта методика получила название «каскадный свип» [3]. Для разделения сигналов каждый из серии управляющих сигналов должен иметь начальный сдвиг по фазе, равный $2\pi/n$, где n , число сигналов в серии. Опробование и применение каскадных свипов оказалось достаточно успешным, и было показано, что их применение позволяет повысить производительность работ на 20 – 40 % при допустимом уровне помех от предыдущих воздействий. Тем не менее, в последнее время наблюдается уменьшение объемов работ по этой технологии.

2.3. Применение длительных управляющих сигналов (40 и более с.)

Практика работ показывала, что посылки длительностью 6 – 10 с. являются оптимальными. Однако в свете повышения производительности работ повысился интерес к применению более протяженных во времени управляющих сигналов [3]. Он основан на том, что синхронное накопление сигналов и увеличение длительности управляющих сигналов в одинаковой степени влияют на отношение сигнал/помеха. Поэтому синхронное накопление может быть заменено более протяженными управляющими сигналами. При этом отпадает

необходимость в приеме и регистрации колебаний после каждого воздействия, что и ведет к повышению производительности работ. Кроме того, при протяженных управляющих сигналах меньше сказываются их «скосы» на уровень регистрируемых волн. На рис. (7) приведен один из значительного числа имеющихся примеров, иллюстрирующих идентичность временных разрезов, полученных с накоплением воздействий, и с соответственно более протяженными управляющими сигналами.



▲ Рис. 7. Пример идентичности временных разрезов, полученных с сигналом длительностью 48 с (вверху) и с 6 сигналами длительностью 8 с каждый (внизу).

2.4. Одновременная работа нескольких разнесенных по площади групп вибраторов.

Компания British Petroleum (BP) разработала оригинальную технологию, предусматривающую одновременную работу нескольких разнесенных в пространстве групп вибраторов на одну расстановку сейсмоприемников [3]. Предложенная методика основывается на том, что если расстояние между группами источников равно или больше, чем вынос, необходимый для прослежива-

ния самого глубокого целевого горизонта, то это позволяет получить неискаженные записи отраженных волн в пределах заданного временного интервала. Эта технология была успешно применена при широко-выносных и широко-азимутальных съемках 3D большой плотности в Омане. Исходя из условий проведения работ (области прослеживания целевых горизонтов и величина максимального выноса), расстояние между групп вибраторов было выбрано равным 12 км.

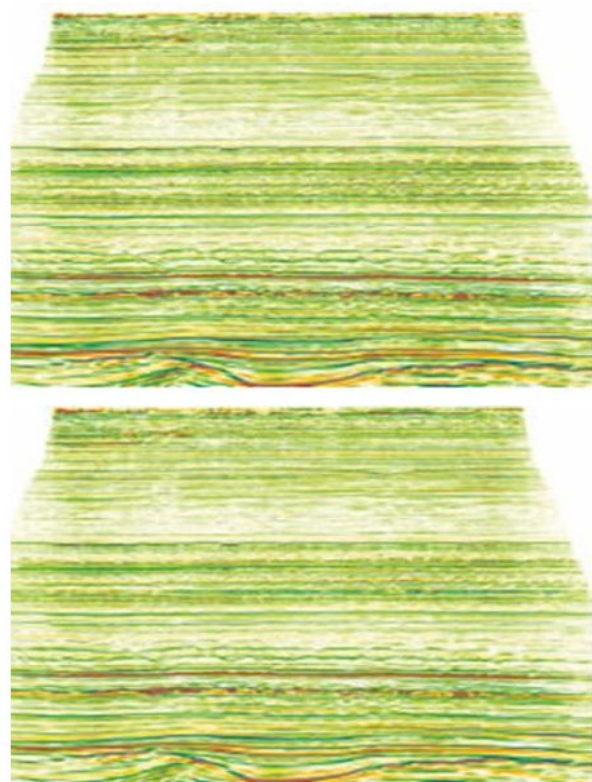
2.5. Независимое одновременное вибрирование.

В основе этой технологии лежит предположение о том, что при одновременной работе на объекте нескольких, отстоящих друг от друга вибрационных источников с произвольными, но известными параметрам управляющих сигналов, суммарное регистрируемое волновое поле будет носить нерегулярный характер [3]. И если известно время начала работы данного вибратора и параметры управляющего сигнала, то корреляционная обработка сигналов позволяет из суммарного, общего волнового поля выделить колебания, соответствующие этому вибратору. И так последовательно для каждого пункта возбуждения. Эта технология сначала была опробована при съемках 3D в Алжире, а затем успешно применена при широко-масштабных работах в сопредельных районах. Для сравнения определен участок площади был отработан по стандартной и новой методикам. На площади было задействовано восемь вибраторов, каждому из которых была выдана схема расположения тех пунктов возбуждения, которые ему необходимо было отработать. Последовательность их отработки не оговаривалась, что обеспечило эффективную, производительную

работу каждого вибраторов, т.к. отпала необходимость ожидания готовности других установок и приемной аппаратуры. На рис.8 приведены фрагменты временных разрезов по одному и тому же участку профиля полученных по стандартной и новой технологиям. Они практически идентичны, что свидетельствует об эффективности этого способа повышения производительности полевых работ.

2.6. Смешанная, совмещенная технология полевых сейсморазведочных работ.

Стремление существенного повышения качества и производительности полевых сейсморазведочных работ по плотным и сверхплотным системам наблюдений 3 и 4D обосновывают смешанную, совмещенную технологию



▲ Рис. 8. Пример разделения волн. Наверху фрагмент временного разреза, полученного по стандартной технологии. Внизу фрагмент разреза, полученного при одновременной работе излучателей.

сейсморазведочных работ (Blended acquisition), теоретические и методические основы которой освещены в работах [5,7]. Она предусматривает одновременную несинхронную работу на площади съемки большого числа источников с одинаковыми или разными параметрами излучаемых колебаний и регистрацию колебаний единой приемной системой. Последующее разделение и выделение колебаний, соответствующих каждому пункту возбуждения, производится на этапе обработки колебаний после введения соответствующих поправок. Применительно к вибрационной сейсморазведке - это работы с узкополосными различающимися по центральным частотам управляющими сигналами, обладающими следующими потенциальными преимуществами: - простота конструкции узкополосных источников; - оптимизация параметров излучаемых колебаний в соответствии с центральной частотой; - возможность эффективного перекрытия желаемого диапазона частот и существенное повышение отношения сигнал/помеха. Авторы [5,7] прогнозируют широкое применение этой технологии и «конец» несмешанных технологий ведения сейсмических работ.

3. Отказ от группирования источников колебаний.

В последнее время в вибрационной сейсморазведке наметилась тенденция отказа от группирования источников и приемников колебаний [6]. Обусловлено это стремлением к сохранению высокочастотных компонент в возбуждаемых волновых полях, которые ослабляются при ухудшении условий суммирования колебаний на базе группы при работах на участках с пересеченным рельефом и сложным строением зоны малых скоростей. Кроме того, при работах возникают трудности с размещением групп вибрат

торов на местности из-за значительных размеров излучателей. Эти причины, а также новые технические и методические решения и разработки привели к тому, что некоторые организации отказываются от применения интерференционных систем в поле и переходят на работы с одиночными вибраторами и сейсмоприемниками, так называемая «одноточечная» технология работ. Для достижения приемлемых соотношений сигнал/помеха работы проводятся по системам наблюдений повышенной плотности и с управляющими сигналами большой длительности (до 40 с). На рис. приведен один из положительных примеров работ без группирования вибраторов.

Одноточечные наблюдения привлекают все большее внимание производителей работ. Так, например, в [6] подведены итоги девятилетнего применения одноточечной технологии в Кувейте и показано, что она экономически эффективна и позволяет успешно решать структурные и интерпретационные задачи в различных сейсмо-геологических условиях.

4. Новая парадигма наземных сейсморазведочных работ.

За последние годы произошли значимые изменения в технологии наземных сейсморазведочных работ, которые, в первую очередь, связаны с применением сверх плотных систем наблюдений и существенным повышением производительности полевых работ, существенно ограничивающие возможности контроля качества каждого физ. наблюдения. В связи с этим в [8] обосновывается новая парадигма наземных полевых работ, суть которой состоит в отказе от группирования при возбуждении и приеме колебаний, в существенном повышении плотности наблюдений и в переходе от

исходных индивидуальных записей большой кратности с высоким качеством материала к записям с несколько худшим отношением сигнал/помеха, но полученным при уменьшенных до нескольких метров интервалах дискретизации по азимутам и выносам.

Заключение

Обзор современных методов вибрационной сейсморазведки показывает, что в ее арсенале имеются значительные возможности по повышению качества получаемых материалов и производительности полевых работ, которые основываются на применении широкополосных управляющих сигналов в диапазоне от 1,5 до 100-120 Гц, одновременном возбуждении колебаний несколькими излучателями и последующем разделении волн, а также совершенствовании вибраторов и систем управления, обеспечивающих практическое применение новых технологий.

Будущее покажет, в какой степени эти направления будут эффективны и получат широкое применение в практике отечественной сейсморазведки.

Литература

1. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки (2000), Шнеерсон М.Б., Жуков А.П. / М.: ООО «Недра – Бизнесцентр»
2. Сейсморазведка с вибрационными источниками (2011), Жуков А.П., Колесов С.В., Шехтман Г.А., Шнеерсон М.Б. / «Изд. ГЕРС», г. Тверь
3. Современные тенденции вибрационной сейсморазведки (2010), Шнеерсон М. Б., Жуков А.П. / Сб. Приборы и системы разведочной геофизики №3, г. Саратов
4. «Усовершенствование низкочастотного вибратора модели Kz28LF-V3 и его применение для улучшения сейсмических изображений глубоко залегающих отражающих

горизонтов, A. Shujie, L. Zhigang, T. Zhiwei, S. Men, G.Wenpei, 2014, в сб. Расширенные тезисы докладов на ежегодной конференции SEG, Денвер.

5. Berkhout A.J. (2012), Blended acquisition with dispersed source arrays, Geophysics, Vol.77, №4

6. Single-sensor technology – a story of success from Kuwait, (2012), A.H. El-Emam, A. Al-Eldan, K. Shams Al-Deen, 74 EAGE Conference, Extended Abstract, P034

7. The end of unblended acquisition, (2013), G. Berkhout, G. Blacquiere, E. Verschuur, 75 EAGE Conference, Workshop paper: 103

8. Lansley M. Shifting paradigms in land data acquisition, First Break, (2013), V.31, №3

Подробнее об авторах



Шнеерсон
Михаил Борисович

доктор технических наук, профессор
Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина.



Жуков
Александр Петрович

доктор технических наук, профессор МГУ,
Директор ООО "Геофизические Системы Данных"

Методики выполнения сейсморазведочных работ в зонах с экологическими ограничениями

- Гурьев С.В., Юров А.А., Компания Геосейс, г. Москва
- Пацев В.П., ПАО «Самаранефтегеофизика», г. Самара

В настоящее время в связи с общим стремлением к сбережению окружающей среды возникает все больше ограничений в области производственных сейсморазведочных работ. Поэтому все популярнее становятся идеи «зеленой» сейсмики [1], призывающие к снижению экологической нагрузки при выполнении работ на производственном уровне.

Благодаря широкому использованию при выполнении проектов современного телеметрического сейсморегистрирующего оборудования, применению уплотненных систем наблюдения, сейсморазведка становится более детальной, решая тем самым широкий круг задач нефтегазовой геологии. При этом на экологию района проведения работ зачастую оказывается неблагоприятное воздействие. Некоторые площадные проекты предполагают уплотнение линий наблюдения в пределах 100–250 м. Соответственно, при стандартном подходе к выполнению работ растет объем лесорубочных работ, ущерб экологии района работ, наносимый тяжелой техникой, буровзрывными работами. Так при высокоплотных проектах количество взрывов в скважинах на кв.км может достигать двухсот (при шаге ЛВ – 200м и ПВ – 25м).

Решение, значительно сокращающее ущерб природе, неоднократно использовалось геофизическими компаниями и предполагает расположение регистрирующего оборудования по линиям приема, не превышающим по ширине 1 м. При этом можно использовать как кабельное, так и бескабельное оборудование, которое активно внедряется производи-

телями и имеет различные подходы к регистрации (слепая регистрация, нодальные системы сбора данных, онлайн передача данных) (рис.1). Одним из примеров таких работ может послужить проведение в сезоне 2012–2013 производственных испытаний новой разработки компании Геосейс на одной из площадей Салымского месторождения ХМАО с применением экологосберегающей технологии [2].



▲ Рис. 1. Бескабельный блок сбора и регистрации данных UNITE с внешним питанием.

Расстановка и обслуживание регистрирующей системы при этом проводится с использованием малогабаритных транспортных средств или вручную персоналом. При правильном подходе к организации топогеодезических работ и использовании всех возможностей современного геодезического оборудования такие работы успешно выполняются. При этом линии пунктов возбуждения сейсмического сигнала при классическом подходе все так же отрабатываются с применением тяжелой техники, мощных взрывных и невзрывных источников, для проезда которых по профилю необходима вырубка просек от 4 до 6 метров.

Эта ситуация связана со скудностью выбора применяемых технологий, обеспечивающих выполнение работ с меньшей экологической нагрузкой. Производители невзрывных сейсмоисточников (за малым исключением) не готовы предоставить малогабаритные и при этом эффективные решения. Буровые станки в основном смонтированы на тяжелых и габаритных ТС.

Реальными технологиями, позволяющими проводить обработку площадей по узким профилям (1-2 метра), являются:

- технологии выполнения работ с взрывным источником в скважинах, пробуренных малогабаритными буровыми установками (ОАО «Пермнефтегеофизика»);

- технологии возбуждения упругих волн невзрывными импульсными сейсмоисточниками «Геотон-15».

Работы со взрывными источниками проводятся по визирам шириной до 1 м с использованием малогабаритных буровых установок УБШМ-1-13 и возбуждением упругих колебаний малыми зарядами 0.100 - 0.400 кг в скважинах глубиной 1.5 - 8 м. Для зимних работ установки смонтированы на санях и буксируются снегоходами [3]. Для летних работ используются самоходные шасси, квадроциклы и даже ручная транспортировка облегченных буровых установок (рис. 3-4).



▲ Рис. 2. Малогабаритная буровая установка на квадроцикле.



▲ Рис. 3. Малогабаритная буровая установка без транспортного средства.

Данная технология актуальна в первую очередь для залесенных территорий, предгорного рельефа и открытых болот. Учитывалось, что проведение сейсморазведочных работ оказывает воздействие на:

- растительность (рубка леса);
- почвенный покров (воздействие транспорта, бурение скважин);
- поверхностные и грунтовые воды (воздействие буровзрывных работ);
- фауну (влияние шумов, создаваемых двигателями транспортных средств и взрывами);
- атмосферу (выбросы продуктов сгорания бензина и дизтоплива, взрывчатых веществ).

Перечисленные факторы воздействия на окружающую среду в предложенной технологии хотя и присутствуют, но минимизированы до такой степени, что разрешительные органы санкционируют проведение изыскательских работ без каких-либо препятствий и задержек, поскольку:

- вырубка лесов практически прекращена, производится лишь расчистка

трасс (шириной до 1 м) от подроста, взрослые деревья не вырубаются и готовятся трассы только для подъезда сейсмостанции;

- почвенный покров не нарушается. Происходит лишь некоторое уплотнение верхнего почвенного слоя без образования колеи;

- верхние грунтовые воды не подвергаются воздействию при бурении скважин глубиной до 8 м;

- максимально снижен вес заряда (менее 0.1 кг), с его полной укупоркой грунтом.

Невзрывная технология с применением источников «Геотон-15» (рис.4) позволяет отказаться от применения даже малого количества взрывного материала и бурения, тем самым оказывая еще меньшее негативное воздействие на экологию.



▲ Рис. 4. Источник «Геотон-15» на снегоходе.

Уникальным опытом опробования маломощных источников возбуждения упругих колебаний совместно с одноприборными сейсмоприёмниками можно считать проведение экспериментальных работ ПАО «Самаранефтегеофизика» при участии Компании Геосейс в 2015 году.

Применение маломощных источников возбуждения поначалу было вызвано невозможностью использования традиционного источника, что было связано с поверхностными условиями. Возникнув в качестве альтернативного варианта,

маломощные источники оказались способными обеспечить решение задач сейсморазведки при изменении (увеличении) плотности сейсмических наблюдений.

При использовании импульсных источников можно отметить два пути повышения качества сейсмических наблюдений: повышение качества сейсмограмм одиночных ПВ и уплотнение системы сейсмических наблюдений.

Не отрицая целесообразность повышения качества сейсмограммы на каждом ПВ, следует отметить, что гораздо более эффективным оказалось не столько накопление энергии на одном ПВ, сколько реализация уплотнённой системы наблюдений за счёт сокращения расстояния между ПВ и получения дополнительной информации с большим числом независимых ПВ. Это обеспечивает увеличение детальности и кратности сейсмических исследований. Таким образом, можно допустить некоторое снижение качества отработки одиночных ПВ. В свою очередь, увеличение плотности и кратности сейсмических наблюдений компенсирует потерю качества первичных сейсмограмм. Зашумлённость сейсмограмм можно рассматривать аналогично зашумлённости отдельного накопления, впоследствии суммируемого при выполнении вибросейсмической регистрации. Разница заключается в том, что уплотнённые отдельные физические наблюдения суммируются на этапе суммирования ОГТ.

Сопоставление результатов, получаемых при возбуждении сейсмических колебаний различными источниками возбуждения, проведено в СНГЕО на одной из характерных площадей восточной части Самарской области. Толщина осадочного чехла в районе работ составляет около 3000 м. В геологическом

строении рассматриваемой площади принимают участие породы кристаллического фундамента архейского возраста и осадочного чехла, представленного отложениями девонской, каменноугольной, пермской систем палеозойской группы, неогеновой и четвертичной систем кайнозойской группы. Зона низких скоростей составляет 80-100 м.

Взрывные источники располагаются в зоне малых скоростей и не соответствуют оптимальной глубине размещения заряда ввиду большой ее мощности.

Отработка опытного профиля производилась:

- взрывным источником возбуждения упругих колебаний в одиночной скважине (шаг ПВ – 50м, шаг ПП – 25м);
- взрывным источником возбуждения упругих колебаний группой скважин (шаг ПВ – 50м, шаг ПП – 25м);
- импульсным источником возбуждения упругих колебаний «Геотон», 14-16 накоплений, с записью промежуточных накоплений (4, 6, 8, 10, 12, 14), шаг ПВ – 12.5м, шаг ПП – 25м.

Импульсный источник рассматривается как маломощный источник.

В качестве приемной расстановки использовались 3 приемные линии, расположенные параллельно (Рис.5):

1. 12-ти приборные группы сейсмоприемников.
2. 6-ти приборные группы сейсмоприемников,
3. одноприборные каналы (геофоны SG-5).

При сопоставлении исходных (одиночных) ПВ (рис. 6-7), полученных взрывным источником (группа из 3-х скважин) и импульсным источником ГЕОТОН (группа из 12 источников) следует отметить, что качество выделения отражающих горизонтов выше на сейсмограммах, полученных взрывным источником, по срав-



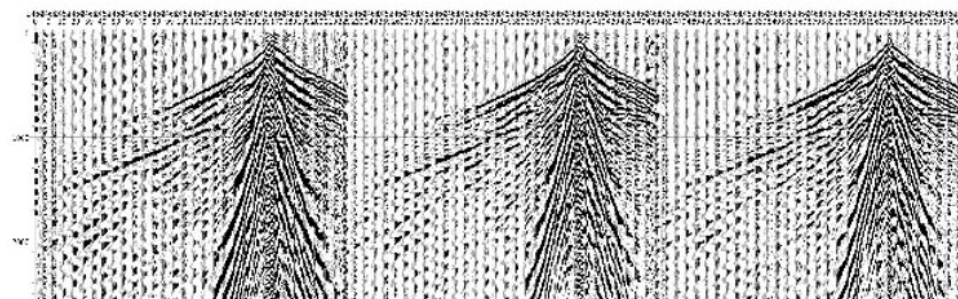
▲ Рис. 5. Установка сейсмических каналов на пикете приёма.

нению с импульсным источником. Однако при обработке сейсмического материала по единому графу были получены разрезы с другим распределением качества выделения отражающих горизонтов (рис. 8). Здесь разрезы, полученные по материалам с источником ГЕОТОН, выгодно отличаются от разрезов по материалам, полученным взрывным источником. Ослабление мощности источника компенсировано уплотнением системы наблюдения (количество ПВ увеличено в 4 раза, кратность перекрытия в 2 раза, детальность отображения по X увеличена в 2 раза), обеспечив в процессе цифровой обработки более сильное, чем в случае с «классическим» источником, ослабление многократных волн-помех и более выразительное отображение целевых отражений.

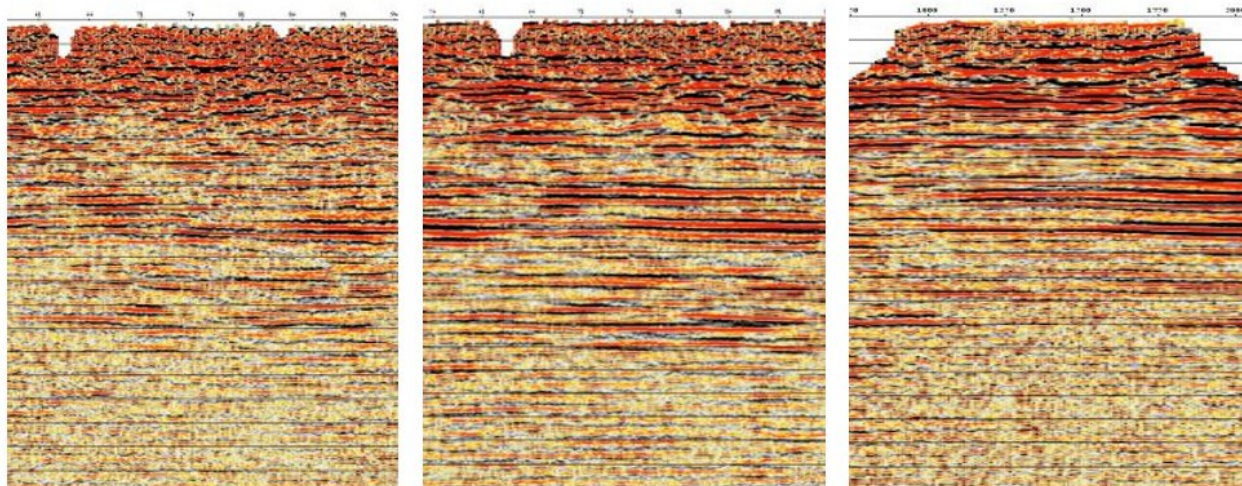
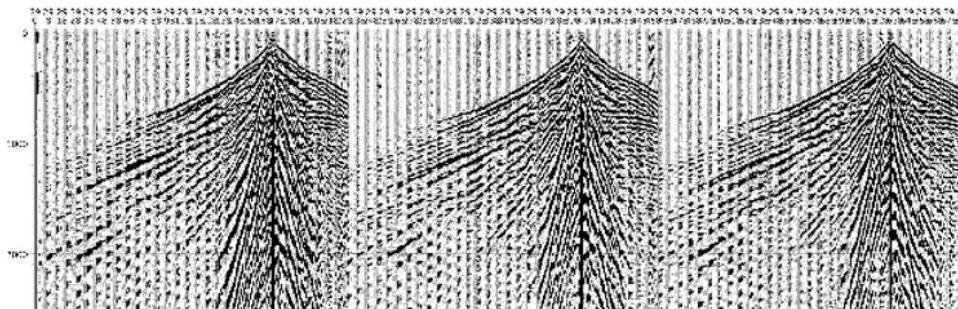
Это делает применение мобильных источников «Геотон-15» целесообразным не только в условиях, где невозможно применение «классических» источников, а также в условиях, где требуется повышенная детальность отображения геологического строения.

Уплотнение системы наблюдений неизбежно приводит к уменьшению размеров группирования взрывов и приборов. С этой точки зрения представляет интерес предельно малый размер

► Рис. 6. ПВ 55085
FFID 2464.
12 источников
(Геотон), 14 накл.



► Рис. 7. ПВ 55085
FFID 29. Перебор
глубины
заложения
заряда
(3 скв., 4м).



▲ Рис. 8. Профиль А. Сравнение фрагмента суммарных разрезов взрывных и импульсного источников. Регистрация: 6-ти приборная группа «в точке».

групп приборов, сведённый в «точку». Вопрос эффективности работы группы приборов для 3D съёмки неоднократно освещался в учебной и научной литературе. Подавление регулярных помех в условиях систем 3D обеспечивается многократным перекрытием в пределах бина. Поэтому при работах 3D допустимо использование малых линейных размеров баз групп взрыва и приёма».

Для 2D съёмки влияние направленности группы приборов не базе 25м незначительно (рис. 9). Фактически влияние группы сказывается на волнах длиной до

40 м, то есть для реальных сейсмических волн длиной 100-250м направленность группы можно считать равномерной.

Эти положения подтверждаются выполненным в ПАО СНГЕО опробованием различных типов приборов и групп сейсмоприёмников. На рис. 6, рис 7 приведены примеры сейсмограмм 2D, зарегистрированных разными группами приборов. При оптимальном уровне усиления все сейсмограммы выглядят абсолютно одинаково, вне зависимости от типа приборов и размеров группы. И поскольку чувствительность и частотные

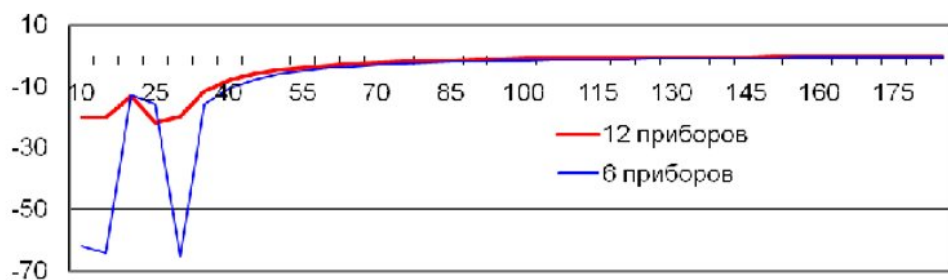
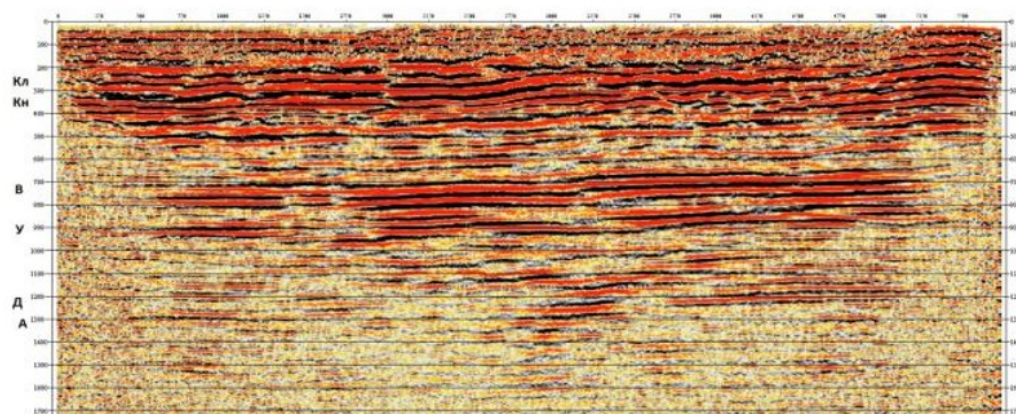
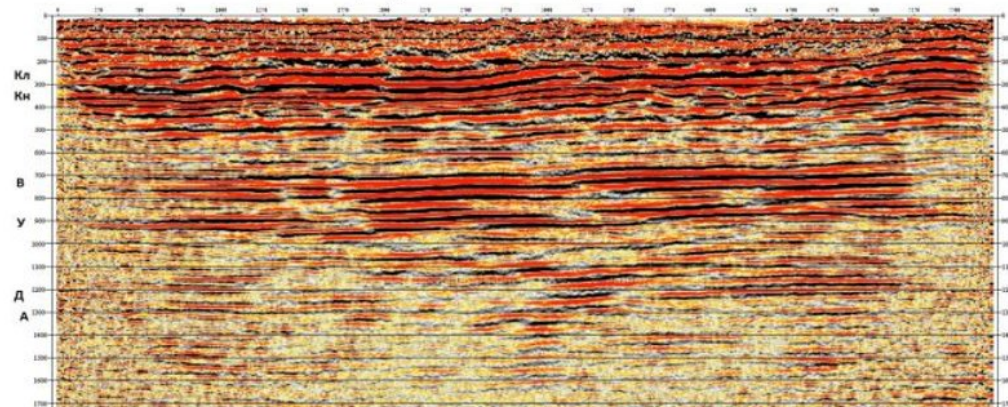


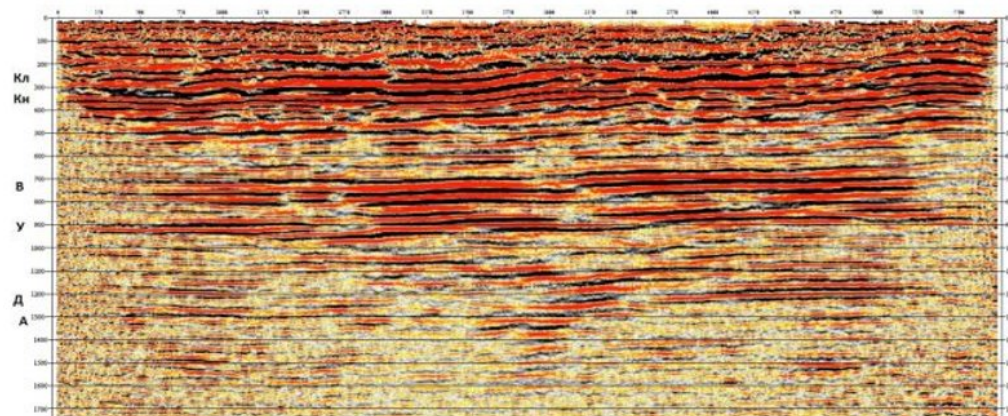
Рис. 9. Отклик группирования группы приёмников.



Регистрация: цифровые одноприборные датчики SG5



Регистрация: группа из 6 приборов на базе 25м

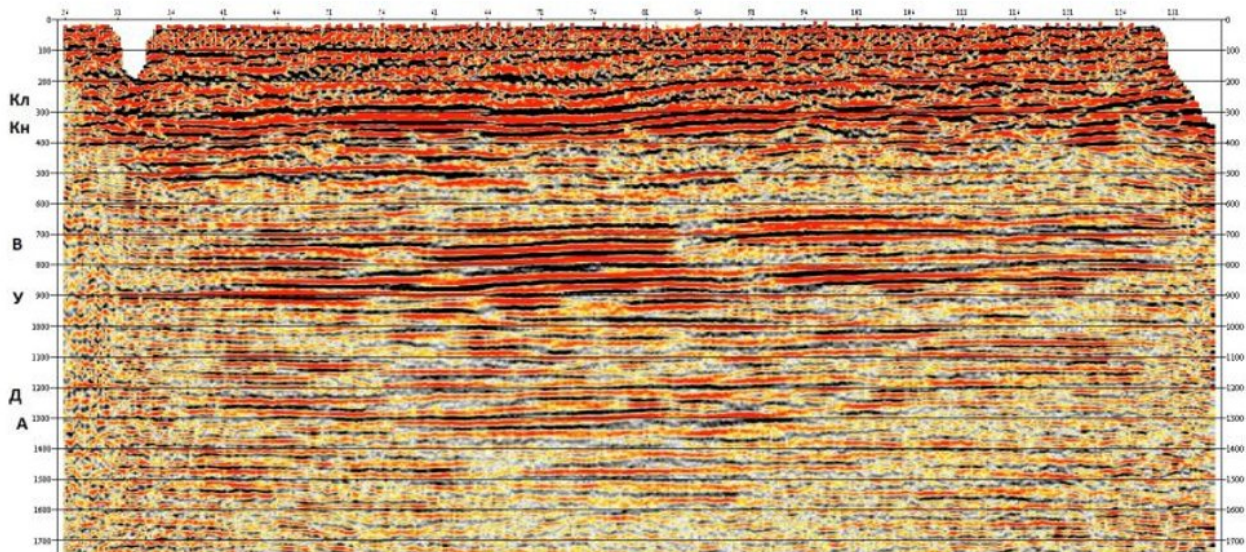


Регистрация: группа из 12 приборов на базе 25м

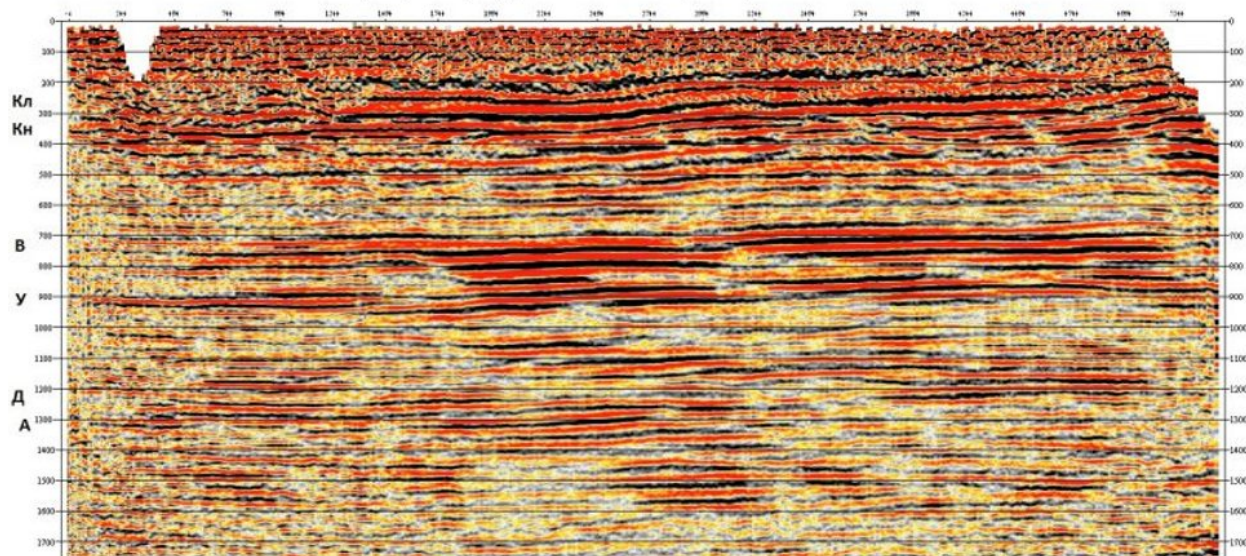
Рис. 10. Суммарные разрезы. Геотон 12 шт. 14 накоплений. Сравнение приёмных каналов.

характеристики всех опробованных приёмных линий достаточны для регистрации отражённых сигналов, то и

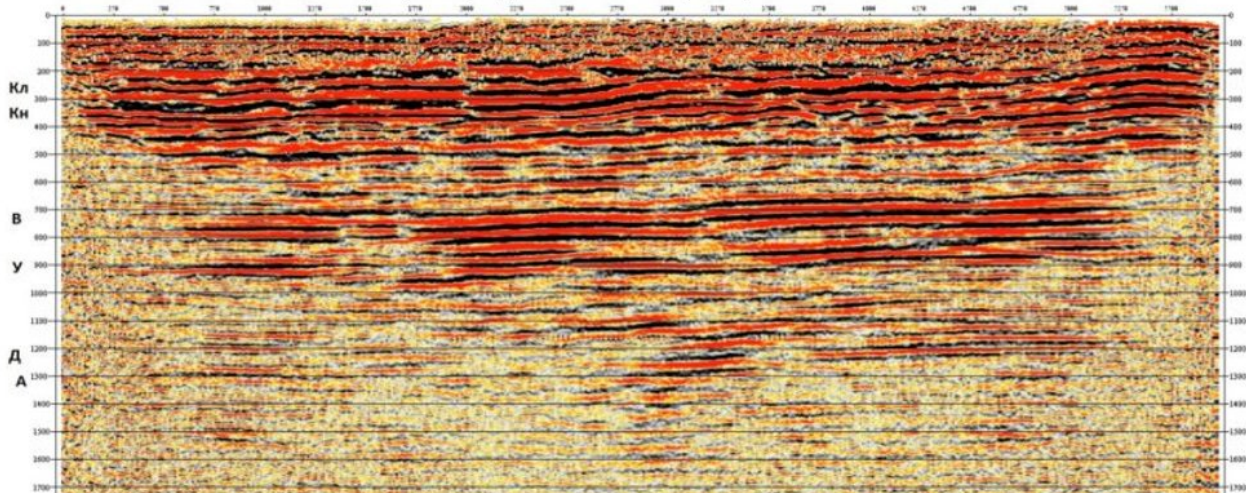
результаты цифровой обработки, (рис. 10-11) практически не отличаются друг от друга.



Регистрация: цифровые одноприборные датчики SG5



Регистрация: цифровые одноприборные датчики SG5



Регистрация: цифровые одноприборные датчики SG5

▲ Рис. 11. Сравнение суммарных разрезов взрывного и импульсного источников. 6-ти приборная группа.



▲ Рис. 12. Импульсный источник «Геотон -15» в санном варианте на Камазе. Группирование 6-ти источников.

Выводы:

Применение и адаптация имеющихся разработок для работ в эксклюзивных зонах позволит значительно снизить экологическую нагрузку, получая при этом качественные сейсмоданные.

Использование малогабаритных источников упругих колебаний: импульсных ГЕОТОН, взрыв малых зарядов в неглубоких скважинах, позволит решать геологические задачи в условиях мощной ЗМС. При этом уплотнение системы наблюде-

ний обеспечит более детальное отображение строения и улучшит качество получаемых разрезов по сравнению с «классической» системой.

Группы из 6-ти, 12-ти приборов, сведённые в «точку» и одиночные приборы (геофоны SG-5) применимы для производственных сейсморазведочных работ на съёмках с шагом ПП 25м и меньше.

Литература

1. «Газпром нефть» впервые в России внедряет «зеленую» сейсморазведку // Газпром нефть [Офиц. сайт]. 29.05.2014 г. URL: <http://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/1102210/>
2. Юров А.А., Лопухов Г.П., Гурьев С.В. Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. № 3. С. 49-53.
3. Столбова Т.А., Ланцев В.Ф., Рошмаков Ю.В. Экологосберегающая технология сейсморазведки в труднодоступных районах // Технологии сейсморазведки. 2009. № 4. С. 83-88.

Подробнее об авторах



Гурьев
Сергей Владимирович

Генеральный директор
ООО «Фирма«Геосейс»



Пацев
Владимир Петрович

начальник группы
сопровождения полевых
сейсморазведочных работ
ПАО «Самара-
нефтегеофизика»



Юров
Антон Александрович

Главный геофизик
ООО «Фирма«Геосейс»

Опыт применения невзрывных импульсных источников «Геотон-15» в сейсмогеологических условиях Припятского прогиба

■ Громыко В.М., Смолянченко О.В., Панько Ю.Г., «РУП «ПО «Белоруснефть»,
■ Юров А.А., Лопухов Г.П., ООО «Фирма «Геосейс», г.Москва

В 2014 году Белорусским научно-исследовательским проектным институтом нефти (БелНИПИнефть) компании РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» в контрольной скважине № 9015 Некрасовского месторождения (глубина искусственного забоя 4100 м) проводились опытно-производственные работы ВСП с использованием группы невзрывных импульсных источников «Геотон-15», предоставленных российской компанией «Геосейс-Сервис» (рис. 1).



▲ Рис. 1. Расположение группы источников «Геотон-15» на пункте возбуждения.

Для проведения исследований были использованы четыре пункта возбуждения, расположенные по азимуту 159 на удалении 100, 1000, 1500 и 2000 м. В качестве источника сейсмических колебаний, кроме «Геотон-15», использовались заряды ВВ (0.4 кг), помещенные в специальную скважину глубиной 18 м. Регистрация осуществлялась с применением стандартного комплекта аппаратуры АМЦ-ВСП-3-48М с тремя (ПВ3 и ПВ4) и пятью (ПВ1 и ПВ2) скважинными трехкомпонетными (X, Y, Z) приборами. Параметры регистрации: длина записи – 4 с, шаг дискретизации – 2 мс.

Основной задачей исследований было - оценить возможность использования невзрывных источников «Геотон-15» для выполнения работ ВСП в сейсмогеологических условиях Припятского прогиба в кругло-суточном режиме работ.

Источник «Геотон-15» относится к группе

импульсных наземных невзрывных источников сейсмических колебаний, исполнительный механизм которого осуществляет единичные воздействия на геологическую среду. Импульсные источники типа «Геотон-15» используются для проведения наземных сейсморазведочных работ и исследований по методике ВСП более 10 лет, однако в сейсмогеологических условиях Припятского прогиба они использовались впервые.

Принцип работы источника «Геотон-15» основан на силовом взаимодействии электромагнитных полей, вызванных протеканием токов в обмотках (катушках) электромеханических преобразователей. В рабочем положении опорная плита прижимается к грунту массой преобразователя. Происходит разряд емкостных накопителей энергии через обмотки якоря и реактора преобразователя. В результате взаимодействия электромагнитных полей обмоток возникает импульс механической силы, приводящий в действие рабочую плиту. Под действием кратковременных нагрузок точки среды выводятся из положения равновесия и начинают совершать собственные колебания.

В основу конструктивного решения импульсного электромагнитного сейсмоисточника положена идея применения силы короткоходового электромагнита, возбуждаемого от импульсной схемы питания, обеспечивающей энергопреобразование в режиме, близком к постоянству потокосцепления магнитного поля электромагнита. Это решение позволило обеспечить к.п.д. преобразования энергии, потребляемой от емкостного накопителя схемы питания, 60-70%, и развивать усилия в десятки тонн длительностью 5-8 с, что и определило эффективное возбуждение сейсмических волн в необходимом для сейсморазведочных работ частотном диапазоне [1].

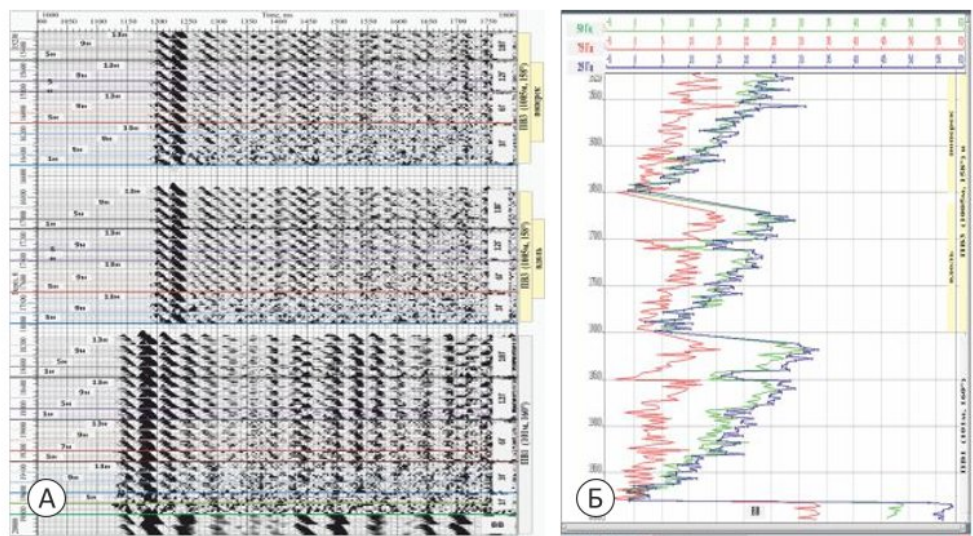


Рис. 2. Выбор количества накоплений: а) волновое поле при разных параметрах группирования и накопления; в) соотношения сигнал/помеха (Z-компонента).

Перед началом основных работ ВСП на ПВ100 и ПВ1000 проводились опытные наблюдения для определения оптимального количества источников «Геотон-15» и числа накоплений, а также их сравнения с сигналом от заряда ВВ весом 0.4 кг. На ПВ1000, с целью оценки влияния расстановки на характер зарегистрированного сигнала, импульсные источники размещались вдоль и поперек профиля (линия ПВ - устье скважины). Скважинные приборы (пять штук) были расположены на глубине 3500 м в плотных карбонатных породах межсолевого комплекса.

Обработка материалов опытно-производственных исследований ВСП с импульсными и взрывными источниками проводилась с использованием пакета для обработки и интерпретации данных скважинной сейсморазведки UNIVERS на базе ПК в операционной среде LINUX (разработчик ООО «ГЕО-ВЕРС», Россия).

Граф обработки включал в себя: ввод данных, формирование вертикального профиля, учет геометрического расхождения, ввод статических поправок, определение годографа первых вступлений, расчет скоростной модели, полосовая фильтрация, селекция (разделение) волнового поля на падающие и отраженные волны, деконволюция по форме падающей волны, вывод отраженных волн на вертикаль.

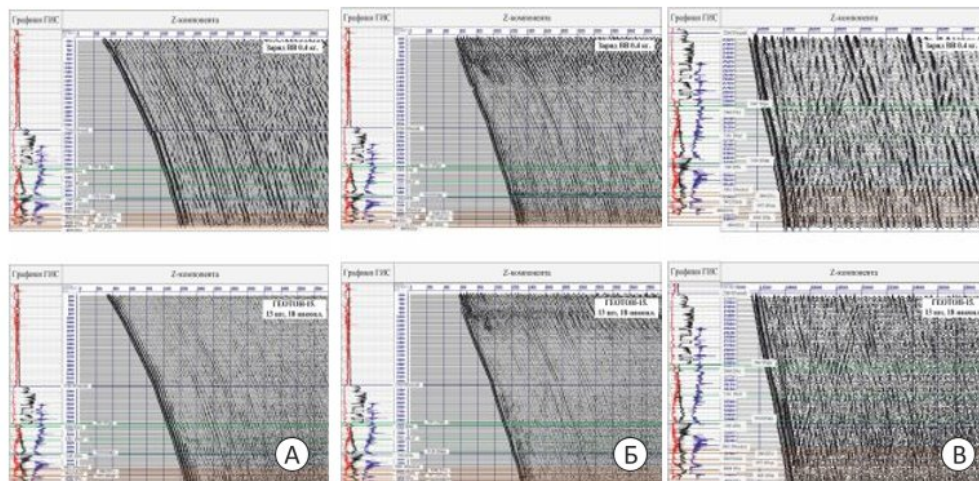
Определение оптимального числа невзрывных импульсных источников «Геотон-15» и числа накоплений (рис. 2) проводилось по результатам предварительных

опытных работ на ПВ100 и ПВ1000 на основе анализа зарегистрированных сейсмограмм от пяти скважинных приборов, установленных на глубине 3420-3500 м.

Рассматривая амплитуды сигнала прямой проходящей волны в первых вступлениях, можно отметить, что количество накоплений не влияет существенно на амплитуду зарегистрированного сигнала, поскольку на запись «идет» среднее значение амплитуды от всех накоплений ($A \cdot N/N$). В то же время, соотношение сигнал/помеха очень чувствительно к этому параметру. Фактически он является определяющим при выборе источника сейсмических колебаний. Здесь отмечается определенная разница между зарядом ВВ и импульсным источником (примерно в два раза), однако информация, полученная при 18 источниках и 13 накоплениях, вполне удовлетворяет требованиям к качеству первичного полевого материала. Различия в расстановке импульсных источников - вдоль и поперек профиля - не оказали практически никакого влияния на характер зарегистрированного сигнала.

Основываясь на результатах опытных работ, было принято решение продолжить исследования из 4-х пунктов возбуждения с использованием группы из 18 источников «Геотон-15», которые были размещены в три ряда по 6 штук при 13 накоплениях (рис. 1). Нормировка потрассная. Из ПВ100, ПВ1000, ПВ2000 регистрация сейсмического сигнала проводилась попеременно при одном прижиме приборов к стволу скважины от взрыва и группы «Геотон-15» в светлое

► Рис. 3. Исходные волновые поля:
а) ПВ1 (101 м, 160о);
б) П2 (1003 м, 158о);
в) ПВ3 (1984 м, 159о).



время суток. В темное время суток работы выполнялись только с «Геотон-15» и продолжались до трех часов ночи (ПВ100). На следующий день эти интервалы отрабатывались со взрывами. На ПВ1500 исследования выполнялись только с группой импульсных источников в период с 7 утра до 1 часа ночи.

Проанализируем исходные наблюдаемые волновые поля (рис. 3).

1. Импульс прямой проходящей продольной волны от группы «Геотон-15» имеет более стабильную и устойчивую форму, чем от взрывного источника.

2. Соотношение сигнал/помеха для различных частот для взрывного источника примерно в 2 раза больше, чем от импульсного на ПВ1 и ПВ2 (200-230 и 45-60 соответственно) и в 1.2 раза на ПВ4 (46-54 и 22-30). Соотношения сигнал/помеха с глубиной для заряда ВВ и группы «Геотон-15» изменяется аналогично.

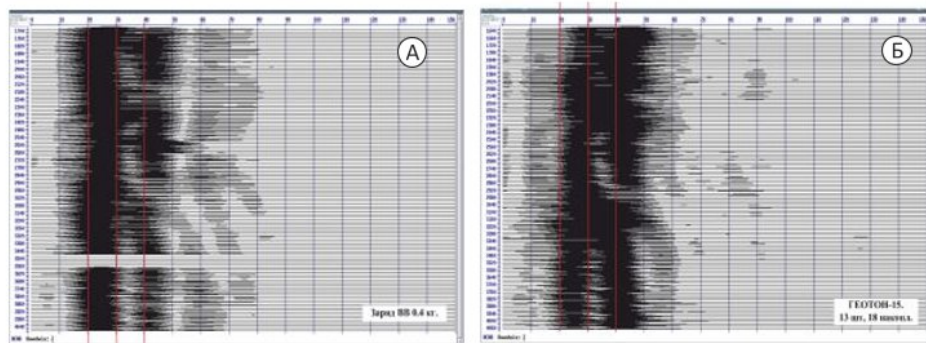
3. Импульсный источник имеет более высокий диапазон преобладающих частот - 20-40 Гц, по сравнению со взрывным - 15-30 Гц (рис. 4).

Сравнительная оценка качества и информативности данных, полученных в результа-

те обработки, выполнялась по полю отраженных продольных волн, выведенных на вертикаль. Результаты такой оценки свидетельствуют о практически полной идентичности материалов, полученных от взрывного и группы импульсных источников. При этом в целом от группы «Геотон-15» отмечается более высокочастотный характер поля отраженных волн и лучшая прослеживаемость отдельных отражающих границ (рис. 5).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что группа импульсных невзрывных источников типа «Геотон-15» позволяет решать поставленные перед скважинной сейсморазведкой геологические задачи по изучению скоростной характеристики разреза и уточнению геологического строения околоскважинного пространства. Источники «Геотон-15» обеспечивают сокращение сроков задолженности скважины для проведения ВСП за счет работы в темное время суток и, следовательно, сокращают финансовые затраты на строительство скважин. Определенным ограничением их использования являются поверхностные условия на территории Припятского прогиба, прежде всего заболоченность

► Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика (ПВ2):
а) с зарядом ВВ (0.4 кг);
б) с группой Геотон-15 (18 шт, 13 накопл.)



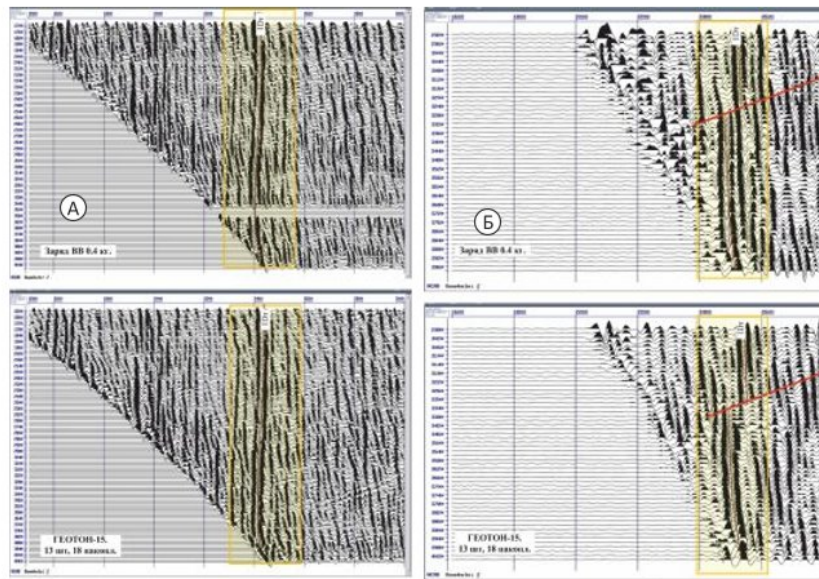


Рис. 5. Поля отраженных волн от разных источников, выведенных на вертикаль:
а) ПВ2;
б) ПВ4

местности. Однако их практически всегда можно использовать на ближнем пункте возбуждения, что позволяет проводить регистрацию сразу с двух ПВ - ближнего («Геотон-15») и дальнего (заряд ВВ в скважине). Тем самым, обеспечивается сокращение сроков выполнения полного комплекса работ ВСП на скважине. При благоприятных условиях работы аналогичным образом можно проводить и из двух удаленных пунктов возбуждения. Кроме того, импульсные невзрывные источники можно использовать при наземных сейсмических работах 2Д и 3Д в эксклюзивных зонах, в частности, в населенных пунктах, на участках с развитой сетью коммуникаций, в поймах

рек, на реках и озерах в зимний период при достаточной толщине льда.

Литература

1. Гурьев С.В., Лопухов Г.П., Юров А.А., Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения. Приборы и системы разведочной геофизики, №3(45)/2013 стр.49-52



Панько
Юрий Георгиевич
Управление полевых сейсмо-разведочных работ, РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», начальник отряда ВСП



Громыко
Валентин Михайлович
БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», ведущий геофизик отдела сейсмической интерпретации



Лопухов
Геннадий Петрович
ООО «Фирма «Геосейс», советник по научно-техническим вопросам, д.т.н.



Смоляченко
Ольга Владимировна
БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», ведущий геофизик отдела сейсмической интерпретации



Юров
Антон Александрович
ООО «Фирма «Геосейс», главный геофизик

Опыт совместной отработки площади различными типами источников в условиях Восточной Сибири

■ Куприянов И.С., Шишигин Ф.А., АО «Якутскгеофизика», г. Якутск

Основной целью сейсморазведочных работ является получение качественного сейсмического материала, позволяющего решать геологические задачи. В настоящее время при проведении наземных сейсморазведочных работ используются следующие типы источников: импульсные источники взрывного и невзрывного типов и вибрационные источники. Физические принципы возбуждения упругих колебаний одинаковы для всех типов источников. Вибрационная невзрывная сейсморазведка, основываясь на тех же принципах, что и импульсная, отличается от нее использованием длительных, переменных во времени нагрузок известной формы. Взрывная импульсная методика отлична от других тем, что для возбуждения упругих колебаний используются заряды взрывчатых веществ, помещенные в пробуренные скважины или в неглубокие шурфы[2]. Невзрывная импульсная методика занимает среди них среднее положение, и для нее характерны короткие импульсные воздействия, уступающие по мощности взрывным.

В течение длительного времени производства сейсморазведочных работ сложилось представление о том, что взрыв заряда ВВ на оптимальной глубине является наилучшим способом возбуждения упругих колебаний. Но с развитием технических и методических средств сейсморазведки, разработкой эффективных невзрывных источников колебаний как импульсных, так и вибрационных, положение существенно изменилось[1]. Для разных геологических условий подход к применению конкретных типов источников на сейсморазведочных

объектах сегодня должен выбираться исходя из их эффективности в этих условиях, при этом, несомненно, нужно учитывать такой фактор как минимально вредное воздействие на окружающую среду. Как для заказчика, так и для исполнителя работ немаловажным фактором при выборе источника является более низкая себестоимость, которая достигается при невзрывной методике. В этом случае импульсные источники имеют небольшой приоритет по сравнению с вибрационными. Взрывная сейсморазведка характерна высокой стоимостью за счет применения бурового инструмента и взрывчатых веществ, а также большими рисками при выполнении работ.

Несмотря на все это, геофизики зачастую становятся приверженцами определенных типов источников, не принимая во внимание то, что в конкретной геологической обстановке данные типы источников не обеспечивают оптимальные соотношения таких параметров как цена, время выполнения работ и качество.

ОАО «Якутскгеофизика» - предприятие с огромным производственным опытом и опытом обработки и интерпретации сейсморазведочных данных, работает с использованием всех выше перечисленных методик возбуждения сейсмических колебаний. В данной статье рассмотрен положительный пример совместного использования импульсных и вибрационных невзрывных источников сейсмических колебаний на одной из площадей.

В полевом сезоне 2014-2015 года на одном из объектов в Восточной Сибири в Мирнинском районе Республика Саха (Якутия) силами нескольких партий ОАО «Якутскгеофизика» была успешно отра-

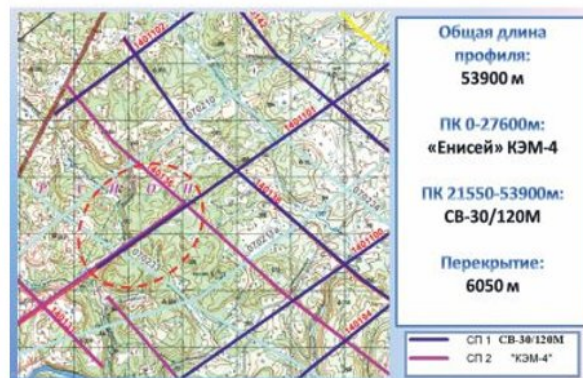
◀ Табл. 1.

№	Основные параметры	Значение
1	Метод	МОГТ-2D
2	Сейсмостанции	Sercel 428 XL
		INOVA G3i SP3006
3	Количество каналов в приемной	281
4	Шаг квантования, мс	1
5	Количество и тип сейсмоприемников	12шт. в точке
6	Расстояние между пунктами	50
7	Система наблюдений	Центральная
8	Расстояние между центрами групп	25
9	База группирования, м	В точке
10	Кратность перекрытия	71 при бине 12,5
11	Отклонение от номинальной	До 10%
12	Минимальное расстояние ПВ-ПП, м	0
13	Максимальное расстояние ПВ-ПП, м	3500
14	Источник возбуждения упругих колебаний	"Енисей" КЭМ-4
		вибратор, СВ-30/120М
15	Количество источников	2-3
16	Количество накоплений	4-8
17	Длина записи, сек	6
18	Фильтрация: ФВЧ, Гц	открытый канал
	ФНЧ, Гц	0.8 Nyquist, Min
19	Формат записи	SEGD/SEG Y
20	Точность планово-высотной привязки пунктов физических наблюдений	В плане +/- 3 м, по высоте +/- 1.5 м

ботана площадь с использованием импульсного и вибрационного типов источников («Енисей» КЭМ-4, СВ-30/120М) с параметрами регистрации, приведенными в таблице 1.

В виду большого объема работ, выполнение которого планировалось на один полевой сезон, а также отсутствия свободных сейсморазведочных партий, укомплектованных одинаковым типом источников, по согласованию с заказчиком было решено провести опытно-методические работы с применением различных типов источников. С этой целью был отработан совместный профиль с перекрытием, длина которого составила 6050 м (рис. 1).

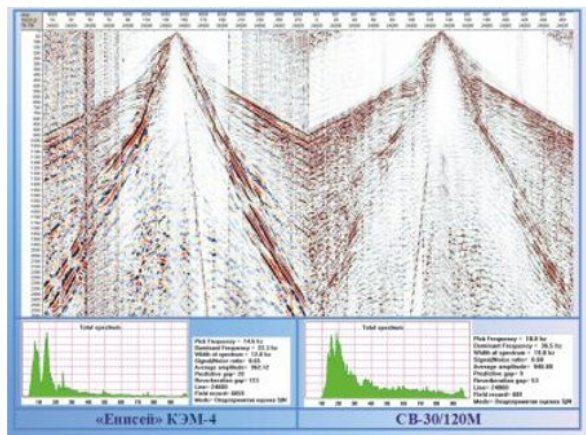
Полученный материал поступил в вычислительный центр ОАО «Якутскгео-



▲ Рис. 1.

физика», где он был обработан и проанализирован.

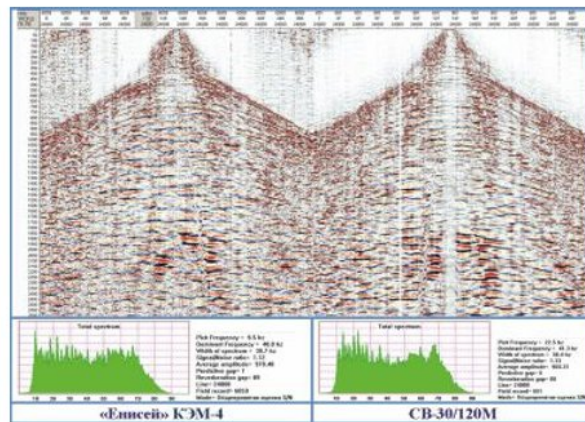
Уже на этапе полевой обработки и контроля качества было видно, что у коррелограмм по сравнению с сейсмограммами прослеживаемость отражений лучше, ширина спектра шире, доминантная частота выше (рис.2 и рис.3)



▲ Рис. 2.

Полевой расчёт атрибутов сейсмической записи осуществлялся с использованием программного комплекса SPS-PC (Голячук Н.А.)

Предобработка осуществлялась с использованием программного комплекса Promax. После предобработки



▲ Рис. 3.

дневной поверхности, из которых стало ясно, что совмещение двух технологий на данном участке возможно. Финальные разрезы были успешно сопоставлены (рис. 5).

Благодаря этой не совсем стандартной ситуации, возникшей в полевом сезоне

► Рис. 4.



сейсмограммы и коррелограммы стали визуально идентичны. Визуальная идентичность нашла своё отражение и в спектрах полезного сигнала. Такие спектральные характеристики как ширина спектра и доминантная частота стали практически одинаковыми (рис. 4).

Тут же были получены первичные временные разрезы с поправками от

2014-2015г., у нас появилась возможность сравнить два типа источников в условиях Восточной Сибири, работающих при низких температурах (в среднем -35°C - -45°C).

Достоинства и недостатки каждого из использованных типов источников приведены в таблице рис. 6.

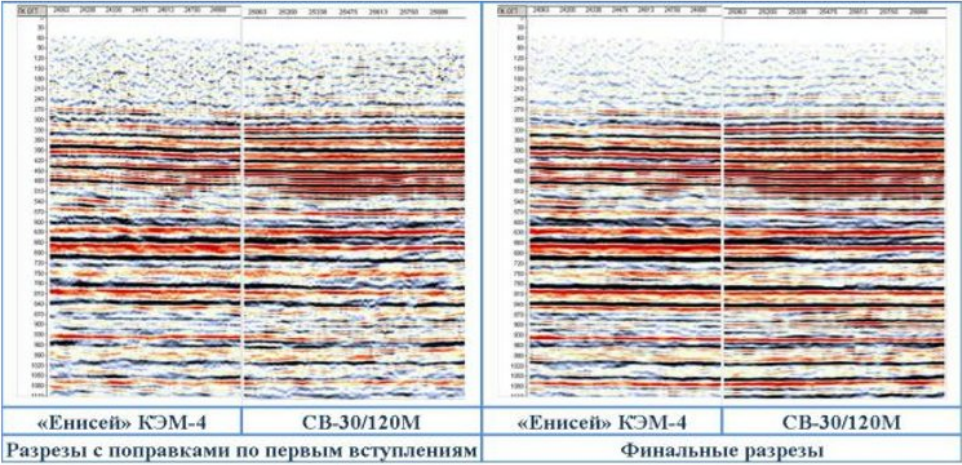


Рис. 5.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Качество. Очень субъективный параметр, особенно рассчитанный по атрибутам сейсмической записи. Спорить на эту тему, на различных научных диспутах, можно бесконечно долго, а точку в этом споре всё равно поставит мастер буровой установки. Несмотря на более высокое значение атрибутов

сейсмической записи у коррелограмм, современные методы обработки позволили на данном участке свести эту разницу к минимуму и получить качественные интерпретируемые разрезы в обоих случаях.

2. Помехозащищённость. Влияние различного рода помех сказывается на качестве материала, полученного с использованием обеих технологий. Но у

Рис. 1. Плавни.

«Енисей» КЭМ-4		СВ-30/120М	
			
+ / -	"Качество" полевого материала (при формальной оценке по атрибутам сейсм. записи)	+	
+ / -	Влияние помех	+	
+	Обслуживание	+ / -	
+	Затраты	+ / -	
+	19600 кг Работа на сложном рельефе	28000 кг	+ / -
+	Работа при низких температурах	+	

вибрационного источника здесь несомненное преимущество.

3. Обслуживание и затраты. В данном комментарии эти параметры можно объединить в один пункт, так как один вытекает из другого. Вибрационные источники более сложны в обслуживании, требуют более квалифицированного обслуживающего персонала, а в условиях низких температур, без тёплых гаражных боксов починить их сложнее, чем импульсный источник.

4. Работа на сложном рельефе. Вибрационный источник значительно тяжелее импульсного, что заметно при работе на пересечённой местности. Удержать или даже просто затащить группу из трёх источников на затянувшийся склон обледеневшего холма бывает весьма проблематично, что ведёт к потере рабочего времени.

5. Рабочий температурный диапазон. Одной из специфик работы в Восточной Сибири являются низкие температуры. Поэтому машины должны быть максимально надёжны. На основании опыта нашей компании можно сказать, что оба типа источника хорошо себя зарекомендовали в условиях работы при низких температурах. Увеличение числа поломок начинается приблизительно с температуры -45°C . Поэтому, как показала практика, при температуре -45°C и ниже, если есть возможность, то лучше воздержаться от производства полевых работ, так как зачастую за время, затраченное на последующий ремонт, можно было бы выполнить тот же объём работ.

Литература

1. Современные технологии возбуждения сейсмических волн (2013), Шнеерсон М.Б., Жуков А.П. / Приборы и системы разведочной геофизики №3(45), г.Саратов.

2. Вибрационная сейсморазведка (1990), под редакцией М.Б.Шнеерсона. Москва «НЕДРА».

3. Архив ОАО «Якутскгеофизика».

Подробнее об авторах



Куприянов
Иван Станиславович

АО "Якутскгеофизика",
геофизик отдела
сопровождения
полевых работ



Шишигин
Федор Александрович

АО "Якутскгеофизика",
главный инженер.

Опыт применения импульсных источников «ЕНИСЕЙ» и «ГЕОТОН» при сейсморазведочных работах на лицензионных участках ОАО «НГК «Славнефть»

■ Сафаров Ю.Н., ООО "Славнефть-НПЦ", г. Тверь

ОАО "НГК "Славнефть" в лице ООО "Славнефть-Научно-Производственный Центр" имеет длительный опыт применения невзрывных, в том числе импульсных электродинамических источников (ИИ) типов "Енисей" и "Геотон" в различных географических и сейсмогеологических условиях [1]:

ХМАО (Широтное Приобье):

- исследования МОГТ 2D с источниками "Енисей" - 1644 пог. км;
- исследования МОГТ 3D с импульсными источниками - 986 кв. км
- из них: "Енисей" - 664 кв.км, "Геотон" - 322 кв. км
- исследования МОГТ 3D с вибрационными источниками - 150 кв. км;

ЯНАО:

- исследования МОГТ 3D с источниками "Геотон" - 500 кв. км;

Красноярский край Эвенкийский муниципальный район:

- исследования МОГТ 2D с источниками "Енисей" - 2173 пог. км;
- исследования МОГТ 3D с источниками "Енисей" ~ 1400 ф. н. - работа в эксклюзивных зонах (ледовое покрытие р. Подкаменная Тунгуска, п. Куюмба, районы промышленного строительства).

Параметры возбуждения приведены в таблице 1.

▼ Табл. 1.

Параметры	Регион			
	ЯНАО	Широтное Приобье		Красноярский край, Эвенкия
	Тип источника			
	Геотон 30	Енисей СЭМ-100, СЭМ- 50	Геотон 12	Енисей СЭМ-100
Количество источников в группе	4 группы по 6 источников Σ 24	Суша - 3-5 Ледовое покрытие 2-4	18	Суша - 4 Ледовое покрытие 1-3
Количество накоплений	12-25	8-24	8-24	8-16

Технические характеристики и особенности применения различных модификаций импульсных электродинамических источников "Енисей" и "Геотон" рассмотрены в [2, 3, 4].

Сейсморазведочные работы с импульсными источниками "Енисей" в различных модификациях проводятся длительное время и в значительных объемах ООО "Енисейгеофизика" - лидером этих работ, и другими организациями. Основной регион деятельности ООО "Енисейгеофизика" Восточная Сибирь, но имеется опыт выполнения работ и в других регионах. При проектировании и проведении работ ООО "Славнефть-НПЦ" учитывало опыт работ и других организаций.

Ханты-Мансийский автономный округ, Широтное Приобье

Импульсные источники типа "Енисей" впервые были применены в Широтном Приобье в полевой сезон 2001-2002 гг. при решении задачи по увязке геолого-геофизических данных, полученных на разных берегах р.Обь, которая протекает на значительном протяжении лицензионных участков, находящихся в ведении ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз".

По результатам анализа технологий проведения сейсморазведочных работ,

применявшихся на тот период времени при сейсмических исследованиях участков земной поверхности с наличием значительных водных поверхностей (на сопредельных с планируемым участках имелся даже опыт проведения работ с донными косами и возбуждением воздушными пушками), было принято решение об опробовании технологии работ по ледовому покрытию реки Обь и её пойме импульсными источниками "Енисей" в санном варианте (СЭМ-100 и СЭМ-50). Основной задачей данных работ являлось выяснение возможности отработки сейсмических профилей без значительных пропусков и смещений пунктов возбуждения для непрерывного прослеживания сейсмических горизонтов с минимальным уменьшением кратности. Результаты работ показали возможность решения поставленной задачи и работы с ИИ были продолжены. В период 2002- 2005 гг. выполнено порядка полутора тысяч погонных километров профилей МОГТ 2D. Основным исполнителем работ являлось ОАО "Сибнефтегеофизика". Значительная часть объёма работ выполнена на участках с техногенными помехами различной интенсивности. Для снижения влияния техногенных помех работы выполнялись с применением редактора шума - алгоритм "Diversity Stack". Показательно, что четыре профиля отработаны в черте г. Мегион.

Полученный опыт проведения полевых работ и качество результирующих материалов послужили основанием для принятия решения о проведении работ МОГТ 3D на участках с очень сложными поверхностными условиями (основное русло и пойма реки Обь, значительные по размерам участки с трудно- и непроходимыми, в предыдущие годы, болотами и озерами, участки с интенсивными

техногенными помехами - п.Высокий, промышленные объекты, в том числе железнодорожная и автомобильные магистрали, объекты инфраструктуры промыслов), которые ранее были недоступны для проведения работ со взрывной и вибрационной технологиями. Один из ограничивающих факторов - охранные зоны промышленных объектов при работах с импульсными источниками значительно меньше, чем при работах со взрывной технологией.

За период с 2005г. по 2012г. работы МОГТ 3D проведены на 6 площадях. Отработанные системы наблюдений близки к проектным регулярным системам. Пример поверхностных условий с фактически отработанной системой наблюдений на Восточно-Локосовской площади приведен на рисунке 1. Площадь отработана с импульсными источниками "Геотон" 12.



Схема расположения наблюдений на Восточно-Локосовской пл. Поверх. лист 29972130.

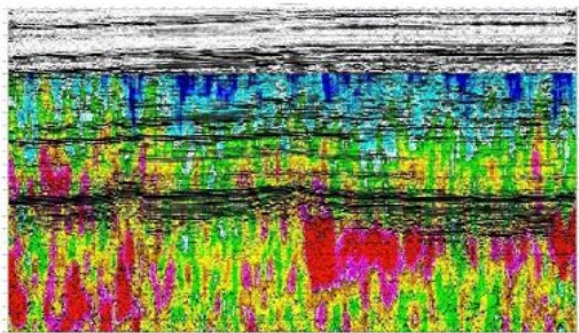
▲ Рис. 1. Фактическая схема наблюдений на Восточно-Локосовской площади. Работы выполнены с применением импульсных источников «Геотон 12».

Применение импульсных источников позволило максимально снизить нерегулярность фактически отработанных систем наблюдений. На участках ледовых покрытий успешно использовались источники с малым весом ("Геотон" 12). Следует отметить, что для безопасного передвижения ИИ по ледовой поверхности для достижения необходимой толщины льда выполнялась "намороз-

ка". Вес группы из 6 источников "Геотон-12" с транспортной базой не превышает 6 тонн, что позволяет проводить работы при толщине льда до 35 см. Вес группы из одного источника "Енисей СЭМ-100" с транспортной базой составляет порядка 16 тонн, что требует проведение работ при толщине льда свыше 50 см.

Качество результирующих материалов МОГТ 2D и 3D и приведено на рис. 2 и 3.

На рисунке 3 приведен сводный разрез по композитному профилю работ с импульсным и взрывным возбуждением. Граф обработки сейсмических материалов, полученных с возбуждением импульсными источниками, практически идентичен графу обработки материалов со взрывным источником и результиру-

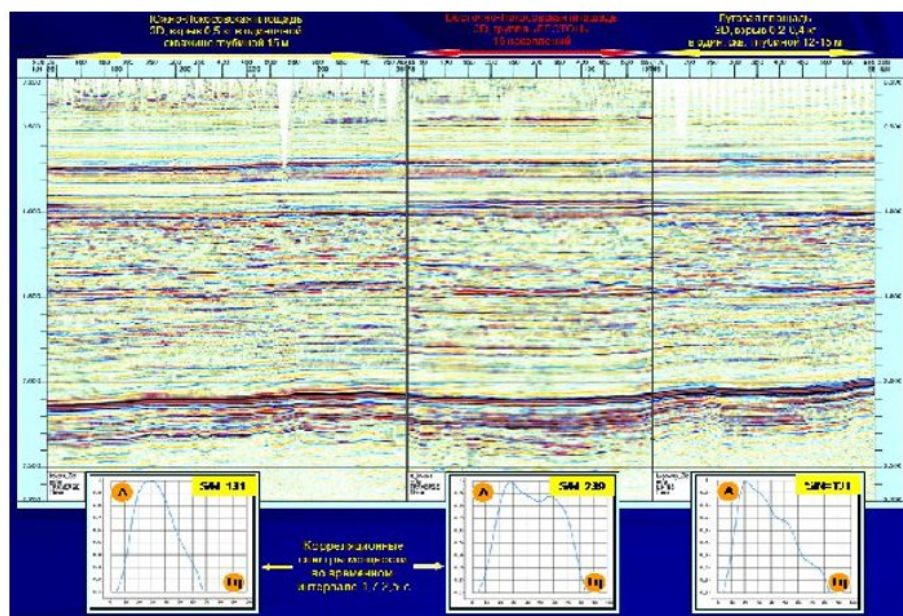


▲ Рис. 2. Временной разрез по профилю 02050020, совмещенный с результатами обработки по ФП-технологии.

ющие материалы имеют незначительные отличия.

Применение в графе обработки и интерпретации процедур динамического анализа сейсмической записи (AVO, синхронная инверсия и других) требует максимально латерально регулярных параметров сейсмических съёмок (спектр удалений, кратность). Полевая отработка сейсмических съёмок на площадях с эксклюзивными зонами по нерегулярным системам наблюдений (смещение пунктов возбуждения относительно проектного расположения, их пропуски, применение методики "подстрела") значительно снижает кондиционность результирующих геолого-геофизических материалов.

ОАО "Славнефть-Мегионнефтегаз" в сезон 2015-2017 гг. проведет полевые работы с импульсными источниками "Енисей СЭМ-100" на Кетовском лицензионном участке. Применение импульсных источников обусловлено наличием на проектной площади работ обширных источников техногенных помех от инфраструктуры месторождения, находящегося в эксплуатации. В последующие годы планируется проведение работ на участках, охватывающих пойму р. Обь,



◀ Рис. 3.

её водную поверхность, значительное количество промышленных объектов, в том числе и по периферии г. Мегион.

Ямало-Ненецкий Автономный округ.

Полевые работы в ЯНАО на Восточно-Мессояхском лицензионном участке ООО "Славнефть-Красноярскнефтегаз" были проведены в сезон 2004-2005 гг. со взрывным источником. Продолжение полевых работ планировалось на Западно-Мессояхском ЛУ, значительную часть которого занимал природоохранный заказник, что исключало проведение работ с использованием взрывного источника. Поверхностные условия обоих участков характеризуются большим количеством озер, некоторые имеют значительные размеры. При выборе способа возбуждения на Западно-Мессояхском ЛУ учитывались многие факторы: поверхностные условия, сейсмогеологическое строение, положительные и отрицательные факторы технологий возбуждения невзрывными источниками (вибрационный и импульсный), наличие источников у потенциальных подрядчиков полевых работ. Было принято решение о применении импульсных источников "Геотон-30". При принятии решения учитывался уже имеющийся опыт работ с импульсными источниками на лицензионных участках ОАО "СН-Мегионнефтегаз".

В период 2005-2007 гг. ОАО "Ямалгеофизика" выполнила на данном участке 500 кв. км. Источник возбуждения состоял из 4-х групп по 6 импульсных источников (всего 24). Для уменьшения общей базы на возбуждении была принята конфигурация источника - две группы в два следа. Территория тундры позволила применить данную конфигурацию (Рис. 4).

Были получены сейсмические материалы высокого качества (Рис. 5).

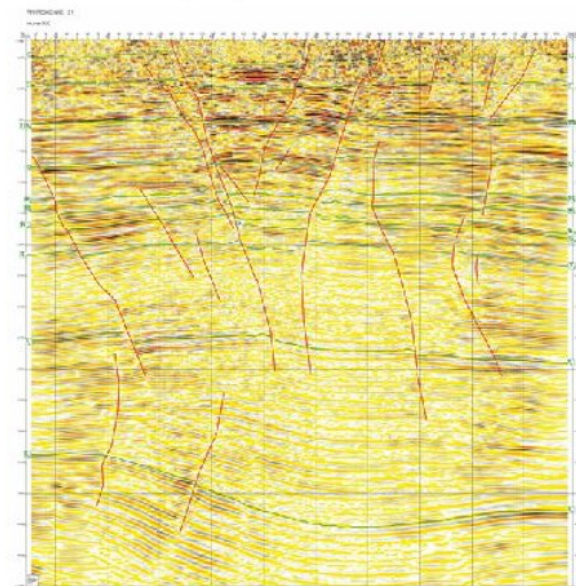
Красноярский край, Эвенкийский муниципальный район.

В Эвенкии по договору с ООО "Славнефть-Красноярскнефтегаз" сейсмичес-



▲ Рис. 4.

▼ Рис. 5. Западно-Мессояхская площадь временной разрез inLine 500.



кие работы МОГТ 2D с импульсными источниками СЭМ-100 и КЭМ-4 проведены на лицензионных участках - Тукулано-Светланинский, Куюмбинский, Кординский и Абракупчинский, характеризующихся очень сложными поверхностными и сейсмо-геологическими условиями проведения работ.

Тукулано-Светланинский лицензионный участок представляет собой мощное и протяженное траповое поле в виде плоскогорья, приподнятое над окружающим рельефом.

Анализ результатов предшествующих работ показал, что при взрывном возбуждении регистрировалась сложная волновая картина, выделение отраженных волн из которой являлось не всегда разрешимой задачей. Возможно, волновая картина формировалась явлением

резонанса траповых образований в верхней части разреза и выходящих на поверхность. При возбуждении импульсными источниками (ранее применялись источники СЭМ-100) волновая картина имела привычный вид для данного сейсмо-геологического района.

Сейсмические исследования на данной площади проведены с возбуждением ИИ "Енисей-100" в период 2006-2008 гг. и выполнено 1124 пог. км профилей с хорошим качеством результирующих материалов (рис. 6).

Кроме этого, на лицензионных участках Куюмбинского блока выполнено 1049 пог. км профилей. Получены результирующие материалы хорошего качества, сопоставимые с материалами, полученными по взрывной технологии.

С целью получения максимально регулярной системы наблюдений в полевые сезоны 2012-2013 гг и 2014-2015 гг. проведены работы с комбинированным источником наблюдений: основной объем выполнен со взрывной технологией, а на ледовом покрытии р. Подкаменная Тунгуска, п. Куюмба и районах промышленного строительства (на рис. 7 приведена система наблюдений на Западно-Куюмбинской площади) работы выполнены с возбуждением импульсными источниками "Енисей" в модификациях СЭМ-100 и КЭМ-4. Всего выполнено около 1400 физических наблюдений, что

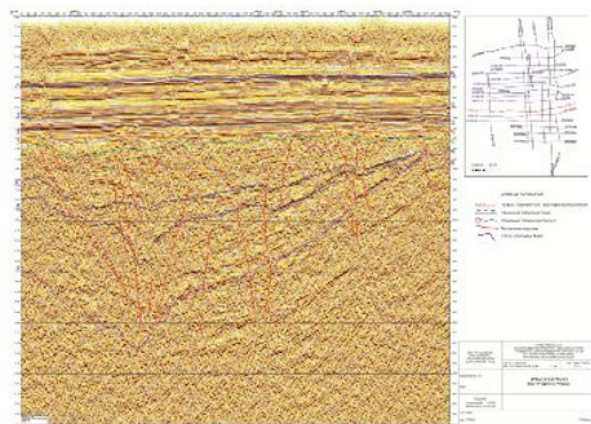
составило от 2 до 3% от общего объема работ.

Выводы.

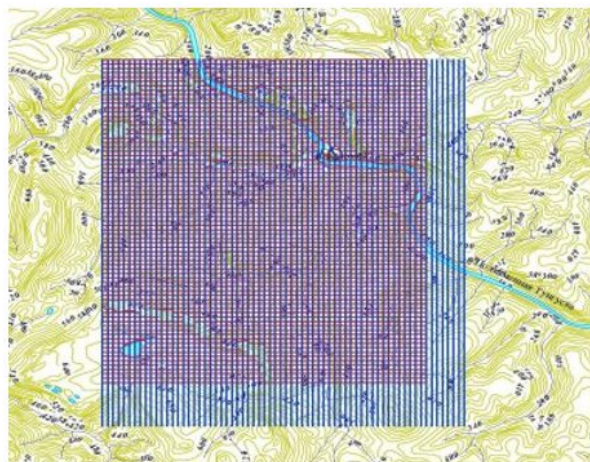
Применение импульсных электродинамических источников "Енисей" и "Геотон" позволяет проводить сейсморазведочные работы с максимально возможными по регулярности системами наблюдений на территориях, ранее недоступных для технологий взрывного и невзрывного (вибрационного) возбуждения упругих колебаний. Результирующие геолого-геофизические материалы, полученные с импульсными источниками, по качеству сопоставимы с материалами, полученными с использованием взрывной технологии возбуждения упругих колебаний.

Литература

1. Фондовые материалы ОАО "НГК "Славнефть".
2. Приборы и системы разведочной геофизики. Каталог предприятий и оборудования для поиска нефти и газа. Саратов, 2010
3. Гурьев С.В., Лопухов Г.П., Юров А.А. «Импульсный электромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения», Приборы и системы разведочной геофизики, 03/2013, стр.49-52.
4. Детков В.А., «Импульсные электромагнитные источники «Енисей». Обзор моделей и опыт практического применения», Приборы и системы разведочной геофизики, 04 (22)/2007, стр. 05-11.



▲ Рис. 6. Тукула́но-Светла́нинская пло́щадь временно́ разрез по профилю 0708012.



▲ Рис. 7.

Методические результаты применения UNIQ – технологии МОВ-ОГТ 3D на севере Западной Сибири

■ Кузнецов В.И., Долгих Ю.Н., Санин С.С., ООО "НОВАТЭК НТЦ", г.Тюмень
■ Мазниченко М.В., Грамматчиков С.Н., Смирнов В.А., ООО "СЖЖ ВОСТОК", Москва

Введение

Сейсморазведка включает в себя различные методики изучения геологических особенностей строения земной коры и формирования перспективных объектов. Из всего многообразия метод отраженных волн общей глубинной точки (МОВ-ОГТ), предложенный еще в 1950-х гг., является наиболее распространенным и используется в качестве основного.

Однако стоит отметить серьезные изменения, которые данный метод претерпел в процессе эволюции полевых технологий, регистрирующего оборудования и методических подходов к обработке и интерпретации.

На данный момент основным инструментом сейсморазведки является МОВ-ОГТ 3D, позволяющий получать наиболее точное и детальное пространственное представление о геологическом строении изучаемого разреза.

В данной статье рассматривается самая современная модификация сейсмического метода, реализуемая по технологии UNIQ. Это, по существу, многоуровневая сейсморазведка МОВ-ОГТ 3D [1].

Текущее состояние и перспективы развития UNIQ/Q технологий МОВ-ОГТ 3D

Тенденцией настоящего времени является увеличение плотности пространственных наблюдений как за счет уменьшения шага ПП/ПВ, так и сгущения сети ЛВ и ЛП [2].

Подобные системы наблюдений (Q-технологии), особенно широко используемые западными компаниями в работах на акваториях и в пилотных проектах на суше, обеспечивают качественный скачок точности и детальности сейсми-

ческих моделей, по сравнению с более традиционными системами.

Системы наблюдений 3D с шагом ПП 6.25 - 12.5 м, шагом ЛВ (ЛП) 100 - 150 м, шагом ПВ 12.5 - 25 м на современном уровне развития технологий не являются чем-то экзотическим – это совершенно обычные оптимальные полноазимутальные системы наблюдений.

Конечно, невозможно одномоментно перейти на оптимальные системы наблюдений, т.е. сразу уменьшить расстояния между ПП, ПВ, ЛВ, ЛП. Это приведет к объективному кратному удорожанию работ, даже при работе с невзрывными источниками.

Вполне логично, что для 3D работ с взрывными источниками начать необходимо именно с уменьшения шага ПП, т.к. это, при наличии у подрядчика соответствующего оборудования, является наименьшим фактором удорожания полевых работ. При уменьшении шага ПП и прочих одинаковых параметрах съемки, изменятся только бин, сеть ОГТ, а все остальные атрибуты (кратность, азимутальные и частотные характеристики системы ОГТ, распределение удалений) не изменятся совершенно.

Даже при кратном уменьшении только шага ПП эффект, особенно в северных районах Западной Сибири и для оптимальных условий возбуждения волн, будет весьма существенным.

Ниже перечислены только основные аргументы и причины необходимости перехода на съемки с кратным уменьшением расстояний между ПП.

Во-первых, кратное (4-5) уменьшение шага между ПП позволит отказаться от полевого группирования, этого "убийцы" высокочастотной составляющей спектра полезного сигнала, путем замены данного приема процедурой оптимального

суммирования сигналов, зарегистрированных одиночными цифровыми датчиками.

Во-вторых, кратное уменьшение шага ПП позволит минимизировать негативные эффекты многоканальных процедур выделения полезного сигнала или подавления разного рода регулярных помех за счет возможного уменьшения пространственных баз операторов подобных процедур и одновременно повысит эффективность их применения.

В-третьих, повысится точность определения $V_{огт}$ за счет как минимум 2-кратного роста статистического эффекта процедур скоростного анализа - при неизменных пространственных размерах баз суммирования и эталонов.

В-четвертых, отпадет необходимость применения специализированных систем наблюдений для изучения и учета ВЧР. От дневной поверхности будет построена единая глубинно-скоростная модель, включающая ЗМС, мерзлоту и целевые горизонты.

В-пятых - появится возможность постфактум-контроля условий возбуждения волн, в том числе и фактической глубины погружения заряда. Будет произведено зонирование площади работ по оптимальности поверхностных условий, что позволит, с одной стороны, более объективно подойти к приемке полевых работ, а с другой стороны, позволит качественно оценить достоверность динамических 3D-атрибутов, результатов инверсий.

Естественно, все перечисленное выше потребует кратного увеличения объема и мощности вычислительных ресурсов, разработки и апробации новых технологий обработки и кинематической интерпретации сейсмической информации, привлечения к работе наиболее квалифицированных специалистов и экспертов.

Методические результаты применения UNIQ-технологии на севере Западной Сибири.

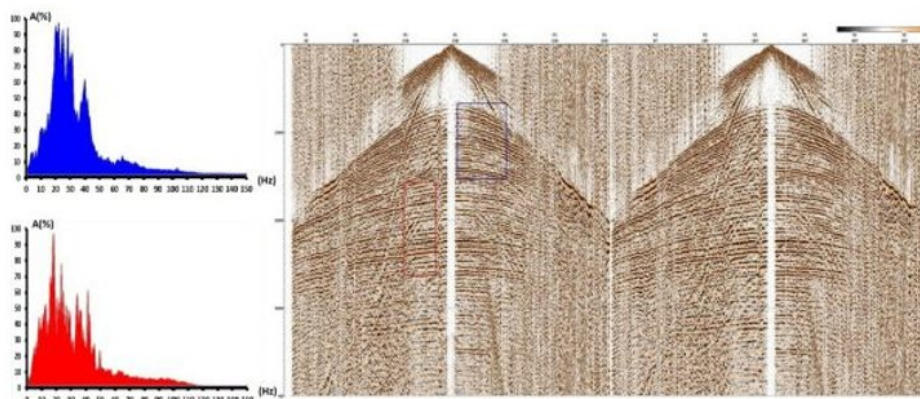
Впервые в Западной Сибири компанией ОАО «НОВАТЭК» были проведены полевые работы по инновационной технологии UNIQ с кратным (в четыре раза) уменьшением шага ПП и одиночными приемниками (цифровыми акселерометрами).

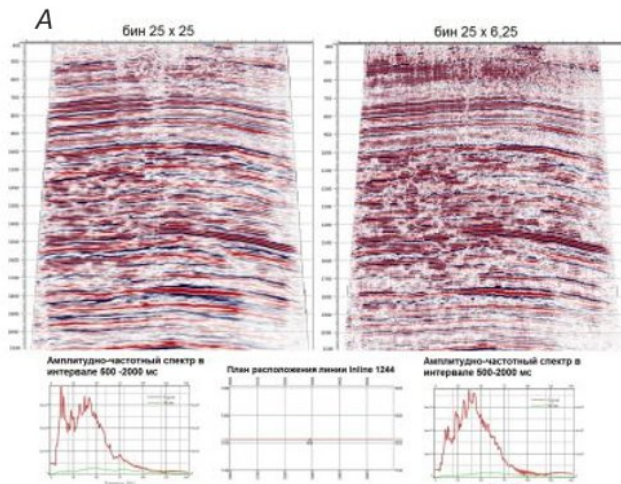
Характерные сейсмограммы ОПВ и их спектры приведены на рис.1.

Забегая вперед, следует отметить, что даже такой “облегченный вариант” Q-технологии в значительной степени решил проблему дефицита информации о ВЧР, дал возможность проконтролировать оптимальность условия возбуждения волн, обеспечил повышение качества и разрешающей способности результатов обработки при одновременном росте достоверности динамических атрибутов сейсмической модели.

В рамках данной работы выполнены количественные и качественные сравнения результатов обработки полноценной системы UNIQ (бин 25х6,25 м) с “приведенной к стандарту” (бин 25х25) версией

► Рис. 1. Характерные сейсмограммы ОПВ (UNIQ) и их спектры.





▲ Рис. 2.а. Сопоставление вертикальных срезов и спектров результатов обработки стандартной (слева) и UNIQ (справа) системы наблюдений в интервале 400-2100 мс.

полевого материала (объединение 5 каналов, переход к стандартному шагу ПП=50 м).

Для более корректного сопоставления модель длиннопериодной статики была оставлена без изменений, но обработка проведена по идентичным с точки зрения состава процедур графам.

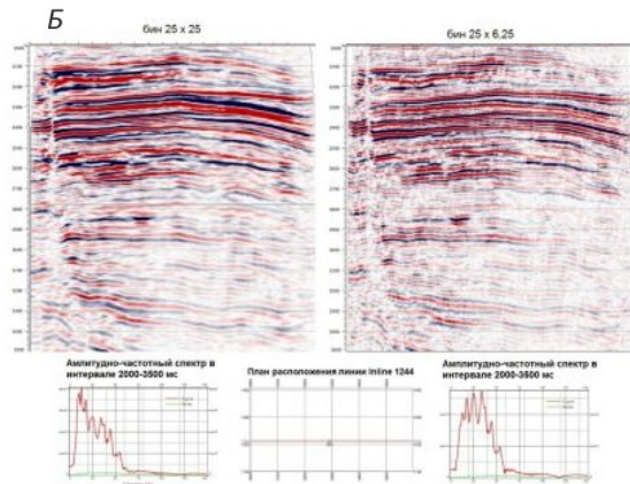
В рамках аналитической работы проводилось сопоставление:

1) Исходных полевых сейсмограмм - для демонстрации качества и помехоустойчивости данных UNIQ перед стандартной методикой.

2) Амплитудно-частотных характеристик.

Объективными показателями разрешающей способности сигнала являются ширина и/или площадь спектра, характеризующие длительность сигнала, а также соотношение между шириной и/или площадью спектра и центральной частотой, характеризующее затухание сигнала.

При равенстве или близости затухания сигналов более высокое значение центральной частоты при соответствующем увеличении ширины и/или площади спектра однозначно свидетельствует о росте разрешающей способности сей-



▲ Рис. 2.б. Сопоставление вертикальных срезов и спектров результатов обработки стандартной (слева) и UNIQ (справа) системы наблюдений в интервале 2000-3500 мс.

смической записи (см. рис.2.а, б).

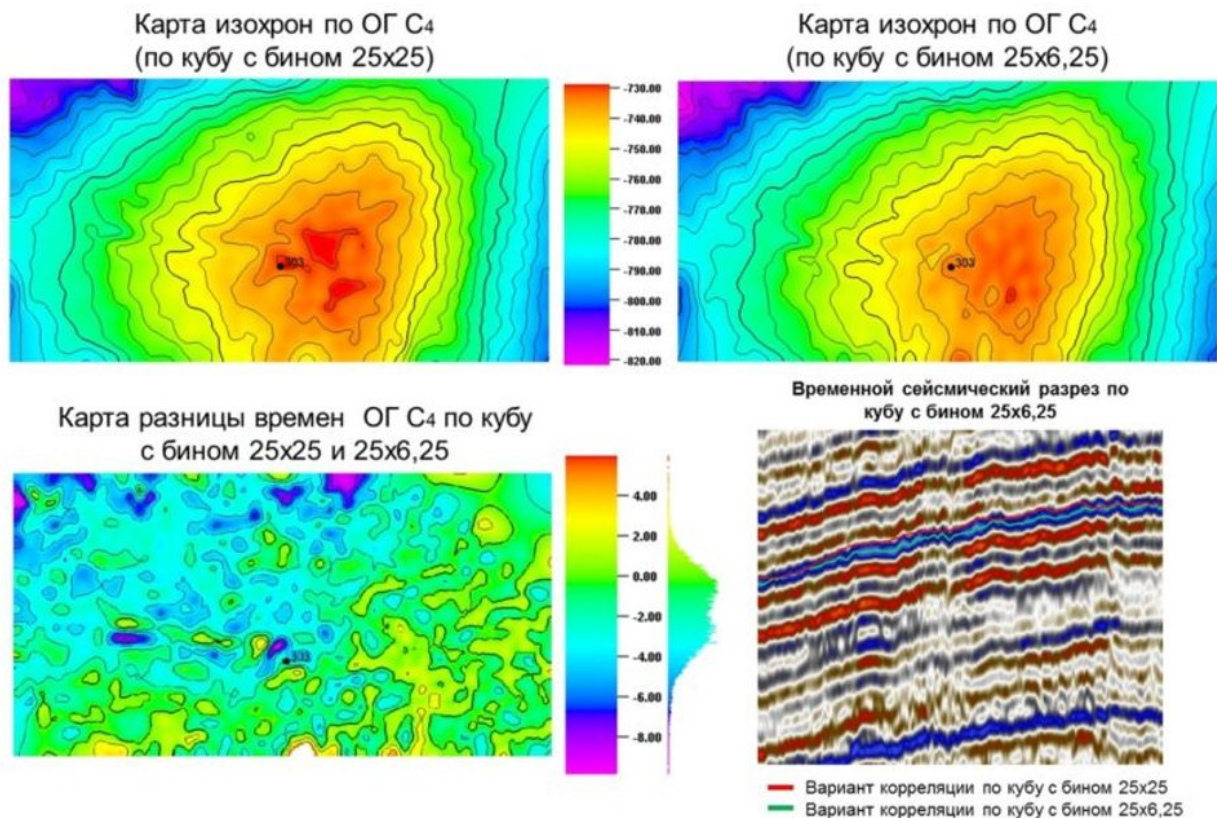
3) Когерентности и качества корреляции.

Когерентность и качество корреляции отраженных волн напрямую связано как с общим отношением сигнал/помеха, так и с отношением сигнал/помеха в области высоких частот. Для сравнения привлекались карты изохрон, амплитуд, кросс-корреляции по целевым горизонтам, временные разрезы.

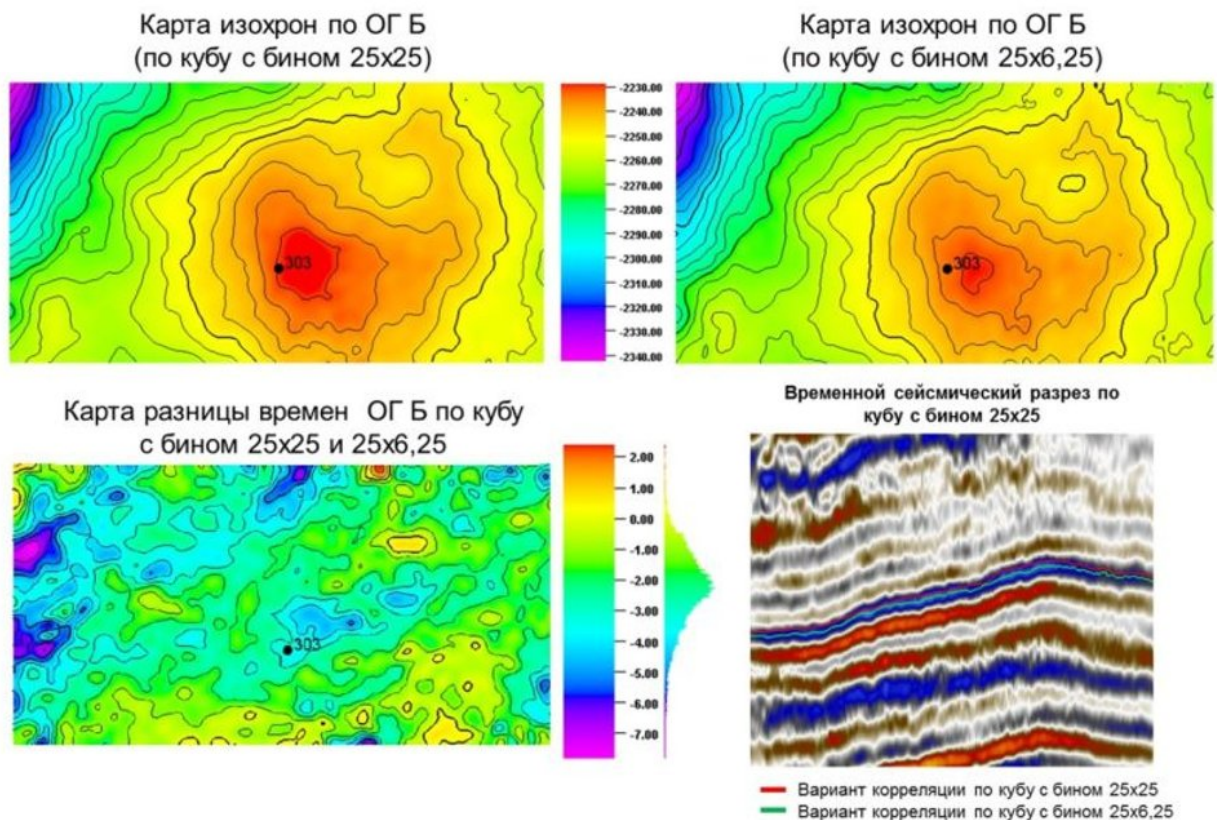
Установлено, что имеются значимые (в пределе до 10 мс) с точки зрения поиска малоразмерных объектов различия в корреляции отражающих горизонтов между стандартной и UNIQ версиями обработки (см. рис.3.а, б).

4) Динамической выразительности.

Данный показатель весьма сложно формализовать, поскольку он обусловлен значительным числом факторов. Как правило, имеет значение "контрастность" отображения в амплитудах локальных особенностей геологического строения. Если локальная контрастность по тем или иным причинам "смазывается", "стирается", искажается, то говорят о снижении динамической выразительности записи. Для сопоставления привлекались карты поверхностей динамических атрибутов (см. рис.4).

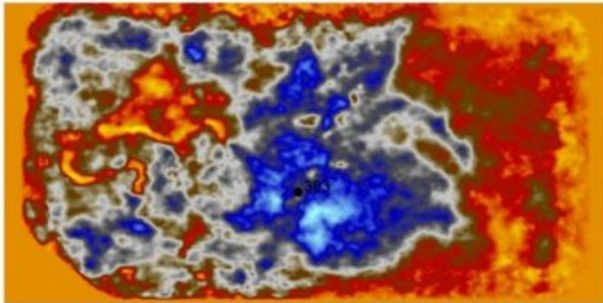


▲ Рис. 3.а. Сопоставление карт изохрон и корреляции по ОГ С4 для стандартной (бин 25x25 м) и UNIQ (бин 25x6,25 м) версии обработки.

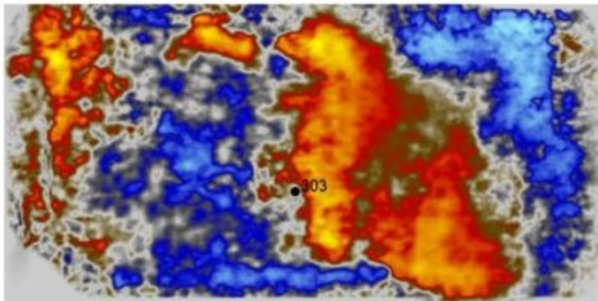


▲ Рис.3.б. Сопоставление карт изохрон и корреляции по ОГ Б для стандартной (бин 25x25 м) и UNIQ (бин 25x6,25 м) версии обработки.

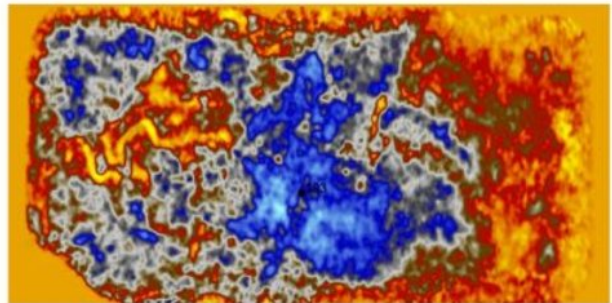
Карта амплитуд по горизонту БТ12-1
(по кубу с бином 25х25)



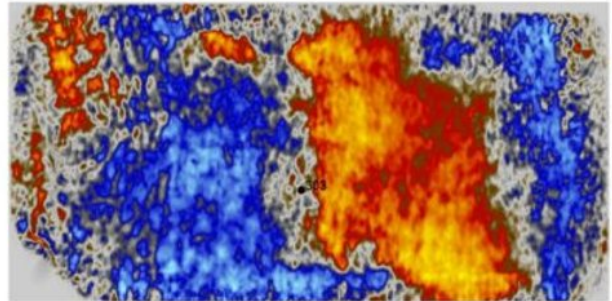
Горизонтальный временной срез в интервале пласта Ю2 (по кубу с бином 25х25)



Карта амплитуд по горизонту БТ12-1
(по кубу с бином 25х6,25)

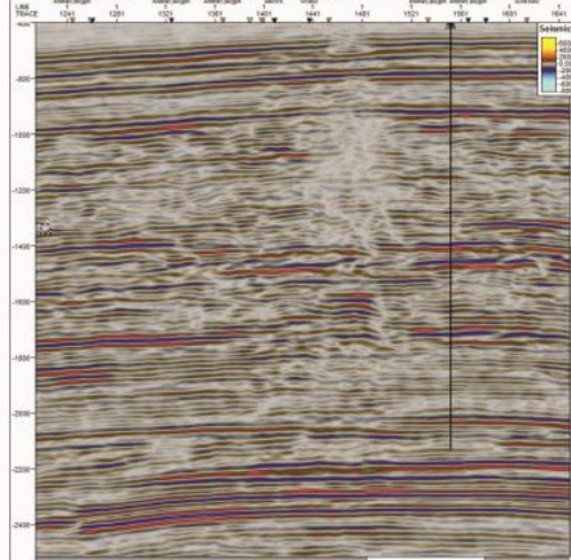


Горизонтальный временной срез в интервале пласта Ю2 (по кубу с бином 25х6,25)

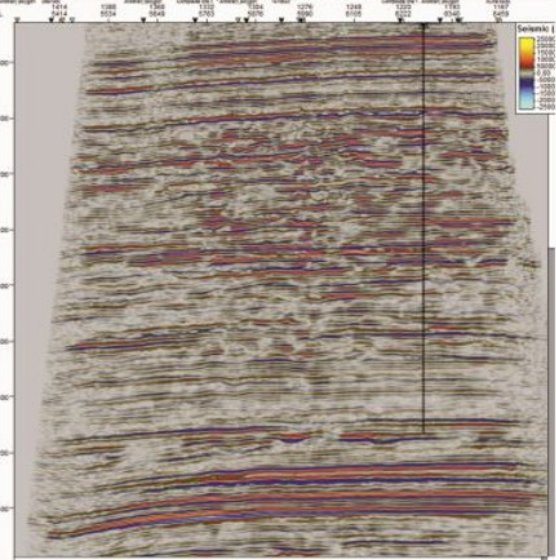


▲ Рис. 4. Сопоставление поверхностей динамических атрибутов стандартной (слева) и UNIQ(справа) версии обработки.

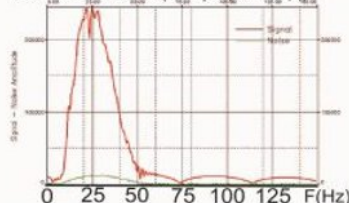
Временной сейсмический разрез по линии 2Д
(профиль 1470603)



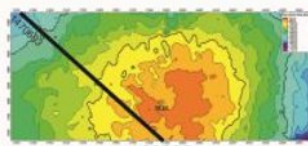
Временной сейсмический разрез по 3Д кубу
(технология UNIQ)



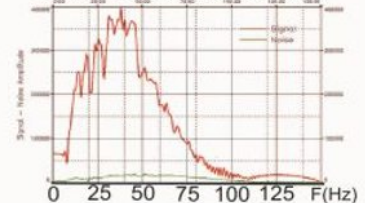
Амплитудно-частотный спектр в интервале 500 мс. - 3000 мс. (по профилю 2Д)



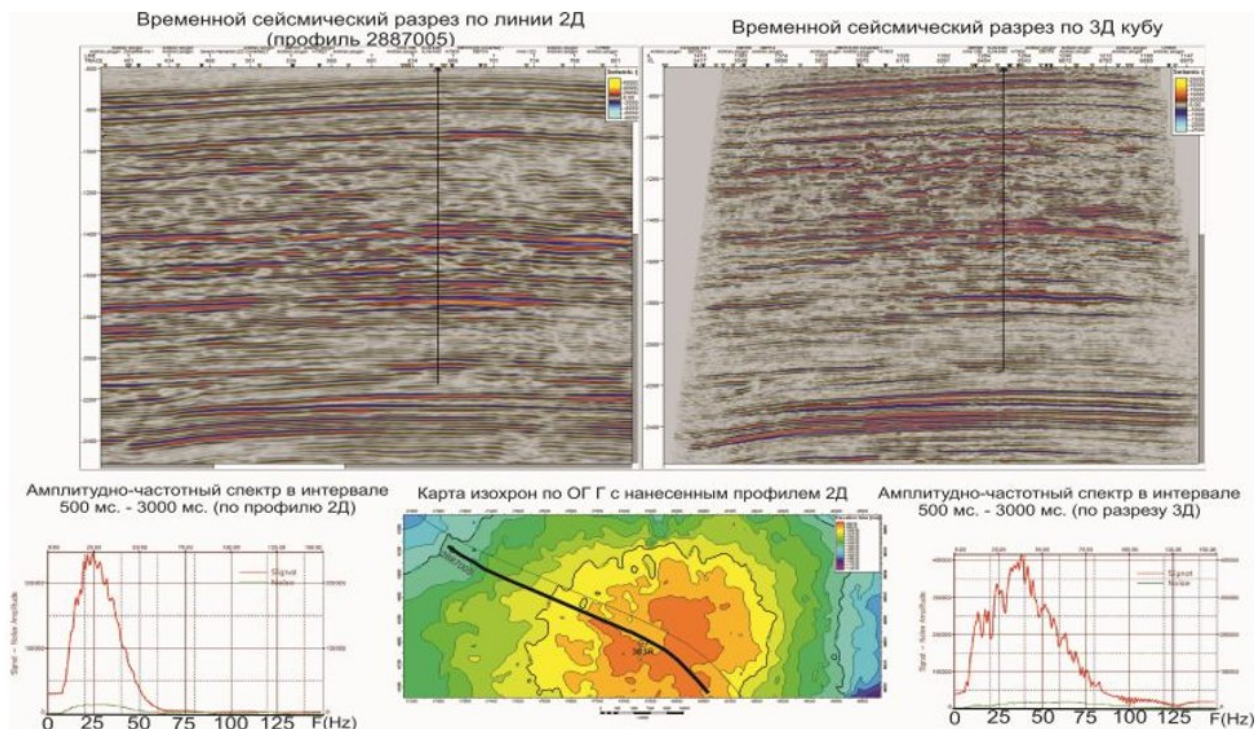
Карта изохрон по ОГ Г с нанесенным профилем 2Д



Амплитудно-частотный спектр в интервале 500 мс. - 3000 мс. (по разрезу 3Д)



▲ Рис. 5. (ч.1). Сопоставление временных разрезов 2Д, композиционных линии 3DUNIQ и амплитудно-частотных спектров.



▲ Рис. 5. (ч.2). Сопоставление временных разрезов 2D, композиционных линии 3DUNIQ и амплитудно-частотных спектров.

Установлено, что для данных UNIQ характерна большая детальность и контрастность отображения динамических атрибутов, что имеет важное значение с точки зрения поиска малоразмерных объектов, построения геологической модели, прогноза ФЭС.

Кроме того, к сравнению привлекались расположенные в пределах куба профили 2D, временные разрезы, композиционные линии 3D и спектры которых приведены на рис.5.

Выводы

В ходе проведения первых производственных работ МОВ-ОГТ 3D по технологии UNIQ получен уникальный полевой сейсмический материал, позволяющий объективно оценить методический потенциал новой технологии по сравнению со стандартными системами наблюдений 3D.

За счет перехода на одиночный прием и кратное уменьшения шага ПП удалось получить более точную и объективную информацию о модели самого верхнего (ЗМС+ЗПС) слоя, провести зонирование

участка работ по условиям возбуждения волн (оптимальные/неоптимальные), оценить фактическую глубину погружения заряда.

Установлен заметно более высокий потенциал результатов обработки данных технологии UNIQ в части оптимального соотношения разрешающей способности и динамической выразительности записи, что имеет прямое отношение к задачам прогнозирования свойств геологического разреза.

Полученные методические результаты заложили основу для дальнейшего развития и распространения технологии UNIQ в Западной Сибири.

Литература

1. Долгих Ю.Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. Москва, EAGE-Геомодель, 2014 г.
2. Череповский А.В. Сейсморазведка с одиночными приёмниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съёмки, Москва, 2012 г.

Опыт выполнения сейсморазведочных работ ОАО «Калининградгеофизика» в густонаселённых районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью с применением бескабельного регистрирующего оборудования и одиночных геофонов

■ Карпухин И.В., ОАО «Калининграднефтегеофизика», г. Калининград

В этой статье мы хотели бы поделиться приобретённым опытом проведения сейсморазведочных работ 3Д в густонаселённых районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью.

Работы проводились в Республике Сербия по договору между нефтедобывающей компанией NISj.s.c. Новый Сад, Сербия и ОАО «Калининградгеофизика», г. Калининград, на двух исследуемых участках общей площадью 1500 квадратных километров, параллельно, двумя сейсмическими партиями.

Цель работ - получение высококачественных сейсмических данных для уточнения геологической модели действующих месторождений, выявления новых ловушек углеводородов структурного и неструктурного типов.

В техническом задании и договоре на проведение работ были определены объёмы работ (1500 кв.км, около 200 000 пунктов физических наблюдений). Планируемый срок выполнения работ – 8 месяцев.

Для того чтобы оценить сложность планируемых работ, приведу краткое описание районов исследования.

Площади работ расположены в сельскохозяйственных районах с развитой инфраструктурой: города, крупные и малые населённые пункты, сады, виноградники, огороды. Между населёнными пунктами - посевные поля с дорогами культурами (картофель, паприка, чеснок, сахарная репа, табак). На полях проложе-

на система мелиорации и полива с использованием как наземных, так и подземных труб. Остальная территория засеяна пшеницей, кукурузой, подсолнечником. Сельскохозяйственные работы проводятся круглый год. В течение всей зимы, за исключением коротких периодов (снег, заморозки), поля обрабатываются и перепахиваются. Весной повышенная активность – посевная. Летом и осенью - уборка урожая. Необрабатываемых земель практически нет.

В связи с работой сельхозтехники в период сельхозработ установка сейсмического оборудования затруднена, а в некоторых районах просто невозможна. Сложен район работ и для прохождения вибраторов, которым необходимо маневрировать, объезжая запретные зоны, каналы, реки, сады, огороды и т.д.

В городах и населённых пунктах запрещено работать ночью, а дневные работы должны проводиться с одним вибратором со значительно уменьшенной мощностью и, соответственно, увеличенным количеством воздействий, что негативно сказывается на производительности.

Также на производительность оказывают влияние и погодные условия: дожди, снег, намокание грунта. Вибраторы прорезают глубокие колеи и в связи с этим хозяева земель запрещают прохождение вибраторов по своим землям. В сезон больших дождей поля вообще непроходимы для колёсной техники, а сильный ветер повышает уровень микросейсм до недопустимого уровня.

На исследуемых территориях находятся несколько заповедников, где запрещено отрабатывать пункты возбуждения (ПВ), а также устанавливать приёмное оборудование (ПП). Имеется ряд заповедных территорий, где разрешена только установка геофизического оборудования, а виброработы также под запретом. На исследуемых площадях имеются озёра, используемые для разведения рыбы, густая сеть мелиоративных канав, реки, болота, крупные нефтесборные пункты с расположенными вокруг них большим количеством действующих нефтяных скважин, соединённых подземными трубопроводами. Помимо вышеперечисленного, имеется множество других факторов, оказывающих негативное влияние на производительность работ.

Учитывая всё вышеизложенное, ОАО «КГФ» встала перед сложной дилемой – либо взяться за выполнение работ с учетом всей их сложности, либо отказаться от них.

Выполнение работ в оговоренные договорными обязательствами сроки подразумевало обеспечение производительности не менее 800 физических наблюдений в сутки, т.е. по 400 ф.н. на каждую сеймопартию. Такую производительность надо было обеспечивать ежедневно в течение 8 месяцев несмотря на незапланированные остановки в работе, связанные с неблагоприятными погодными условиями, сельхозработами, всевозможными запретами и т.д.

Проведя детальную рекогносцировку местности, собрав всю необходимую информацию о предстоящих сложностях, которые ожидалась при выполнении работ, было принято решение о проведении основательной подготовительной

работы и использовании для съёмки бескабельного геофизического оборудования и одиночных геофонов.

Что касается подготовительной работы, то были:

- проведены презентации планируемых геофизических исследований во всех муниципальных образованиях районов, где должны были проводиться работы, с присутствием представителей власти, хозяев земель и средств массовой информации (телевидение, печать);
- заключены 4885 договоров с землепользователями (это около 69 тысяч кадастровых участков) на разрешение прохода сейсмической техники по их землям с обязательством оплатить нанесённый ущерб, если таковой случится.

Во время и по окончании полевых работ на отработанных участках:

- было составлено 5500 протоколов об ущербе;
- было отремонтировано 257 погонных километров дорог;
- для приведения земель в первоначальное состояние была проведена рекультивация значительной площади сельхозучастков, пострадавших после прохождения вибраторов.

Работы в районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью предполагают крупные суммы выплат за ущерб, причинённый обрабатываемым землям. Для уменьшения величины ущерба сельхозугодиям было принято решение: движение автотехники с сейсмическим оборудованием только по дорогам, а установка оборудования только вручную.

Поскольку на исследуемых территориях расположено много крупных и малых населённых пунктов, то важным аспектом работ в городах являлось обеспечение защиты объектов от деструктивного воздействия вибраторов. Чётких реко-

мендаций, на каких расстояниях от сооружений и с какими параметрами вибрации могут проводиться работы виброисточников, не существует. Поэтому виброработы велись на основании опыта предшествующих работ в Сербии, опытных работ и замеров, которые проводились ежедневно в опасных районах, т.е. городах и населённых пунктах.

Основным параметром степени воздействия вибрации на здания и сооружения является скорость смещения почвы. Все здания, согласно проекту, можно было разделить на три категории по степени устойчивости к сейсмическому воздействию. Мы выбрали третью категорию, как наименее устойчивую. Для данной категории зданий безопасной скоростью смещения почвы является величина 10 мм/с (опыт предыдущих работ в Сербии). Скорость смещения почвы ≤ 5 мм/с является двойной страховкой по безопасному расстоянию до объектов. На этой величине и основывалась работа вибраторов в населённых пунктах: выбирались безопасные расстояния и параметры вибрирования источников.

В связи с изменчивостью волнового поля, на каждом отработанном пикете вблизи зданий для гарантии безопасности перед отработкой пункта возбуждения делались замеры скорости смещения

грунта (PPV) и принималось решение по месту, с какими параметрами отрабатывать пикет (рис.1).

Тем самым обеспечивалась безопасность для зданий и выдерживалась проектная кратность. Применяя такую технологию, удавалось отрабатывать пикеты даже на расстоянии до 7 метров от зданий.

Однако и этого оказалось недостаточно. Чтобы исключить необоснованные претензии по ущербу зданиям и сооружениям, перед виброработами производилась съёмка первоначального состояния объектов. А именно: здания фотографировались как с наружи, так и изнутри, составлялись протоколы первоначального состояния зданий с подписью владельца. Всего было составлено 12874 протокола, сделано 175800 снимков объектов. Это помогло избежать дополнительных затрат по ущербу.

Как сказано выше, в проекте использовалось бескабельное оборудование. Была выбрана регистрирующая система Geospace GSX. Почему именно бескабельное оборудование? Объясним этот наш выбор характерными особенностями работы бескабельного оборудования, связав с вышеописанными поверхностными условиями участка исследований.

В соответствии с концепцией о работе полевого бескабельного оборудования,



▲ Рис. 1.



▲ Рис. 2.

все установленные в поле блоки работают автономно. Блоки одинаково программируются на определенное время регистрации и на определенное время тестирования (рис.2). 8 гигабайт памяти и зарядка аккумулятора обеспечивают автономную работу полевого блока GSX: до 30 дней.

Благодаря встроенному GPS приемнику все процедуры в блоках GSX синхронизируются по спутниковому времени с точностью до микросекунд. Блок GSX сохраняет в памяти свое местоположение.

Каждые шесть часов регистрация прерывается и все блоки GSX самотестируются при помощи встроенных тестовых генераторов.

Перед началом возбуждения упругих колебаний информация о работоспособности полевых блоков GSX попадает на сейсмостанцию, а геофизик-оператор, соединив информацию из SPS файлов и из полевых контроллеров Line viewer, с помощью которых тестируются полевые блоки, видит проектную карту ПП и ПВ, положения и статус приемных каналов. Только тогда начинается работа вибраторов.

На исследуемых площадях в каждой сеймопартии тестированием и настройкой полевых блоков занимались от 12 до 14 техников-наладчиков, что полностью обеспечивало контроль сейсмической расстановки перед началом работы. В процессе работы сейсмических вибраторов тестирование приемной расстановки не прекращалось, техники контролировали работу блоков, уровень шумов, зарядку батарей.

Конечно, бескабельная система первоначально вызывала сомнение у заказчиков. Не пострадает ли качество сейсмической информации, т.к. получаемый материал нельзя видеть и, соответствен-

но, контролировать в реальном времени. Правильная организация работ с бескабельным оборудованием и его надёжность позволили рассеять все сомнения и получить положительный результат, а именно:

- время выполнения работ сокращено на 25% относительно планового задания (работы выполнены за 6 месяцев);
- значительно сокращен ущерб землям сельхозназначения;
- соответственно снижены затраты на проведение работ.

Но самый главный итог работ: все полевые материалы приняты Заказчиком с хорошей и отличной оценкой качества. Из всего объёма полевого материала, переданного Заказчику, были забракованы единичные сейсмограммы, а максимальная производительность работ достигала 1000-1200 физических наблюдений в сутки.

По нашим оценкам преимущества бескабельного оборудования и одиночного геофона заключаются в следующем:

- отсутствие соединительных кабелей между сейсмическими каналами значительно упрощает установку полевого оборудования в сложных условиях пересеченной местности: лесах, городах и т.д;
- нет необходимости прокладывать километровые обходы кабелем для соединения линий приёма с одной и другой стороны крупного препятствия, например, озера, реки;
- одиночные геофоны можно закапывать при установке полностью с соединительным кабелем. Отсутствие кабелей на поверхности земли как соединяющих сейсмические каналы, так и кабелей, соединяющих геофоны в приемной группе, значительно упрощает работы в районах с сильно развитой сельскохозяй-

йственной деятельностью. Гораздо проще договариваться с землепользователями, когда на их землях вместо многих километров сейсмических кабелей стоят одиночные приборы, которые не мешают сельхозработам и их можно просто объехать;

- нет необходимости в дополнительном оборудовании при прокладке кабелей через дороги, скоростные магистрали. Упрощается складкаоборудования в городах, где надо получить разрешение у каждого хозяина на установку приборов в его дворе. Для данного вида оборудования в принципе не существует препятствий.

- компактные размеры и вес одного сейсмического канала позволяют уменьшить количество рабочих и автотехники, используемых при установке и подъеме полевого оборудования. В один внедорожник-пикап вмещается до 150 каналов. В сейсмопартиях на подъёме и раскладке оборудования работали 8-10 бригад по три человека (водитель и два рабочих) и обеспечивали переброску полевого оборудования на новые участки для отработки от 500 до 1000 пунктов возбуждения в сутки. И это несмотря на 100%-ую ручную раскладку оборудования;

- работа сейсмических вибраторов может вестись непрерывно, за исключением коротких промежутков времени для самотестирования полевых блоков GSX;

- вероятность отказа установленного блока GSX с одиночным геофоном Gs-One, который полностью закапывается вместе с соединительным проводом, минимальна. Оборудование надёжное и мобильное.

Много споров и сомнений вызвало использование при проведении работ

одиночного геофона GS-One. Чтобы доказать правомерность его применения, по заказу отдела оперативного сопровождения сейсморазведочных работ ООО "Газпромнефть НТЦ" нами были проведены опытные работы по сравнению результатов регистрации сейсмического волнового поля группой из двенадцати геофонов SG-10 (Sercel) и одиночным геофоном GS-One (Geospace).

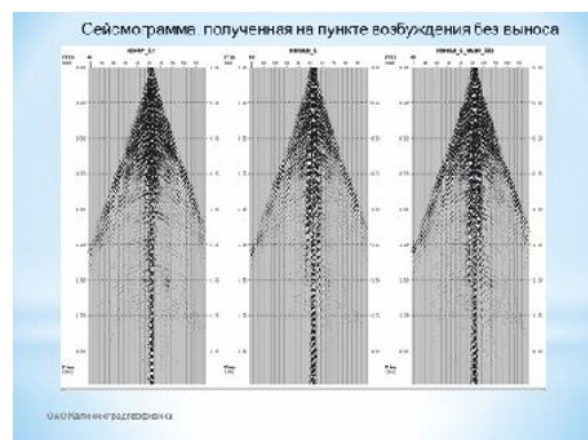
Программа опытных работ включала в себя следующие этапы:

- параллельная размотка двух сейсмических 2D профилей, состоящих из 100 ПП с шагом 40 м между ПП. На одной линии приема были установлены одиночные геофоны (GS-One Geospace), на другой - линейные группы из 12 геофонов (SG-10 Sercel);

- одновременная отработка 2D профилей с использованием стандартных параметров возбуждения;

- дополнительная отработка трёх точек, вынесенных перпендикулярно 2D профилям на расстояние 450м, 650м, 850 м;

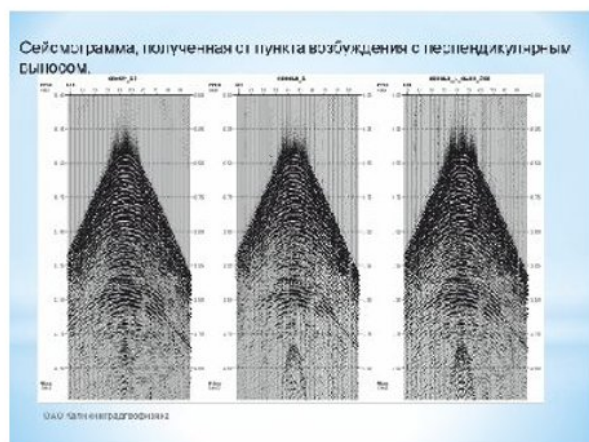
- сравнительный анализ зарегистрированного волнового поля на линиях приёма (ЛП) с разными типами геофонов на уровне сейсмограмм, а затем на уровне временных разрезов при одинаковом графе обработки.



▲ Рис. 3.

При визуальном сравнении можно отметить эффект подавления поверхностной волны на сейсмограмме с группой из 12 геофонов, когда фронт волны распространяется вдоль 2D профиля (рис.3, слева направо: одиночный геофон, группа из 12 геофонов, одиночный геофон с увеличенным усилением на 3дБ).

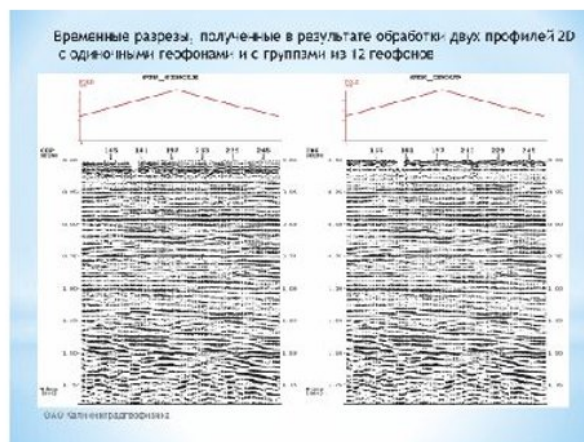
Иная картина на сейсмограммах, полученных с большим перпендикулярным выносом ПВ, когда фронт волны приходит перпендикулярно линейной приемной группе. При визуальном сравнении видно, что волновая картина на сейсмограммах совершенно одинакова, но амплитуда сигнала немного меньше на сейсмограмме с одиночными геофонами.



▲ Рис. 4.

При усилении сейсмограммы, полученной с одиночными геофонами GS-One, на 3 дБ энергия годографов отраженных волн выходит на один уровень с сейсмограммой, полученной с группами из 12 геофонов SG-10 (Рис 4 - слева направо: одиночный геофон, группа из 12 геофонов, одиночный геофон с увеличенным усилением на 3db).

Для получения временных разрезов в сейсмограммы была введена кинематическая поправка, априорная статическая



▲ Рис. 5.

поправка, АРУ, мьютинг. Граф обработки был одинаковым, предварительное усиление сейсмограмм не применялось.

При визуальном анализе результатов можно отметить более высокое разрешение в верхней части для временного разреза, полученного с использованием одиночных геофонов (рис.5, левый рисунок). В остальном отличия отсутствуют.

Результаты опытных работ в формате SGD были переданы заказчику для рассмотрения и анализа.

Конечные результаты (временные разрезы) при работе с одиночными геофонами GS-One соизмеримы с результатами при работе с группой из 12 геофонов.

Более высокое разрешение верхней части временного разреза положительным образом сказывается на процедурах коррекции статики в полном графе обработки.

Максимально возможная точность позиционирования одиночных геофонов в совокупности с отсутствием изменений поверхностных условий на базе одного сейсмического приемного канала позволяет избежать проблем статических коррекций, характерных для сейсмического канала, установленного на длинной

базе, где поверхностные условия изменчивы на каждом геофоне в группе (например, когда группа геофонов установлена на пашне).

Линейное группирование сейсмоприёмников при работах ЗД МОГТ не даёт существенного преимущества в борьбе с поверхностными волнами, поскольку невелик процент азимутов, ориентированных строго по линии приёма. Эффект подавления поверхностной волны при распространении фронта вдоль приемной группы и отсутствие этого эффекта при распространении фронта перпендикулярно приемной группе, приводит к тому, что на разных линиях приема одной сейсмограммы ЗД волновая картина будет иметь различный характер, что может вносить отрицательный вклад в процедуры динамического анализа на соответствующих этапах обработки.

Следует отметить значительное преимущество одиночных геофонов, связанное с лёгкостью, компактностью и высокой производительностью при установке приборов. Это является особенно важным в период сельскохозяйственных работ, а также в местах, затруднительных для установки приборов, таких как густонаселённая местность, города, дороги, поймы рек. И что очень важно, возможность использования 100% закапывания геофонов как средства борьбы с микросейсмами.

Из опыта, полученного при проведении сейсморазведочных работ в Сербии, можно сделать следующие выводы:

1. Для производительной работы в густонаселённых районах с развитой сельскохозяйственной деятельностью съёмку предпочтительно выполнять с применением бескабельного регистрирующего оборудования.

2. Очень важно перед началом работ провести полномасштабные подготовительные работы: презентации работ, согласование работ с землепользователями.

3. Чтобы исключить незапланированные простои, необходимо своевременно выполнять договорные обязательства перед хозяевами земель, зданий и сооружений в районах проведения исследований.

4. В населённых пунктах нужно внимательно следить за исполнением выработанной опытным путём технологии виброработ. Это позволит отработать как много больше пунктов наблюдений и, в свою очередь, избежать нанесение ущерба зданиям и сооружениям.

Подробнее об авторе



Карпухин
Игорь Викторович
начальник сейсморазведочной партии ОАО "Калининградгеофизика",
руководитель сейсморазведочных работ в Сербии.

Опыт применения уплотненных систем наблюдения совместно с технологией «слип-сви́п»

■ Ефимов В.И., ОАО «Самаранефтегеофизика», г. Самара

Новые технологии в сейсморазведке дают возможность выполнять сейсмические наблюдения быстрее, в больших объемах, с высоким качеством зарегистрированных сейсмоданных. В настоящее время за рубежом значительные объемы сейсморазведочных работ, как правило, выполняются силами высокопроизводительных «мегапартий» и в короткие промежутки времени. Это обеспечивает высокие экономические и геологические результаты.

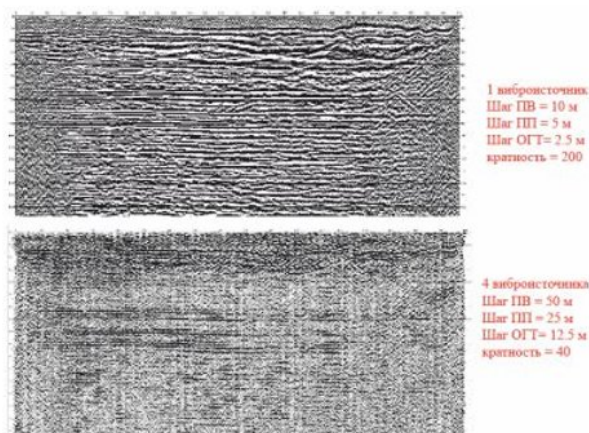
В европейской части России, в таком, например, регионе как Самарская область непросто реализовывать такого рода масштабные проекты. Самарская область – густонаселенный, промышленный регион с высокоразвитым сельским хозяйством. Практически, нет возможности выполнять сейсмонаблюдения в светлое время суток. Наиболее «тихое» время для выполнения работ – это промежуток ночных 5-6 часов, когда затихает промышленная, ветровая активность. Следовательно, становится актуальной задача – максимально больше физических наблюдений выполнить в короткий период времени. Одной из технологий, позволяющих ускорить процесс наблюдений, является вибросейсмическая технология «слип-сви́п».

«Слип-сви́п» – технология непрерывной регистрации сейсмоданных при одновременных вибровоздействиях на нескольких пунктах возбуждений. Вибрационные возбуждения упругих колебаний выполняются со сдвигом по времени. Соответственно, в каждый момент времени у всех одновременных вибровоздействий разные частоты. На этой разности частот и построен принцип отделения

физических наблюдений друг от друга.

Производительность работ при непрерывной регистрации возрастает как минимум на порядок. Но если имеется возможность выполнить работу быстрее, значит можно сделать больше и пойти по пути уплотнения системы наблюдения, выполнить большее количество наблюдений на квадратный километр за тот же промежуток времени. Тем самым можно увеличить количество информации, получаемой на одном квадратном километре площади исследования.

Уплотнение обеспечивает увеличение детальности (разрешенности), увеличение количества информации, что уже является положительными факторами (Рис. 1).



▲ Рис. 1. Сравнение сейсмонаблюдений разной плотности (предварительные суммарные разрезы).

Одним из основных требований в современной сейсморазведке в России является обеспечение максимально сильного сигнала. Чем сильнее сигнал, тем выше соотношение сигнал-помеха.

Традиционно вибровоздействие выполняется группой виброисточников. Необходимость применения именно группы источников диктуется недоста-

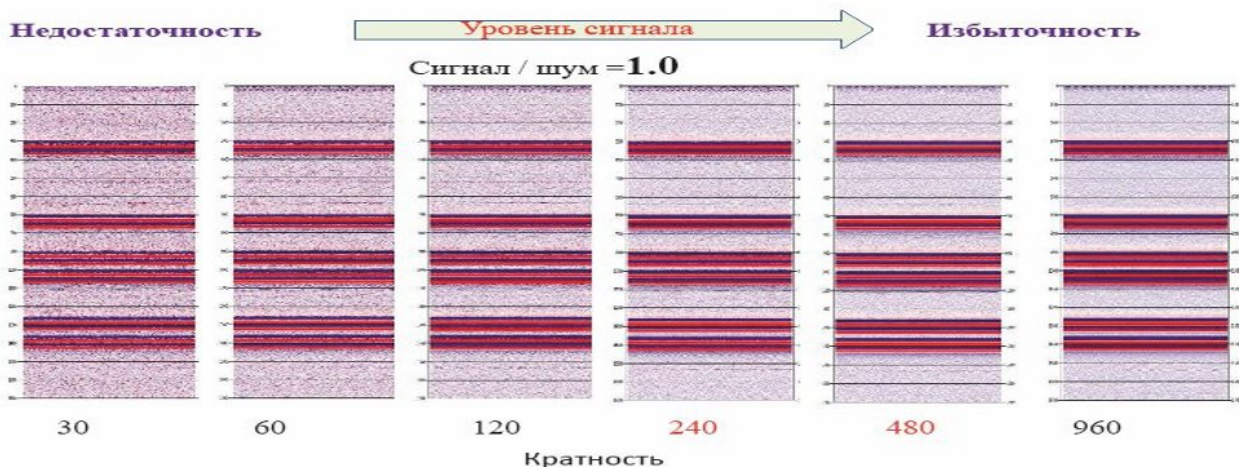
точной мощностью каждой отдельной виброустановки для получения при вибровоздействии сигнала должного уровня. Кроме того, группирование источников обосновывалось необходимостью подавления приповерхностных волн-помех. Именно расстояние между источниками является здесь ключевым фактором. Однако плотность систем наблюдения возросла, расстояния между источниками сократились и эти расстояния не соответствуют параметрам подавления волн-помех. Напротив, в данном случае группирование лишь усиливает волны-помехи. Результатом использования при этом «вертикального» суммирования, т.е. многократного накапливания результатов воздействий на одной точке, является суммарная корелограмма со всеми интерференционными эффектами.

Итак, в соответствии с действующими требованиями к проведению работ группирование источников возбуждения сейсмических сигналов используется для повышения мощности сигнала и, соответственно, увеличения компоненты полезного сигнала относительно шумовой компоненты записи. Однако не следует забывать, что кроме полезных волн, присутствуют и волны-помехи, эффекты интерференции, всякого рода нелиней-

ные искажения и т.п., которые, в свою очередь, также усиливаются с увеличением исходного воздействия. Именно эти помехи могут представлять гораздо большую опасность, нежели шумы микросейсм. Возможности увеличения мощности воздействия, в свою очередь, неограниченны. На определенном уровне зависимость «усилие возбуждения сигнала – регистрируемый сигнал» перестаёт быть линейной и эффективность становится минимальной.

Другим путем увеличения эффективности производства сейсморазведочных работ, повышения качества сейсмоданных является «горизонтальное» суммирование, основанное на уплотнении системы наблюдения. Ввиду сокращения интервалов в системе наблюдения сокращаются базы группирования. Следовательно, сокращается количество элементов в группе, а именно - количество вибрационных установок. Сигнал становится слабее, фон шумов становится сильнее. Однако, в этом случае имеет место многократность полезного сигнала, более высокая некогерентность всякого рода помех из-за их фазовых смещений по причине разных удалений взрыв-прибор, а также высокая пространственная разрешенность сейсмоданных.

▼ Рис. 2. Моделирование суммарного эффекта увеличения кратности.



Следует особо учитывать, что многократность даст положительный эффект только в случае когерентности полезного сигнала и некогерентности всякого рода помех (рис. 2).

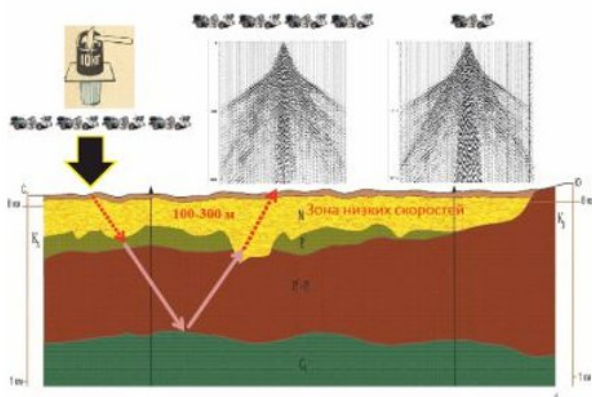
В Самарском регионе излучаемый и регистрируемый сигналы в значительной мере поглощаются приповерхностными породами в зоне малых скоростей (ЗМС). Наиболее сильно поглощаются высокие частоты. Причиной этого явления являются низкоскоростные неогеновые отложения, заполняющие плейстоценовые палеоврезы. Мощность ЗМС достигает 300 м. И чтобы «пробить» эту толщу на современном этапе применяется максимально возможное вибрационное воздействие. Но толща всё равно не пробивается. Очевидно, достигнут предел используемой технологии. Используются самые мощные виброустановки, максимально возможное количество установок, а уровень регистрируемого сигнала остается недостаточным. Не хватает энергии для надёжной корреляции глубоких горизонтов. (Рис. 3).

При внимательном рассмотрении волновых полей, реализованных разным количеством источников возбуждения, можно убедиться, что динамика полезной компоненты сейсмозаписи не меняется. Меняется энергия сигнала, но незначительно. Разница в уровне сигнала

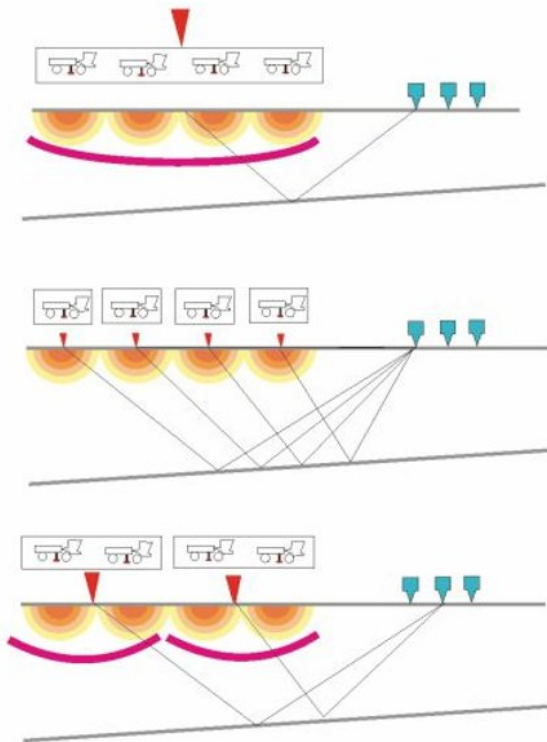
ла при применении группы из 4-х и одной установки составляет 2-2.5 раза. Более того, из-за негативного влияния эффекта группирования воздействие лишь одной установкой обеспечивает более высокочастотный сигнал. При применении одного источника вместо 4-х имеем тоже волновое поле, но в 2-3 раза более зашумлённое уровнем микросейсм. Однако теперь количество таких записей кратно шагу уплотнения и имеется уже 4 записи вместо одной. Сумма этих 4-х сейсмограмм является более помехозащищённой по причине некогерентности помех.

Здесь необходимо соблюдать баланс соотношения сигнал-помеха. Однако цифры ограничений должны браться не «с потолка» и не от визуальной презентабельности исходных сейсмограмм. Необходимо насыщать волновые поля, возможно, избыточной информацией с разных азимутов, удалений, а не вычищать каждую сейсмограмму повторными переотработками, незначительно увеличивая показатели сомнительных оконных оценок и сомнительной полезностью минимизированных, ничем не аргументированных пределов параметров вибровозбуждения.

Для выполнения работ методом «слип-свип» в ОАО «Самаранефтегеофизика» было принято решение о разделении физического наблюдения, выполняемого с шагом 50 м группой из 4-х вибраторов, на четыре физических наблюдения, выполняемых одним вибратором, или на два физических наблюдения, выполняемых группой из 2-х вибраторов. Таким образом, получился геометрический эквивалент – как стояли вибраторы в группе на дистанции 12-13 м, так и с шагом 12.5 м встали вибраторы на отдельные пикеты возбуждения (Рис. 4).



▲ Рис. 3. Схема ослабления сейсмических сигналов.



▲ Рис. 4. Геометрия формирования сейсмотрассы.

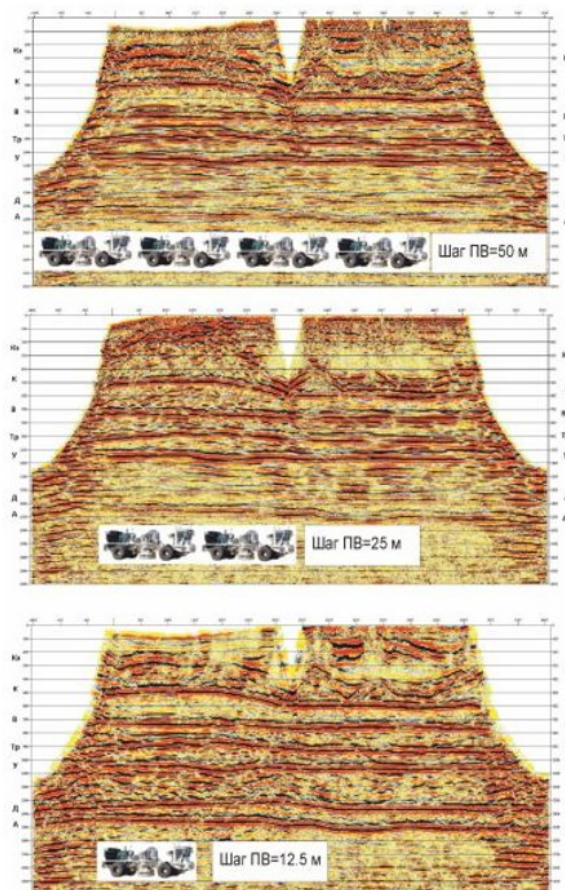
Система уплотнилась по пунктам возбуждения в 2 (4) раза. Общая производительность сейсморобот, выраженная в квадратных километрах в день, увеличилась в 4 – 6 раз. Качество суммарных данных увеличилось, несмотря на повышенный уровень зашумления первичных сейсмограмм.

Таким образом, был реализован метод «слип-свип» с уплотнением ПВ при использовании одиночной вибрационной установки (точечного возбуждения упругих колебаний) или использовании двух вибрационных установок (уменьшение базы группы).

Геометрически, имеет место тождественность применения уплотнённой и стандартной методики. С точки зрения уровня сигнала также имеется суммарный паритет. Разница заключается в перераспределении компонент сигнала и компоненты помехи. При вертикальном суммировании помехи и всякого рода искажения прячутся в интерферен-

ционных эффектах единичной сейсмограммы, соотношение сигнал-помеха которой соответствует требованиям инструкции. При уплотнении системы, т.е. при горизонтальном суммировании – помехи отделены от сигнала, остаётся лишь выполнить их очистку и суммирование.

Сравнение результатов суммирования по разным методикам с разной плотностью наблюдений показывает в худшем случае – паритетные результаты. Однако, как правило, уплотнённые наблюдения имеют большую информативность о статических поправках, имеют более высокие уровни высокочастотных компонент, что сказывается на качестве результирующих суммарных разрезов (рис. 5).



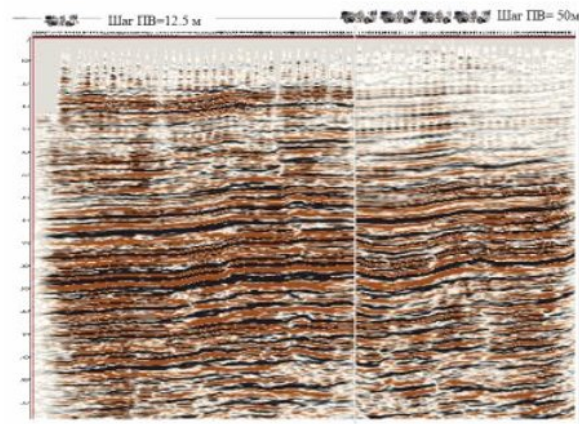
▲ Рис. 5. Сравнение временных разрезов (предварительный этап обработки) с разным уплотнением системы наблюдения, разным количеством вибраторов на ПВ.

Результаты сейсмических наблюдений бывают порой неожиданные. Наиболее яркими результатами были результаты применения уплотнённой системы наблюдения в условиях слабых регистрируемых сигналов, в условиях высокого уровня техногенных помех. При выполнении одинакового графа обработки имеется паритетность временных разрезов. При выполнении индивидуальной обработки имеется улучшение качества суммарных данных (рис.6).

Опыт применения уплотнённых систем наблюдения совместно с технологией «слип-свип» обеспечивает:

- увеличение производительности сейсморобот в 4–6 раз,
- паритетное качество окончательных сейсмоданных или улучшение их качества,
- увеличение количества сейсмической информации.

В настоящее время данная технология находится в противоречии с действующими инструкциями по соотношению сигнал-помеха первичных сейсмоданных.



▲ Рис. 6. Сравнение окончательных временных разрезов на стыковке площадей, отработанных с разной плотностью, разным количеством вибраторов на ПВ.

Подробнее об авторах



Ефимов
Владимир Иванович

главный геофизик
ПАО "Самара-
нефтегеофизика"

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» является единственным тематическим периодическим изданием в современной России, освещающим актуальные проблемы геофизического приборостроения.

С 2015 г. журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» входит в список ведущих периодических изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России для публикации основных научных результатов **диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.**

Рецензирование рукописей, поступающих в редакцию, в том числе обязательное для соискателей ученой степени, позволяет поддерживать высокий уровень публикаций.

С каждым годом расширяется география публикаций. С нами сотрудничают авторы более чем из 40 городов Российской Федерации, а также из Украины, Белоруссии, Азербайджана, США, Франции, Китая.

Журнал ориентирован на широкий круг представителей геофизического сообщества. Поэтому рекламодатели, размещающие рекламу своей продукции и услуг на страницах нашего журнала, могут быть уверены в том, что она привлечет внимание представителей целевой аудитории и, как следствие, приведет к развитию бизнеса (увеличению продаж товаров или услуг).

Мы открыты к сотрудничеству!



АО «СОЕДИНИТЕЛЬ»

**РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ
СОЕДИНИТЕЛЕЙ И КАБЕЛЕЙ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Россия, 456300 Челябинская обл., г. Миасс
Тургоякское шоссе, 11/5
тел./факс: (3513)298-594, 298-939
e-mail: info@soedinitel.com
www.soedinitel.com

Адаптивное суммирование при накоплении сейсмограмм

■ Романов В.В., МГРИ–РГГРУ, г. Москва

Введение

При возбуждении сейсмических волн импульсными невзрывными источниками выполняется серия из 8–32 ударов при неизменном положении пункта возбуждения и расстановки приёмников. Полученная таким способом серия сейсмограмм суммируется для увеличения отношения «сигнал/помеха» за счёт относительного подавления случайных помех[1,2]. Если помехи, ослабляемые при суммировании сейсмограмм, чисто случайные (нерегулярные), относительное увеличение S/N оценивается как квадратный корень из числа накоплений[6] (1).

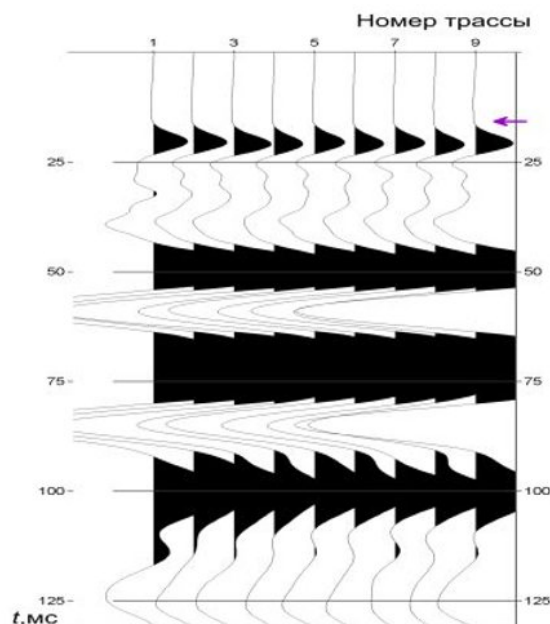
$$\frac{S}{N_{\Sigma}} = \sqrt{N} \frac{S}{N} \quad (1)$$

где S/N — отношение «сигнал/помеха» до суммирования, S/N_{Σ} — отношение «сигнал/помеха» после суммирования, N — число накоплений.

Однако такое ослабление возможно только при абсолютной регулярности трасс суммируемых сейсмограмм, то есть при совпадении форм и амплитуд импульсов, а также времён вступлений регистрируемых волн. Добиться полной идентичности повторных возбуждений никогда не удаётся, в силу множества причин. Средних:

1. Нестабильность срабатывания системы отметки момента в сеймостанции.
2. Необратимые деформации грунта при ударном воздействии.
3. Различия в мощности и направлении ударов при накоплении.

На рис.1 представлена сейсмограмма общего регистрирующего канала ОКР, где по порядку расположены графики коле-



▲ Рис. 1. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР). Стрелкой выделена суммотрасса.

баний от 8-ми последовательных возбуждений на 12-ой канале сеймостанции. Данные были получены при помощи вертикальных ударов кувалдой массой 8 килограмм по горизонтальной металлической подложке[5]. Девятой по списку идёт нормированная суммотрасса, где стрелкой показано снижение резкости вступления из-за несинфазного накопления импульса[7]. Падение частоты и «размытие» вступления снижает разрешающую способность сейморазведки, сводя на нет преимущества слабых импульсных и вибрационных источников[1,6,7].

Вместе с тем, на рис.1. отчётливо видно, что амплитуда и форма импульсов волн в первых вступлениях практически одинаковы, когда как время вступления «плавает». Очевидно, что качество накопленных сейсмограмм в данном случае определяется нестабильностью работы системы отметки момента.

Особенно велика нестабильность такой системы в случае синхронизации по приёмнику, расположенному вблизи подложки[5].

Возникающие по вине системы синхронизации фазовые сдвиги традиционно корректируются полуавтоматически, то есть обработчик визуально анализирует значительный объём полевых данных и самостоятельно выбирает сдвиг каждой накапливаемой сейсмограммы. Высокая трудоёмкость и рутинность выполняемых операций подталкивают к необходимости разработки систем адаптивного суммирования накоплений на основе автоматического определения и коррекции возникающих фазовых сдвигов[9].

Алгоритм адаптивного суммирования сейсмограмм

Высокая идентичность отдельных трасс определяет возможность использования взаимнокорреляционных функций (ВКФ) для определения фазовых сдвигов при накоплении. Взаимнокорреляционные функции давно и успешно применяются в сейсморазведке — при обработке данных вибрационной сейсмики, коррекции статических поправок, определения скоростного закона, обнаружении слабых сигналов и для решения многих других задач[3,8].

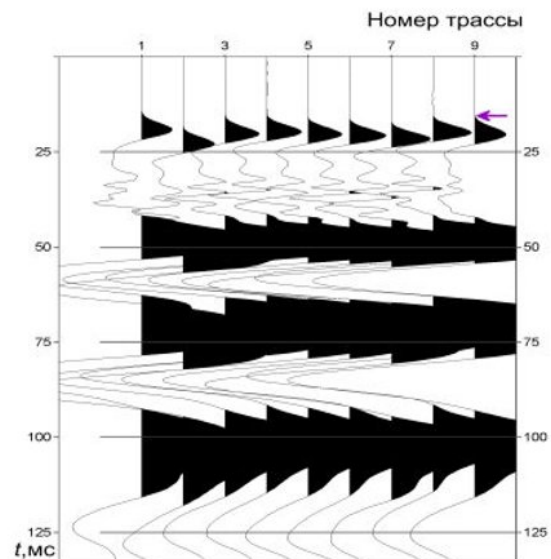
При вычислении ВКФ находится подобие между оцениваемой и модельной трассой, максимум корреляционной функции соответствует сдвигу между ними. В качестве модельной автор предлагает использовать суммарную трассу, так как положение её экстремумов практически не смещается даже при значительных фазовых сдвигах между складываемыми трассами. Точность нахождения максимума ВКФ во многом зависит от ширины окна, в котором она рассчитывается, поэтому окно целесооб-

разно расширить на всю длину записи сейсмограмм. Для более быстрого вычисления ВКФ автор применял быстрое преобразование Фурье (БПФ), так как в частотной области взаимнокорреляционная функция r_{12} равна произведению спектра оцениваемой трассы X_1 и комплексно-сопряжённого спектра модельной трассы X_2^* (2)[4].

$$r_{12} = F^{-1}[X_1 \cdot X_2^*] \quad (2)$$

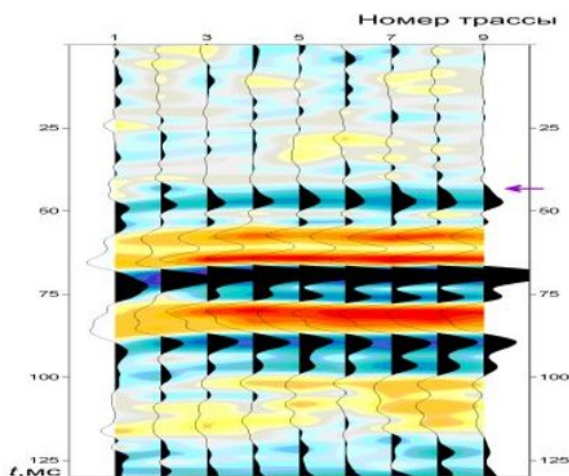
где F^{-1} — оператор обратного преобразования Фурье.

Выявленные сдвиги, соответствующие максимумам ВКФ, с обратным знаком применялись к трассам накапливаемых сейсмограмм, в результате чего они выравнивались по уровню суммотрассы. При достаточно высоком отношении «сигнал/помеха» складываемых сейсмограмм алгоритм работает безошибочно и уверенно исправляет возникающие фазовые сдвиги. После коррекции импульсы на суммотрассе имеют такое же резкое вступление, как и у суммируемых трасс (рис.2).



▲ Рис. 2. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР) после коррекции фазовых сдвигов. Стрелкой выделена суммотрасса.

Для того, чтобы при автоматической коррекции шумящие или «мёртвые» трассы случайно не привели к неправильному выбору корректирующих значений, система адаптивного суммирования нуждается в предварительной настройке. Реализован выбор номера канала для оценки фазовых искажений и порогового значения ВКФ, при котором происходит коррекция. Однако высокий относительный уровень микросейсмических колебаний вдали от источника снижает эффективность работы алгоритма (рис. 3).



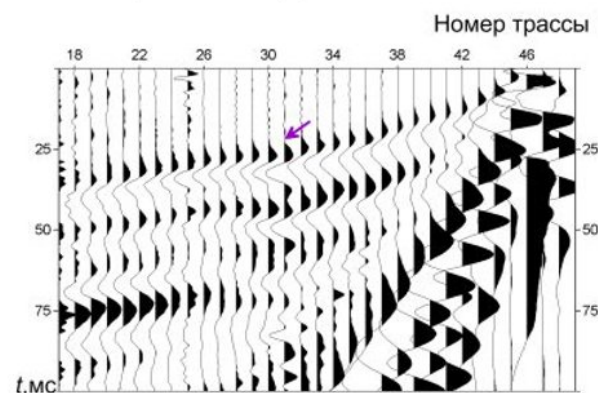
▲ Рис. 3. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР) при высоком уровне случайного шума.

Поэтому номер канала для оценки значений ВКФ при накоплении должен постоянно изменяться, чтобы пункт приёма оставался на фиксированном удалении от источника. Соблюдение этого условия обеспечит стабильно высокое отношение «сигнал/помеха», по крайней мере, для волн в первых вступлениях. Единственной сложностью при таком подходе является выбор оптимального удаления и необходимость ввода геометрии в заголовки трасс до суммирования накоплений.

Результаты применения алгоритма.

Описанный алгоритм был реализован в виде программы для персонального компьютера «SWavePlus» и опробован на

ряде объектов, где проводилась инженерная сейсморазведка с накоплением слабых ударных воздействий. Последующая обработка была направлена в первую очередь на выделение волн в первых вступлениях, поэтому эффективность программы суммирования оценивалась по волнам указанного типа. На рис. 4.1 и рис. 4.2. приведены фрагменты сейсмограмм, полученные по схеме Z–Z в Серпуховском районе Подмосковья.

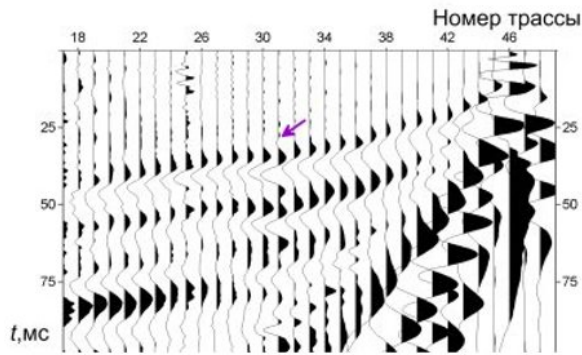


▲ Рис. 4.1. Сейсмограмма общей точки возбуждения (ОТВ), полученная путём обычного суммирования. Стрелкой показана волна в первых вступлениях.

Сейсморазведка применялась с целью прослеживания кровли карстующихся верхнекаменноугольных известняков, на которой образовывалась преломлённая волна с граничной скоростью около 2300 м/с. На рис. 4.1. показан результат использования обычного суммирования, на рис. 4.2 — адаптивного по удалению в 12 м. Можно видеть, что на рис. 4.1. снижена резкость вступлений, а времена вступления прямой волны вблизи источника систематически занижены. На рис. 4.2 вступления намного резче, годограф прямой волны чётко прослеживается даже на минимальных удалениях.

Выводы

Основным фактором, негативно влияющим на качество записей инженерной сейсморазведки при суммировании накоплений, является нестабиль-



▲ Рис. 4.2. Сейсмограмма общей точки возбуждения (ОТВ), полученная путём адаптивного суммирования. Стрелкой показана волна в первых вступлениях.

ность работы системы отметки момента в сейсморазведочных станциях. Особенно большие случайные и систематические сдвиги возникают при использовании синхронизации «по приёмнику». То обстоятельство, что сдвиг, вносимый системой синхронизации, одинаков для всех каналов сейсмограмм, позволяет оценить его всего по одному фиксированному каналу. Таковая оценка возможна на основе вычисления ВКФ между корректируемой трассой и суммой всех накоплений по одному из каналов. Выбор трассы для расчёта ВКФ происходит по некоторому постоянному удалению. Разработанный и реализованный в виде программы алгоритм адаптивного суммирования накоплений показал высокую эффективность в процессе предварительной обработки данных инженерной сейсморазведки. Основным достоинством предлагаемой системы является полная автоматизация обработки и заметное улучшение качества прослеживания целевых преломлённых и отражённых волн по сравнению со стандартным суммированием.

Литература

1. Жуков А.П., Тищенко И.В., Калимулин Р.М. и др. Адаптивная вибросейсморазведка в условиях неоднородного строения

верхней части геологического разреза // Технологии сейсморазведки. — 2011. — № 2. — С. 5–12.

2. Жуков А. П. и др. Сейсморазведка с вибрационными источниками / А.П. Жуков, С.В. Колесов, Г.А. Шехтман, М.Б. Шнеерсон—Тверь.: ООО «Издательство ГЕРС». — 2011.

3. Козырев, В. С., Жуков, А. П., Коротков, И. П. и др. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке / Современные технологии. Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр». — 2003.

4. Нестеров К.А., Шипилов А.А. Методика быстрого вычисления корреляции двух информационных сигналов // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). — 2013. — С. 308–311.

5. Романов В.В. Инженерная сейсморазведка / М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2015. — 278 с. — ISBN 978–94–6282–149–1.

6. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. — 2013. — № 4. — С. 67–73.

7. Романов В.В. Особенности дифференцирования цифровых данных инженерной сейсморазведки // Геоинформатика. — 2014. — № 4. — С. 43–47.

8. Шнеерсон М. Б., Жуков А. П., Белоусов А. В. Технология и методика пространственной сейсморазведки / М.: ООО «Издательство «Спектр». — 2009.

9. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., Ченборисова Р.З. Нелинейные и фазовые искажения вибрационных сигналов и способы их коррекции // Геофизика. — 1997. — № 3. — С. 27–33.

Кратные волны в методе вертикального сейсмического профилирования: проклятие или подспорье?

■ Шехтман Г.А., ООО «Геофизические системы данных», г. Москва

Обилие волн, регистрируемых внутри среды, приводило на начальном этапе внедрения в производство метода вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в подлинное замешательство тех, кто в сложном волновом поле пытался выделить и изучить волны, представляющие разведочный интерес.

Особенно досаждали сейсморазведчикам падающие кратно отраженные волны, которые прослеживались, как правило, вдоль всего вертикального профиля. Вызваны они были последующими отражениями однократных волн от акустически резких границ, расположенных в приповерхностной зоне. Кратные падающие волны, воспринимаемые исключительно как помехи, отражались затем от сейсмических границ, расположенных под забоем скважины, и отличить их от однократных глубинных отражений без специальной обработки было невозможно. И лишь внедрение в практику обработки деконволюции по цугу падающих волн позволило подавить эти помехи, обеспечив тем самым однозначность глубинной (стратиграфической) привязки и высокую разрешенность волнового сейсмического поля.

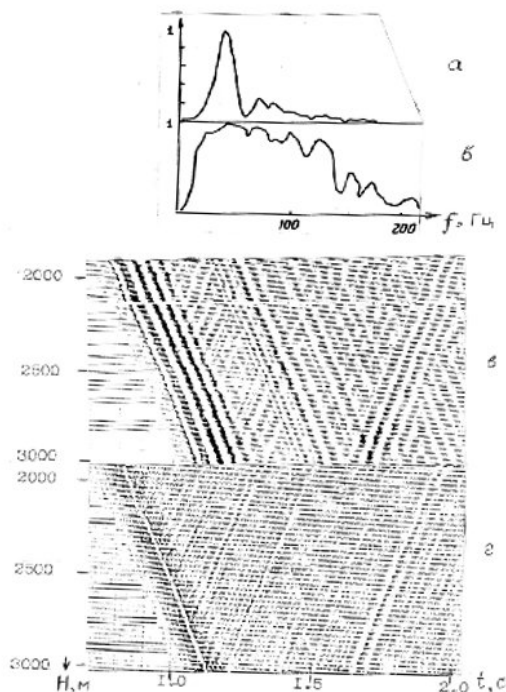
Первым же стремлением было подавить кратно отраженные падающие волны непосредственно в процессе получения записей. Из соответствующих технических решений, представляющих уже лишь исторический интерес, можно вспомнить комбинированные приемники, содержащие в каждой точке вертикального профиля датчики давления и датчики скорости смещения (Гальперин, 1971). В основу комбинированного приемника было положено различие

диаграмм направленности этих двух датчиков. Для датчика скорости (электродинамического сейсмоприемника) диаграмма направленности в полярных координатах представляет собой две соприкасающиеся сферы, поэтому волны одного типа (к примеру, сжатия), подходящие снизу и сверху, регистрируются в противофазе. Для датчика давления, диаграмма направленности которого представляет собой сферу, направление подхода волны не имеет значения, поэтому волны одного и того же типа вне зависимости от направления подхода регистрируются в фазе. Такое различие диаграмм направленности, положенное в основу комбинированного приемника, обеспечивало подавление волн, подходящих к приемнику сверху. При суммировании сигналов обоих датчиков при условии выбора требуемой полярности датчиков обеспечивалось подавление кратных волн. Аналогичный подход нашел применение в морской сейсморазведке, однако в методе ВСП он не нашел поддержки.

Возможность регистрации цуга падающих волн внутри среды позволила избавляться от кратных волн путем применения деконволюции по этому цугу, используя его в качестве опорного сигнала. Причем не только для деконволюции записей ВСП, но и данных наземной сейсморазведки. Приведем примеры.

На рис. 1 показано, что применение деконволюции по цугу падающих волн приводит не только к подавлению кратных волн, но и к расширению спектра.

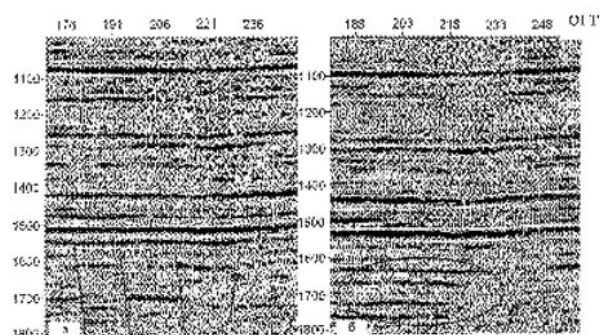
Использование цуга падающих волн в качестве опорного сигнала для деконволюции наземных временных разрезов



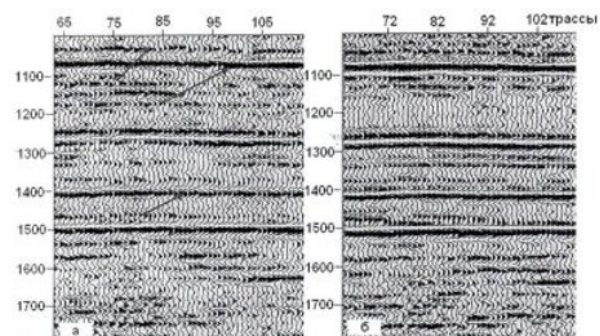
▲ Рис. 1. Результаты применения деконволюции (Казахстан). а – спектр исходного импульса падающих волн; б – спектр импульса падающих волн после деконволюции; в – исходное волновое поле; г – волновое поле после деконволюции.

приводит нередко к положительным результатам, несмотря на различие условий возбуждения и даже источников колебаний при проведении наземных и скважинных работ. На рис. 2 и рис. 3 приведены примеры улучшения прослеживаемости волн и их разрешенности после применения деконволюции по цугу падающих волн, регистрируемых при ВСП.

При вибрационной скважинной сейсморазведке цуг падающих волн, содержащий кратно отраженные волны, может использоваться в качестве опорного сигнала для одновременного выполнения двух задач: сжатия сигнала и подавления кратных волн (Шехтман, Кузнецов, 2005). В отличие от корреляционной обработки с опорным электрическим сигналом при этом достигается гораздо более высокая разрешенность записей (рис. 4).



▲ Рис. 2. Пример использования импульсов падающих волн (данные ВСП) для деконволюции временного разреза МОГТ. После деконволюции (а) удалось более отчетливо увидеть тектонические нарушения, до этого забитые кратно отраженными волнами (б).



▲ Рис. 3. Пример использования импульсов падающих волн (данные ВСП) для деконволюции временного разреза МОГТ. После деконволюции (а) повысилась разрешенность границ (указаны стрелками), до этого отображающихся более многофазными сейсмическими реперами (б).

Полезную информацию, содержащуюся в кратно отраженных волнах, можно довольно успешно использовать для количественной оценки относительной интенсивности кратных волн в наземной сейсморазведке (Музыка, 1969), а также для изучения отражающих и поглощающих свойств среды (Шехтман, 1984).

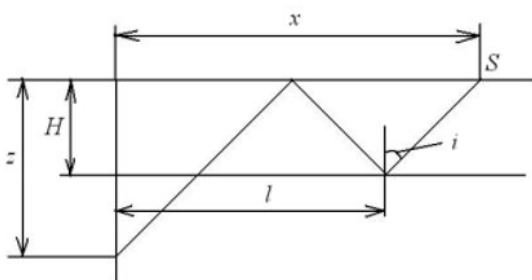
При формировании изображения среды (миграции) по записям, полученным при отработке скважины различными модификациями метода ВСП, можно использовать не только восходящие, но и падающие волны – обменные и кратно

отраженные. Участок освещенности отражающей границы падающими кратно отраженными волнами больше, чем однократно отраженными. Покажем это для двухслойной модели с горизонтальной границей раздела.

В условиях слабоконтрастной среды или отражающего горизонта в виде слоя, расположенного в однородной толще, искривлением луча с целью упрощения можно пренебречь. Тогда в принятых обозначениях (рис. 5) для расстояния точки отражения l от ствола скважины справедливо следующее соотношение:

$$l = x \frac{H+z}{2H+z},$$

где x – расстояние источника колебаний S от скважины, H – глубина отражающей границы, z – глубина точки приема в скважине.



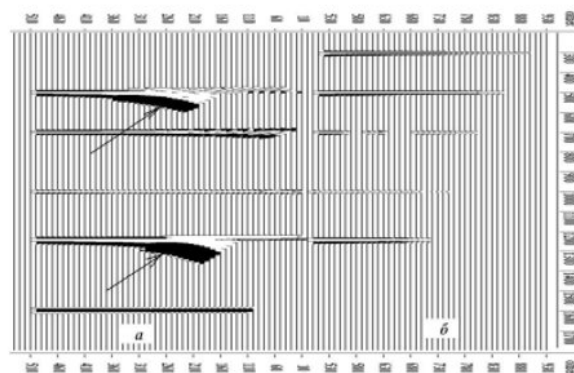
▲ Рис. 5. К выводу формулы для участка освещенности кратно отраженной падающей волной.

Видно, что $l \rightarrow x$ при $z \rightarrow \infty$. Т.е. при увеличении глубины приема кратно отраженной падающей волны точка отражения, расположенная на глубине H , смещается в направлении источника и асимптотически стремится к величине x . Если же точка приема находится в окрестности отражающей границы на глубине H , то $l = \frac{2}{3}x$.

При уменьшении глубины приема точка отражения смещается влево, и l асимптотически стремится к величине, равной $x/2$. Таким образом, участок освещенности отражающей границы

падающими отраженными волнами будет расположен справа от точки на границе, находящейся посередине между источником и устьем скважины, в то время как для однократно отраженной волны участок освещенности расположен слева от средней точки между источником и устьем скважины. Учитывая это, можно при миграции записей ВСП достичь максимального освещения границы путем совместного использования однократных и кратно отраженных падающих волн.

На рис. 6 приведены результаты миграции модельных записей НВСП на продольных отраженных (а) и кратно отраженных (б) падающих волнах. Оба разреза представлены зеркально относительно друг друга. Видно, что разрез на однократных волнах дает освещение среды до удаления 500 м от скважины, а разрез на кратно отраженных падающих волнах – от 520 м до 820 м. Обращают на себя внимание ложные объекты, сформированные из закритических отражений на разрезе однократных отражений. Ложных объектов на разрезе по кратно отраженным волнам не наблюдается, поскольку углы падения лучей на отража-



▲ Рис. 6. Глубинные разрезы НВСП, полученные путем миграции записей с однократными (а) и кратно отраженными падающими волнами (б). Стрелками показаны ложные объекты, сформированные при миграции из закритических отражений.

ющую границу меньше критических. Отсутствие сигналов на отдельных трассах разреза по падающим волнам объясняется смещениями участков освещенности из-за преломления лучей при переходе точек приема из одного пласта в другой.

Возможность формирования изображения среды (миграции) по падающим кратно отраженным, а также обменным проходящим волнам, предусмотрена в системе обработки данных ВСП ЗС-INTERACT (Кузнецов и др., 2011). Рассмотрим в качестве примера результаты миграции, полученные на одном из участков, расположенных в центре России.

Исследуемый участок был расположен в пределах Окско-Цнинского вала, осложняющего южное крыло Московской верхнепалеозойской синеклизы. Поднятие, на котором расположен участок, хорошо изучено в процессе проведения работ на подземные хранилища газа (ПХГ).

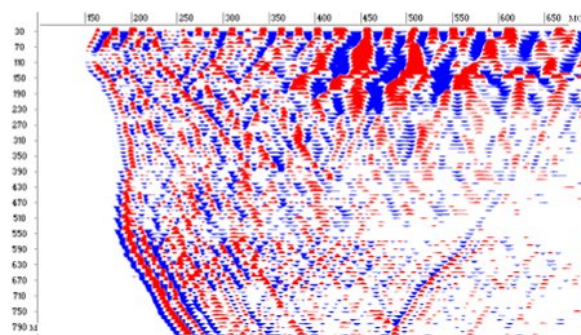
Скважину глубиной 810 м отрабатывали из трех направлений. Ближний пункт возбуждения был расположен на удалении 100 м от скважины в направлении, составляющем 600 от направления географического меридиана. В этом же направлении с шагом 30 м между соседними положениями источника колебаний до удаления, равного 520 м, было отработано 15 физических наблюдений модификацией ВСП с подвижным источником колебаний (ВСП-ПИ). Из-за условий местности до устья скважина затем была отработана с фиксированного удаления, равного 520 м. Еще два продольных ВСП (НВСП) было отработано в азимутах, составляющих 1900 и 2100 при удалениях ПВ, равных 630 м и 660 м.

Волновая картина при отработке скважины нестандартной модификацией

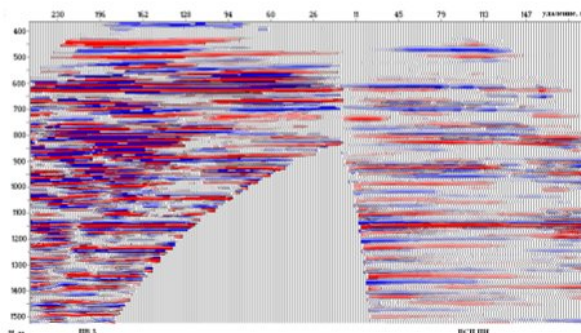
ВСП-ПИ в нижней части скважины типична для продольного вертикального профиля, а в верхней части – для непродольного. На z-компоненте (рис. 7) наиболее уверенно прослеживается отражение из-под забоя (указано стрелкой). Проследить другие отражения мешают падающие кратно отраженные волны.

Обработку записей ВСП осуществляли в рамках системы обработки и интерпретации данных ВСП ЗС-INTERACT.

Видно, что на глубинном разрезе ВСП-ПИ зона «тени» под забоем скважины почти отсутствует, что определяется особенностями этой модификации метода ВСП (Шехтман и др., 2004). Качество глубинного разреза ВСП-ПИ заметно выше, чем аналогичного разреза НВСП (рис. 8). Проявляется это в более высокой динамической выразительности глубоких горизонтов, представляющих разведочный интерес.

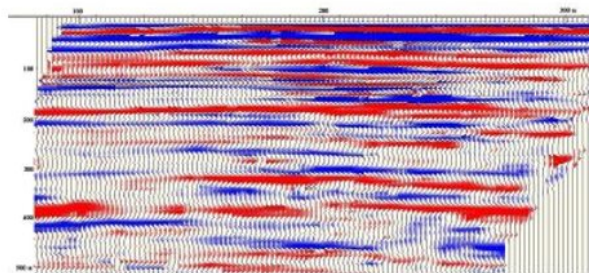


▲ Рис. 7. Сейсмограмма на z-компоненте (комбинирование ВСП-ПИ и НВСП).



▲ Рис. 8. Глубинные разрезы, полученные путем миграции записей НВСП (слева) и ВСП-ПИ (справа).

Одну из границ, расположенных на глубине 130 м от ротора (верейский горизонт) удалось построить по разрезам, полученным путем миграции падающих кратно-отраженных волн, поскольку однократно-отраженные волны, связанные с этой границей, проследить не удалось из-за помех, наиболее интенсивных в верхней части скважины. Наиболее уверенно этот горизонт и менее глубоко расположенные границы (вплоть до границы в приповерхностной зоне) прослеживаются на разрезе по падающим кратно-отраженным волнам, полученном путем миграции записей ВСП-ПИ (рис. 9).



▲ Рис. 9. Глубинный разрез ВСП-ПИ, полученный путем миграции кратно-отраженных падающих волн.

Заключение

Кратные волны, рассматривавшиеся на начальном этапе развития метода ВСП исключительно в качестве помех, несут в себе полезную информацию о параметрах геологического разреза и сигналах, формирующих волновое поле внутри среды и на земной поверхности. Кроме того, их можно непосредственно использовать для формирования изображения среды в верхней толще разреза, особенно в тех случаях, когда из-за низкого качества записей ВСП в верхней части скважины или из-за небольших выносов пункта возбуждения сделать это бывает невозможно. В существующих пакетах обработки данных ВСП для этого необходимо внести изменения, позволяющие

обрабатывать данные, полученные различными модификациями метода ВСП с использованием различных типов и классов волн, включая падающие кратно отраженные волны.

Литература

Гальперин Е.И. Вертикальное сейсмическое профилирование//Недра, 1971, 264 с. Кузнецов В.М., Шехтман Г.А., Попов В.В., Рыжков В.И. Обработка и интерпретация данных вертикального сейсмического профилирования в специализированной системе 3C-Interact. //Приборы и системы развед. геофиз., 2011. -№ 4, с. 17-21.

Музыка И.М. О влиянии особенностей разреза на интенсивность многократных волн (по данным вертикального сейсмического профилирования)//Изв. АН СССР. Сер. «Физика Земли», 1969, № 11, с. 36-50.

Музыка И.М. Изучение многократных отраженных волн методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) и опыт использования полученных данных при выборе интерференционных систем//Новые технические и методические разработки в сейсморазведке. М., 1969, с. 119-140.

Шехтман Г.А. Использование кратно отраженных волн для изучения разреза при ВСП// Разведочная геофизика, 1984, вып. 99, с. 20-24.

Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., 2005, Деконволюция виброграмм ВСП – альтернатива корреляционной обработке или её подспорье?: Технологии сейсморазведки, 2, 80-85.

Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Попов В.В. Модификации метода ВСП: какую предпочесть? // Технологии сейсморазведки. 2004. № 1. С. 75-79.

SCOUT

Бескабельная сейсмосистема



32 Bit АЦП
Т 0,25-4 мс



Энергонезависимая
Flash память до 32 Gb



Ethernet
Высокоскоростной порт
Ethernet



Встроенный Wi-Fi
модуль



Встроенный GPS
модуль



Встроенный датчик Холла
для управления питанием

2D/3D/4D

Любые проекты

*Контроль расстановки в реальном времени.
Повышенная производительность.
Низкие затраты на логистику и обслуживание.
Улучшенное качество полевого материала.
Работа в недоступных для кабельных систем местах.*



Сопровождение проектов
Сервис 24/7



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

Россия, 410019, г.Саратов, ул. Крайняя, 129, тел.: (8452) 53-45-06; 570-500, факс: (8452) 27-21-01

sales@skbsp.ru | www.skbsp.ru

Комплексная интерпретация данных наземной сейсмической съемки 3Д и скважинных сейсмических исследований (ВСП) на Южно-Осташковичском месторождении нефти (восточный блок)

■ Громыко В.М., Чечёткина Е.А., Смеян О.И., БелНИПИнефть, РУП «ПО «Белоруснефть»

Одним из основных направлений геологоразведочных работ в последние годы стала доразведка ранее открытых месторождений, на которых возможен прирост значительных промышленных запасов нефти и газа за счет уточнения структурного плана, характеристик резервуара, изучения объектов, ранее относившихся к категории малоперспективных [1].

Южно-Осташковичское межсолевое месторождение нефти введено в промышленную разработку в 1976 году. Объектами разработки на месторождении являются: внутрисолевая (боричевская), межсолевая (петриковско-задонская), подсолевая залежи нефти. Основная величина промышленных извлекаемых запасов нефти (97 %) приурочена к отложениям петриковско-задонского горизонта межсолевой толщи.

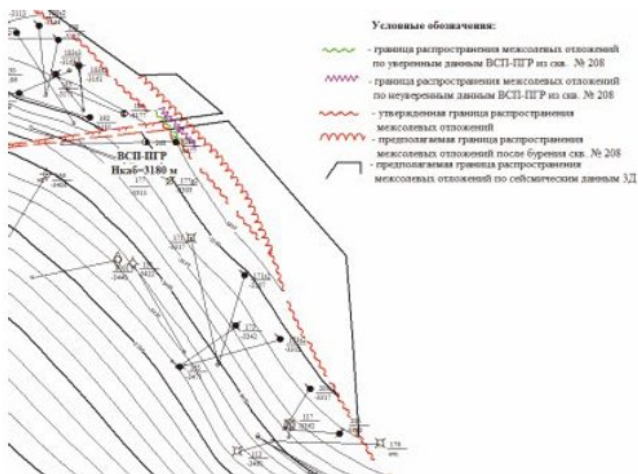
В пределах месторождения в 1999-2000 гг. были выполнены наземные площадные сейсмические наблюдения 3Д (Южно-Тишковский-Восточно-Осташковичский участок (куб 8-9)). Обработка и интерпретация проводились в 2000 г. В 2008 году была выполнена переобработка и переинтерпретация сейсмических данных. В 2012-2013 гг. на месторождении была выполнена широкоазимутальная сейсмическая съемка 3Д с целью уточнения местоположения северо-восточной границы распространения межсолевых отложений, определения оптимального положения проектных скважин и возможности заложения новых скважин. Обработка и интерпретация данных съемки 3Д были завершены в 2013 году.

На месторождении в период с 2001 по 2015 года были проведены скважинные сейсмические наблюдения (ВСП) в двенадцати Южно-Осташковичских скважинах, четыре из которых расположены в западном блоке – №№ 177, 183, 198, 201 и восемь в восточном – №№ 171, 171s2, 173, 208, 209, 210, 214, 217.

По результатам интерпретации площадной съемки 3Д, выполненной в 2000 году по данным глубинной миграции до суммирования («престэк»), были построены структурные карты по трем сейсмо-геологическим границам – кровле глинисто-галитовой, межсолевой, подсолевой терригенной толщ (сейсмические горизонты I, 2D, 1Dt). Структурная карта по сейсмическому горизонту 2D легла в основу для оперативного пересчета запасов Южно-Осташковичского межсолевого месторождения, который был выполнен в 2002 году.

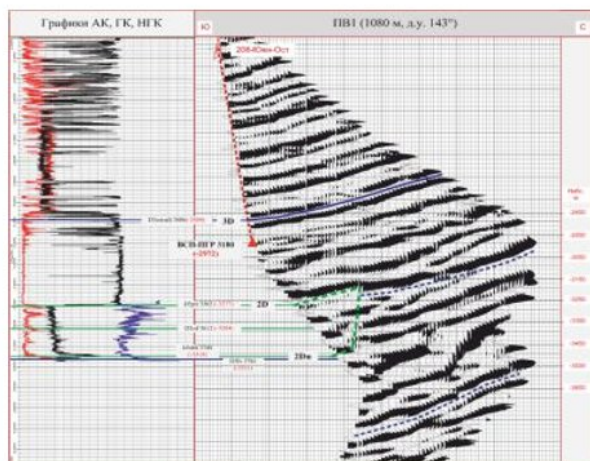
В 2008 году в связи с необходимостью уточнения геологического строения месторождения, была выполнена переобработка и переинтерпретация сейсмических данных 3Д. В результате анализа глубинных динамических разрезов, полученных в результате миграционных преобразований временных суммированных разрезов («постек»), граница межсолевой залежи сместилась в северо-восточном направлении относительно положения скважин №№ 198, 177g2, 171s2, 173s2, 205s2 и утвержденной ранее границы (рис. 1).

В процессе бурения в пределах восточного блока Южно-Осташковичского месторождения эксплуатационной скважины № 208-Южно-Осташковичская



▲ Рис. 1. Структурная карта по кровле межсолевых отложений с результатами работ ВСП-ПГР в скважине № 208-Южно-Осташковичская.

были выполнены наблюдения ВСП-ПГР с целью прогнозирования разреза ниже забоя скважины и уточнения границы распространения межсолевых отложений.



▲ Рис. 2. Глубинный динамический разрез ВСП по скважине № 208-Южно-Осташковичская.

По уверенным данным ВСП-ПГР (рис. 2) граница развития межсолевого комплекса практически совпадала с утвержденной в 2002 году, а проектная точка вскрытия этих отложений находилась на самой ее кромке. Было принято решение незначительно отклонить скважину к западу и бурить ее в зону уверенного сейсмического материала.

По факту скважина № 208 вскрыла целевой горизонт на проектных отметках, прошла весь межсолевой комплекс и закончена бурением в ливенских отложениях. Это дало основание по результатам переинтерпретации сейсмического материала в 2008 году отнести границу кровли петриковского горизонта на 80-100 м к северо-западу, относительно положения, утвержденного на момент начала бурения.

Принимая во внимание материалы ВСП-ПГР и бурения скважины № 208, было принято решение провести работы ВСП-ПГР в процессе бурения эксплуатационной скважины № 214 для уточнения границы распространения межсолевого комплекса в районе этой скважины и в направлении разведочной скважины № 210. Кроме того, была начата переинтерпретация данных съемки ЗД 2000 года, полученных в результате миграционных преобразований в 2008 году по исходным полевым сейсмограммам до суммирования («престек»).

По результатам комплексной интерпретации ВСП-ПГР в скважине № 214-Южно-Осташковичская и данных переинтерпретации сейсмической съемки ЗД, выполненной в 2012 году, было уточнено положение границы распространения межсолевых нефтепродуктивных отложений, которая по новым представлениям находится на 50-150 м юго-западнее, чем предполагалось ранее по данным интерпретации сейсморазведки ЗД. Была выделена зона неоднозначной сейсмической информации, в пределах которой расположена проектная точка вскрытия межсолевого комплекса разведочной скважиной № 210р-Южно-Осташковичская, что значительно повышало риски при ее бурении (рис. 3). Для уточнения границы распространения межсолевого комплекса в этой части

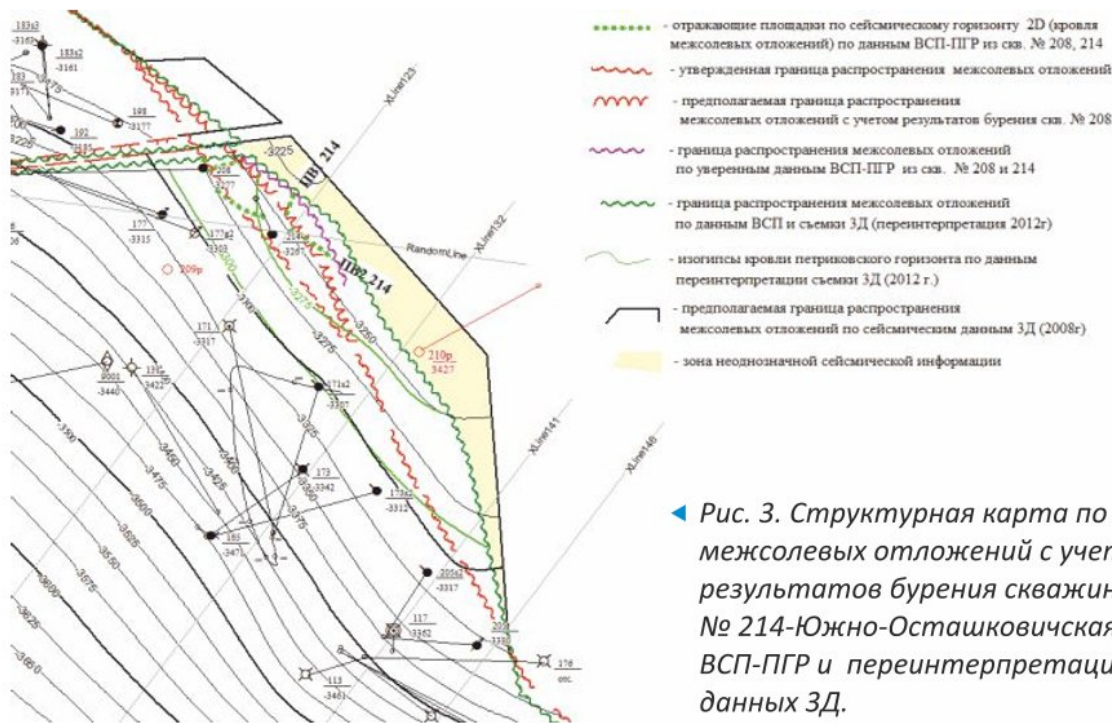
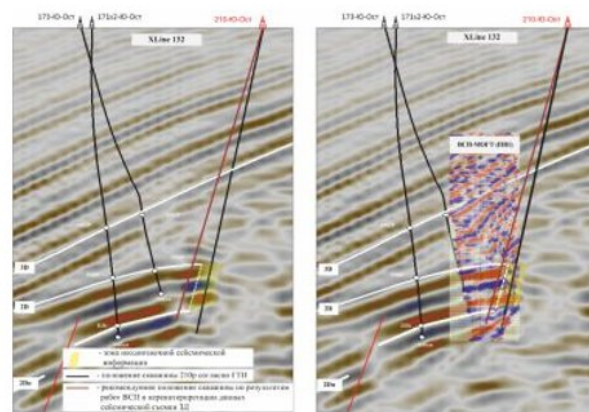


Рис. 3. Структурная карта по кровле межсоловых отложений с учетом результатов бурения скважины № 214-Южно-Осташковичская, работ ВСП-ПГР и переинтерпретации данных ЗД.

месторождения и проектного положения точки вскрытия петриковского горизонта скважиной № 210р, было рекомендовано выполнить наблюдения ВСП в эксплуатационной скважине № 171s2.

По результатам работ ВСП в скважине №171s2, в целом подтвердились ранее выполненные построения по кровле межсолевой толщи. Граница распространения этих отложений с учетом новых данных находится на 70-180 м юго-западнее, чем предполагалось ранее по данным сейсморазведки ЗД (2008 г.). Проектная точка вскрытия межсолевого комплекса разведочной скважиной № 210р-Южно-Осташковичская расположена в зоне неоднозначной сейсмической информации, поэтому было рекомендовано сместить ее к юго-западу на 80-90 м в зону уверенной сейсмической информации (рис. 4).

По результатам бурения скважины № 210 структурные построения по сейсмическому горизонту 2D, выполненные по результатам комплексной интерпретации материалов сейсморазведки 3Д и ВСП, в целом, подтвердились. В то же



▲ Рис. 4. Сопоставление глубинных динамических разрезов ЗД и материалов ВСП на Южно-Осташковичском месторождении.

время граница развития подошвы этого комплекса и соответственно положение зоны «среза» межсолевых отложений, которая интерпретировалась с учетом данных по скважинам №№ 208 и 214-Южно-Осташковичские, оказалась севернее, чем было установлено по факту. Принимая во внимание данные бурения, была выполнена дополнительная интерпретации сейсмических данных 3Д по подошве межсолевого комплекса (сейсмический горизонт 2Dп) и определена граница, где корреляция этого горизонта не вызывает никаких

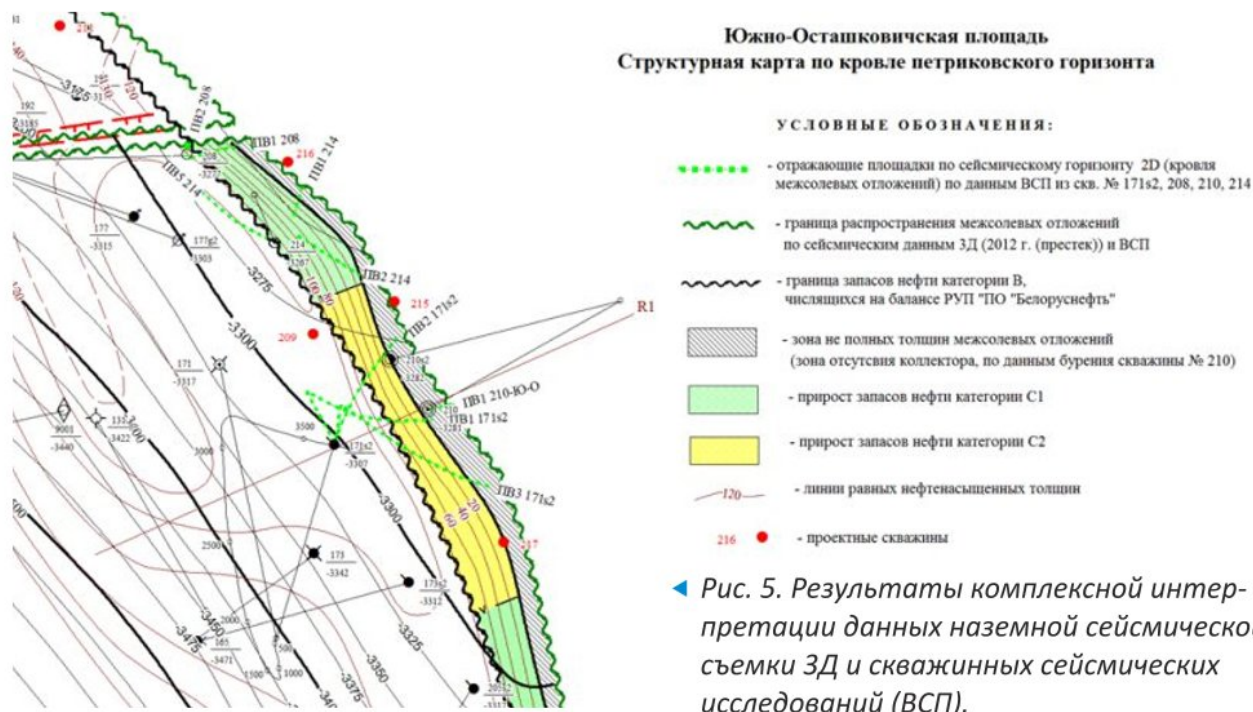


Рис. 5. Результаты комплексной интерпретации данных наземной сейсмической съемки 3Д и скважинных сейсмических исследований (ВСП).

сомнений. После завершения бурения в скважине были выполнены работы ВСП из ближнего ПВ, которые подтвердили результаты бурения.

С целью доразведки межселевой залежи Южно-Осташковичского месторождения принято решение пробурить разведочную скв. № 210s2-Южно-Осташковичская, с использованием части ствола скв. № 210-Южно-Осташковичская. При заложении проектной скважины № 210s2 положение забоя определялось таким образом, чтобы он располагался в пределах уверенного сейсмического материала по сейсмическому горизонту 2Дп.

Результаты бурения скважины №210s2-Южно-Осташковичская подтвердили структурные построения по межселевому комплексу, выполненные по результатам комплексной интерпретации материалов сейсморазведки 3Д и ВСП.

В ходе комплексной интерпретации данных наземной сейсмической съемки 3Д и скважинных сейсмических исследований (ВСП) были получены новые данные о строении восточного блока Южно-

Осташковичского межселевого месторождения (рис. 5), на основании которых:

- пересчитаны запасы восточной части Южно-Осташковичского месторождения с учетом результатов бурения скважин №№ 210 и 210s2;
- пробурены скважины №№ 209 и 217-Южно-Осташковичские, которые вскрыли отложения межселевой толщи в соответствии с вновь полученными данными о строении восточного блока Южно-Осташковичского месторождения;
- уточнено местоположение проектной скважины № 215-Южно-Осташковичская;
- рекомендовано отказаться от бурения проектной скважины № 216-Южно-Осташковичская.

Литература

1. Чупикова И.З., Доразведка, прирост запасов и добыча нефти на «старых» месторождениях новыми технологиями на примере Ново-Елховского месторождения. – Георесурсы №3 (45), 2012.

К возможности использования блоков сбора данных бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы «SCOUT» в электроразведке ЗС-ЗИ

■ Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н, Горячев В.В., Ларин С.В.,
ООО «Ингеоком», г.Саратов

В ООО «Ингеоком» при геофизических исследованиях методом электроразведки становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) по технологии ЗС-ЗИ проходят опытное опробование блоки сбора данных (БСД) бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системы (СБТС «SCOUT»), разработанной в ОАО «СКБ сейсмического приборостроения» (СКБ СП) [1].

СБТС «SCOUT» изначально разработана для полевых геофизических работ с использованием источников импульсного и вибрационного воздействия на изучаемую геологическую среду. В состав СБТС входят беспроводные регистраторы (БСД), каждый из которых осуществляет непрерывное во времени усиление аналогового сигнала, поступающего на его вход, с последующим преобразованием выборок этого сигнала в цифровой двоичный код (Рис. 1). Полученные цифровые данные запоминаются в памяти регистраторов. Синхронизация процесса дискретизации входного сигнала осуществляется с помощью GPS-приемника регистратора. Сбор зарегистрированных и вспомогательных данных осуществляется с использованием беспроводного (WiFi) и проводного (Ethernet) интерфейсов. Зарегистрированные сигналы передаются для последующей обработки с использованием специального программного обеспечения в обрабатывающий центр геофизического подразделения. По результатам обработки получают такие параметры регистрируемых сигналов, как амплитуда, временные интервалы и отношение сигнал/шум

В ОАО СКБ СП, совместно со специалистами ООО «Ингеоком», под руководством главного конструктора А.И. Гнатюка разработано методическое руководство: «Пример управления СБТС «SCOUT» в условиях электроразведки» Яд1.530. .063Д2 [2]. В примере рассмотрен режим управления СБТС при



▲ Рис. 1. Блок сбора данных БСД «SCOUT».

измерениях с одной наземной расстановкой ЗС-ЗИ типа Р1, состоящей из 9 приемных модулей.

Первые опытные работы по опробованию индукционных датчиков и блоков сбора данных системы «SCOUT» в электроразведке ЗСБ проводятся на геофизическом полигоне ООО «Ингеоком» и на объектах выполнения производственных геофизических исследований по технологии ЗС-ЗИ.

Для сравнительных испытаний индукционных датчиков, разрабатываемых в ООО «Специальные геофизические системы» и блоков сбора данных «SCOUT», разработанных в СКБ СП, на геофизическом полигоне была подготовлена опытная расстановка ЗСБ («петля в петле»). Генераторный контур - квадратная рамка с размерами 500×500 м, выполнялся из кабеля ГПМП. В качестве сравниваемых приемных датчиков использовались: квадратная приемная петля 100×100 м, многовитковая рамка 25×25 м с количеством витков 52 (эффективная площадь $S_{эф.} = 32\,5000\text{ м}^2$) и индукционный датчик с эффективной площадью $S_{эф.} \approx 40\,000\text{ м}^2$. Регистрация процессов становления вторичного электромагнитного поля наведенного непосредственно на опробованные датчики осуществлялась регистратором аппаратуры «Цикл-7 и двухканальными БСД «SCOUT»».

Получены результативные сравнительные графики становления вторичного электромагнитного поля $E(T)$, зарегистрированные на различных датчиках. Результаты испытаний свидетельствуют о сходимости амплитуд и временного диапазона регистрируемого сигнала на многовитковой петле и на индукционном датчике считываемого с БСД «SCOUT» в информационном диапазоне времен. Соотношение уровней «сигнал-помеха» выше при регистрации сигнала с БСД. Амплитуда сигнала на ранних временах регистрируемого на приемном одновитковом контуре 100×100 м отличается от амплитуд на многовитковых датчиках. Сигнал здесь в целом отражает экспоненциальный закон затухания вторичного электромагнитного поля. На многовитковых датчиках отражается искажающее влияние на сигнал индуктивности и распределенной емкости приемных систем.

Соотношение уровней «сигнал-помеха» выше при регистрации сигнала с БСД. Выигрываемыми позициями БСД «SCOUT» в отличие от регистрации сигнала регистратором аппаратуры «Цикл-7» с датчика через кондуктор, является и возможность разбраковки искажённых единичных реализаций сигнала для удаления случайных импульсных помех (при регистрации с БСД «SCOUT» всех 100 накоплений);

- статистическое накопление единичных реализаций сигнала (при регистрации аппаратурой «SCOUT» всех 100 накоплений);

- фильтрация накопленного сигнала ЭДС(t) различными математическими фильтрами до достижения плавного спада сигнала.

Электроразведка ЗСБ по технологии ЗС-ЗИ выполнялась на объекте мониторинга зоны развития техногенного талика на полигоне закачки дренажных рассолов в Республике Саха (Якутия), участок Киенгский). В опытном режиме на расстановках ЗС-ЗИ были выполнены измерения с подключением к приемным петлям БСД «SCOUT» в качестве измерительных каналов.

Высокоамплитудные гармонические колебания, зарегистрированные на соседних гармониках процессов становления вторич-



▲ Рис. 2. Схема многоразностных расстановок ЗС-ЗИ.

ного электромагнитного поля на уровне близком к нулевому сигналу, обусловлены влиянием используемых режекторных фильтров. Они вносят искажения в информацию при дальнейших трансформациях. Для устранения гармонических колебаний значительных амплитуд на нулевом уровне полезного сигнала был разработан высокоточный режекторный фильтр (В.Г. Осипов), вносящий минимальные искажения в частотный состав сигнала регистрируемого БСД «SCOUT».

В плане внедрения БСД «SCOUT» при регистрации электроразведки ЗСБ по технологии ЗС-ЗИ на данном этапе решаются основные аппаратурно-программные задачи:

- Синхронизация карт записи процессов становления электромагнитного поля с применяемыми и опробуемыми генераторными установками.
- Программная реализация первичного приема и визуализации полезного сигнала.
- Оценка качества записи единичной реализации полезного сигнала.
- Оценка качества накопленного полезного сигнала.

Первые опыты применения БСД «SCOUT» в ООО «Ингеоком» для получения электроразведочной информации позволяют сделать вывод о предпочтительном выборе в качестве регистрирующей аппаратуры БСД «SCOUT» с возможностью регистрации длительных процессов становления электромагнитного поля при решении поисковых задач в нефтегазоносных регионах.

Сравнительные технические характеристики регистрирующих блоков аппаратуры

«Цикл-7» и БСД «SCOUT» приведены в таблице 1.

Отличительными характеристиками системы «SCOUT» по сравнению с применяемой многоканальной телеметрической электроразведочной станцией «SGS-TEM» являются: возможность многокомпонентной регистрации (вертикальной и горизонтальной компонент вторичного электромагнитного поля); при доработке программы сбора данных возможно использование системы «SCOUT» в методе МТЗ с длительностью записей вариаций магнито-теллурического поля до 2 суток.

С внедрением в практику производства электроразведочных работ ЗСБ по технологии ЗС-ЗИ системы бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей («SCOUT») существенно сокращаются сроки выполнения смоточно-размоточных операций по подготовке расстановок и регистрации сигнала на измерительных каналах. При использовании

БСД системы «SCOUT» в площадной съемке объектов смоточно-размоточные операции при производстве работ по временным затратам уменьшаются на 50 % по сравнению с использованием электроразведочной регистрирующей системы аппаратуры «SGS-TEM», используемой в настоящее время при электроразведочных работах в нефтегазоносных регионах. Расширяются возможности реализации электроразведки ЗСБ по технологии ЗС-ЗИ в сложных условиях местности и техногенной загруженности территории района работ.

Литература

1. Система бескабельная телеметрическая сейсморегистрирующая «SCOUT» Яд1.530.РЭ Руководство по эксплуатации. ОАО СКБ СП.2013
2. Пример управления СБТС в условиях электроразведки Яд1.530.063Д2 . ОАО СКБ СП. 2013

▼ Табл. 1.

Основные технические характеристики	Цикл-7	SGS-TEM	SCOUT
Количество каналов регистрации на 1 полевой модуль	Один	Один	От 1 до 3 в зависимости от исполнения, возможность многокомпонентной записи
Тип синхронизации полевого модуля и генераторной установки	Внутренняя синхронизация, синхронизация по GPS	Синхронизация по кабелю последовательно всех применяемых модулей	Синхронизация по GPS
Количество полевых модулей при одновременной регистрации	Ограничено инженерно-техническим составом полевого отряда.	В среднем используется от 5 до 10 модулей. Ограничено проводной системой синхронизации.	Не ограничено. Количество применяемых полевых модулей определяется полевой методикой.
Место хранения регистрируемых данных	Внешняя управляющая ЭВМ. Соединение посредством кабеля или беспроводное подключение Bluetooth	Внешняя управляющая ЭВМ. Соединение посредством кабеля.	Внутренняя энергонезависимая память до 32 Гб. Соединение с собирающей информацией ЭВМ посредством кабеля Ethernet либо беспроводного подключения WI-FI
Тип шага и периоды дискретизации сигналов, мс	Логарифмический шаг регистрации	Арифметический шаг: 0.031, 0.25, 1, 4, 16 мс	Арифметический шаг: 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс
Максимальное количество отсчётов при регистрации единичного импульса, время регистрации	До 170 измерений на единичный импульс, от 400 нс до 50 с,	14 000 отсчётов, до 224 секунд (3 мин 44 сек при шаге дискретизации 16 мс)	1 200 000 отсчётов, до 80 минут при шаге регистрации 4 мс, 19 часов непрерывной работы
Количество разрядов АЦП	24	24	32
Уровень собственных, мкВ эфф., не более	0,3	-	0,15
Температурный диапазон	-20..+45 °С	-40.. +60 °С	-40.. +70 °С

Использование донных автономных модулей (нодов) в геологоразведке

■ Доктор Крис Уолкер и Дэвид Хэйз, FairfieldNodal

Перевод – Елена Семсеева, FairfieldNodal

Введение

В нашей предыдущей статье про ортогональную сейсмосьемку с несколькими источниками – Boosting the Bottom Line, Журнал OilfieldTechnology, Издание 6, Выпуск 5, Май 2013 – Дэвид Хэйз и я объяснили, как нодальная технология совместно с одновременным использованием нескольких источников может значительно повысить результативность донных сейсмических наблюдений. Так называемая «Суперпартия» компании FairfieldNodal, имея 5000 модулей и 2 сейсмических источника, смогла исследовать площадь в 2200 кв.км и получить широкоазимутальные данные для корпорации Apache менее чем за 11 месяцев. Использование 5000 активных модулей для проекта Apache стало мировым рекордом, но недавно компания FairfieldNodal выполнила сейсмосьемку и превзошла этот рекорд, используя в активной расстановке 6400 модулей. Целью настоящей статьи является рассказать о том, как проверенная временем надежность морских донных модулей и уроки, полученные при совместном/одновременном использовании нескольких источников, могут привести к дальнейшему повышению эффективности, улучшению показателей эффективности/большая рентабельность донных сейсмических исследований как при оценке, так и разработке, а также, что более важно, расширить возможности их использования для широкоазимутальных исследований.

Чего хотят нефтяные компании?

Очень просто ответить на этот вопрос – снижения затрат. Это неизменная мантра менеджеров по управлению активами в

нефтяных компаниях! Новая технология всегда вызывает интерес, но только не в тех случаях, когда из-за нее растет цена или падает производительность. Относительно несложно спроектировать совершенную съемку для заданной геологической цели, но никто не может себе этого позволить, так как проблема состоит в том, чтобы необходимо спроектировать съемку, которая будет удовлетворять требованиям отображения среды и не будет бить по карману.

Основная проблема при донных сейсмических исследованиях заключается в том, что они имеют существенные ограничения. Небольшие размеры площади приемной расстановки с ограниченным количеством приемников, доступные в прошлом, означали, что для полного покрытия, необходимо было повторно отрабатывать профили. Совсем недавно проводились сейсмические исследования донными косами с очень плотной расстановкой, где пункты возбуждения отрабатывались по восемь раз. Если бы было достаточное количество приемников для того, чтобы покрыть сразу всю площадь, тогда, не учитывая время подключения кабельной расстановки к судну-регистратору, время работы дизельного генератора буйковой расстановки, либо время работы батарей в партии, использующей ноды, можно было бы устранить необходимость в повторных отстрелах и значительно повысить эффективность донных сейсмических исследований.

Однако, недостаточно просто увеличить количество приемников на морском дне. И хотя можно, пренебрегая экономическими аспектами, использовать неограниченное количество нодов,

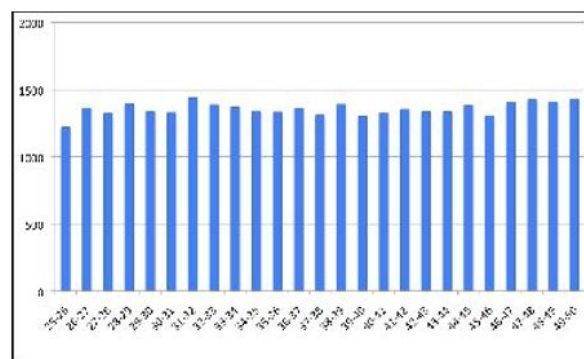
однако это не будет самым эффективным способом сбора сейсмических данных. Это возможно, но следует учитывать капитальные затраты партии и вероятность использования такого большого количества модулей в следующей съемке. Если есть достаточное количество модулей для того, чтобы судно-источник было обеспечено работой в то время, когда модули раскладывают на следующей площади, тогда занятость команды, занимающейся раскладкой модулей и команды судна-источника будет сбалансирована, позволяя таким образом синхронизировать скорость раскладки модулей со скоростью отстрела профиля.

Проектирование съемки

Нодальная технология и совместное использование нескольких источников позволяют фундаментально изменить систему проектирования донных сейсмических исследований – решение о количестве модулей и количестве отстрелов принимается только в зависимости от геофизических требований и эксплуатационной эффективности. Расстояние между приемниками вдоль линии наблюдения может быть увеличено при увеличении плотности точек возбуждения, либо может быть использовано большее количество приемников и большее число совместно работающих источников. Ограничения, связанные с появлением помех, вызванных увеличением числа источников, имевшие место в прошлом, исчезают при должной координации работы источников. Одновременно при использовании нодов исчезают ограничения, связанные с подключением приемников к судну-регистратору/регистратору бую, с ограниченностью длины приемной линии из-за ограничений максимально допустимого количества приемников,

подключаемых к кабелю/бую.

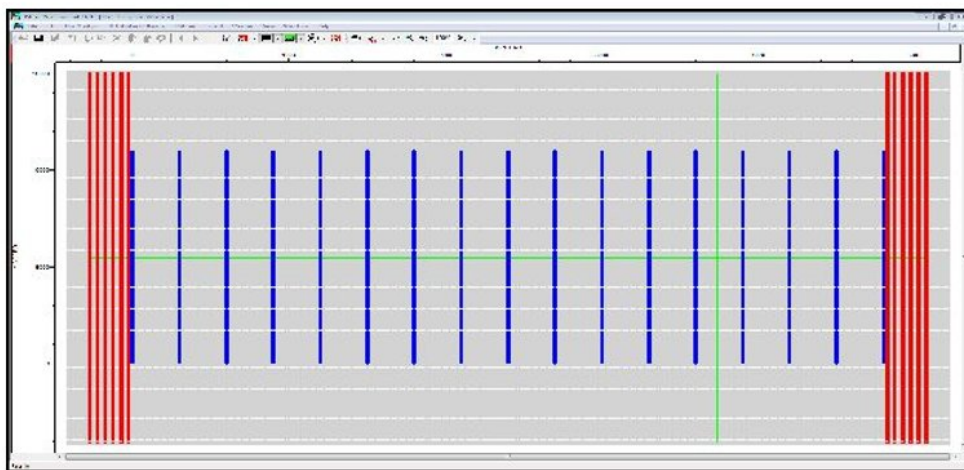
При уменьшении плотности расстановки приемников количество приемных линий/расстановок может возрастать. Исторически сложилось так, что из-за ограниченного количества приемников/приемников на приемную линию или требований к привязке линий к судну-регистратору, операторы были ограничены 6-8 линиями расстановки. Для проекта Apache, о котором упоминалось во введении, компании FairfieldNodal удалось использовать 15 приемных линий с ортогональной геометрией и двумя источниками. Расстояние между приемниками составляло 50м x 250 м, среднее расстояние между пунктами возбуждения - 37,5м x 250м. Мы говорим «среднее» о расстоянии между пунктами возбуждения, так как источники стреляли по псевдослучайным координатам, так что было равновероятно, что расстояние между точками возбуждения могло быть как 25 м, так и 50 м, как показано на рисунке 1. Таким образом, среднее расстояние составляет 37,5 м.



▲ Рис. 1. Распределение интервалов ПВ на одном профиле.

Для оценки и разработки, где как более плотная расстановка приемников, так и более частые отстрелы рассматриваются как критические для показателей качества разработки, могут быть спроектированы съемки, в которых эти идеи могут быть использованы с выгодой.

▼ Рис. 2. Расстановка, ориентированная на цели оценки и разработки.



Расстояние между ПП	25 м	Расстояние между ПВ	25 м
Расстояние между приемными линиями	300 м	Расстояние между линиями возбуждения	50 м
Длина приемной линии	11 км	Длина линии возбуждения	19 км
Активные приемные линии	17	Количество линий возбуждения	12
Активные приемники/линия	441	Выстрелов/линия	761
Активные ноды	7497	Выстрелов/профиль	9132

По два источника на каждом судне-источнике, одновременно производящих отстрел с разных сторон профиля – 4 источника, используемых совместно.

На рисунке 2 представлена ориентированная на цели оценки и разработки расстановка 17-roll-2, для реализации которой партии требуется 9261 модулей, чтобы модули можно было перемещать во время отработки профиля. Два судна-источника с двумя источниками каждый непрерывно отстреливают профиль с того момента, как ~7500 модулей расставлены. Использование одного судна-раскладчика и еще одного комбинированного судна-раскладчика/источника дает возможность разложить начальную расстановку модулей менее чем за два дня. Одной расстановкой охватывается площадь в 52,8 км².

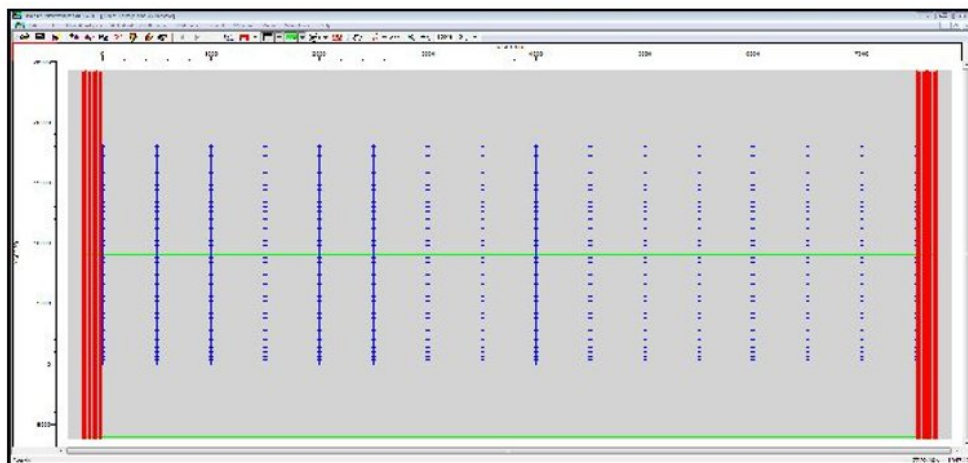
Для геологоразведочных работ, где решающим фактором является стоимость и производительность, можно

увеличить как расстояние между приемниками, так и расстояние между приемными линиями, для того, чтобы можно было использовать более широкий охват, уменьшая при этом количество используемых нодов.

На рисунке 3 показана расстановка 16-roll-2 с 4 совместно работающими источниками (два источника на судне/режим возбуждения флип-флоп) снова за пределами расстановки, хотя для цели разделения и воссоздания отдельных возбуждений (де-блендинга) в этом нет необходимости. В то время как каждая приемная линия имеет длину 18,2 км, интервал между приемниками составляет 200м. Это означает, что необходимо использовать только 91 модуль на приемную линию и всего 1456 активных модулей.

По два источника на каждом судне-источнике, одновременно производящих отстрел с разных сторон профиля – 4 источника, используемых совместно.

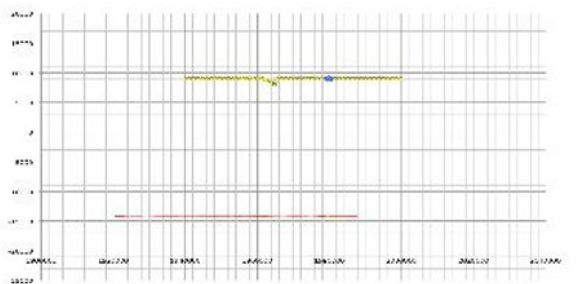
▼ Рис. 3. Расстановка, ориентированная на геологоразведочные цели.



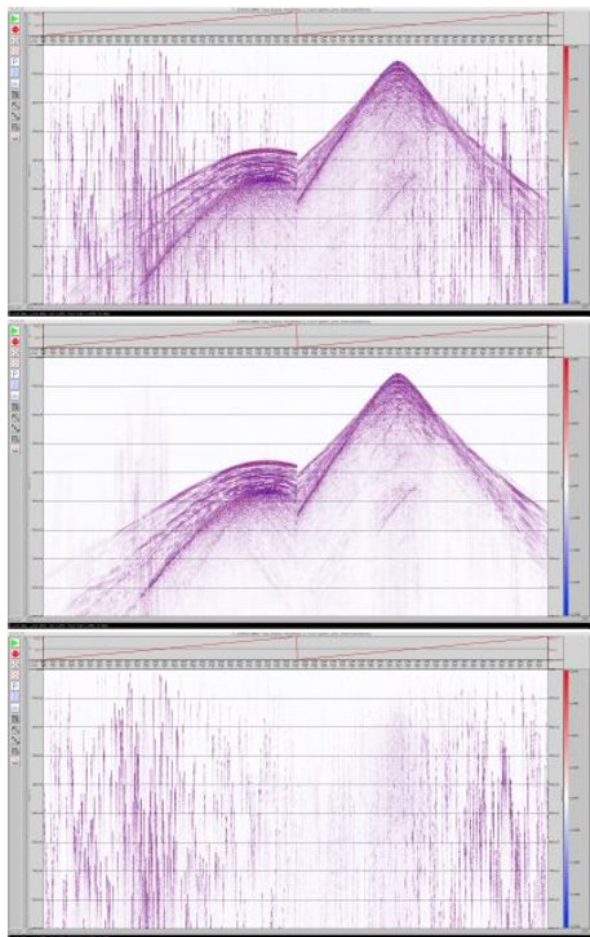
Расстояние между ПП	200 м	Расстояние между ПВ	50 м
Расстояние между приемными линиями	500 м	Расстояние между линиями возбуждения	50 м
Длина приемной линии	18,2 км	Длина линии возбуждения	30,25 км
Активные приемные линии	16	Выстрелов/линия	605
Активные приемники/линия	91	Количество линий возбуждения	20
Активные ноды	1456	Выстрелов/профиль	12 100

16-ть ~18 км приемных линий с интервалом между приемниками 500 м с параллельными отстрелами за пределами расстановки дают вынос пункта возбуждения в поперечном направлении, равный 8 км, что совпадает с отстрелом по 8 км с каждого конца расстановки, в результате чего длина линии возбуждения достигает 30 км. И снова, используя два судна-источника (в режиме флип-флоп) можно найти оптимальное соотношение между временем перемещения приемников и отработкой профиля, чтобы после того, как начальная расстановка в ~1500 модулей была развернута, расстановка перемещалась со скоростью отстрела. Требуется всего одно судно-раскладчик, так как начальная расстановка может быть развернута и позиционирована менее, чем за один день. При расстановке 16-roll-2 требуется всего 1638 модулей для того чтобы исследовать площадь в 144 км²/расстановка.

Разделение сейсмических записей при использовании нескольких источников, применяемое к полученным данным, осуществляется путем оценки сигнала когерентного источника и затем, используя данные о всех временах возбуждения, выявляется место, где энергия выступает как помеха, которая удаляется. На графике время/возбуждение в верхней части рис.4 видно, что когда источник «В» находится близко к ноду, рядом с ПВ 4140, источник «А» производит возбуждения возле ПВ 3360. Высокий остаточный шум в трассах, полученных у источника «А» - это не столько ошибка де-блендинга, сколько наложение некогерентного шума (компрессоры, двигатели, пропеллеры и прочее), которые регистрирует модуль, когда источник «В» находится вблизи. Так как этот шум нерегулярный, он может быть полностью подавлен с помощью традиционных методов мультисканального удаления шумов.



▲ Рис. 4а. Расположение источников и приемников для данных на Рис.4б. Красные линии = линии возбуждения А и В; Желтая линия = приемная линия; Голубые точки = положение нода.



▲ Рис. 4б. Данные до де-блендинга, полученные с расстановкой на Рис.4а. Верхний рис.: слева = данные до де-блендинга, источник А. Справа = данные до де-блендинга, источник В. Средний рис.: Слева = данные после де-блендинга, источник А. Справа = данные после де-блендинга, источник В. Нижний рис.: слева = отличие, источник А; справа = отличие, источник В.

Будущее

Куда же это ведет? Наблюдения с 10000 нодов, сдвоенными источниками, работающими в режиме «флип-флоп», уже используются, уменьшая стоимость морских сейсмических наблюдений с использованием автономных донных модулей и увеличивая при этом качество данных и производительность. Операторы из группы Delphi Политехнического института Дельфта производили отстрел профиля с увеличивающимся количеством одновременно используемых источников, и, как они утверждают, случайные помехи рассредоточены по количеству источников и отношение сигнал-помеха улучшается с увеличением количества источников. Это предполагает, конечно же, усовершенствованный де-блендинг и, как показано в настоящей статье, присутствие дополнительного судна-источника может привести к присутствию когерентного шума в записи. В случае использования источников с различным диапазоном частот, к примеру, необходимо убедиться, что они производят меньше шума, чем судна, используемые в настоящее время, так как происходит образование случайных помех.

Одним из очень важных моментов является длина троса, необходимого для развертывания большого количества модулей, в особенности при большом интервале между приемниками. При расстановке 10000 модулей с интервалом в 25 м необходим трос длиной в 250 км, что относительно просто сделать с одного судна.

При большем количестве приемных линий, например, для суперширокой расстановки 33-перемещение-2 с 2640 модулями, с интервалом между модулями в 200 м, необходим трос в два раза длиннее – 528 км. Это подразумевает

хранение троса на нескольких судах, что увеличивает затраты. Судно может перевозить до 5000 модулей для суперширокой расстановки из 33 линий, но трос придется распределить между двумя судами-раскладчиками. Или эти суда лучше переименовать в суда для перевозки троса?

Изучая возможные расстановки в будущем, сетки приемников в 300 м, 3000 модулей, например, требуется 900 км троса, что становится серьезной проблемой.

Посыл статьи таков: ноды и одновременное использование нескольких источников позволяют добиться полной свободы при выполнении сейсмосъемки, то что мы называем Geometric Freedom. Теперь возможно проектировать сейсмосъемку, которая казалась неосуществимой еще в недавнем прошлом, и путем оптимального соотношения развертывание-возбуждение эти расстановки могут быть оптимизированы для сбора широкоазимутальных

данных, полученных на больших удалениях от источника, что эффективно с точки зрения затрат для целей исследования так, как это уже зарекомендовало себя для целей оценки и разработки.

Статья первоначально опубликована в журнале "Oilfield Technology" в апреле 2015 г.

Подробнее об авторах



Крис Уокер

доктор наук, промышленный геофизиком, специализируется на дизайне морского источника, планировании съемки и бортового контроля качества.



Дэвид Хэйз

Вице-президент Fairfield Technology Group, компания FairfieldNodal, магистр физики.

Свобода, которую только можно себе представить.

Geometric Freedom™ позволяет сосредоточиться исключительно на вашей конечной цели, получении высококачественных данных несмотря на любые сложности, связанные с геологией или выполнением сейсмосьемки.

Нодальная технология проливает свет на тайны геологической среды как никогда ранее. Никто не знает этого лучше, чем мы. Мы являемся пионерами в использовании этой технологии и безусловно имеем больше опыта работы с ней, чем кто-либо еще. Наши нодальные системы, услуги по сбору сейсмических данных, собственные методы обработки данных, полученных нодальными системами, а также услуги по лицензированию объединяются для того, чтобы решить наиболее сложные задачи в сейсморазведке, существующие в мире. Что мы можем сделать для Вас?

Жизнь связала с сейсморазведкой?



Рекомендуем: новейшая беспроводная телеметрическая система **Sercel UNITE**



Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428; бескабельной системы UNITE. Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования. Производство импульсных источников «Геотон»

Холдинг «ГЕОСЕЙС»
Контактная информация:
Тел. (Москва):
+7 (495) 694-19-07
+7 (495) 694-19-97
Тел. (Тюмень):
+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:
geoton@geoton.ru
geoseis-servis@yandex.ru
geoseisltd@gmail.com
http:
www.geoseisholding.ru
www.geoton.ru