

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

УДК 550.834.52

DOI:10.23671/VNC.2019.1.26791

Специфика получаемого сейсмического материала в сложных сейсмогеологических условиях (заболоченная местность)

А. А. Левицкий¹, А. В. Рудаков^{1, 2}, М. С. Левицкая¹

¹АО «Южморгеология», Россия, 353461, Краснодарский кр., г. Геленджик, ул. Крымская, д. 20, e-mail: levitskiy@ymg.ru, levitskaya@ymg.ru;

²ГГЭ «ЮМГСейс», Россия, 353461, Краснодарский кр., г. Геленджик, ул. Крымская, д. 20, e-mail: rudakov@ymg.ru

Аннотация: Основная цель работы – описание новых технических и методологических средств, используемых АО «Южморгеология» при проведении полевых сейсморазведочных работ МОГТ 3D в лиманно-плавневых зонах Славянского района Краснодарского края в 2014-2015 гг. Представлены основные результаты опытных работ, обоснован выбор параметров съемки и их влияние на качество сейсмической записи: заглубление пневмоисточников BOLT 2200LL-BHS, количество накоплений возбуждения и необходимая глубина погружения датчиков регистраторов. В качестве датчиков регистраторов использовались маршфоны «СВГ-6», которые задавливались с помощью металлического шеста с креплением на конце на глубину 1,0-2,5 м до достижения уверенного контакта с твердой поверхностью (плотный грунт, глинистая подошва), снижая негативное влияние шумов (микросейсм) от корневой системы камышей (рис. 2А, В). Группирование «СВГ-6» шестью последовательно соединенными геофонами (GS-20DX) увеличило чувствительность датчика к слабым сигналам, возбуждаемым, в слабо консолидированной толще, а его прочная конструкция и металлическая проушина, позволила извлекать маршфон из скважины, полностью заполненной водой и шламом. Приведены основные свойства верхней части разреза (ВЧР) исследуемой площади по данным бурения с кратким описанием литологической характеристики разреза до глубины 10 м. Показаны сейсмограммы, полученные на одном участке в разных сейсмогеологических условиях. Выявлена зависимость распределения значений среднеквадратичных амплитуд и доминантных частот по площади от поверхностных условий возбуждения и приема колебаний. Данная зависимость также прослеживается на предварительных временных разрезах. Были проанализированы основные факторы, влияющие на качество получаемого сейсмического материала. На основе проведенного исследования авторами обосновывается необходимость использования комплексного подхода к анализу качества сейсмических данных при работах в сложных сейсмогеологических условиях. В качестве вывода приведены основные рекомендации к проведению сейсморазведочных работ в лиманно-плавневых зонах.

Ключевые слова: сейсморазведочные работы 3D, лиманно-плавневые зоны, Краснодарский край, Славянский район, анализ качества сейсмического материала, скважинные пневмоисточники, маршфон СВГ-6, АО «Южморгеология».

Для цитирования: Левицкий А. А., Рудаков А. В., Левицкая М. С. Специфика получаемого сейсмического материала в сложных сейсмогеологических условиях (заболоченная местность) // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 97-109. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26791.

Введение

С 2008 года АО «Южморгеология» выполнила в лиманно-плавневых зонах более 200 км² сейсморазведочных работ по методике МОГТ 3D. Ниже рассмотре-

ны результаты работ в Славянском районе Краснодарского края, выполненных в 2014-2015 гг. для ООО «Газпром добыча Краснодар».

Полевые исследования

Возбуждение колебаний производилось групповым скважинным пневматическим источником (ПИ) BOLT 2200LL-BHS (2 шт.) (рис. 1А), установленным на самоходный вездеход-амфибию. Глубина погружения была выбрана по результатам опытно-методических работ (рис. 4) и составила 4 м. Использование статического накопления сигнала путем многократного возбуждения колебаний скважинного ПИ в одной точке позволило повысить отношение сигнал/помеха, за счет синфазного подавления внешнего шума (микросейсм), а применение группы из 2-х ПИ увеличило амплитудную выразительность записи (по сравнению с одиночным ПИ) (рис. 1Б) [Захаров, Шумский, 2012, с. 48].

Для регистрации сейсмических данных использовалась телеметрическая система ARAMARIESII (Канада). В качестве сенсоров для записи сейсмических колебаний использовались датчики для работы в болотистых зонах (маршфоны собственного производства «СВГ-6») и гидрофоны (DT-25-11А) для глубин более 1 м. Система наблюдения предполагала использование технологии **salvoshoooting** (залповая стрельба), где на каждые 6 ПВ (пункт взрыва) приходилось 14 ЛПП (линия пунктов приема) по 84 пункта приема (ПП) в каждой [Захаров, Рудаков, 2011, с. 24-26]. Данная методика имеет равномерное распределение азимутов и удалений в бине (максимальное удаление ПВ-ПП = 2934 м) [Тищенко, Тищенко, Жуков, 2008; Кондратьев, 2002; Кириллов, Горбунов, 2008], что позволило картировать основной маркирующий Чокракский горизонт, находящийся на глубинах 2600-2900 м.

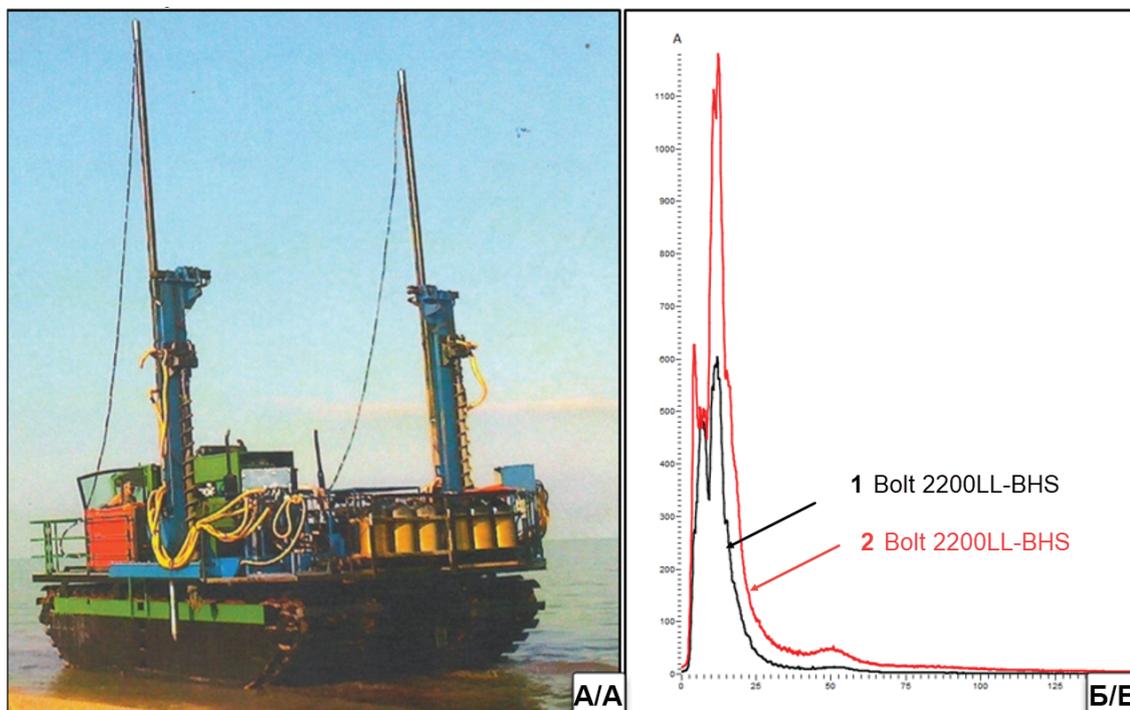


Рис. 1. Буровой комплекс на базе самоходной платформы-амфибия (А), сравнение амплитудно-частотных (АЧ) спектров для 1 ПИ и 2 ПИ (Б) /

Fig. 1. Drilling complex based on self-propelled platform-amphibian (A), comparison of amplitude – frequency (AH) spectra for 1 borehole airgun and 2 borehole airgun (B)

Качество получаемого сейсмического материала зависело от ряда факторов, а именно: заглубления сенсора и группового ПИ, а также строения верхней части разреза (ВЧР). Площадь работ была покрыта камышовой растительностью с массивной корневой системой глубиной до 1 м, которая при воздействии порывов ветра приходила в движение и оказывала негативное влияние на качество сейсмической записи [Aouad, Taylor, Millar, 2012].

В качестве датчиков регистраторов использовались маршфоны «СВГ-6» (рис. 2 Б, Г), которые задавливались с помощью металлического шеста с креплением на конце (рис. 2 Д) на глубину 1,0-2,5 м до достижения уверенного контакта с твердой поверхностью (плотный грунт, глинистая подошва), снижая негативное влияние шумов (микросейсм) от корневой системы камышей (рис. 2А, В). Комплектование «СВГ-6» шестью последовательно соединенными геофонами (GS-20DX) увеличило чувствительность датчика к слабым сигналам, возбуждаемым, в слабо консолидированной толще, а его прочная конструкция и металлическая проушина, позволила извлекать маршфон из скважины, полностью заполненной водой и илом. В случае невозможности задавливания датчика на необходимую глубину (1–2,5 м), проводилось бурение скважины малого диаметра ручным мотобуром [Жгенти, 2005, с. 33].

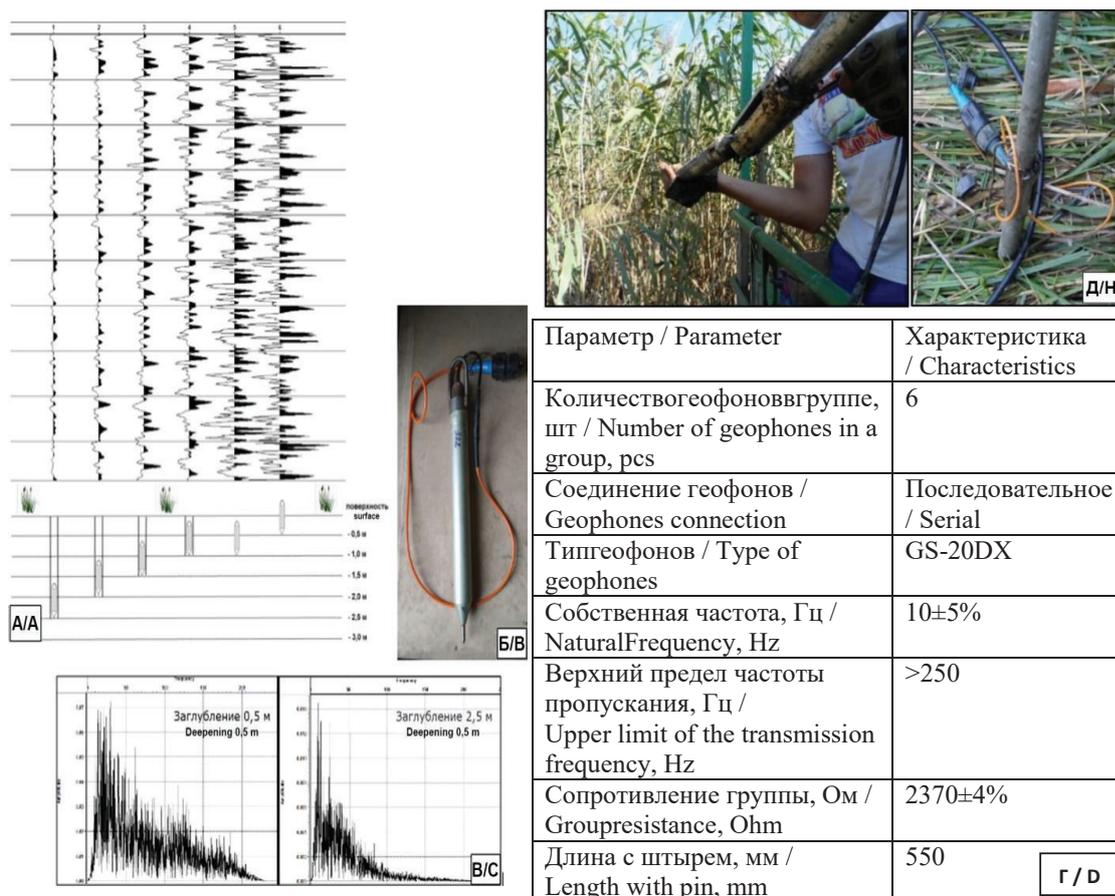


Рис. 2. Влияние заглубления маршфона на уровень микросейсм (А), внешний вид маршфона «СВГ-6» (Б), АЧ спектры записи с различным заглублением сенсора (В), характеристики датчиков СВГ-6 (Г), пример установки датчика «СВГ-6» (Д) /

Fig. 2. Effect of marshphone penetration to microseism level (A), marshphone SVG-6 appearance (B), amplitude spectra recording with different depth sensor (C), sensor characteristic of «SVG-6» (D), example of sensor installation «SVG-6» (H)

Верхняя часть разреза (ВЧР) площади характеризовалась неоднородным, резко меняющимся по вертикали и латерали, составом современных отложений с множеством непротяженных рефлекторов и рефракторов. Наличие загазованных осадков в придонном слое приводило к поглощению высокочастотной составляющей энергии сигнала, регистрируемые частоты на записи не превышали 30-40 Гц. При анализе полученных данных была отмечена прямая зависимость – увеличение мощности осадков в приповерхностном слое приводило к смещению частотного спектра в область низких частот [Мосякин, 2005, с. 40–41]. Характерное строение ВЧР и пример бурового шнека с глинистыми осадками приведены на рисунке 3.

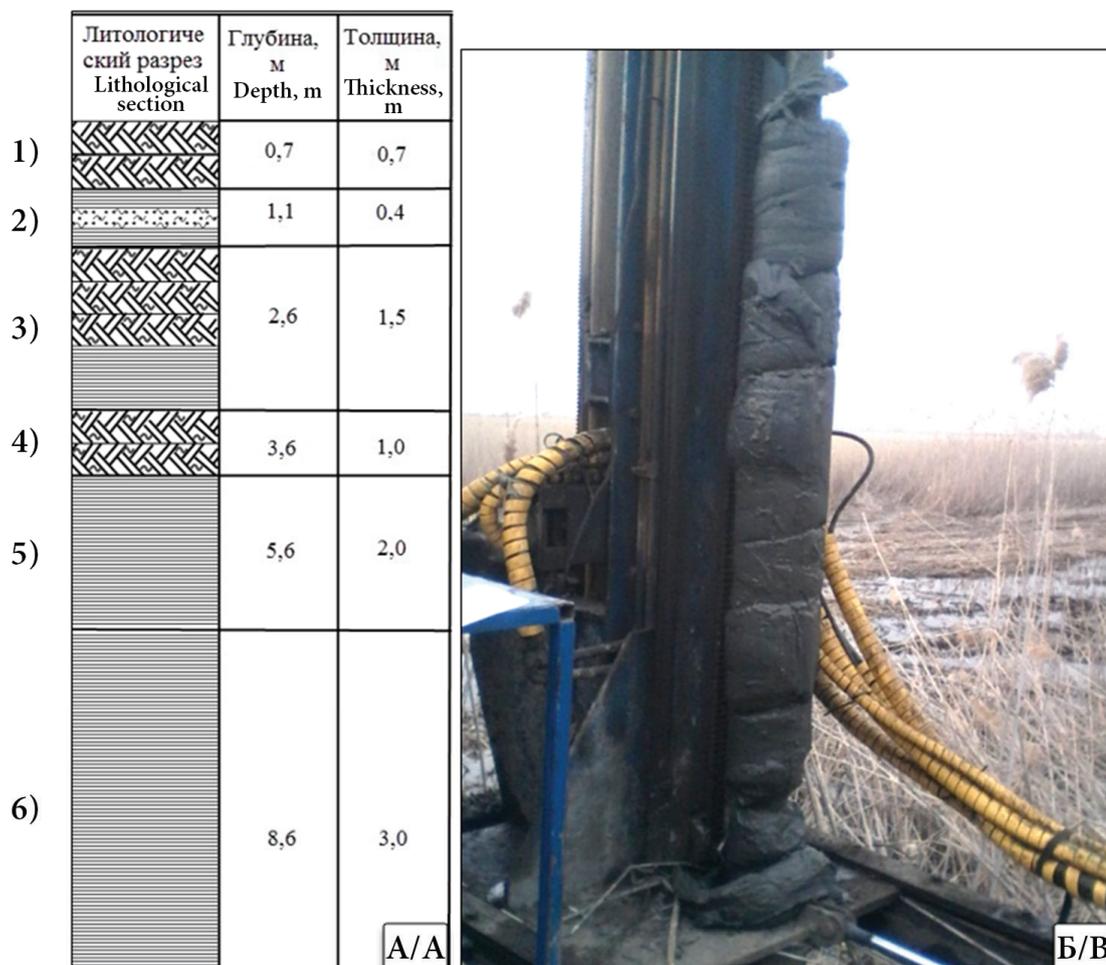


Рис. 3. Литологическое строение разреза (А), глинистые осадки в диапазоне глубин 6-8 м (Б).

- 1) Илстые отложения, корни камыша с включениями органических материалов
- 2) Тонкие чередующиеся прослой глины и песков
- 3) Тонкие прослой слабовязких глин с вкраплениями песка и ракушечника
- 4) Слабокonsolidированные илстые отложения с включениями ракушечника и песка
- 5) Глины вязкие, непластичные с примесями песка, ракушечника, ила
- 6) Голубые глины, вязкие, пластичные./

Fig. 3. Logofhole (A), claysedimentsinthedepthrange 6-8 m (B).

1. Mud deposits, roots of reeds with inclusions of organic materials
2. Thin alternating interlayers of clay and sand
3. Thin layers of weakly viscous clays with splashes of sand and shell rock
4. Slightly consolidated silty sediments with shell rock and sand
5. Clays are viscous, non-plastic with admixtures of sand, shell rock, silt
6. Blue clay, viscous, plastic.

В разрезе скважины на глубине 5-6 м отмечались серо-голубые глины плотной консистенции, на глубине 2,5-4 м – пластичные глины с прослоями илистых отложений, от 0-2,5 м – рыхлая обводненная смесь ила с различного рода органическими остатками. Слабая консолидация первых метров разреза приводила к невозможности опережающего бурения. Это было связано с высокой вероятностью обвала ствола скважины. Для решения данной проблемы была разработана инновационная буровая установка с двумя пневмоисточниками, жестко закрепленными к опускающемуся в скважину направляющим (рис. 1 А), которая не только позволила решить эту проблему, но и повысить производительность полевой партии до 200 скважин в день.

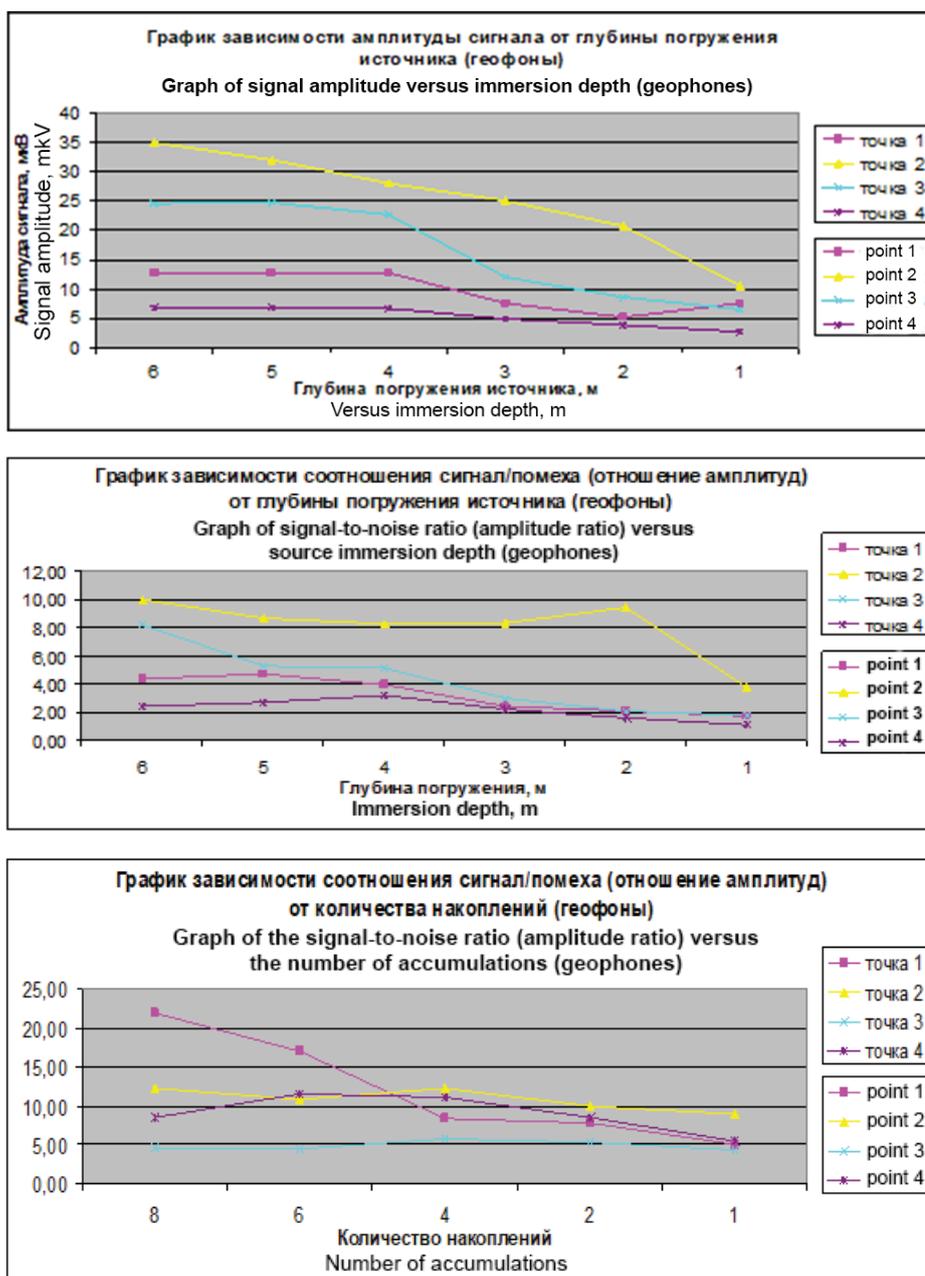


Рис. 4. Результаты опытно-методических работ по выбору заглубления ПИ. /
 Fig. 4. Results of experimental and methodological work.

Для подбора оптимальных параметров возбуждения и приема колебаний были проведены опытно-методические работы. По их результатам (рис. 4) можно сделать следующие выводы: оптимальное заглубление ПИ составляет 4 м. До этого значения наблюдается увеличение среднеквадратичных амплитуд записи в диапазоне целевых горизонтов. Однако при уменьшении среднеквадратичных амплитуд на реперных горизонтах глубину погружения ПИ необходимо увеличивать до 6-8 м [Fan, Xia, Zhao, 2009]. Оптимальное количество накоплений в одной точке 4-8, в зависимости от уровня микросейсм.

При проведении предварительной обработки данных вводились только априорные статические поправки. При этом, в связи с крайне неоднородным строением ВЧР необходимо проведение исследований ОГТ или МПВ с короткой базой расстановки и высокочастотным импульсным источником. Это позволит с высокой точностью определить мощность илистого слоя и подстилающей глинистой прослойки и затем, на этапе камеральной обработки, картировать ЗМС и ввести поправки в сейсмические данные, повысив качество результирующих суммарных разрезов [Gaoming, et al., 2016].

Проведение контроля качества сейсмических материалов

Полевые работы в болотистой местности характеризовались сложными поверхностными условиями, невозможностью использования стандартных технических средств регистрации и возбуждения колебаний, необходимостью комплексирования двух типов датчиков регистраторов (геофон, гидрофон) и т.д. [Тищенко, Тищенко, Жуков, 2011, с.70]. Оценка качества получаемого сейсмического материала осложнялась сильной изменчивостью поверхностных условий, отсутствием формализованного подхода к оценке получаемых атрибутов съемки, как например в сухопутной или морской сейсморазведке [Закариев, 2007, с. 84].

При проведении анализа полевого материала главным сейсмостратиграфическим репером являлся *Чокракский горизонт*, находящийся на времени 2,8-3,0 с (глубины 2600-3000 м). В основном он не перекрывался низкочастотными волнами помехами, в том числе кратными. Основная геологическая задача данных работ состояла в корреляции целевых горизонтов (Чокракская серия) на суммарных разрезах.

Следующий сейсмический репер – *Меловая серия осадков*, отражения от которой прослеживались на временах 4,5-4,9 с. Данный реперный горизонт использовался для визуального экспресс-анализа качества сейсмограмм, т.к. было выявлено, что его уверенное прослеживание соответствует отношению сигнал/помеха больше двух. Основные маркирующие отражения присутствовали на всех первичных сейсмограммах, однако имели разную визуальную прослеживаемость. В большинстве случаев прослеживаемость зависела от сейсмогеологических условий возбуждения и приема сейсмических колебаний (рис. 5 В, Г).

В ходе выполнения работ отмечалось многократное изменение поверхностных условий возбуждения/приема колебаний, о чем свидетельствуют данные значений медианных амплитуд (рис. 5Б) в окнах, содержащих сигнальную часть записи (рис. 5А). В связи с этим возникала необходимость проведения оценки качества получаемых данных в изменяющихся сейсмогеологических условиях. Для решения проблемы применялся комплексный анализ закономерностей изменения основных атрибутов съемки, в том числе и отношения сигнал/помеха (S/N) [Chen, et al., 2008].

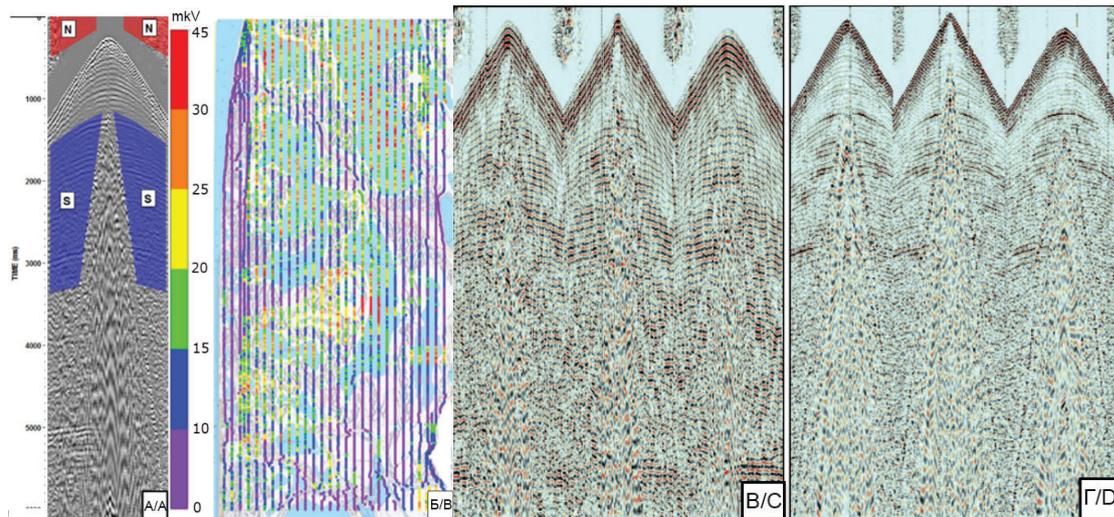


Рис. 5. Фрагмент типичной сейсмограммы (А) и распределение медианных амплитуд сигнала на площади (Б) и фрагмент сейсмограммы с ярко выраженным явлением реверберации (В) и «высокочастотной» составляющей записи (Г) / Fig. 5. Fragment of typical seismogram (A) signal median amplitude distribution (B) reverberation effect (C) high-frequency data (D)

Анализ качества сейсмических данных включал поиск закономерностей получаемых атрибутов (медианные амплитуды, доминантные частоты, ширина спектра, соотношение сигнал/помеха), зависящих от поверхностных условий в местах уста-

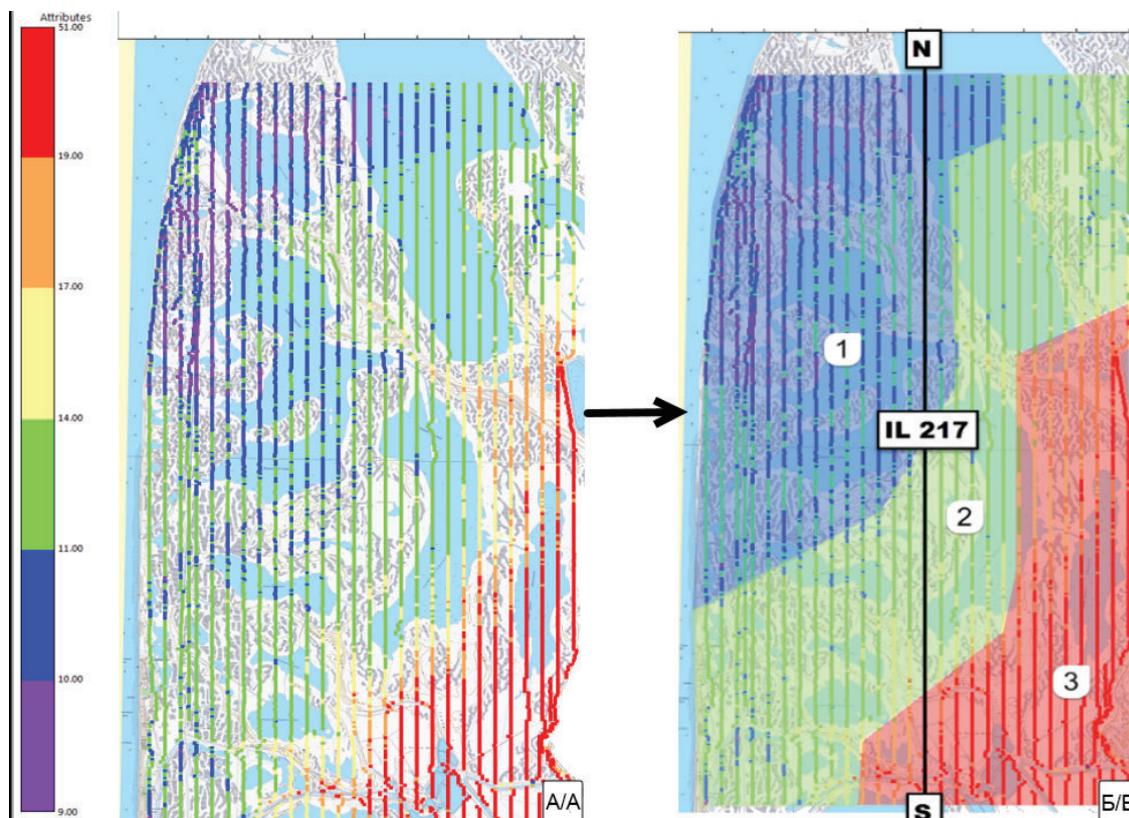


Рис. 6. Распределение значений доминантных частот (А) и схематичное деление района по данному критерию (Б) / Fig. 6. Dominant frequencies distribution (A) schematic division of the area according frequency criterion (B)

новки сенсоров и условий возбуждения колебаний. Анализ полученных значений основных атрибутов, совмещение результатов расчёта с топоосновой и корреляция изменения параметров между собой позволили осуществить корректную оценку кондиционности получаемых данных [Yaoping, 2015].

В качестве примера приведены значения доминантных частот записи, которые имеют прямую зависимость от приведенных выше факторов (рис. 6). Полученные результаты позволяют оценить возможную разрешающую способность записи. Как видно из рисунка 6 (А, Б), площадь работ на основе рассчитанных атрибутов по первичным сейсмическим данным можно разделить на три зоны (области низких (1), средних (2) и высоких (3) частот).

Разрез по линии Inline 217 представлен на рисунке 7. На рисунке приведен пример изменения частот полезных отражений, а, следовательно, и разрешающей способности. Наиболее контрастно данный параметр изменяется в верхней части разреза. Приведенные амплитудно-частотные (АЧ) спектры подтверждают визуальную оценку временных разрезов и корреляцию зон, как по первичным данным, так и по результатам полевой экспресс обработки [Johnston, 1980; Keller, Kolodner, 1956; Nooteboom, 1978, Vaage, Haugland, Utheim, 1983; Giles, Johnstom, 1973].

Подход к анализу качества материала строился на значениях основных атрибутов съемки, данных топогеодезического отряда (абрисы профилей), буровзрыв-

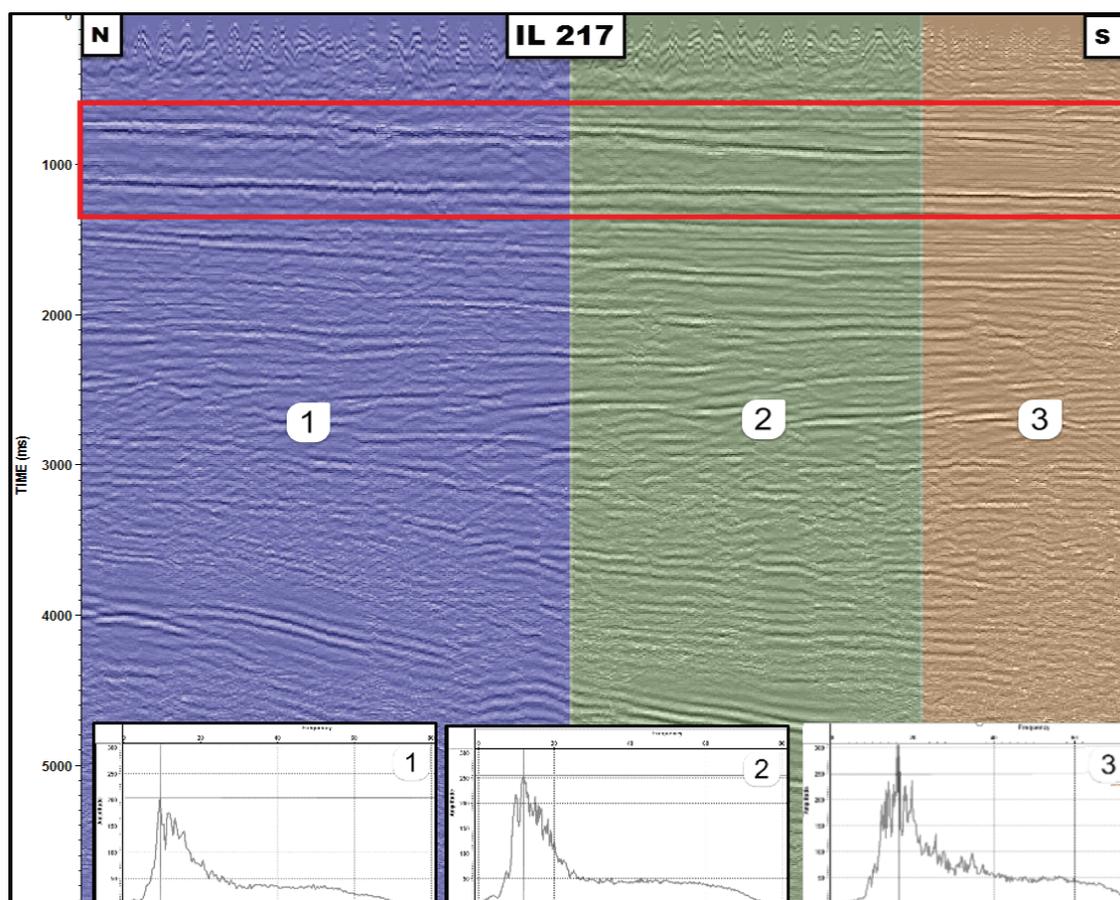


Рис. 7. Предварительный временной разрез IL 217, разделенный на 3 зоны по признаку отличия значений доминантных частот и его АЧ спектры. / Fig. 7. Preliminary time section IL 217, divided into 3 zones on the dominant frequencies differences.

ного отряда (литологическое строение ствола скважины) и метеорологических данных.

Использование комплексного подхода к процедуре контроля качества позволило определить объективные критерии оценки первичных данных, что в свою очередь явилось определяющим условием для сбора сейсмических материалов высокого качества, последующая обработка которых позволит решить поставленные геологические задачи [Mougenot, 2005].

Выводы

Лиманно-плавневые зоны как объект исследований характеризуются повышенной сложностью проведения сейсморазведочных работ. Это связано с практической невозможностью использования стандартных методов сейсмической разведки. Для проведения работ АО «Южморгеология» были разработаны специальные вездеходные средства амфибийного типа и инновационная буровая установка, что позволило достичь высокой производительности полевой партии (до 200 скважин в день) и отказаться от технологии опережающего бурения.

Результаты неоднократно проводимых опытно-методических работ позволили определить оптимальные условия возбуждения и регистрации колебаний:

- Глубина задавливания маршфонов в почву должна составлять не менее 1-2,5 м для минимизации негативного влияния внешнего шума от корневой системы камышовой растительности;
- Минимальная глубина погружения пневмоисточников должна составлять не менее 4 м, при уменьшении среднеквадратичных амплитуд на реперных горизонтах необходимо увеличивать глубину погружения до 6-8 м;
- Система наблюдений должна иметь максимальные удаления равные 0,9-1,0 глубины залегания основного каптируемого горизонта;
- Рекомендуется использование группового ПИ, монтирующегося на вездеходы амфибийного типа с целью увеличения амплитудной выразительности сейсмической записи и повышения отношения сигнал/помеха;
- Для введения статических поправок за ЗМС рекомендуется проведение инженерных изысканий с применением импульсного источника и короткой базы приемной расстановки.

Реализация этапа контроля качества в подобных условиях не предусматривает формального подхода. Решение о кондиционности получаемых данных обязательно должно приниматься по результатам комплексного анализа всех атрибутов сейсмической записи, топогеодезических данных о поверхностных условиях, данных геологической документации буровых скважин. Данный подход позволит исключить возможные сомнения в качестве работы регистрирующего и излучающего комплексов при получении разнородного материала.

Литература

1. Закариев Ю. Ш. и др. Оценка качества полевых сейсмических данных и основные факторы, влияющие на него // Геофизика. – 2007. – № 4. – С. 82-92.
2. Захаров Н. В. К вопросу оценки качества сейсмических материалов в условиях транзитных зон / Н. В. Захаров, А. В. Рудаков // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – № 4. – С. 24-26.

3. Захаров Н.В., Шумский Б.В. Технология и технические средства для сейсмических исследований на мелководье и транзитных зонах // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 23-26.
4. Захаров Н.В., Шумский Б.В., Рудаков А.В. Техника и технология сейсмических исследований в условиях предельного мелководья и выполнения "бесшовной" съёмки на границе вода-суша // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2012. – Т. 41, № 3. – С. 45-52.
5. Жгенти С. А. Технология и опыт применения системы XZone Marsh Line при 2D- и 3D- сейсмических исследованиях на предельном мелководье транзитных зон / С. А. Жгенти, Б. В. Запорожец // Технологии сейсморазведки – 2005. – С. 32-33.
6. Кириллов С. А., Горбунов В. И. Роль геофизических исследований в нефтегазовом сервисе при разведке и сопровождении разработки месторождений углеводородов // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2008. – № 2. – С. 5-8.
7. Кондратьев О.К. Автоматизированные системы оценки качества сейсмограмм и волновых сейсмических разрезов ОГТ // Технологии сейсморазведки – 2002. – № 1. – С. 3-12.
8. Мосякин, А.Ю. Особенности сейсморазведки в лиманно-плавневой зоне Краснодарского края / А.Ю. Мосякин // Приборы и системы разведочной геофизики: Ежеквартальное официальное издание Саратовского отделения ЕАГО – 2005. – № 1. – С. 40-41.
9. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Алгоритмы и критерии оценки качества полевых сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 2. – С. 40-48.
10. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Контроль качества сейсмических данных – проблемы и решения // Технологии сейсморазведки. – 2008. № 3. – С. 68-77.
11. Aouad A., Taylor R., Millar N. Seismic on the edge – a 3D transition zone seismic survey from concept to final volume // 22nd International Geophysical Conference and Exhibition, 26-29 February 2012 – Brisbane, Australia
12. Chen, H. L., H. Y. Quan, G. P. Yu, W. D. Li, and Y. Y. Liu, 2008, The review of air-gun source theory and technique: *Geophysical Equipment*, 18, no. 4, P. – 211-217 (in Chinese).
13. Gaoming C., et al BGP, CNPC / Real-time quality control technology of transitional zone seismic acquisition // SPG/SEG Beijing 2016 International Geophysical Conference
14. Fan, H. W., P.L. Xia, and Z. X. Zhao, 2009, Application of muddy gun source in seismic exploration: *Geophysical Equipment*, 19, no. 3, P. – 141-144 (in Chinese)
15. Giles, B. F., and R. C. Johnston, 1973, System approach to airgun array design: *Geophysical Prospecting*, 21, no. 1, P. – 77-101,
16. Johnston, R. C., 1980, Performance of 2000 and 6000 PSI air guns: Theory and experiment: *Geophysical Prospecting*, 28, no. 5, P. – 700-715
17. Keller, J. B., and I. I. Kolodner, 1956, Damping of underwater explosion bubble oscillations: *Journal of Applied Physics*, 27, no. 10, P. – 1152-1161
18. Liu Lei, Liang Baojun, Tong Liqing, Ding guandong, Niu jinfu, Shi Xu, Zhang Xiaoming, Yu yaoping / BGP Inc., CNPC Key Technology and Application of OBC Acquisition in Bohai Bay
19. Mougenot D. Транзитная зона, последний рубеж сейсморазведки: приборы и системы разведочной геофизики (ENG) // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – № 1. – С. 10-13

20. Nooteboom, J. J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays: *Geophysical Prospecting*, 26, no. 1, P. – 194-201.

21. Porter T. R., Archer J. *Command & Control of Seismic Operations // SEG Annual Meeting 1999 October, 1999.*

22. Vaage, S., K. Haugland, and T. Utheim, 1983, Signature from single airguns: *Geophysical Prospecting*, 31, no. 1, P. – 87-97

23. Yaoping Yu, Haolin Chen, Hongjun Zhang, Xiaodong Li, and Chengzhou Ni, BGP CNPC / The experimental research of air-gun source in muddy conditions // SEG New Orleans Annual Meeting 2015 SEG

GEOPHYSICAL METHODS

DOI 10.23671/VNC.2019.1.26791

Specificity of the seismic material obtained in complex seismo geological conditions (swamp zone)

A. A. Levitskiy¹, A. V. Rudakov^{1, 2}, M. S. Levitskaya¹

JSC «Yuzhmorgeologiya», 20Krymskaya Str., Gelendzhik353461, Russia
e-mail: levitskiy@ymg. ru

²GGE «YMGSeis», 20Krymskaya Str., Gelendzhik353461, Russia
e-mail: rudakov@ymg. ru

Abstract. The main objective of the work is the description of new technical and methodological tools used by Yuzhmorgeologiya JSC when conducting CDP 3D field seismic surveys in the estuaries of the Slavyansk district of the Krasnodar Region in 2014-2015. The main results of the experimental work are presented; the choice of survey parameters and their impact on the quality of the seismic recording is validated: digging-in of the seismic source points BOLT 2200LL-BHS, the number of excitation accumulations and the required depth of recorder sensors. Geophones “SVG-6” were used as sensors of the recorders, which were crushed with a metal pole with a fastening at the end to a depth of 1.0-2.5 m until steady contact with a solid surface (dense soil, clay base) was achieved, reducing the negative impact noise (microseism) from the root system of reeds (Fig. 2A, B). Grouping the SVG-6 with six consecutive geophones (GS-20DX) increased the sensitivity of the equipment to weak signals being excited in a weakly consolidated layer, and its robust design and metal eye, made it possible to extract the geophone from a well completely filled with water and sludge.

The basic properties of the upper part of the section (near-surface section) of the studied area are given according to the drilling data with a brief description of the lithological characteristics of the section to a depth of 10 m. Seismograms obtained at one site in different seismic and geological conditions are shown. The dependence of the distribution of values of root-mean-square amplitudes and dominant frequencies over the area on the surface conditions of excitation and reception of vibrations is revealed. This dependence is also observed in the preliminary time sections. The main factors affecting the quality of the obtained seismic material were analyzed. Based on the present study, the authors validate the need for the use of an integrated approach to analyzing the quality of seismic data when working under complex seismic and geological conditions. As a conclusion, the main recommendations for seismic exploration in the estuaries are presented.

Keywords: 3D seismic surveys, estuaries, Krasnodar Territory, Slavyansk District, Yuzhmorgeologiya JSC, analysis of the quality of seismic material, downhole seismic source point, geophone "SVG-6".

For citation: Levitskiy A. A., Rudakov A. V., Levitskaya M. S. Specificity of the seismic material obtained in complex seismo geological conditions (swamp zone). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019; 9(1): 97-109. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26791.

References

1. Zakariyev Y, et al. Evaluation of the quality of field seismic data and the main factors affecting it. *Geophysics*. 2007. No. 4. Pp. 82-92 (in Russ).
2. Zakharov N. V., Rudakov A. V. To a question of an estimation of quality of seismic data in the conditions of transit zones. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2011. No. 4. Pp. 24-26. (in Russ.)
3. Zakharov N. V., Rudakov A. V. On the issue of assessing the quality of seismic materials in transit zones. *Devices and Systems of Exploration Geophysics*. 2005. Vol. 11. No. 1. Pp. 24-26 (in Russ).
4. Zakharov N. V., Shumsky B. V., Rudakov A. V. Technique and technology of seismic studies in conditions of extreme shallow water and performing "seamless" shooting at the water-land boundary. 2012. Vol. 41, No. 3. Pp. 45-52 (in Russ).
5. Zhgenti S. A. Technology and experience of application of XZone Marsh Line system at 2D – and 3D-seismic researches on extreme shallow water of transit zones. *Seismic Technologies*. 2005. Pp. 32-33 (in Russ).
6. Kirillov S. A., Gorbunov V. I. The role of geophysical research in the oil and gas service in the exploration and support of the development of hydrocarbon deposits. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2008. No 2. Pp. 5-8 (in Russ).
7. Kondratiev O. K. Automated systems for quality assessment of seismograms and wave seismic sections of CMP. *Seismic Technologies*. 2002. No 1. Pp. 3-12 (in Russ).
8. Mosyakin A. Yu. Features of seismic exploration in the liman-flooded zone of the Krasnodar Krai. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2005. No. 1. Pp. 40-41. (in Russ.)
9. Tischenko I. V., Tischenko A. I., Zhukov A. A. Algorithms and criteria for assessing the quality of field seismic records. *Seismic Technologies*. 2011. No 2. Pp. 40-48 (in Russ).
10. Tischenko I. V., Tischenko A. I., Zhukov A. A. Quality control of seismic data – challenges and solutions. *Seismic Technologies*. 2008. No. 3. Pp. 68-77 (in Russ).
11. Aouad A., Taylor R., Millar N. Seismic on the edge – a 3D transition zone seismic survey from concept to final volume. 22-nd International Geophysical Conference and Exhibition, 26-29 February 2012, Brisbane, Australia.
12. Chen, H. L., et al., 2008, The review of air-gun source theory and technique: *Geophysical Equipment*, 18, No. 4, Pp. 211-217 (in Chinese).
13. Gaoming C., et al. BGP, CNPC Real-time quality control technology of transitional zone seismic acquisition. SPG/SEG Beijing 2016 International Geophysical Conference.
14. Fan, H. W., Xia P. L., Zhao Z. X. Application of muddy gun source in seismic exploration: *Geophysical Equipment*, 19. – 2009. No. 3, Pp. 141-144 (in Chinese).
15. Giles, B. F., and R. C. Johnston, 1973, System approach to airgun array design: *Geophysical Prospecting*, 21, No. 1, Pp. 77-101,
16. Johnston, R. C., 1980, Performance of 2000 and 6000 PSI air guns: Theory and experiment: *Geophysical Prospecting*, 28, No. 5, Pp. 700-715.
17. Keller, J. B., and I. I. Kolodner, 1956, Damping of underwater explosion bubble oscillations: *Journal of Applied Physics*, 27, No. 10, Pp. 1152-1161.
18. Liu Lei, Liang Baojun, Tong Liqing, Ding guandong, Niu jinfu, Shi Xu, Zhang Xiaoming, Yu yaoping. BGP Inc., CNPC Key Technology and Application of OBC Acquisition in Bohai Bay (in Russ).

19. Mougnot D. Transit zone, the last frontier of seismic prospecting: instruments and systems of exploration geophysics. *Journal of Devices and Systems of Exploration Geophysics*. 2005. No. 1. Pp. 10-13.

20. Nooteboom, J. J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays: *Geophysical Prospecting*, 26, no. 1, P. – 194-201.

21. Porter T. R., Archer J. Command & Control of Seismic Operations. SEG Annual Meeting 1999 October. 1999.

22. Vaage, S., K. Haugland, and T. Utheim, 1983, Signature from single airguns: *Geophysical Prospecting*, 31, No. 1. Pp. 87-97.

23. Yaoping Yu, Haolin Chen, Hongjun Zhang, Xiaodong Li, and Chengzhou Ni, BGP CNPC / The experimental research of air-gun source in muddy conditions. SEG New Orleans Annual Meeting. 2015.