

Современные технологические схемы морской сейсморазведки

М.Б. Шнеерсон

д.т.н., профессор
shneer@bk.ru

РГГРУ (НПУ), Москва, Россия

Высокие требования к качеству и производительности морских сейсморазведочных работ определяют современную технологию полевых наблюдений. Ознакомление российских геофизиков-разведчиков с материалами 79-й международной геофизической конференции представляет определенный интерес, т.к. доклады отражают направления развития технологии морских сейсморазведочных работ, которые иллюстрируют эффективность и хорошие перспективы на будущее и могут быть полезны отечественной морской сейсморазведке.

Материалы и методы

Описание новых технологий морской сейсморазведки и результатов их опробования и применения.

Ключевые слова

морская сейсморазведка, источники и приемники колебаний, система наблюдений, вынос

Новые схемы проведения морских работ

Примером новой схемы ведения морских съемок являются работы на одном из перспективных участков Баренцева моря, при которых возбуждение и прием колебаний производились на разных глубинах двумя одновременно работающими судами, из которых одно буксировало косу на заданной глубине, а второе — два и более излучателя, располагаемых над ней [1]. На рис. 1 приведены стандартная и новая схемы полевых наблюдений, иллюстрирующие особенности последней и возможности возбуждения и приема волн в широком диапазоне удалений и выносов. Практическая реализация показала, что подобный способ обеспечил регистрацию волн на нулевых, положительных и отрицательных выносах, что позволило после обработки материалов получить высокоплотные изображения подземного пространства достаточно высокого качества, превосходящие результаты предыдущих лет. Полученные геологические результаты и отработанная методика проведения работ определяют эффективность нового способа ведения морских сейсморазведочных работ и хорошие перспективы его дальнейшего применения.

При проведении работ в сложных сейсмогеологических условиях определенное применение получили нестандартные, круговые системы наблюдений. Примером их успешной реализации могут служить сейсморазведочные работы 3D на одной из сложных по глубинному строению площадей в Мексиканском заливе, выполненные с целью более детального освещения строения над- и подсолевых перспективных отложений [2]. На основании анализа результатов предыдущих работ с донными приемными устройствами и моделирования была предложена и реализована круговая система наблюдений с буксируемыми косами и двумя пунктами возбуждения, из которых один располагался в начале приемной расстановки, а второй — на удалении 5 км от нее. Суда,

буксирующие косы и выносной пункт возбуждения, перемещались по разным круговым траекториям радиусом 5500 м, что позволило реализовать широкополосную систему наблюдений с максимальным выносом 10000 м. Приемная расстановка состояла из 10 кос длиной 5000 м каждая с расстоянием между ними 120 м. На обоих судах были размещены пневмопушки объемом 8475 м³ каждая, которые работали попеременно по системе flip-flop с временным интервалом, равным времени перемещения судов на 31,25 м. Пушки и приемная расстановка буксировались на глубинах 10 и 12 м соответственно. Предложенная и реализованная технология работ позволила получить исходные материалы, качество которых оказалось выше качества материалов предыдущих работ. Обработка полученных записей была ориентирована на подавление низкочастотных помех, волн-спутников и освещение поведения глубинных целевых объектов. Полученные результаты показывают, что проведение работ с буксируемыми косами на площадях Мексиканского залива, где ранее использовались донные приемные системы, может оказаться предпочтительней.

Одним из перспективных направлений современной сейсморазведки является регистрация волн на больших выносах и в широком диапазоне азимутов. Эти тенденции были реализованы при проведении морских сейсморазведочных работ на шельфе Габона. Они предусматривали возбуждение и регистрацию волн на больших (до 14 км) выносах и в двух ортогональных азимутах от одновременно работающих излучателей для повышения производительности работ и более детального освещения поведения и структуры глубоких подсолевых горизонтов [3]. Предлагаемая система наблюдений была реализована с использованием трех одновременно работающих излучателей, располагающихся вдоль и поперек приемной расстановки приборов (рис. 2).

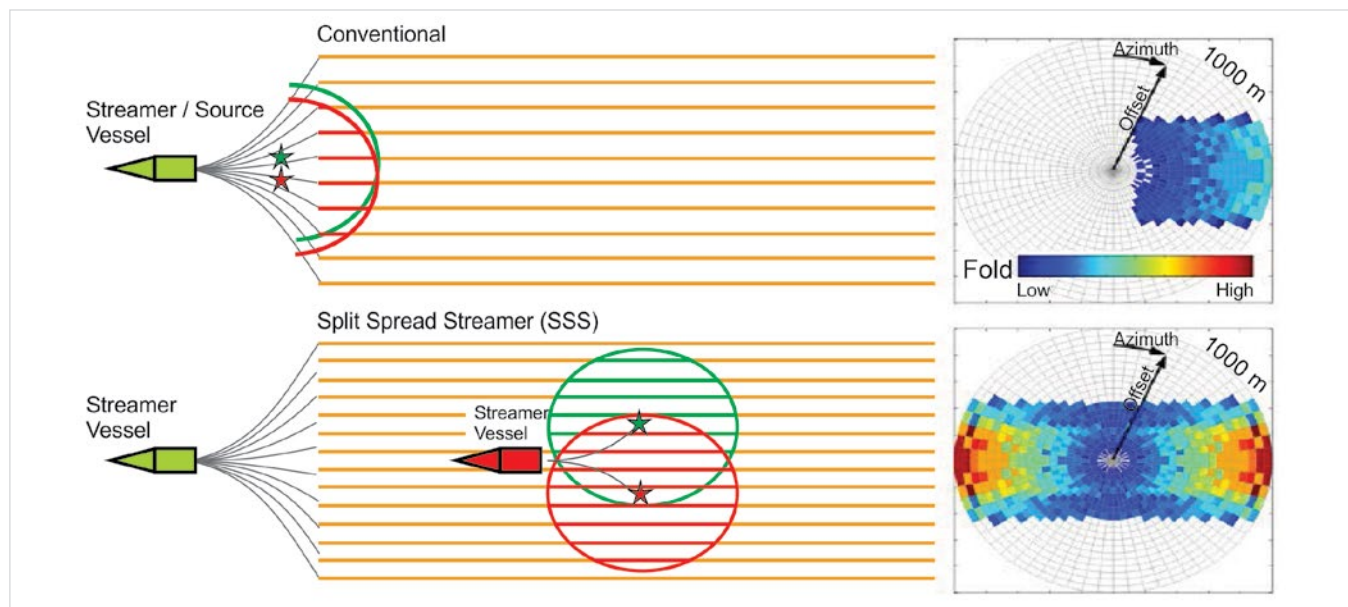


Рис. 1 — Схемы ведения работ и распределение кратности по стандартной (conventional) и новой (split spread streamer) технологиям
Fig. 1 — Schemes of work and distribution of multiplicity by standard (conventional) and new (split spread streamer) technologies

Для возбуждения волн в заданном диапазоне удалений было задействовано два излучателя, из которых один располагался в начале косы, обеспечивая возбуждение и регистрацию волн на удалении до 10 км, а второй был вынесен на 4 км, что увеличивало вынос до 14 км. Предложенная и реализованная технология работ оказалась успешной, что открывает перспективы ее дальнейшего применения.

Проведение морских сейсморазведочных работ требует затрат значительных средств, что определяет необходимость поиска оптимальных решений по их практической реализации. В [4] приведены результаты модельного анализа рисков и стоимости широко-азимутальных глубоководных морских сейсморазведочных работ с различным числом буксируемых кос, обеспечивающих безопасность их проведения, выполненного фирмой «Тоталь», в связи с предполагаемыми морскими работами в объеме ~4000 км. Анализ, выполненный по материалам съемок на шельфе Маньямы, показал, что при увеличении числа буксируемых кос с 10 до 12 и с 12 до 14 средняя производительность полевых наблюдений возрастает приблизительно на 10% и 7,5%. При этом стоимость дневной смены при тех же самых изменениях числа кос увеличивается на 8% и 7% соответственно. Из приведенных сведений также следует, что если принять стоимость работ при 10 используемых кос за 100%, то при работах с 12 косами стоимость работ на одном квадратном километре уменьшится на 3,6% и с 14 косами — на 4,4%.

Повышение производительности работ

Повышение производительности полевых работ было и остается одним из актуальных направлений развития морской сейсморазведки, которое реализуется путем увеличения числа

одновременно работающих на одну расстановку приборов источников, и внесения определенных различий в параметры и геометрию возбуждаемых колебаний, которые используются в последующем для разделения полученных записей.

В [5] эта задача решена путем увеличения числа одновременно работающих источников колебаний. Модельно рассмотрены три схемы работ с регистрацией волн на круговых профилях (рис. 4). В первых двух случаях разделение волн производилось за счет различного положения источников относительно приемной расстановки приборов. В третьем случае возбуждение колебаний производилось через фиксированные различные временные интервалы, что позволило при обработке материалов получать отдельные записи волн, соответствующие каждому пункту возбуждения. Приведенное в работе теоретическое обоснование возможности разделения волн, основанное на различии их траекторий, и примеры опробования способа обосновывают перспективы его практического применения.

Другой пример повышения производительности полевых работ рассмотрен в публикации [6], посвященной изложению технологии проведения наблюдений с нестандартным пятиэлементным источником колебаний и результатам двух съемок, которые были выполнены на глубоководном шельфе Австралии и на мелководье в условиях сложного залегания карбонатных отложений. Пятиэлементный источник был реализован на основе 6 пневмопушек, расположенных на расстоянии 12,5 м друг от друга, и работающих последовательно с интервалом 4–5 с, попарно по схеме 1–2, 3–4, 5–6, 2–3 и 4–5 (рис. 3). Система наблюдений предусматривала последовательное

возбуждение колебаний по сетке 6,25–6,25 м, и их прием групповыми приемниками с шагом 12,5 м. Приведенные в работе сейсмические записи и временные разрезы иллюстрируют идентичность материалов, полученных со стандартным и пятиэлементным источником колебаний, что позволило авторам достаточно высоко оценить перспективы применения рассмотренной комбинации источников.

В работе [6] для повышения производительности полевых работ при проведении пространственных морских сейсмических наблюдений 3D на шельфе Абу-Даби была применена крестообразная система наблюдений с двумя одновременно работающими пушками объемом 1120 д³ каждая, перемещающихся навстречу друг другу по разным линиям возбуждения, расстояние между которыми было выбрано равным 250 м (рис. 4). Интервал между пунктами возбуждения менялся случайным образом от 18,75 до 31,25 м, что делало возможным идентификацию записей, соответствующих каждому пункту возбуждения. Прием колебаний проводился кабельной расстановкой, ориентированной перпендикулярно к линиям возбуждения с шагом между приборами 25 м. Последующее разделение записей проводилось одним из известных способов, основанном на различии кинематики волн.

Подавление и уход от перекрестных помех

В практике проведения морских сейсморазведочных работ очень часто встречаются случаи, когда в пределах одной площади работает несколько полевых партий, что приводит к появлению перекрестных интерференционных помех из-за низкого поглощения волн при их распространении в водной среде. Для уменьшения их влияния и, по возможности, полного

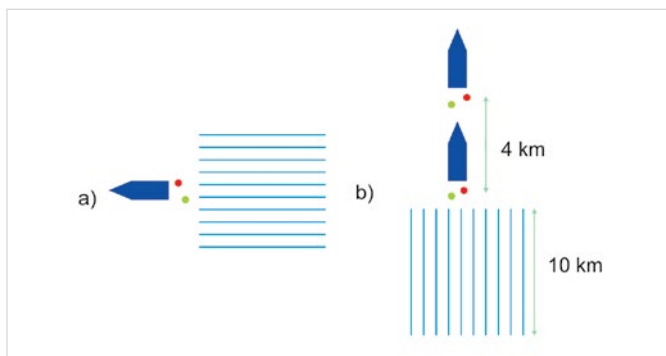


Рис. 2 — Схема проведения работ по стандартной (а) и двух-азимутальной (а+б) съемкам

Fig. 2 — Scheme of work on standard (a) and two-azimuth (a + b) surveys

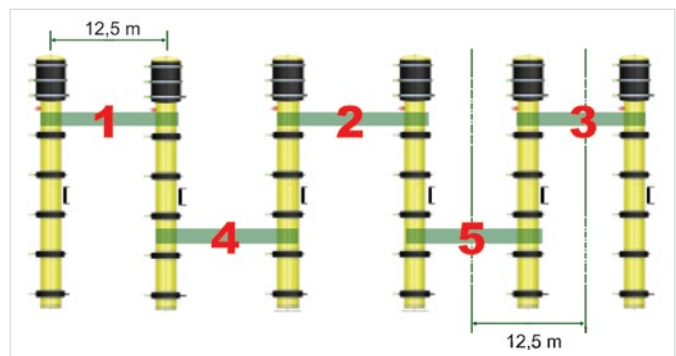


Рис. 3 — Схема построения пятиэлементного источника

Fig. 3 — The scheme for constructing a five-element source

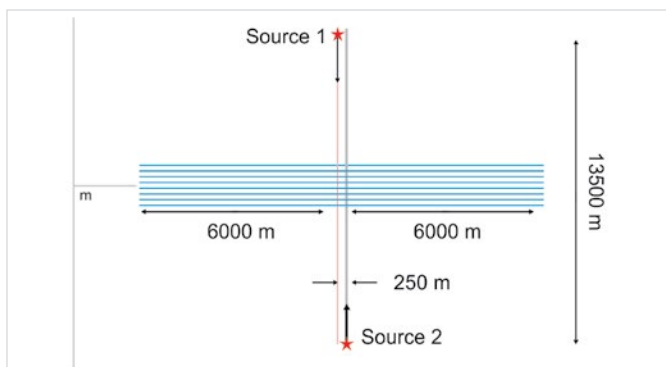


Рис. 4 — Схема работ с двумя пушками,двигающимися навстречу друг другу

Fig. 4 — Scheme of work with two guns moving towards each other

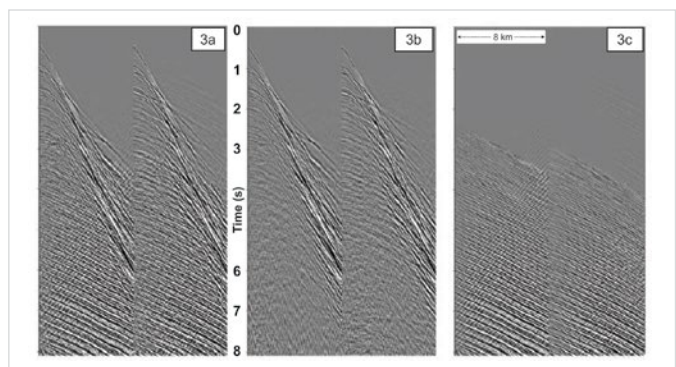


Рис. 5 — Сейсмограммы: (а) до и (б) после разделения записей и (с) перекрестные помехи

Fig. 5 — Seismograms: (a) before and (b) after separation of records and (c) crosstalk

исключения предложены и применяются различные технологические схемы проведения работ и обработки материалов, некоторые из которых рассмотрены далее.

Так, например, в работе [8] для снижения уровня перекрестных помех предложено использовать при обработке записей алгоритм Тау-Р (время — кажущаяся скорость), позволяющий разделять волны по временам их прихода и кажущимся скоростям (рис. 5). Практика применения способа показала его эффективность.

Уход от перекрестных помех на основе выполнения правил проведения работ несколькими сейсмопартиями на одной площади рассмотрен в [8]. В работе указывается, что при одновременном проведении морских съемок 3D несколькими партиями в пределах ограниченной по размерам площади возможно появление взаимных, перекрестных помех, которые могут существенно снижать качество получаемых записей и возможность их использования для обработки. Для их исключения или снижения до допустимого уровня рекомендуется:

- при расстояниях между судами разных партий меньше 100 км необходимо, чтобы отличались или скорости перемещения судов, или расстояния между пунктами возбуждения;
- возбуждение колебаний одной сеймопартии не должно проводиться в пределах областей приема других партий;

– линии возбуждения и приема разных партий не должны пересекаться.

Предложенная схема ограничений была реализована в 2016 г. при съемках в пределах перспективной части Северного моря, когда было отработано почти 1,7 млн пунктов возбуждения семью различными партиями с приемлемым качеством материалов, без технологических простоев и повторных наблюдений. При этом расстоянии между судами часто уменьшались до 7 км.

Роботизация работ

Технология проведения полевых работ предусматривает последовательное проведение относительно небольшого числа операций, которые могут быть автоматизированы и могут выполняться дистанционно без непосредственного участия оператора. Одним из примеров такой автоматизации полевых работ могут служить нодальные, донные приемные устройства. Дальнейшим направлением развития этих систем может быть рассмотренный в работе [10] переход на роботизированные управляемые донные приемные устройства, способные перемещаться по дну моря и при необходимости собираться в группы и рассредоточиваться по задаваемой схеме. В работе проанализированы некоторые технические аспекты этих систем, связанные с их погружением, перемещением по дну моря и организацией работ с применением

надводного судна. Высказано предположение, что к 2020 г. промышленность освоит производство таких систем, и они получат значительное практическое применение.

Итоги

Новые технологические схемы морских сейсморазведочных работ облегчают проведение широкоформатных и широко-азимутальных съемок высокой кратности, повышают производительность работ, позволяют уменьшить уровень или исключить перекрестные помехи при одновременной работе на одной площади нескольких сейсмических партий и определяют направления роботизации при работах с донными приемными устройствами.

Выводы

Обзор публикаций по новым технологическим схемам ведения морских сейсморазведочных работ показал следующее:

- преимущества новых технологических схем при проведении широкоформатных съемок в различных сейсмогеологических условиях;
- повышение производительности работ;
- снижение уровня и исключение перекрестных помех от одновременно работающих на площади нескольких сеймопартий;
- намечены перспективы роботизации донных приемных систем.

ENGLISH

GEOPHYSICS

Modern technological schemes of marine seismic exploration

UDC 550.3

Author:

Mikhail B. Schneerson — Sc.D., professor; shneer@bk.ru

RGGRU (NPU), Moscow, Russian Federation

Abstract

High requirements to the quality and productivity of marine seismic exploration determine the modern technology of field observations. The acquaintance of Russian survey geophysicists with the materials of the international geophysical conference is of some interest, since The reports reflect the development trends in marine seismic technology, which illustrate the efficiency and good prospects for the future and can be useful to domestic marine seismic surveys.

Materials and methods

Description of new seismic exploration

technologies and the results of their testing and application

Results

New technological schemes for conducting marine seismic operations make it possible to carry out wide-format and wide-azimuth surveys of high multiplicity, increase work productivity, reduce the level or eliminate crosstalk with simultaneous operation of several seismic lots on the same area, and determine the directions of robotization when working with bottom receiving devices.

Conclusions

The review of publications on new technological

schemes for conducting marine seismic surveys showed the following:

- advantages of new technological schemes for wide-format surveys in various seismic-geological conditions;
- Increase of productivity of works;
- Reducing the level and switching off crosstalk from simultaneously operating in the area of several seismic stations;
- prospects of robotization of bottom reception systems are outlined.

Keywords

marine seismic prospecting, sources and receivers of oscillations, observation systems, carry-over

References

1. Vinje V., Lie J.E., Danielsen V., Doherty P.E. and oth. Shooting Over the Streamer Spread; a Novel approach in seismic Marine Acquisition and Imaging. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
2. Espinoza C., Zdraveva O.K., Curd B., Gridnev E and oth. Full-azimuth towed-streamer acquisition and broadband processing in an obstructed area of the gulf of Mexico. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
3. Cook D., Poole G., Schouten R., Mallows C. and oth. Simultaneous source, long-offset, dual-azimuth acquisition offshore gabon — a change in perspective. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
4. Alfaro R., L'Arvor E., Choquer T. Methodologies for evaluating the risks and cost efficiency associated with wide acquisition geometries. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
5. Bagaini C., Moldoveanu N., Moore I. Marine seismic acquisition with phase-controllable sources. EAGE extended abstracts Paris, 2017.
6. Hager E., Fontana P. Penta source: high-resolution marine seismic from shallow to deep water. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
7. Walker C.D.T., Ajlani G., Hall M., Al Masaabi S., and oth. Pseudo-random simultaneous source acquisition offshore Abu Dhabi. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
8. Elboth T., Shen H., Khan J. Advances in seismic interference noise attenuation. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
9. Elboth T. Coordinating marine acquisitions to tackle seismic interference noise. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.
10. Tsingas C., Walker C., Bunting T., Postic E. and oth. SpiceRack — a robotized seabed seismic acquisition system. EAGE extended abstracts. Paris, 2017.