

УДК 001.89:550.834(574.1)

СЕЙСМИКА НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ В КАЗАХСТАНЕ



Ж.К. КАЛМАГАМБЕТОВ*,
ведущий научный сотрудник
Алматинского филиала АО «НИПИнефтегаз»

Алматинский филиал АО «НИПИнефтегаз»,
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. А. Байтұрсынова, д. 132 Б, 3 этаж

Описывается место, состояние и перспективы развития сейсмике нефтяного месторождения в мире и Казахстане. Рассматриваются ведущее место высокоплотной сейсмике, особенности методики ее проведения и обработки, и преимущества.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сейсмика нефтяного месторождения, разрешающая способность, динамический диапазон, ЗД, высокоплотная сейсмика, шаг приема, обработка, интерпретация, временной разрез, горизонтальный срез, куб.

МҰНАЙ КЕН ОРНЫ СЕЙСМИКАСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ДАМУ БАҒЫТТАРЫ

Ж.К. ҚАЛМАҒАМБЕТОВ*, «Мұнайгаз ҒЗЖИ» АҚ Алматы филиалының жетекші ғылыми қызметкері

«МұнайгазҒЗЖИ» АҚ Алматы филиал
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, А.Байтұрсынов көшесі, 132 Б үй, 3 қатар

Мұнай кен орны сейсмикасының әлемдегі және Қазақстандағы орны, жағдайы және даму бағыттары баяндалады. Жоғары тығыздықты сейсмиканың алдыңғы орынға шыққаны, оны жүргізу және өңдеу ерекшеліктері, және беретін артықшылықтары қаралады.

НЕГІЗГІ СӨЗДЕР: Мұнай кен орны сейсмикасы, анықтау қабылеті, динамикалық

*Автор для переписки. E-mail: zkalmagambetov@mail.ru

ауқымы, 3– мөлшерлі, жоғары тығыздықты сейсмика, қабылдау қадамы, өңдеу, пайымдау, уақыттық қима, көлденең қима, куб.

RESERVOIR SEISMIC AND IT'S DIRECTIONS OF PROGRESS IN KAZAKHSTAN

Zh.KALMAGAMBETOV*, leading geoscientist of the Almaty branch of JSC «NIPIneftegaz»

Almaty branch of JSC «NIPIneftegaz»,
3 floor, 132 B, Baytursinova street, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

Describes the position, status and directions of progress of oil field seismic in the world and Kazakhstan. Considered the leading position of high-density seismic, special points of its acquisition and processing techniques, and advantages.

KEY WORDS: reservoir seismic, resolution, dynamic range, 3D, high-density seismic, receiver interval, processing, interpretation, time section, horizontal section, volume.

Сейсморазведка 3D в настоящее время является основным инструментом картирования нефтегазовых объектов не только на стадии разведки, но и на этапе добычи нефтегазового месторождения. Если раньше сейсморазведка применялась только для оконтуривания нефтегазовой залежи, то сегодня ситуация изменилась, и в большинстве случаев сейсмическая информация становится ценным источником данных на стадии описания свойств пласта. Сейсмические данные превращаются в постоянно действующий и обновляемый инструмент управления месторождением как при подсчете и пересчете балансовых запасов месторождения, так и при планирования добычи в течение всего жизненного цикла месторождения. Такую сейсморазведку называют сейсмикой нефтяного месторождения.

Хотя и ранее признавалась, что изменение литологических и петрофизических свойств и характера насыщенности пласта оказывает влияние на регистрируемый сигнал, разрешающая способность этих данных (таблица 1) и возможности их обработки были недостаточными для подробного описания характеристики пласта.

Таблица 1 – Разрешающая способность сейсмики по глубине и по возрасту пород

Возраст пород	Неоген-чет- вертичные	Палео- ген-мел	Мел-юра	Пермо-три- ас	Палеозой
Глубина, м	0–250	250–1000	1000–2500	2500–4000	4000 и более
Скорость (м/с)	1600	2000	3500	5000	6000
Преобладаю- щая частота, Гц	70	50	35	25	20
Длина волны, м	23	40	100	200	300
Разрешение, м	6	10	25	50	75

Типичный вибрационный источник может создавать сигналы с динамическим диапазоном приблизительно 8–105 Гц. Расширение полосы пропускания исходного сейсмического сигнала путем добавления низких и высоких частот однозначно улучшает разрешение сейсмических записей. Экспериментально доказано, что уве-

личение количества низкочастотной энергии, испускаемой источником, улучшает способность характеризовать свойства горных пород через сейсмическую инверсию. Повышение динамического диапазона сейсмических сигналов достигается применением современного усовершенствованного сейсмического оборудования, улучшением методики проектирования, проведением 3D сейсмических съемок и совершенствованием программного обеспечения обработки сейсмических данных.

Одним из способов повышения разрешения сейсмической записи может быть применение новых вибраторов типа DX-80 (WesternGeco) весом порядка 36 т, который позволяет создавать свип-сигналы в диапазоне частот 3–150 Гц [1].

ВЫСОКОПЛОТНАЯ ШИРОКОАЗИМУТАЛЬНАЯ СЕЙСМИКА

До настоящего времени в Казахстане превалировала среднечастотная поисковая сейсморазведка 3D и практически стандартными были такие параметры 3D съемки (система типа «крест»): шаг линии приема (Δ ЛПП) – 300 м, шаг линии возбуждений (Δ ЛПВ) – 300 м, шаг пунктов приема (Δ ПП) – 50 м., шаг пунктов возбуждений (Δ ПВ) – 50 м, размеры бина – 25×25 м. Плотность съемки при этом получается 66,7 физических наблюдений на 1 км². При наличии в распоряжении сейсмического подрядчика 6000–8000 каналов с такими параметрами проектируются достаточно гибкие широко азимутальные системы наблюдений для успешного решения задач поиска нефтегазовых объектов в осадочных бассейнах Казахстана.

Но такие системы уже не оптимальны для изучения неглубоких, маломощных и малоразмерных объектов на разрабатываемых месторождениях, а также для решения задач прогнозирования их фильтрационно-емкостных свойств.

В связи с открытием, в основном, всех крупных и легко обнаруживаемых месторождений, нефтегазовые компании все больше внимания обращают на малоразмерные и сложнопостроенные ловушки углеводородов и на нетрадиционные резервуары. И, соответственно, ставят все более сложные задачи перед сейсморазведкой, которая должна не только обеспечивать точные структурные построения, но и определять типы коллекторов, картировать их трещиноватость и нефтегазонасыщенность. Для решения таких сложных задач может применяться сейсморазведка 3D нового технологического уровня. «Это и высокоразрешающая, и высокоплотная, и широко азимутальная (полно-азимутальная) сейсморазведка одновременно» [2].

В последнее время за рубежом были стремительно развиты высокоплотные сейсмические технологии, которые имеют очевидные преимущества для улучшения качества сейсмических данных. Самое главное преимущество этих технологий – высокая пространственная частота выборки наблюдаемого волнового поля. Высокая пространственная частота квантования создает оптимальные условия для коррекции статических поправок каждого источника и приемника индивидуально, и предотвращает несинхронное наложение амплитуд из-за неидентичности поверхностных условий в группе. Из-за лучшего сохранения высокочастотных компонент сигнала намного улучшается разрешение и точность воспроизведения сейсмического изображения. В результате улучшения пространственной частоты дискретизации, сводятся к минимуму также следы влияния полевой расстановки на данные.

На точность временной миграции до суммирования оказывает огромное влияние плотность трасс сейсмического изображения на 1 км² (формула, предложенная Норманом Купером, [3]):

$$Td=10^6N_{\text{fold}}/B_{\text{size}}$$

где Td – плотность трасс изображения на единицу площади, трасс/км²; N_{fold} – кратность покрытия; B_{size} – площадь бина, м².

Как известно, миграция способствует повышению горизонтальной разрешенности сейсмических изображений, правильно позиционируя отраженные волны в их правильное положение и уменьшив диаметр зоны Френеля.

На Западе ведущими геофизическими компаниями в последние годы были развиты три передовые технологии: HD3D (Petroleum Geo Services), Eye-D (CGG), и Q-land (WesternGeco) (таблица 2). Все эти технологии были нацелены на улучшение качества сейсмических данных за счет увеличения плотности их пространственной выборки при морском сборе данных и в последующем были адаптированы для наземной сейсморазведки [4].

Таблица 2 – Передовые высокоплотные сейсмические технологии

Тип технологии	Компания	Название	Сфера	Главные параметры
Малый интервал группы и высокая плотность трасс изображений	PGS	HD3D	суша, море	Размер бина: на море 3,125 м × 6,25 м; на суше 12,5 м × 12,5 м Плотность трасс изображения: выше 40 × 10 ⁴ трасса/км ² . Обработка: широкий азимут, анизотропия; интерпретация: упругая инверсия до суммирования
	CGG	Eye-D	суша, море	
Одноточечный прием, цифровое группирование при обработке, высокая плотность	WEI	Q-land	суша, море	Размер бина: на суше 5 м × 5 м; цифровая одна точка, 3 × 10 ⁴ трасс; обработка: формирование цифровых групп, широкий азимут, анизотропия; интерпретация: упругая инверсия до суммирования

Примеры применения показывают, что сейсмическая разведка высокой плотности является эффективной технологией для улучшения соотношения сигнал/помеха, вертикального и горизонтального разрешения. В дополнение к улучшению плотности пространственной дискретизации, в этих технологиях можно увеличить соотношение сторон активной расстановки, реализовать полный (широкий) азимут, что в результате дает огромные возможности для изучения анизотропии и трещиноватости резервуаров на основе упругой инверсии по данным миграции до суммирования.

В Казахстане первая 3Д сейсмическая съемка высокой плотности была выполнена в 2009 году компанией «Азимут Энерджи Сервисез» (AES, Интегра) в условиях сложной инфраструктуры нефтяного месторождения Карашаганак [5].

На данной съемке при развертывании до 18 000 каналов в режиме реального времени и 5 парков вибраторов, была достигнута рекордная производительность полевых работ – до 2800 физических наблюдений в день, 1 петабайт объема более 800км² 330-кратных данных по сетке ПВ-ПП 20×20 м с X_{max} более 9000 м был получен в течение шести месяцев.

На проекте были использованы малые базы групп-источников – два вибратора на базе 13 м и приема-круговая группа 12-ти сейсмоприемников диаметром 17,5 м.

При длине свип-сигнала 14 с и времени прослушивания (длина записи) – 6 с 1 накопление обрабатывалось в среднем за 20 с. Этому способствовало применение методики отстрела «флип-флоп» в купе с технологией «слип-свип». Последующий свип-сигнал 2-х вибраторной группы начинался во время прослушивания предыдущего. Таким образом, при использовании 4 групп вибраторов, которые заблаговременно перемещались на точки следующих физических наблюдений, была достигнута средняя производительность 1 700 ф.т./сутки.

Для работы с большим количеством каналов была специально модифицирована система центральной электроники 428, а также было приобретено новое коммуникационное оборудование, позволяющее центральной электронике «управлять» вибраторами и распределять каналы в большой активной расстановке.

Результаты новой съемки 3D показали скачкообразное повышение качества сейсмических данных на месторождении и способствовали уточнению оценки запасов углеводородов и точек заложения новых скважин [6].

С приходом на рынок Казахстана международной китайской компании BGP, появились отдельные примеры применения относительно высокоплотных сейсмических технологий и на других месторождениях Казахстана. Условно высокая плотность в китайских технологиях достигается уменьшением расстояний между ЛПВ и ЛПП до 100–200 м и размера бина до 10 м, применением групп приемников на малой базе, источников в количестве одного или двух вибраторов на наблюдение и всего одного накопления (свипа). Для уменьшения следов приемной расстановки применяется самый малый залп ПВ (3–5) в центре расстановки и одно перемещение приемных линий после отстрела полосы. Для получения широкого азимута увеличиваются количество приемных линий до получения почти квадратной расстановки. В зависимости от глубины целевых горизонтов выбирается X_{max}, значение которого и определяет нужное количество каналов активной расстановки. В запроектированных в Казахстане системах количество активных каналов находится в пределах 5000–10000, и для обеспечения бесперебойной работы сейсмической партии BGP данный момент одновременно может поставлять до 20 000 каналов. Производительность работы обеспечивается за счет применения методики отстрела «флип-флоп», в отдельных случаях «слип-свип» и наличием 4–5 комплектов флотов из двух вибраторов, могущих работать одновременно.

Новые методы повышения производительности вибраторных операций стали экономически эффективными, благодаря наличию постоянных систем записи с очень большим количеством каналов и способностей новых систем контроля управлять источниками большим количеством вибраторных парков.

Таблица 3 – Относительно высокоплотные сейсмические технологии, применяемые в Казахстане

Проект	КАРАШАГАНАК	УЗЕНЬ	ТАЙСОЙГАН	АКСАЙ
Расстановка 3Д	15ЛП- Пх1ПВх660ПП	44ЛП- Пх4ПВх336ПП	30ЛП- Пх3ПВх180ПП	44ЛП- Пх5ПВх232ПП
Размер бина	10 м x 10 м	15 м x 15 м	25 м x 25 м	10 м x 10 м
Полная кратность	330	924	450	638
Продольная расстановка	6590–10–20–10–6590	5025–15–30–15–5025	4475–12.5–25–12.5–4475	2310–10–20–20–2310
Шаг ЛПП	300 м	120 м	150 м	100 м
Шаг ПП	20 м	30 м	50 м	20 м
Шаг ЛПВ	300 м	120 м	150 м	80 м
Шаг ПВ	20 м	30 м	50 м	20 м
Активные каналы	9 900	14 784	5 400	10 208
Х мах	9327 м	5669,33 м	4997,6 м	3183,11 м
Отношение аспекта	1	0,52	0,5	0,95
Плотность, трасса/км ²	3 300 000	4 105 000	720 000	6 380 000

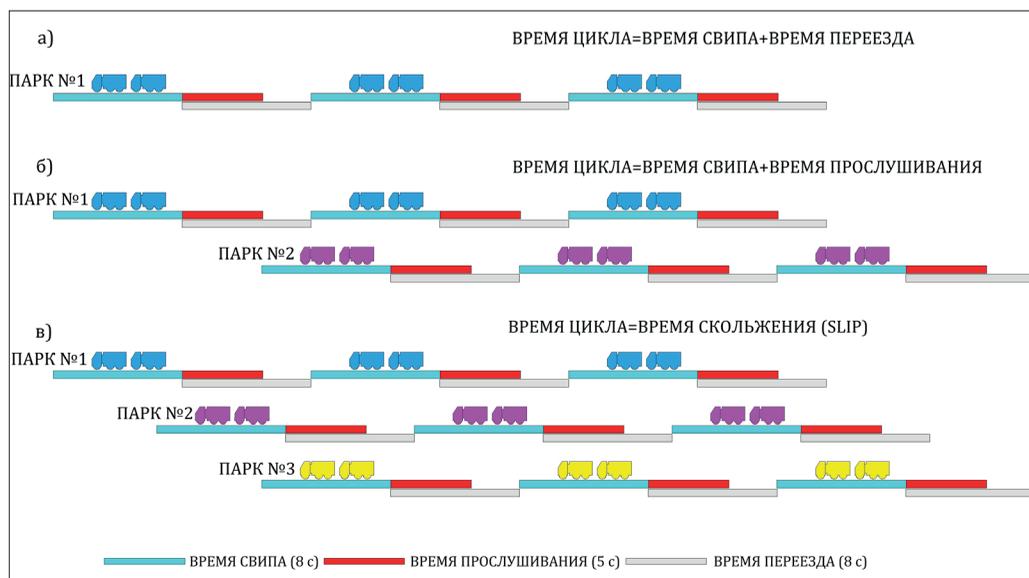


Рисунок 1 – Вибраторные операции: а) традиционный отстрел, б) отстрел по методике «флип-флоп», в) отстрел по методике «слип-свип»

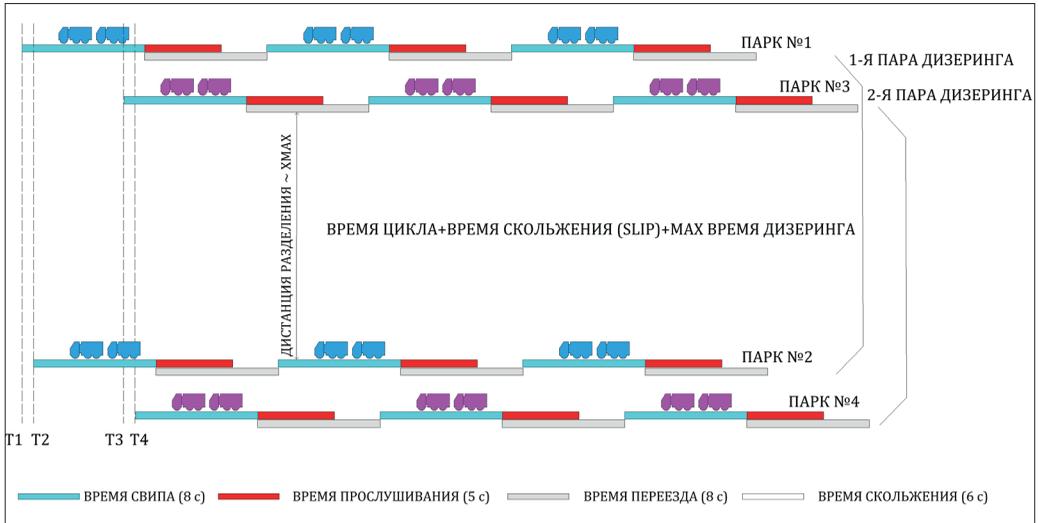


Рисунок 2 – Отстрел по методике «DSSS»

Дальнейшее совершенствование вибраторных операций связано с разработкой различных методик одновременного отстрела – независимый одновременный отстрел (ISS, Independent Simultaneous Shooting) и управляемые одновременные источники (MSS, Managed Simultaneous Sources). В управляемых методах отстрела вибраторы управляются современными системами электроники вибраторов типа VE464 регистрирующей системы Sercel428XL, которые способны следовать предписанным правилам. Одним из последних разработок является методика «разделенного расстоянием дизерингованного свипа скольжения» – DSSS (distance-separated dithered slip sweep) [1].

В методиках одновременного отстрела, каковым является методика «слип-свип», полученные записи должны быть подвергнуты последующей специальной обработке, нацеленной на их очищение от интерференции гармоник одновременно полученных сигналов других свипов.

ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ШИРОКОАЗИМУТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Обработка высокоплотных данных сама по себе усложняется из-за больших объемов первичных данных сейсмической съемки. Как видно из *таблицы 3*, плотность трасс в отдельных съемках составляют более 6 млн трасс на 1 км². Так, 3D съемка 2009 г. на месторождении Карашаганак имеет следующий объем данных:

- площадь наблюдений ~ 900 км²;
- количество пунктов возбуждения (ПВ) ~ 300 000;
- количество пунктов приема (ПП) ~ 100 000;
- количество средних точек (ОСТ) ~ 9 000 000;
- кратность сейсмограммы ОСТ 330;

- количество трасс (записей) ~ 3млрд;
- длина записи 20 сек, 10000 отсчетов, 4 байта/отсчет.

Таким образом, объем только исходных данных проекта доходит до 1 петабайта компьютерной информации.

В случае точечных приемников и источников бин съемки получается очень маленьким, и объем полевой информации возрастает еще более чем 2–3 раза, чем при стандартных съемках. Поэтому, разработчиками технологии Q-land разработан специальный способ формирования цифрового массива (DAF), обработка сначала проводится при шаге квантования исходного наблюдаемого поля, после использования всех преимуществ высокоплотной выборки наблюдаемого поля осуществляется переход на приемлемый размер бина съемки.

Данные, собранные методиками одновременного отстрела, требуют обработки, направленной на разделение записей ПВ от наложенных шумов других отстрелов. Здесь применяются различные способы подавления интерферирующих колебаний, такие как f - x деконволюция или специально разработанный метод разреженной инверсии.

Широко азимутальные данные (WAZ) требует специальной обработки по азимутам и удалениям. Здесь разработаны специальные концепции получения кубов общих удалений-векторов (COV, Common Offset-Vector), аналогично получению временных разрезов общих удалений (OU) при обработке 2D данных. Такой куб COV имеет минимальную дисперсию азимутов и удалений, является однократным и может подвергаться миграции независимо, и нет необходимости разбивки по азимутам. При автономной миграции отдельных кубов COV автоматически сохраняются информации, как об удалении, так и об азимуте. После миграции кубы COV обратно пересортируются в сейсмограммы ОСТ для последующего суммирования и обработки. Таким образом, сохраняется целостность широкоазимутального сигнала (WAZ) для обеспечения ожидаемого повышения качества изображения от широкоазимутального и ультраплотного получения данных.

Кубы COV также полезны при изучении атрибутов, отличающихся при различных азимутах, таких, например, как изменение амплитуды с удалениями и азимутами (AVAZ), изменение скорости по азимуту и др.

Результаты обработки широкополосных и широкоазимутальных данных в последние годы были масштабно продемонстрированы западными геофизическими компаниями на различных примерах. Сейсмические данные с шириной полосы свыше 6 октав, включая низкие частоты, начиная от 1,5 Гц, поднимают сейсмику нефтяного месторождения на новый уровень возможностей изучения геологического строения нефтяных месторождений.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ДАННЫХ

Более высокое разрешение, кубы 3D с плотной выборкой обеспечивают превосходную возможность для изучения внутреннего строения пласта с использованием современных программ трехмерной визуализации.

Объемная интерпретация очень удобна и позволяет лучше понять стратиграфические и структурные особенности, которые могли привести к внутренней неоднородности пласта, чем на вертикальных сечениях, работа с которыми требует интерпретации от профиля к профилю. Интерпретация высокоплотных широко азимутальных 3D-данных приводит к превосходному определению геометрии пласта и количественного определения параметров породы, необходимых для разработки залежи. Однако, требует однозначные корреляции сейсмических и продуктивных горизонтов, которые надо начать с тщательной калибровки по имеющимся скважинам, далее следуют структурные построения и оценка свойства пород.

3D-интерактивная интерпретация сегодня выполняется быстро и точно с использованием мощных и сложных программных обеспечений. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Claudio Bagaini Oslo, Norway; Tim Bunting Kuala Lumpur, Malaysia; Adel El-Emam Kuwait Oil Company Kuwait City, Kuwait; Andreas Laake Claudio Strobbia Gatwick, England, Land Seismic Techniques for High-Quality Data, Oilfield Review Summer 2010: 22, no, 2.
- 2 Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. ООО «ЕАГЕГеомодель», 2016. – С. 229. [Cherepovsky A.V. Ground seismic exploration of a new technological level. ООО «EAGEGeomodel», 2016. – P. 229.]
- 3 Norm Cooper. A world of reality—Designing land 3D programs for signal, noise, and prestack migration, The Leading Edge, October 2004, Society of Exploration Geophysicists.
- 4 Liu Zhenwu, Sa Liming, Dong Shitai, Tang Donglei, Practices and expectation of high-density seismic exploration technology in CNPC, Petroleum exploration and development, Volume 36, Issue 2, April 2009, Online English edition of the Chinese language journal.
- 5 Технологии регистрации данных в российской наземной сейсморазведке Onshore Seismic Acquisition in Russia, www.rogtecmagazine.com, Разведка. (https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/04_Integra.pdf)
- 6 Tim Marples, Chris Taylor, Luca Mapelli, King Sim Lee, and Martin Eales, BG Group plc. Eni E&P., Chevron Energy Technology Company, Karachaganak Petroleum Operating B.V. (KPO), State of the art 3D seismic for the Pre-Caspian subsalt in the Karachaganak Field: AAPG Search and Discovery Article, 2010 AAPG European Region Annual Conference, October 17–19, 2010. Kiev, Ukraine.