

## **ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В 20 ВЕКЕ И ПРОГНОЗ ЕЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В 21 ВЕКЕ**

**Бондарев В.И., Крылатков С.М., Крылаткова Н.А.**

*ФГБОУ ВПО Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), e-mail: bondarev\_v@mail.ru*

В статье рассматривается история формирования современной технологии сейсморазведочных работ МОГТ-3D, используемой при поисках и разведке месторождений нефти и газа. В этой истории выделяется 4 этапа, существенно различающихся по применяемой технологии работ и достигнутым результатам. И хотя четкие границы между этапами установить не просто, подмечено, что средняя продолжительность этапов близка к величине 25–35 лет. Каждый этап включает некоторый период становления технологии, период широкого использования на производстве и заключительный этап угасания интереса к этой технологии. Каждый этап базируется на использовании сейсморазведочной аппаратуры и оборудования своего времени. В недрах предыдущего этапа непременно зарождается новая, более совершенная технология следующего этапа. На этой базе возникают новые, более высокие требования к регистрирующей аппаратуре, и прежде всего, по количеству регистрирующих каналов. Формируемая новая технология, как правило, заимствует все лучшее и перспективное из прошлого, что объективно делает возможности сейсморазведки каждого следующего этапа несравненно более широкими и эффективными. Из анализа эволюции технических характеристик сейсморазведки МОГТ-3D делается прогноз о путях дальнейшего совершенствования сейсморазведки на период 10–15 лет. В качестве доказательства целесообразности такого пути совершенствования анализируются опытно-методические работы, выполненные фирмой Sercel на Ближнем Востоке. Высказываются также предположения о возможных направлениях развития и совершенствования сейсморазведки в более отдаленной перспективе.

Ключевые слова: метод преломленных волн, метод отраженных волн, сейсморазведка методом общей глубинной точки, бин, кратность наблюдений, сейсмическое изображение геологической среды.

## **THE MAIN PERIODS OF THE DEVELOPMENT OF SEISMIC EXPLORATION TECHNOLOGY FOR OIL AND GAS IN THE 20<sup>TH</sup> CENTURY AND A FORECAST OF ITS FURTHER CHANGES IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY**

**Bondarev V.I., Krylatkov S.M., Krylatkova N.A.**

*Ural state mining university, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, Kuybysheva st., 30), e-mail: bondarev\_v@mail.ru*

This article reviews the history of the modern technology of seismic CDP-3D used in oil and gas exploration. There are 4 main periods that differ significantly in their methods and results. And although it's not easy to define the boundaries between these periods, we can say that each of them is approximately equal to 25-35 years, and that each period includes 3 stages which are appearance and development of technology, spread of this technology and its use in exploration and finally the fading of interest in the technology. These periods result one from another. Every new and more precise method is generated in the depth of the previous one. Thus

appear new, more strict requirements for recording equipment and first of all the requirements concerning the number of recording channels. As a rule a new method adopts the best and the most promising achievements of the previous one making it more efficient. All this gives more possibilities to every new period. Considering the evolution of the technical characteristics of seismic CDP-3D it's possible to predict the course of the further development of seismics for a period of 10-15 years. Given as an example the results of the development work carried out by Sercel in the Middle East prove the appropriateness of such an analysis. The following article also suggests a long-term forecast concerning the possible ways of the further development and improvement of seismic exploration.

Key words: refraction method, seismic reflection method, common depth point survey, bin, fold, seismic images of the geological environment.

## **Введение**

Среди существующего множества геофизических методов поисков и разведки месторождений нефти и газа особое место занимает сейсмическая разведка. Сейсморазведка является геофизическим методом исследования земной коры, основанном на изучении качественных и, особенно, количественных закономерностей процесса распространения в толще горных пород упругих (сейсмических) волн, создаваемых искусственным путем. При взаимодействии этих волн с геологическими неоднородностями и границами возникают вторичные волны различной физической природы (отраженные, дифрагированные и др.), которые могут быть зарегистрированы на поверхности земли и которые являются главным источником информации в сейсморазведке для получения сведений о геометрических параметрах и физических свойствах изучаемой геологической среды [1]. В настоящее время поиски и разведка новых месторождений нефти и газа во всем мире ведутся на базе широкого использования сейсмического метода разведки, преимущественно в его пространственной модификации, называемой *методом общей глубинной точки – МОГТ-3D*.

## ***Цель исследования***

На основе анализа эволюции техники и технологии сейсморазведочных работ в 20 веке сделать прогноз путей их совершенствования на ближайшие годы.

## ***Результаты исследований***

История применения сейсморазведки для поисков и разведки месторождений нефти и газа насчитывает не более 90 лет. Первые успешные опыты применения сейсморазведки для обнаружения залежей нефти были проведены в США еще в 1924 году. В последующие годы техника и технология ведения сейсморазведочных работ непрерывно изменялись и совершенствовались. В истории отечественной, впрочем, как и мировой сейсморазведки, можно условно выделить четыре крупных этапа, каждый длительностью примерно в 25–35 лет, имеющих свои характерные особенности и отличия.

Первый этап (1929–1960 гг.) характеризовался интенсивным развитием и широким применением *метода преломленных волн*. Наивысшим достижением отечественной

сейсморазведки на этом этапе стала разработка корреляционного метода преломленных волн (КМПВ) под руководством академика АН СССР Г.А. Гамбурцева [2].

В послевоенные годы (1950–1975 гг.) значительно выросли аппаратурно-технические возможности геофизического приборостроения. Открылись возможности получения уверенных записей отраженных волн. На смену технологии КМПВ приходит технология *метода отраженных волн* – МОВ [4], разработанная на базе отечественного патента Воюцкого В.Д., полученного еще в 1923 году. Практическое применение этого метода в СССР позволило открыть и ввести в эксплуатацию целый ряд крупных (и крупнейших) нефтяных и газовых месторождений Приуралья и Западной Сибири.

Третий этап в истории отечественной и мировой сейсморазведки также связан с использованием отраженных волн на базе новой технологии, предложенной американцем У. Мейном в 1950 году [7]. Эта технология получила название *метода общей глубинной точки* – МОГТ. Основой этого метода является многократное получение сейсмических отражений от каждого элемента геологической границы и последующее их суммирование. Массовое применение метода в СССР началось в 1965 году и продолжается до сих пор [3]. Такая технология сейсморазведочных работ в профильном варианте получила название МОГТ-2D. Успехи использования МОГТ-2D в геологоразведочном производстве, как в России, так во всем мире значительны и бесспорны.

К началу девяностых годов прошлого века созрели технические и методические условия для перехода на еще более эффективную технологию, открывшую четвертый этап в истории сейсморазведки. Эту технологию, в силу целого ряда ее принципиальных отличий, следует считать новой фазой развития сейсморазведки. Принято называть ее пространственной (трехмерной) сейсморазведкой МОГТ-3D. Зародившись как простое усложнение технологии МОГТ-2D, постепенно эта технология приобрела специфические черты новой, оригинальной технологии. Для нее характерно использование многолинейных пространственных приемных апертур, большая плотность расположения пунктов возбуждения колебаний на площади исследований, совершенная телеметрическая цифровая регистрирующая аппаратура и оборудование и т. п. Важнейшими интегральными характеристиками конкретной применяемой технологии МОГТ-3D принято считать размеры используемого бина и кратность системы наблюдений. Бином называется некоторая площадка на поверхности наблюдений, в пределы которой попадают координаты общих средних точек при любых возможных положениях источников и приемников. Количество трасс, попавших в каждый бин, определяет кратность применяемой системы наблюдений. Чем выше кратность наблюдений и меньше размер бина, тем выше пространственная разрешенность получаемых сейсморазведочных данных. Однако при этом возрастает и

трудоемкость сейсморазведочных работ.

Поскольку реальная геолого-геофизическая информативность сейсморазведки также непрерывно растет, то новый 21 век в истории сейсморазведки, безусловно, можно называть веком технологии МОГТ-3D. По совокупности признаков эта технология разительно отличается от сейсморазведочных технологий первых трех этапов как с точки зрения сложности применяемой аппаратуры и оборудования, так и с точки зрения эффективности получаемых сейсмогеологических результатов.

Высоко оценивая результаты работ МОГТ-3D за последние примерно 15 лет, следует предполагать, что сложившаяся технология сейсморазведочных работ на нефть и газ будет и далее непрерывно развиваться и совершенствоваться, постепенно переходя на новый, теперь уже пятый этап своего развития.

В статье авторы делают попытку изложить свое видение эволюционного пути развития сейсмической разведки в 21 веке.

Основными направлениями усовершенствования сейсморазведки всегда были задачи получения более детальных и достоверных изображений геологической среды. Достижение этих результатов связано в первую очередь с применением более совершенной, многоканальной регистрирующей аппаратуры, а также с повышением плотности системы наблюдений. Разумеется, при этом значительную роль могут играть и имеющиеся организационно-технические возможности проведения сейсморазведочных работ в рамках используемой технологии

Рассмотрим характер изменения основных технических характеристик сейсморазведочных работ МОГТ-3D в зимних условиях на территории Западной Сибири за последние пятнадцать лет (таблица).

Анализируя приведенные в таблице данные, можно сделать вывод, что с 1996 по 2011 г. численные значения параметров, характеризующих ключевые элементы технологии сейсморазведочных работ МОГТ-3D, существенно изменились. Значительно выросли число используемых каналов, кратность наблюдений, число линий приема, количество получаемой информации на единицу площади и уменьшились значения параметров, характеризующих разрешающую способность – расстояние между приемными линиями и размер бина. Все это показывает, что усложнение геологических задач, решаемых сейсморазведкой в последние 15–20 лет, потребовало применения и все более сложных технологических приемов ведения сейсморазведочных работ. По всей вероятности такие тенденции и далее будут определять магистральные направления развития метода МОГТ-3D.

***Пути совершенствования технологии сейсморазведки в 21 веке***

К настоящему времени в сейсморазведке МОГТ-3D опробован целый ряд новых, высокотехнологических способов и приемов ведения работ. Среди них следует назвать, прежде всего, бескабельные телеметрические системы приема сейсмических колебаний, переход на регистрацию колебаний в каждой точке приема одиночными сейсмоприемниками (отказ от применения группирования сейсмоприемников в аналоговой форме), применение в качестве сейсмоприемников многокомпонентных измерителей ускорений (акселерометров), выполнение возбуждения и регистрация сейсмических волн различной поляризации (многоволновая сейсморазведка), использование современных высокопроизводительных

Таблица

Типичные параметры сейсморазведочных работ МОГТ-3D в Западной Сибири [5]

<b>Наименование параметров применяемых технологий МОГТ-3D</b>	<b>Значения параметров работ в период 1995–1996 гг.</b>	<b>Значения параметров работ в период 2010–2011 гг.</b>
Число используемых приемных каналов	360 -700	1800 - 2500
Число используемых линий приема	4-6	12-16
Количество активных каналов в линии	48-72	96-140
Расстояния между линиями приема	350-500	200-300
Общее число активных каналов в расстановке	240-600	1500-2000
Размер бина, м.	50м.*50 м, 100м.*100м.	25м.*50м, 25м.*25м.
Количество получаемых сейсмических трасс на 1км <sup>2</sup> .	80000-120000	200000-300000
Количество используемых пунктов возбуждения колебаний на 1км <sup>2</sup>	25-40	50-80
Кратность наблюдений	12-18	48 -72
Объем получаемой полевой сейсмической информации в Тб	0,1-0,15	1,0-2,0
Общее количество получаемых физ. наблюдений за зимний сезон (100-120 календарных дней)	12000-18000	25000-35000

технологий возбуждения колебаний с помощью вибраторов (технологии типа “slip-sweep”) и др. Однако каждый из этих способов может эффективно влиять на конечные результаты сейсморазведки только в рамках их совместного комплексного применения на базе технологических параметров основной системы наблюдений МОГТ-3D. Поэтому при оценке перспектив совершенствования технологии сейсморазведки, мы в дальнейшем уделим основное внимание параметрам именно такой основной системы наблюдений МОГТ-3D.

В качестве материала для такого анализа воспользуемся приведенными А.В. Череповским [5] сведениями об опытно-методических работах зарубежных фирм, в которых были успешно опробованы весьма сложные системы наблюдений МОГТ-3D. Так, французская фирма SERSEL в 2010 году на одном из объектов в транзитной зоне Катара на Ближнем Востоке выполнила сейсморазведочные работы по технологии МОГТ-3D на площади 863 км<sup>2</sup> по супер плотной полевой сети наблюдений с получением результатов по сети с размерами бинов 3,75м \* 3,75м и кратностью 504. Для этого использовалась регистрирующая расстановка, включающая 24192 активных одиночных сейсмоприемника, расположенных на 36 приемных линиях. Расстояние между приемными линиями было уменьшено до 120 м, а расстояние между линиями возбуждения до 90 м. В качестве источников упругих колебаний использовались, преимущественно, вибраторы (около 2 млн пунктов возбуждения (ПВ)), взрывы в скважинах (около 50000 ПВ) и пневматические пушки в водной среде (около 263000 ПВ). Необходимость регистрации на данной площади всего необходимого количества многоканальных сейсмограмм (около 2,3 млн физических наблюдений) потребовало получения ежемесячно объема данных порядка 100000 ф.н. При этом была достигнута рекордная в практике мировой сейсморазведки плотность до 35840000 получаемых сейсмических трасс на 1 км<sup>2</sup>. На базе таких исходных материалов получены сейсмические изображения изучаемой геологической среды необыкновенно высокой детальности и четкости. В этом убеждает сравнение временных разрезов – сейсмических изображений геологической среды, полученных ранее (в 1998 году) и в результате работ выполненных в 2010 году (рис.1), по одному и тому же профилю на данной территории.

Опыт подобных работ вскрыл также сложности и недостатки такой рекордной технологии сейсморазведочных работ МОГТ-3D. Первая трудность заключалась в том, что ежедневно получаемые первичные объемы сейсмической информации (около 1 Тб в день) было невозможно обрабатывать на имеющихся у фирмы современных вычислительных комплексах в режиме реального времени. Отставание первичной обработки по времени сильно осложняло проведение контроля качества полевых работ и растягивало сроки их выполнения: в частности, полный цикл всех полевых работ на объекте, включая дополнительные работы методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) в нескольких скважинах, занял слишком большой период времени – около 26 месяцев. Такие темпы ведения производственных разведочных работ в современных условиях совершенно недопустимы. Вторая трудность заключалась в том, что на протяжении длительного периода необходимо было обеспечивать постоянную высокую ежесуточную производительность – около 4000 ф.н., что возможно лишь при исключительно высокой форме организации полевых работ и только на открытой и пустынной местности в благоприятных

климатических условиях. Очевидно, серийные производственные работы такого типа в условиях российского Севера практически невозможны.

Успешный опыт работ со сверхплотной системой наблюдений и использованием одиночных приемников показал перспективность продолжения комплексного совершенствования (использование одиночных приемников и источников, резкое сгущение

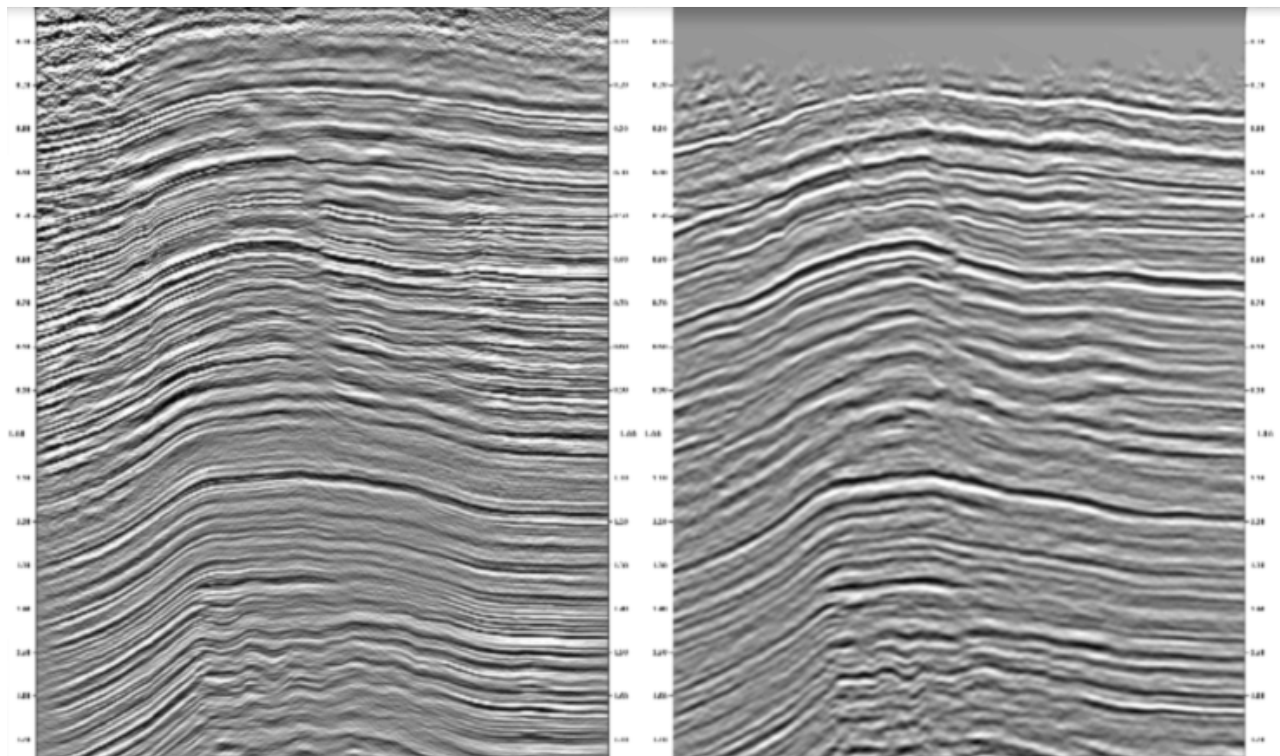


Рис.1 Сравнительный вид сейсмических изображений во временном масштабе (по вертикали показано двойное время пробега волн до границ раздела, по горизонтали – пикеты профиля) одного и того же участка сейсмического профиля в Катаре, полученного по результатам работ разных лет, выполненных с различными параметрами системы наблюдений:

а – полевые работы выполнены в 1998 году; кратность наблюдений - 250, размер бина 25м\*25м; плотность трасс на 1км<sup>2</sup> - 400000 шт.;

б – полевые работы 2010 года, кратность наблюдений - 504; размер бина 3,75м\* 3,75м; плотность трасс на 1км<sup>2</sup> - 3584000 шт.

сети приема и возбуждения колебаний и т.п.) технологии сейсморазведочных работ МОГТ-3D по пути увеличения плотности получаемого числа сейсмических трасс на единицу площади исследований.

Даже в том случае, если на производстве станут реально достижимыми параметры сейсморазведочных работ, уступающие вышеприведенным в 2–5 раз: например, размер бина – 10м\*10м, кратность 250–400, ежесуточная производительность на уровне 800–1500 ф.н., то и такие работы будут востребованы практикой. Результаты таких сейсморазведочных работ будут идеальными с точки зрения требований к их информативности и качеству и могут еще долгие годы (ближайшие 10–15 лет) служить маяком на пути совершенствования технологии сейсморазведочных работ.

## **Выводы**

Из сказанного выше вытекает, что наиболее вероятным направлением совершенствования технологии МОГТ - 3D на ближайшие 10–15 лет будет именно интенсификация используемых параметров, способов и приемов ведения сейсморазведочных работ. Если реальные потребности нефтяного геологоразведочного производства на базе высоких цен на нефть и газ смогут по критерию «цена/качество» поддерживать интерес к сейсморазведочным работам, то наиболее вероятной тенденцией развития сейсморазведки будет именно вышеупомянутая интенсификация параметров систем наблюдений в МОГТ-3D. В противном случае сейсморазведчикам для выживания придется искать другие, нетрадиционные пути повышения эффективности сейсморазведочных работ. Время для выбора и поиска путей совершенствования сейсморазведочной технологии у сейсморазведчиков весьма ограничено.

## **Список литературы**

1. Бондарев В.И., Крылатков С.М. Сейсморазведка: учеб. для вузов: в 2 т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. - Т.1. - 402 с.; Т.2. - 408 с.
2. Гамбурцев Г.А., Резниченко Ю.В. и др. Корреляционный метод преломленных волн. - М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 200 с.
3. Межбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. - М.: Недра, 1985. - 264 с.
4. Пузырев Н.Н. Интерпретация данных сейсморазведки методом отраженных волн. - Москва: Гостоптехиздат, 1959. - 452 с.
5. Череповский А.В. Повышение эффективности сейсморазведки путем применения одиночных сейсмоприемников // Тезисы докладов международной конференции «Геомодель-2011». - Геленджик, 2011. - 4 с.
6. Maugenot D. Land cableless systems: use and misuse // First Break. - 2010. - №28(2). - P. 55-58.
7. Mayne W. H. Seismic surveying. U. S. Patent. 1950. № 2732906100.

## **Рецензенты:**

Писецкий В.Б., профессор, д.г.-м.н., зав. кафедрой геоинформатики Федерального бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Уральский государственный горный университет”, г. Екатеринбург.

Сковородников И.Г., профессор, д.г.-м.н., профессор кафедры геофизики Федерального бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Уральский государственный горный университет”, г. Екатеринбург.