



Метрология, технология, экономика и геологическая эффективность сейсморазведки

Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Шулик С.И., Воронова И.А. ЗАО "ГЕРУС", г. Тюмень

Энергопотребление в современной жизни ориентировано в основном на жидкое, газообразное и твердое углеводородное энергетическое топливо, которое черпается из недр планеты Земля и, естественно, характеризуется ограниченностью ресурсов.

Для обеспечения высокой рентабельности больших капитальных вложений в инфраструктуру предприятий, добывающих энергетическое сырье из недр на объектах, введенных в разработку и эксплуатацию, необходимо увеличивать объемы запасов за счет повышения глубинности геологических исследований, а также за счет наиболее полной разведки территорий, прилегающих к эксплуатируемым месторождениям, в недрах которых, как правило, находятся малоразмерные и слабоаномальные объекты, а сами территории характеризуются сложными поверхностными сейсмологическими условиями и экологическими ограничениями.

Поиск и разведка малоразмерных слабоаномальных объектов, расположенных к тому же на относительно больших глубинах, характеризуются снижением отношения энергии полезных сигналов, необходимых для отображения параметров геологических объектов, к энергии помех, обусловленных неизвестными свойствами среды, покрывающей исследуемые объекты.

При снижении отношения энергии полезных сигналов к энергии помех выделение полезных сигналов на фоне помех и достоверная оценка параметров изучаемой среды возможны лишь при соответствующем повышении метрологического уровня исследований. Фактически такая тенденция наблюдается в эволюции сейсморазведки, являющейся основным методом поиска и разведки месторождений углеводородного сырья на всем протяжении времени ее существования, что, по-видимому, и является одной из причин, обеспечивающих лидирующее положение этого метода в разведочной геофизике.

Эта тенденция выражается в постоянном повышении динамического диапазона и разрешающей способности приемно-регистрирующей аппаратуры, в увеличении в системах наблюдений количества независимых приемных каналов на каждом физическом наблюдении, а также в совершенствовании систем тестирования аппаратуры и контроля исполнения методических условий проектов работ.

Все наиболее значимые достижения в истории развития сейсморазведки, обеспечивающие повышение её геологической эффективности, обусловлены изменениями в технологии полевых работ, связанными с увеличением объема и качества информации, добываемой в ходе полевых работ.

В развитии сейсморазведки можно выделить следующие этапы изменений технологии, обусловившие повышения геологической эффективности:

-переход от одиночных приемников и источников к их группированию обеспечил повышение отношения сигнал/помеха на сейсмограммах и выделение слабых отражений, несущих геологическую информацию;

-применение цифровой регистрации и телеметрических систем обеспечило расширение динамического диапазона сейсмических записей, что увеличило объем геологически значимой информации;

-применение систем многократных перекрытий, основанных на значительном увеличении количества пунктов возбуждения на единицу длины профиля, обеспечило изучение каждой точки отражения под разными углами в вертикальной плоскости, что привело к выделению и прослеживанию слабых однократно отраженных волн за счет подавления многократных, а также позволило повысить точность и надежность оценки эффективных скоростей, несущих геологическую информацию;

-применение пространственной сейсморазведки обеспечило возможность исследования отражающих границ под разными углами в горизонтальной плоскости, что позволило оценивать анизотропию геологических объектов и надежно трассировать элементы дизъюнктивной тектоники.

Следуя принципу увеличения объема первичных данных, нами разработана и внедрена в практику сейсморазведочных работ технология многоуровневой высокоточной сейсморазведки [1-5], основанная на попутной детальной регистрации волнового поля вблизи каждого пункта возбуждения волн. Такой технологией обеспечивается прямое, детальное и повсеместное изучение параметров ВЧР, инструментальный контроль фактических глубин заложения зарядов. За счет 10-12 % повышения стоимости работ это дает не менее чем двукратное снижение среднеквадратической погрешности определения параметров изучаемой среды в районах со сложными поверхностными условиями.

Дальнейшее повышение геологической эффективности сейсморазведки можно прогнозировать на основе трехкомпонентной регистрации волновых полей, обеспечивающей двух-, трехкратное увеличение первичных геологически значимых данных.

Грубую оценку количества первичной полевой информации, приходящейся на единицу площади исследований, можно сделать по формуле:

$$p = K \cdot \frac{m \cdot n \cdot T \cdot d \cdot f_0}{S \cdot dt \cdot q},$$

где m, n - количество точек приема и возбуждения волн на площади;

T - длительность сейсмической записи;

d - динамический диапазон сейсмической записи;

f_0 - основная частота регистрируемого сигнала;

S-площадь исследований,
dt-длительность основной части возбуждаемого сигнала.

q-величина отношения помеха/сигнал на сейсмограмме.

K-коэффициент пропорциональности.

В приведенной формуле отображаются параметры лишь собственно геофизических работ.

Количество получаемой информации, а в результате и точность сейсморазведки, зависит от объема денежных средств, затрачиваемых предприятием на собственно геофизические полевые и камеральные работы.

Затраты на единицу площади исследований по элементам сейсморазведочных работ можно разложить по формуле:

$$З = \frac{П + ОИ + ПО}{S},$$

где П - затраты на собственно геофизические полевые работы по сбору первичных данных;

ОИ - затраты на обработку и интерпретацию полученных данных;

ПО - затраты на работы по подготовке и обеспечению собственно геофизических работ.

Для изучения структуры затрат сейсморазведки были проанализированы данные восьми предприятий, осуществляющих геофизические исследования в северных районах Западной Сибири. Оценка результатов работы 86 партий показала, что затраты на работы по подготовке и обеспечению составляют в зависимости от вида работ от 29 до 51 %, а в среднем равны 49 %. Соответственно, 51 % затрат приходится на собственно полевые и камеральные работы (Табл.1).

Если принять, что при увеличении затрат на собственно геофизические работы при неизменном объеме затрат на работы по обеспечению происходит равноценный прирост объема геологически значимой информации, то можно определить коэффициент снижения стоимости добываемой информации:

$$\varepsilon = \frac{Г + ПО}{Y \cdot Г + ПО},$$

где Г=П+ОИ, Y - коэффициент увеличения объема собственно геофизических работ.

Так, если Y=2,5, Г=0,51, ПО=0,49, то

$$\varepsilon = \frac{1}{2,5 \cdot 0,51 + 0,49} = \frac{1}{1,765} = 0,57,$$

т.е. при увеличении стоимости собственно геофизических работ в 2,5 раза, при неизменном объеме затрат на подготовку и обеспечение, стоимость единицы информации снизится на 43%.

Известно, что коэффициент успешности поисковых геологоразведочных работ, базирующийся в основном на данных сейсморазведки, имеет тенденцию к повышению с течением времени и в целом по России находится в пределах 0,25-0,30 (рис.1) [8], а по наиболее богатому ресурсами Ханты-Мансийскому округу он достигает величины 0,42. Низкое значение коэффициента успешности свидетельствует о недостаточном объеме геофизических данных, по

значительном объеме бурения скважин, не подтверждающих геолого-геофизический прогноз.

Структура подтверждаемости данных сейсморазведки по Ханты-Мансийскому округу представлена в табл. 2, составленной на период 2004 года Научно-аналитическим центром имени В.И. Шпилемана (Тюмень).

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что не подтверждение геолого-геофизического прогноза наблюдается, как в определении структурных построений, так и в области прогноза коллекторских свойств и насыщения геологического разреза.

Единственный вывод, который можно сделать, исходя из вышеизложенного, состоит в том, что в настоящее время сейсморазведка добывает первичные данные в объеме, недостаточном для обеспечения в современных условиях существенного прогресса в повышении геологической эффективности. По нашему мнению, в современных условиях существенный прогресс в повышении геологической эффективности сейсморазведки может быть достигнут за счет значительного увеличения объема и качества первичных полевых данных. Это в равной степени относится как к методике скважинных исследований, обеспечивающих прямое определение параметров волновых полей в средах с известными по скважинным данным геологическими свойствами, так и к методике полевой сейсморазведки, обеспечивающей возбуждение и регистрацию волновых полей в объеме, необходимом для прогноза свойств геологического разреза.

В существующей практике проектирования скважинных и наземных сейсморазведочных работ доминирует тенденция по минимизации объемов собственно геофизических работ, что выражается в однокомпонентной регистрации волновых полей, в сокращении количества пунктов возбуждения при выполнении работ ВСП, в применении часто необоснованно большого шага приемных каналов, сокращении кратности и размеров приемных систем. Следование такой тенденции приводит к снижению стоимости работ, однако, при этом в целом повышает цену добываемой информации, являющейся основным продуктом геофизики, с одновременным созданием ее дефицита в решении современных геологических задач геофизическим методом, что приводит к увеличению объемов дорогостоящих буровых работ.

Самым простым примером, подтверждающим правильность излагаемой позиции, является сопоставление двух структурных карт (рис.2) в одном из северных районов Западной Сибири, первая из которых (а) построена с использованием детальных данных многоуровневой сейсморазведки о строении и свойствах зоны малых скоростей, вторая (б) - без использования этих данных. Карта (а) отображает один объект антиклинальную изометрическую структуру со структурным носом, карта (б) содержит большое количество мелких антиклинальных элементов, разбросанных по всей площади.

Совершенно очевидно, что задание поисковых и разведочных скважин по двум картам будет существенно различным. Скорее всего, задание скважин по карте (б) приведет к неподтверждению структурных элементов, и, соответственно, к

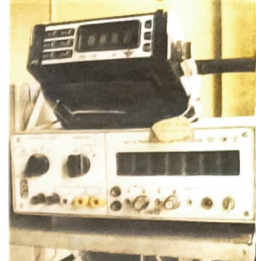


Таблица 1. Распределение затрат на сейсморазведочные работы, %

Вид работ	Работы 2D				Работы 3D				Среднее взвешенное значение	
	взрывные		невзрывные		взрывные		невзрывные			
	до 24	более 24	до 24	более 24	до 24	более 24	до 24	более 24		
	Кратность	15	41	3	16	8	1	2	86	
	Количество партий	15	41	3	16	8	1	2	39,40	
1.	Геофизические полевые работы	37,78	37,01	37,79	40,93	45,09	49,86	62,90	-	0,10
1.1	Проектирование	0,16	0,10	0,12	0,09	0,07	0,02	0,04	-	30,15
1.2	Сейсморазведка	26,23	23,43	37,34	40,47	38,64	46,87	61,61	-	7,60
1.3	Бурение	9,91	11,17	0,00	0,00	5,57	2,03	0,00	-	1,15
1.4	ВВ, СВ	1,27	1,82	0,00	0,00	0,57	0,94	0,00	-	0,40
1.5	Приобретение кассет	0,22	0,49	0,33	0,37	0,22	0,00	1,25	-	11,92
2.	Камеральные работы	12,97	12,75	11,34	12,95	5,86	2,25	8,57	-	48,68
3.	Работы по обеспечению	49,25	50,24	50,87	46,12	49,05	47,89	28,53	-	5,33
3.1	Рубка просек	5,22	5,23	6,84	6,60	3,36	8,10	2,44	-	3,03
3.2	Топогеодезические работы	3,81	2,77	3,50	2,66	4,02	1,17	1,71	-	2,65
3.3	Технологическое строительство	3,18	2,72	1,00	2,52	2,04	1,05	3,85	-	0,78
3.4	Содержание радиостанций	0,91	0,82	1,04	0,72	0,62	0,05	0,05	-	3,34
3.5	Организация+ликвидация	3,61	3,00	3,56	3,06	3,70	4,68	7,89	-	2,15
3.6	Временное строительство	3,59	2,13	2,05	1,36	1,74	0,85	0,49	-	13,15
3.7	Транспортировка грузов	15,51	14,76	10,03	8,46	12,58	18,35	4,28	-	0,81
3.8	Охрана окружающей среды	0,56	0,73	1,10	1,34	0,83	0,00	0,16	-	17,44
3.9	Компенсируемые затраты	12,86	18,08	21,75	19,41	20,18	13,64	7,64	-	100
	ИТОГО	100	100	100	100	100	100	100	-	

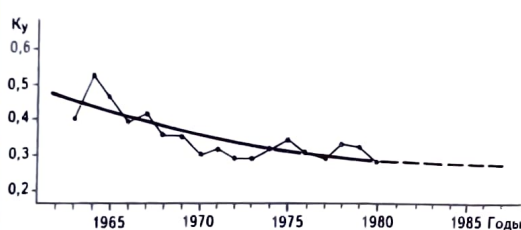


Рис.1. Динамика коэффициента успешности поисковых работ [Плотников и др., 1997]

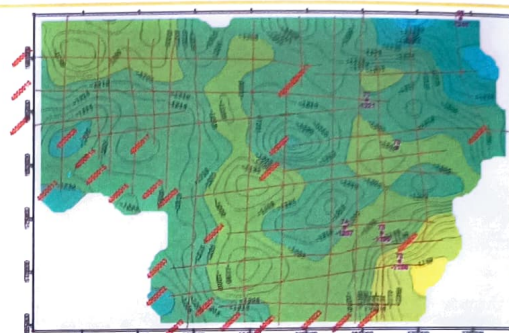


Рис.2.б. Структурная карта по горизонту Г, построенная без использования данных технологии многоуровневой сейсморазведки, м. Среднеквадратическая невязка с бурением +10 м (6 скв)

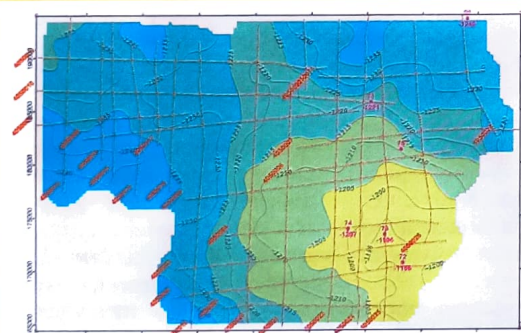


Рис.2.а. Структурная карта по горизонту Г, построенная с использованием данных технологии многоуровневой сейсморазведки, м. Среднеквадратическая невязка с бурением +6 м (6 скв)

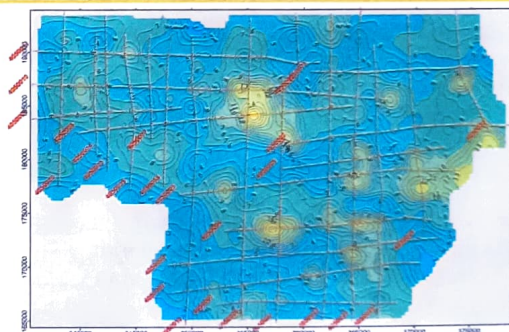


Рис.3. Карта толщин ЗМС, м.

Таблица 2. Показатели успешности геологоразведочных работ на территории ХМАО (по данным научно-аналитического центра им. В. И. Шпилымана)

Нефтегазовый комплекс	Коэффициент успешности	Причины получения отрицательных результатов (%)			
		Отсутствие коллектора	Несовпадение результатов бурения и сейсмики	Ошибка прогноза продуктивности	Техногенные и другие причины
Неокомский	0,4	36	34	27	3
Баженовский	0,43	64	23	9	4
Васюганский	0,45	29	28	17	26
Среднеурский	0,4	44	3	25	28
Нижнеурский	0,42	52	5	28	15
Итого по ХМАО	0,42	40	23	24	13

снижению эффективности поисковых работ. Правильность последнего утверждения подтверждается сопоставлением с картой толщины ЗМС (рис.3), построенной по данным многоуровневой сейсморазведки. Все структурные элементы на карте (б) в целом, коррелируются с аномалиями, обусловленными изменениями толщины ЗМС.

Отрицательные элементы структурного плана карты (б) тяготеют к областям повышенных толщин ЗМС, положительные элементы к участкам сокращения толщины.

В рассматриваемом примере для детального и повсеместного изучения параметров зоны малых скоростей стоимость полевых работ была увеличена на 12 %, а ошибки в задании поисковых скважин привели бы к затратам, превышающим дополнительные затраты на сейсморазведку в десятки раз. Кроме того, каждая скважина, не подтверждающая геофизический прогноз, часто приводит к замораживанию больших вложений в разработку территории.

Выводы и предложения.

1. В современном балансе затрат на сейсморазведочные работы затраты на собственно геофизические работы составляют в среднем 51 %, а 49 % - затраты на подготовку и обеспечение.

2. Основным продуктом сейсморазведки является геолого-геофизическая информация, цена которой может быть существенно снижена, если в балансе затрат увеличить долю собственно геофизических работ и существенно увеличить объем и качество добываемой информации при неизменном объеме работ по подготовке и обеспечению.

3. Увеличение объема и качества первичных данных является наиболее реальным путем повышения геологической эффективности сейсморазведки.

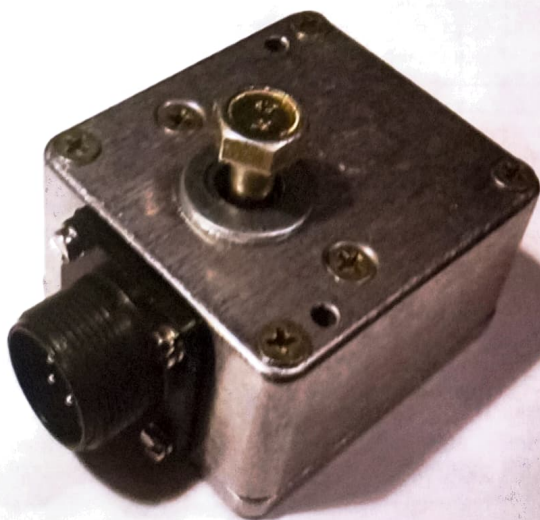
4. Конкретные предложения для недропользователей и геофизических организаций: заказывать, создавать и исполнять такие проекты работ, в которых доля затрат на собственно геофизические работы значительно превышает долю затрат на подготовку и обеспечение.

Литература.

- 1.Брехунцов А.М., Бевзенко Ю.П. Об экономике и технологии поисков нефтяных и газовых месторождений в Западной Сибири. Журнал "Геология нефти и газа", № 3, 2000.
- 2.Бевзенко Ю.П., Брехунцов А.М., Долгих Ю.Н. Результаты производственного применения технологии многоуровневой высокоточной сейсморазведки. Журнал "Нефть и газ", № 1, 2002.
- 3.Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Трандин С.М. Многоуровневая сейсморазведка. Повышение точности сейсморазведочных работ на основе изучения ВЧР и учета волн-спутников с малой задержкой. Журнал "Горные ведомости", № 2, 2004.
- 4.Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н. Техника и технология многоуровневых сейсмических исследований на севере Западной Сибири. Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики", № 2, 2004.
- 5.Бевзенко Ю.П., Долгих Ю.Н., Корилов А.П. Повышение точности современная проблема нефтегазопроисковых сейсморазведочных работ. В сборнике "Сейсмические исследования земной коры". Международная научная конференция, посвященная 90-летию академика Н.Н. Пузырева. г. Новосибирск, Академгородок, 23-25 ноября 2004 г.
- 6.Плотников А.А., Медведев Н.Ф., Плотников Д.А. К методике оценки результатов и планирования геолого-поисковых работ. Журнал "Геология нефти и газа", № 7, 1997.



АКСЕЛЕРОМЕТРЫ для источников сейсмических сигналов



Варианты исполнения:

- типовые для:
Advance II, Mini Controller,
VibPro (Pelton), VE-416 (Sercel)
БУСВ, БУСВ МП (Сейсмотехника)
- один или два идентичных канала;
- диапазоны ускорений от $\pm 50g$ до $\pm 400g$
- нестандартные по спецификации заказчика

**Для всех вариантов - неизменно
надежность и качество**

т./ф.: (495)-5315258
info@sercel.com, www.sercel.com