

Будущее начинается вчера

Российская сейсморазведка – вчера, сегодня, завтра

- Жужель В.С., ФГБУ «ВНИГНИ»
- Жужель А.С., к.т.н., АО «Башнефтегеофизика»
- Натеганова (Жужель) Т.С.

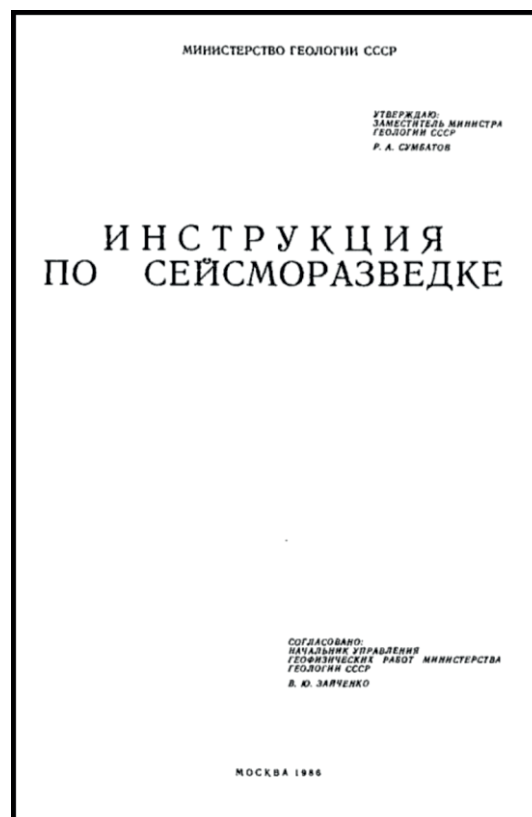
Введение

*Настоящему, чтобы обернуться будущим, требуется вчера.
(И. Бродский).*

Чем примечателен 1986 год? Многим сразу вспоминается целый ряд ключевых событий, в том числе драматических, определивших дальнейший ход истории не только нашей страны. Это и начало отвода войск из Афганистана, авария на Чернобыльской АЭС – трагедии, после которой во всем мире были кардинально пересмотрены требования к безопасности и перспективам развития ядерной энергетики, запуск космической станции «Мир», покорение южного полюса женской лыжной командой, и многое другое. Но геофизики, скорее всего, начнут с того, что вспомнят принятие новой редакции «Инструкции по сейсморазведке», поскольку и по сей день это рабочий документ, к которому обращаются многие действующие отраслевые стандарты.

Необходимость радикальной переработки, существовавшей 14 лет Инструкции, в то время была обусловлена начавшимся в 80-х годах широким внедрением в производство новых технологий – прежде всего переход от аналоговой к цифровой регистрации и обработке.

К 1986 году удалось выработать четкий и ясный документ, отвечающий новым реалиям геологоразведки, дающий ответы на вопросы геофизиков, как, когда, чем и почему надо проводить сейсморазведочные работы, как к ним готовиться и как отчитываться. Регламент



▲ Рис. 1. Титульный лист Инструкции по сейсморазведке 1986 г.

был утвержден Приказом Министерства Геологии СССР, став таким образом, законом для советской сейсморазведки.

Прошло 37 лет. Инструкция по сейсморазведке 1986, ее понятия и терминология, остаются азбукой, на которую по сей день ссылаются выполняемые договора на сейсмические исследования, локальные стандарты многих компаний-заказчиков. Однако, надо констатировать, что учиться только по Азбуке можно лишь в начальной школе, а дальше – нужно использовать другие учебники. Инструкция 86-го актуальна на проектах с малым числом каналов, сейчас не отвечает требованиям современной сейсморазведки.

Действующие локальные требования,

нормы, наряду с действующим Российским законодательством в новой Эре сейсморазведке служат труднопреодолимым барьером в развитии отрасли, применения лучших мировых практик и технологий.

Отрасль вошла в новую эру, в которой развитие технологий настолько стремительное, что инструкцию можно переиздавать каждые 2-3 года. При этом, понятно, что абсолютно невозможно предусмотреть современную вариативность съемок и то разнообразие используемого оборудования в одном универсальном документе.

Попытаемся разобраться, какой документ сегодня нужен для качественного взаимодействия между заказчиком сейсморазведочных работ и исполнителем, что нужно менять срочно, и в том числе на сколько актуальна инструкция по сейсморазведочным работам далекого 1986 года. Нужно ли ее переиздание, которое в разные годы пытались реализовать коллективы наших геологоразведочных предприятий. Важно отметить, что речь идет о ключевой отрасли экономики страны. Без сейсморазведки не нужны будут, например, соглашения с ОПЕК, так как без поиска и разведки новых запасов нефти и газа добыча начнет неизбежно падать и без внешнего регулирования.

В §1, абзац 2 Инструкции написано: *«Сейсморазведка является важнейшим геофизическим методом при поиске и разведке полезных ископаемых, инженерных изысканий, изучения глубинного строения Земли и может применяться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геофизическими, геологическими и геохимическими исследованиями земных недр».*

Этот абзац «Азбуки» не устареет никогда.

Вызовы сейсморазведки 21 века.

Инструкция 1986 года была крайне необходима в связи с появлением новых возможностей регистрации данных, их обработки и интерпретации. Это был первый этап цифровизации в сейсморазведке. Необходимость пересмотра Инструкции стало очевидной в начале 2000-х годов, когда появились телеметрические системы, и начался рост канальности регистрирующего оборудования при проведении работ МОГТ-2D, и в особенности МОГТ-3D. Вместе с тем, увеличивались и объемы выполняемых работ, состав партии, составные элементы производственного процесса. В 21 веке сейсморазведочное оборудование и технологии меняются столь быстро, что гнаться за этими изменениями в нормативных документах просто невозможно.

Новые вызовы, вставшие перед сейсморазведчиками, определяют направления развития в проведении и модернизации работ:

1. Стремительно возрастающий запрос на экологичность всех без исключения производственных процессов является определяющим фактором развития технологий и аппаратуры. Для сейсморазведки, как самого тяжелого геофизического метода, это очень серьезный вызов.

2. Изменчивая мировая конъюнктура спроса на природные ресурсы требует увеличения гибкости и расширения диапазона функциональности производства. Иными словами, сегодняшняя сейсморазведочная партия, должна стать универсальным геологоразведочным «трансформером», способным переформатироваться, перенастраиваться и решать максимально широкий спектр геологических задач в зависимости от времени и места их постановки.

3. Необходимость повышения экономической эффективности работ – рост производительности и снижение удельной себестоимости исследований. Этого можно достичь инновационным подходом ко всем производственным процессам ГРП при безусловном сокращении сроков исследований при получении геологических результатов. Для России, в свете глобальных климатических изменений, усиливающих сезонность выполнения полевых работ, этот аспект становится особенно актуален.

Все перечисленное определяет потребность сейсморазведки в инновационных технологиях, их поддержании и развитии на долгосрочную перспективу.

Современные задачи – сложные и интересные

Перед сейсморазведкой сегодня ставятся задачи как по значительно более детальному изучению среды, так и выходу на решение совершенно нового класса задач – непрерывному мониторингу разработки месторождений. Все это требует кратного повышения плотности наблюдений. При этом, современное стремительное развитие компьютерных систем обеспечивает обработку огромного объема информации, десятков миллионов сейсмических трасс, в приемлемое время. Появляются все более сложные и затратные камеральные процедуры такие как: как полномасштабная инверсия, технологии, связанные с Искусственным Интеллектом и пр.

Можно вспомнить, что в соответствии с эмпирическим законом Мура количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца. То есть возможности компьютерной техники растут в геометрической прогрессии. И если в 1986 году сейсморазведка была одним из

главных потребителей мировых вычислительных ресурсов, то сегодня для обработки и интерпретации данных требуется гораздо меньше ресурсов, чем при обработке «Больших Данных», в Интернет технологиях и майнинге криптовалюты. Можно констатировать, что технических ограничений по вычислительным мощностям сегодня для сейсморазведчиков более не существует.

Особое место при проведении работ занимает экологичность. Ведь за последние десятилетия, значительно вырос интерес к «зеленым» возобновляющимся источникам энергии, а за ним следуют призывы уйти от «ископаемого топлива». Зачастую, такие призывы носят более популистский характер. Но при этом вносят и положительную динамику в изменение подходов к проведению сейсморазведочных работ.

Таким образом, на первый план выходят задачи обеспечить эффективную регистрацию высокоплотных наблюдений с минимальным нанесением ущерба окружающей среде, а также их последующую обработку без существенного увеличения стоимости и времени на выполнение работ.

Что же может сейсморазведка настоящего времени предложить в современных реалиях?

Разнообразие возможностей

Сегодня самый распространенный тип регистрационного наземного оборудования при проведении сейсморазведочных работ в России – традиционная кабельная система. Безусловно трудно поспорить с тем, что современные телеметрические кабельные системы чрезвычайно надежны в эксплуатации. При их применении в совокупности со сложившейся практикой контроля качества, риски получения некондиционных

данных при минимальном (по современным меркам!) числе активных каналов в расстановке, в очень широком диапазоне климатических условий, очень малы. Обращаясь к зарубежному опыту проведения сейсморазведочных работ мегапартиями, с использованием, как кабельных, так и бескабельных систем на 80-100 тыс. каналов, можно констатировать, что мировая сейсморазведка уверенно идет к высокоплотным сейсмическим наблюдениям. Это позволяет получать высоко разрешающие изображения геологической среды. Тем не менее, массовое проведение таких съемок на территории Российской Федерации едва ли возможно по ряду причин.

В первую очередь – повышение плотности съемки при сохранении существующей технологии приема и возбуждения в залесенных регионах приведет к неприемлемому ущербу для экологии. Во-вторых – в климатических условиях Русского Севера, Западной и Восточной Сибири и арктического шельфа это приведет к существенному удорожанию и увеличению сроков геологоразведочных работ. Применение кабельных систем со столь большим количеством каналов возможно лишь в степных районах страны, где, однако, существенным ограничением становится вопрос компенсации затрат землепользователям. Да, высокая урбанизация южных регионов вносит свои сложности и ограничения. В условиях санкций недружественных стран, выполнение высокоплотных сейсморазведочных работ с использованием кабельных систем и вовсе невозможно, вследствие прекращения импорта такого оборудования от ведущих мировых производителей.

Добывающие компании не готовы к существенному росту стоимости ГРП, неизбежному при простом масштабиро-

вании имеющихся технологий для реализации плотных и сверхплотных систем наблюдения.

Перед геофизиками стоит задача, предложить рынку методики проведения высокоплотных работ с увеличением числа каналов в активной расстановке, увеличением максимальных удалений и увеличением количества пунктов возбуждения, с незначительным увеличением стоимости и повышением производительности для сокращения сроков работы.

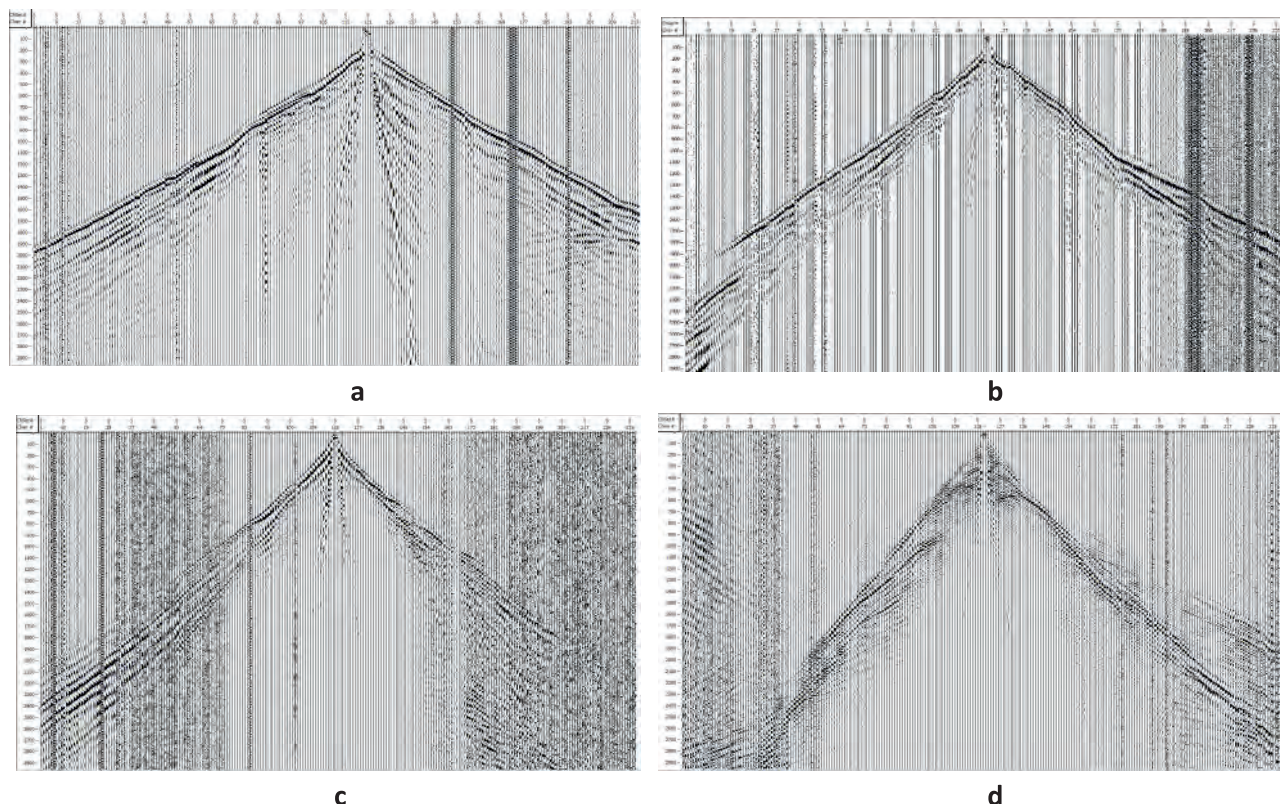
Методики такие есть. Это разработанные за рубежом способы возбуждения (*Свободные вибраторы, flip-flop, slip-sweep, ISS, HFVS, DS3, DS4, xDSS*) и регистрации (*Бескабельные системы*), о чем достаточно много публикаций в профильных журналах. Можно их видоизменить к Российским условиям.

Почему мы не можем?

Несколько причин системного отставания российской сейсморазведки (как исполнителей, так и заказчиков работ):

- Мы не умеем и не хотим меняться;
- Мы неохотно верим в будущее прогресса;
- Мы мало что делаем, чтобы это изменить;
- Мы боимся неудач.

1. Уже достаточно много написано публикаций, в которых затронуты темы необходимых изменений в подходах при планировании проведения сейсморазведочных работ. Нужно использовать новые технологии, новые методики, необходимо изменить подходы к техническим требованиям при проведении работ, к контролю качества. Но чтобы это осуществить, надо оттолкнуться от застарелых регламентов по сейсморазведке, которые фактически являются производной «Инструкции по сейсморазведке» 1986 года.



▲ Рис. 2. Фрагменты сейсмограмм с характерными недостатками, согласно Инструкции 86-го. **a, b** – Отсутствующие подряд каналы по различным причинам **c, d** – Наличие высокоамплитудных микросейсм, мешающих выделению целевых отражений и первых вступлений

К примеру, сегодня процесс проведения контроля качества полученных данных практически повсеместно осуществляется в два этапа:

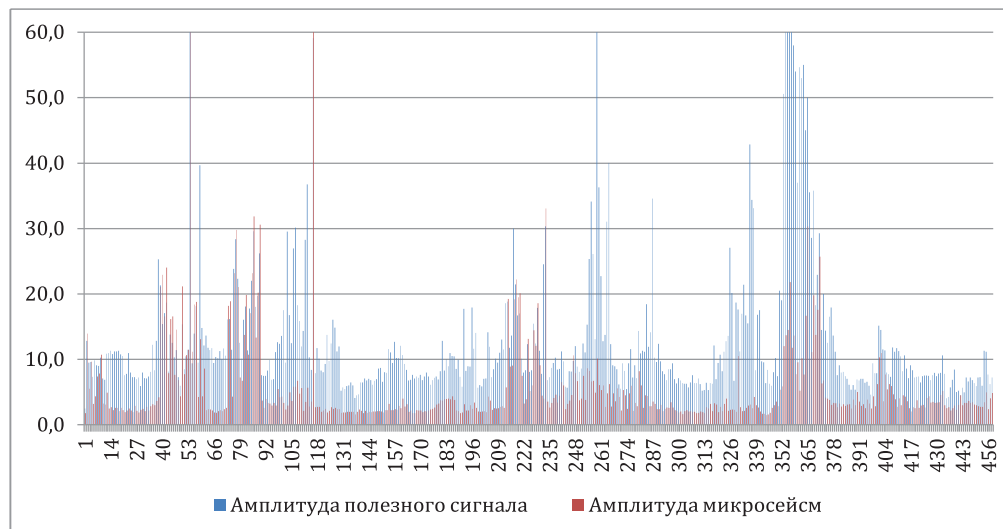
- Геофизиками-операторами во время регистрации данных.
- Геофизиком на полевом ВЦ совместно с представителем Заказчика (супервайзером) по всей совокупности полученных за день материалов.

Основным критерием оценки качества сейсмической записи является расчет количественных атрибутов (амплитуда полезного сигнала, доминантная частота полезного сигнала и амплитуды микро-сейсм в подобранных окнах анализа). В 90% случаях оценка по атрибутам является окончательной. И многие кондиционные данные признаются браком по ряду причин.

Опираясь в работе на **§130 пункты 6,**

10, 12, 13 и §131 пункт 3 Инструкции 86-го года, получить кондиционный материал в современных условиях работ при использовании большого количества каналов в активной расстановке очень сложно. Необходимость сокращать сроки работ для выполнения тех же объемов, порой ставят в тупик исполнителей.

На рисунке 2 приведен ряд фрагментов сейсмограмм с разных участков профиля, полученных при проведении площадных сейсморазведочных работ МОГТ-2D в южных степных регионах России вблизи населенных пунктов. Различные помехи как техногенного характера, так и ветровые, присутствуют на сейсмических записях постоянно. Шаг ПП 25 м, используется 241 канал в активной расстановке. На сейсмограммах (Рис. 2, а, б) можно заметить, что 3 подряд



▲ Рис. 3.
Распределение
амплитуды
полезного
сигнала и
микросейсм
по профилю.

канала не работают, тогда было принято решение не заменять их, а продолжать работу, так как находились они в труднодоступном месте. И времени бы понадобилось на наладку этих 3 каналов до самого утра. Уровень микросейсм из-за наличия по соседству автодороги в дневное время увеличивался в разы, что негативно сказывалось на производительности сейсмоотряда, тормозило выполнение работ. Как минимум 6 пог.км. съемки были отработаны без этих каналов. Согласно §130 пункту 10 Инструкции – данные сейсмограммы являются браком.

На остальных сейсмограммах (Рис. 2, с, d), которые также являются браком, согласно пунктам Инструкции 86-го года, можно заметить высокоамплитудные микросейсм, которые препятствуют выделению, как целевых отражений, так и первых вступлений. Из приведенного графика атрибутов на рисунке 3 можно заметить, что уровень амплитуд микросейсм на некоторых участках профиля сопоставим с уровнем амплитуд полезного сигнала. Это довольно часто встречающаяся картина при современных сейсморазведочных работах.

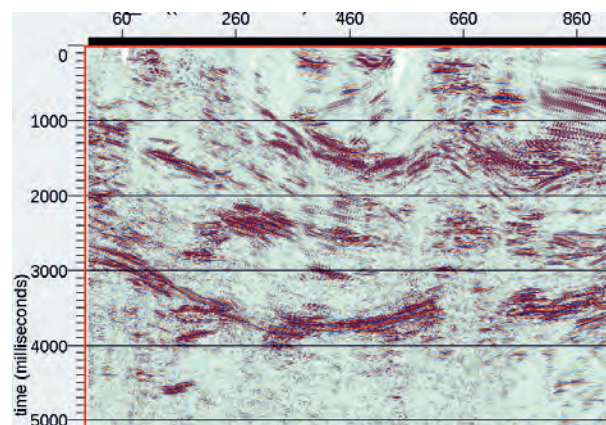
Но технологии обработки сейсмических данных шагнули так далеко вперед, что эти критерии давно перестали быть

невосполнимыми, материал можно обработать до кондиционного уровня и решить поставленные геологические задачи.

На рисунке 4 представлен фрагмент временного разреза, полученного по этим данным.

Таким образом, с учетом увеличивающейся из года в год плотности съемки, надежности аппаратуры, мы видим, что требования, прописанные для другого уровня технологического развития регистрирующих систем, избыточны, и только сдерживают рост производительности, увеличивают требуемые ресурсы и, главное, ведут к увеличению стоимости работ.

▼ Рис. 4. Фрагмент временного разреза, полученного при обработке некондиционных (по условиям Инструкции 86-го) и хорошего качества сейсмограмм



Наименование параметров применяемых технологий	Значения параметров работ в период	Значения параметров работ в период	Значения параметров работ в период	Значения параметров работ в период
МОГТ-2D/3D	1965-1986 гг.	1992-2001 гг.	2003-2011 гг.	2014- по наст. вр гг.
Число используемых приемных каналов	48-96	360 -700	1 800 – 2 500	2 000 - 80 000
Число используемых линий приема	-	4-6	12-16	14-40
Количество активных каналов в линии	24-96	48-72	96-140	96-600
Расстояния между линиями приема	-	350-500	200-300	50-300
Общее число активных каналов в расстановке	-	240-600	1 500-3 500	1 500-30 000
Размер бина, м.	50м.*50 м, 100м.*100м.	50м.*50 м, 100м.*100м.	25м.*50м, 25м.*25м.	3м*6м, 12.5м*12.5м,25м*25м
Количество получаемых сейсмических трасс на 1км ² .	-	80 000-120 000	200 000-300 000	200 000-50 000 000
Количество используемых пунктов возбуждения колебаний на 1км ²	-	25-40	50-80	50-990
Кратность наблюдений	6-24	24-48	48 -72	60 - 300
Объем получаемой полевой сейсмической информации в Тб	0,1-0,15	0,1-0,15	1,0-2,0	1,0-30,0
Общее количество получаемых физ. наблюдений за зимний сезон (90-120 календарных дней)	5000 - 10 000	12 000 - 18 000	25 000 - 35 000	50 000 - 100 000

2. Еще в начале двухтысячных годов, съемка с использованием 5000 каналов была фантастикой, хоть и ощущалось, что скоро этот момент настанет. Не было соответствующих аппаратурных и вычислительных мощностей. Обязательными атрибутами были кассетные магнитофоны. Иметь Flash-память на 28 Мб было многим недоступно. Примеров можно привести массу. Мобильные телефоны сейчас мощнее, чем в 2000 году вычислительные стационарные компьютеры в центрах обработки и интерпретации сейсмических данных.

Приведенный ниже график (Рис. 5) лишний раз подтверждает, что технологии развиваются с такой скоростью, что:

- За период в 11 лет (1992-2003 гг), количество используемых каналов увеличилось ~ в 6 раз;
- А в период следующих 11 лет (2003-2014 гг) – уже увеличилось ~ в 9 раз.

На современных проектах в Мексике, Китае, на Ближнем Востоке системы с канальностью до 100 тыс. шт. становятся нормальной практикой.

К большому сожалению, технический прогресс последних десятилетий приходит к нам из-за рубежа. При этом пока технологии и аппаратура появляются в России они успевают устареть.

Если менеджеры нефтяных Компаний будут готовы на определенный риск применения новых современных технологий, геологические задачи будут решаться лучше, оперативнее и дешевле.

Несомненно, появится желание их развивать непосредственно в нашей стране. Очевидно, что отечественные инженеры-геофизики, аппаратурщики и изобретатели - одни из самых талантливых в мире.

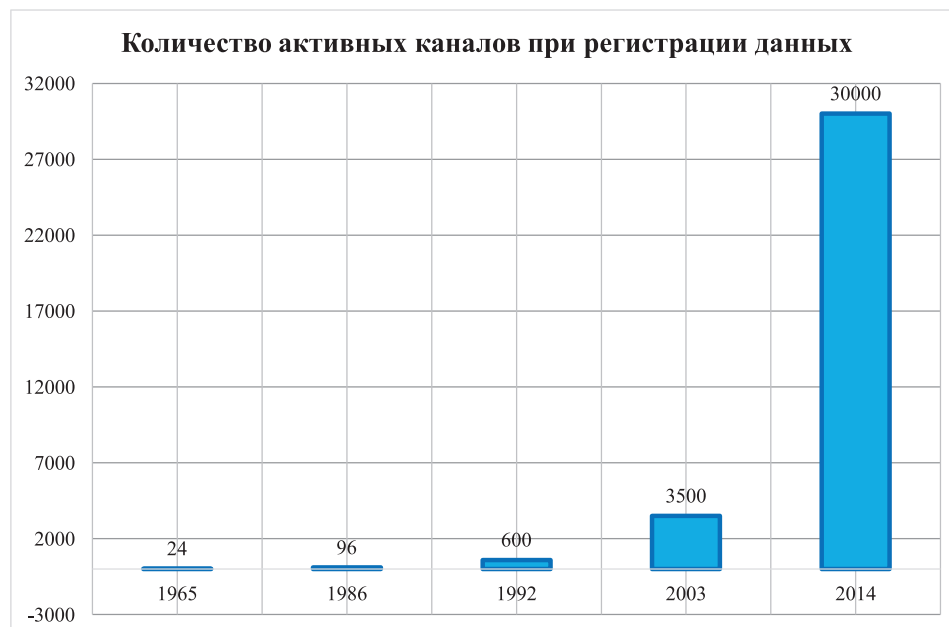


Рис. 5.
График
максимального
используемого
количества
каналов
в активной
расстановке
в течение лет.

Сделано в России!

Отечественные разработки сейсмо-разведочной аппаратуры недооценены и, как следствие, недофинансированы. И пока преждевременно говорить о готовности их для массового внедрения в производство.

Старейшее предприятие СКБ-СП (г. Саратов). Изготавливает кабельные (Прогресс ТЗ) и бескабельные (SCOUT). Создана универсальная кабельно-бескабельная система SCOUT-НТ. Есть целый ряд других перспективных разработок.

Оборудование, производимое в России, успешно используется за границей (Узбекистан, Туркменистан, Казахстан), где эффективно решает геологические задачи. Однако, в нашей стране, используемые сейсморегирующие системы производства СКБ СП, можно посчитать по пальцам одной руки. Сложность массового внедрения заключается в отсутствии больших заказов от сервисных предприятий. Соответственно, при выпуске столь незначительного для рынка России количества каналов, цена его выше ожиданий геофизиков. Добавляет сложности отсутствие элементной

базы, которые закупаются за рубежом. Сложности с программным обеспечением, так как дорогой IT-сегмент в стране организовать в геофизике не получается все по той же причине нестабильности производства, отсутствия крупных заказов и как следствие дефицит финансирования разработок. Детальная информация об изготавливаемом оборудовании изложена на официальном сайте производителя. <http://skbsp.ru/index.php/ru/>

В 2023 году компания «Геосейс» представила рынку бескабельную систему «Геотом», позволяющую удаленно управлять всей расстановкой, контролировать состояние каждого блока, видеть уровень шумов. Если к этому добавить интересное решение в части энергообеспечения блоков «Геотом», позволяющее работать без замены батарей весь сезон, то можно говорить об уникальности именно российской аппаратуры.

Регистрирующая аппаратура «ГЕОТОМ» находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации. Это новое на рынке оборудование. Ответ «Почему не можем», поднятый выше, однозначен, - потому что боимся неудач. Первопроходцы всегда несут основное бремя рисков



▲ Рис. 6. Геотом – сделано в России!

внедрения новаций. Проще пользоваться чьим-то опытом, а не набирать свой. АО «Башнефтегеофизика» выгодно отличается от многих участников рынка, стараясь выработать свое мнение к новым технологиям и оборудованию, видя в том серьезное конкурентное преимущество. Компания уже провела тестирование системы «Геотом» на Таймыре, сделав следующие выводы [3]:

1. Система «Геотом» работоспособна!
2. Данные, зарегистрированные «SERCEL» и «ГЕОТОМ», идентичны!

И... добавляет, что необходима доработка в части тестов, контроля. И внедрение возможно только после этого. По сути, опять попадаем в шоры Инструкции 1986 г. в части контроля аппаратуры и материала.

Далее, при внедрении в производство, все риски возложат на производителя и исполнителя. Появятся пункты договора, что если не нравится, заменить на SERCEL. Если не понравится качество, за свой счет все переработать и заплатить штраф.

Готовое решение для геофизиков и нефтяников недооценено и не востребовано в должной мере. Обратиться за поддержкой к Заказчикам, вероятно можно с дальнейшими издержками,

поделиться интеллектуальной собственностью, дать эксклюзивные права, как пример. Это тот же «неравный брак» как описано в статье «Смертельные качели для рынка сейсморазведки» [4].

Еще недавно мы только мечтали о бескабельных технологиях, которые сейчас стали реальностью. И если в мире число бескабельных каналов сегодня уже больше количества применяемых кабельных каналов, то в России примеры использования бескабельных систем можно пересчитать по пальцам одной руки. К нодальным системам относятся с недоверием, опасаясь, что из-за средств связи «нодов» может получиться сбой, непишущий канал, и, возвращаясь к «современным» инструкциям, будет получен брак, который на самом деле является кондиционным и информативным материалом.

Многие при проведении сейсморазведочных работ боятся зашумленности сейсмических записей, забывая на сколько ушли сейчас вперед в этом вопросе современные алгоритмы обработки данных. И главное на сколько быстро позволяют провести необходимые процедуры имеющиеся вычислительные мощности. А если добавить к этому высокоплотные данные, шумы на профиле не

играют той роли, которая была при методиках прошлого века (речь идет о высокоплотных съемках, которые пока в России не проводятся).

Цена риска

Все изменения в отрасли, необходимость которых очевидна, не происходят только из-за человеческого фактора, как заказчиков, так и исполнителей работ. Если нефтяные компании начнут планировать на долгосрочный период 10-15-20 лет, риски неудач в краткосрочной перспективе могут увеличиться, но и выгода будет значительно выше в долгосрочной перспективе. Говоря о новых технологиях в сейсморазведке, об увеличении ее роли в поиске нефти и газа, ее точности, о скорости выполнения и экономической чувствительности для каждого отдельного проекта, можно спроецировать этот бизнес на простые, отработанные десятилетиями стратегии получения доходов от вложения в бизнес.

В статье [4] уже описывалось предложение механизма оценки доходности геологоразведочных работ. Рисунок 7 лишь доказывает, что при оценке по среднему за 3 года (возможно и больше) поддержание уровня геологоразведочных работ на постоянном или периодически увеличивающемся уровне, прирост запасов постоянно повышается. В свою очередь, за промежутки в несколько лет (3-4-5 лет и более) проходит уточнение по категорийности запасов, сейсморазведоч-

ные данные попадают под переработку, уточнение и переинтерпретацию. Это все дает многократную эффективность сейсморазведки в долгосрочной перспективе не только для компании, но и для экономики и ресурсной базы страны.

В разные периоды времени сейсморазведка будет в любом случае необходимой и прибыльной для недропользователя, так как именно она восполняет и увеличивает ресурсы относительно накопленной добычи. А применение новых технологий, которые так необходимы, будут повышать ее эффективность.

Ну и, конечно, главным тормозом внедрения технологий остается страх потерпеть неудачу, получить сейсмические данные, не соответствующие ожиданиям. И это опасение понятно. Специфика бизнеса в России такова, что порой бьют даже победителей.

Выводы:

Пусть «Инструкция по сейсморазведке» 1986 года останется Азбукой. Новые «учебники» надо писать под задачи и технологические возможности сегодняшнего дня. Необходимо каждый проект рассматривать индивидуально, под геологические задачи в конкретном регионе работ, исходя из условий ведения работ, технологической и организационной готовности потенциальных исполнителей. Техническое задание проекта должно стать главным документом, в котором определяются все требования к

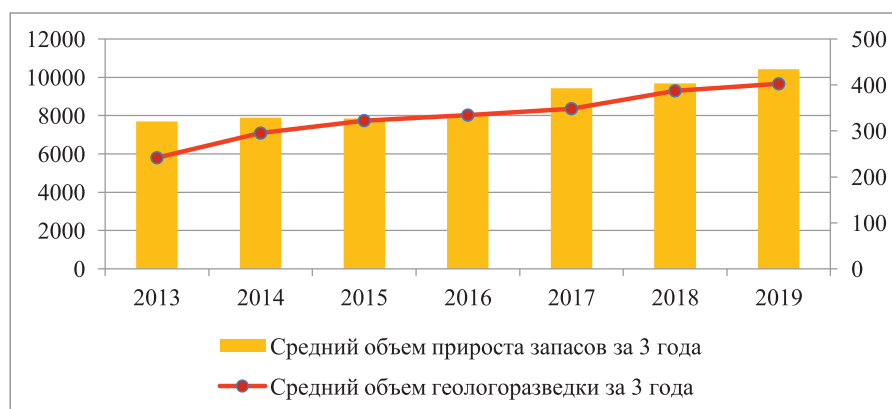


Рис. 7. График сопоставления прироста запасов с объемами проводимой геологоразведки (МОГТ-3D).

(Данные взяты из открытых источников ПАО «НК «Роснефть». Из анализа данных был исключен кластер «Восток Ойл»).

технологиям и контролю качества ведения работ.

Внедряя альтернативные методики оценки полевых сейсмограмм, одним из примеров которых может служить расчёт «Спектрально-взвешенного соотношения сигнал/микросейсмы», разработанный и запатентованный в АО «Башнефтегеофизика» [5].

Заказчику необходимо тщательно готовить техническое задание на проведение работ, оценивая имеющееся оборудование на рынке, с точки зрения вариативности возможных предложений Исполнителей.

Необходимо качественно подходить к определению рисков при проведении СРР новыми методами, определяя достаточный минимум задач, которые будут решены в любом случае.

Поддержать производителей сейсморазведочного оборудования на Государственном уровне или во взаимовыгодном партнерстве с крупными Заказчиками, финансово и гарантиями заказов.

До проведения тендера, по каждому проекту, проводить с потенциальными исполнителями круглые столы по обсуждению методики проведения работ и способах их исполнения.

Необходимо разработать физическую величину, которая будет определять эффективность сейсморазведочных работ, что существенно упростит задачу геологам по обоснованию постановки работ и определению величины их финансирования.

Ни в коем случае нельзя снижать темпы изучения территорий Российской Федерации сейсморазведочным методом, остающимся наиболее эффективным методом восполнения и прироста ресурсного потенциала страны!

«Лучший способ предсказать будущее — создать его сегодня». (Авраам Линкольн).

Литература:

1. Инструкция по сейсморазведке. Л, 1986, Министерство Геологии СССР.
2. Тиссен А. А., «Революция сейсморазведки в эпоху «ГЕОТОМ», «Приборы и системы разведочной геофизики», №2 (77), 2023 г.
3. Гафаров Р.М., Сибгатуллин А. А., «Геотом» вызывает Таймыр – об испытаниях российского оборудования в компании «Башнефтегеофизика», «Приборы и системы разведочной геофизики», №2 (77), 2023 г.
4. Жужель В.С., «Смертельные качели для рынка сейсморазведки», «Приборы и системы разведочной геофизики», № 2 (65), 2020 г.
5. Гафаров Р.М. Методика оценки полевых сейсмических данных на основе атрибута «Спектрально взвешенное отношение сигнал/микросейсмы», доклад на II Международной научно-практической конференции 13-14 октября 2022г, г.Уфа.

Подробнее об авторах



Жужель
Виктор Сергеевич
ФГБУ «ВНИГНИ»



Жужель
Андрей Сергеевич
АО «Башнефтегеофизика»
к.т.н.



Натеганова (Жужель)
Татьяна Сергеевна
геофизик