

УДК 550.834

**РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ
В ТРАНЗИТНЫХ ЗОНАХ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**
IMPLEMENTATION OF SEISMIC SURVEY TECHNOLOGIES WITHIN
TRANSITION ZONES OF THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

В. И. Кузнецов, Ю. Н. Долгих
V. I. Kuznetsov, Yu. N. Dolgikh

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень
ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень

Ключевые слова: 3D-сейсморазведка; донные косы; аппаратурно-методический комплекс; верхняя часть разреза; геолого-экономическая эффективность
Key words: 3D seismic survey; seafloor cables; hardware-methodological complex; upper part of the section; geological and economic efficiency

Сейсмические исследования в зонах перехода от суши к морю (прибрежных территориях [1]), включающие в себя элементы как морских, так и сухопутных работ, являются, по меткому выражению одного из исследователей, последним рубежом сейсморазведки [2], то есть наиболее высокотехнологичным видом геофизического сервиса, требующим применения самых современных технологий полевых работ и обработки — интерпретации данных [3–5].

Прибрежные территории Арктического региона имеют стратегическое значение с точки зрения прироста ресурсной базы углеводородов (УВ) России. Общая площадь мелководных (0–20 м) участков нашего северного шельфа составляет порядка 700 000 км², в том числе 130 000 км² приходится на предельное мелководье. Заметим, что речь идет о территориях с высокими перспективами нефтегазоносности (по экспертным оценкам — до 25 % общих прогнозных запасов УВ Арктических морей).

Месторождения прибрежных территорий российского Севера наиболее доступны для поисково-разведочного бурения и эксплуатации нефтегазовых резервуаров, не требуют протяженных морских трубопроводов и громоздких свайных оснований, что может сделать рентабельной разработку даже сравнительно мелких месторождений.

Долгосрочная ориентация на поиск и разведку месторождений УВ этих территорий выгодней, чем соответствующие исследования на шельфе, поскольку себестоимость конечного продукта с учетом всех значимых затрат (на снабжение, оплату труда, строительство инфраструктуры, энергообеспечение, транспортировку и т. д.) будет заведомо обеспечивать рентабельную добычу при сохранении текущих мировых цен на нефть.

Построение точных и достоверных сейсмогеологических моделей месторождений прибрежных территорий северных районов России является актуальной проблемой, рассматривать которую необходимо в рамках комплексного подхода, включающего все основные стадии процесса геологоразведки — от проектирования полевых работ до геологического моделирования месторождений.

Главными составляющими упомянутого комплексного подхода к построению точных и достоверных сейсмогеологических моделей месторождений, рассматриваемыми в рамках настоящей работы, являются оптимизация и регламентация технологии полевых сейсморазведочных работ на прибрежных территориях; комплексная адаптивная технология кинематической инверсии сейсмических данных, применимая к поверхностным и глубинным условиям северных районов.

К недостаточно изученным сейсмическим методом прибрежным территориям Западной Сибири все вышесказанное относится в самой полной мере.

В настоящее время существует множество методически и технологически различающихся подходов к использованию сейсмических данных и моделей для целей геологической интерпретации.

При этом очевидна тенденция, что в относительно простых поверхностных и глубинных условиях геологические модели, построенные на основе сейсмических, подтверждаются последующим бурением гораздо лучше, чем в условиях более сложных, особенно при наличии неоднородной верхней части разреза (ВЧР). В последнем случае геологические риски поисково-оценочного бурения особенно велики.

Основная причина в том, что при проектировании исследований руководствуются не объективными количественными критериями качества результатов (точности, разрешающей способности), а субъективными критериями оптимальности соотношения стоимости и качества работ, формулировками вроде: «должно быть обеспечено решение геологической задачи» или «достигнуто оптимальное соотношение точности, разрешающей способности и отношения сигнал/помеха».

И когда по итогам последующего бурения геологическая модель или перспективный объект не подтверждаются, то это всегда объясняют вполне объективными причинами: «это естественная погрешность метода»; «такая точность не могла быть обеспечена в рамках примененной методики полевых работ»; «качество и достоверность первичной сейсмической информации были недостаточны для решения поставленных геологических задач».

Такая ситуация, с одной стороны, вполне закономерна, но с другой — совершенно неприемлема, поскольку создает у владельца недр впечатление, что сейсмический метод не способен решать тонкие геологические задачи, что совершенно не так, поскольку вопрос лишь в том, какая методическая реализация сейсмической съемки для этого необходима.

Одной из наиболее существенных методических проблем, связанных с проведением сейсморазведочных работ в транзитных зонах Арктического региона, является искажающее влияние неоднородной верхней части разреза (ВЧР) на кинематические и динамические параметры волнового поля, вследствие чего возникают существенные, зачастую почти непреодолимые препятствия для восстановления амплитуд отраженных волн и глубинно-скоростной модели (ГСМ) разреза. Связано это с кардинальными отличиями физического состояния и отчасти литологии пород ВЧР на суше и мелководье. На суше мы имеем в ВЧР относительно консолидированную песчано-глинистую толщу, находящуюся в основном в мерзлом состоянии, включая самый близкий к дневной поверхности слой — зону пониженных скоростей (ЗПС). При этом пониженными скорости в верхнем слое ВЧР являются весьма условно [5], это порядка 1 000–2 200 м/с в слое, непосредственно прилегающем к дневной поверхности, и 2 200–4 500 м/с в подстилающем слое (что благоприятствует условиям возбуждения волн). Толща многолетнемерзлых пород (ММП) распространяется до глубин в сотни метров, является весьма и часто труднопредсказуемо изменчивой по горизонтали и вертикали. При приближении к береговой линии мощность мерзлого слоя резко уменьшается почти до нуля, что приводит к огромным (сотни мс во временах и сотни м/с в скоростях суммирования) искажениям кинематических параметров съемок на суше и в акватории (рис. 1).

При работе с пневмопушками и донными косами в мелководных акваториях условия возбуждения и приема волн в общем случае всегда неблагоприятны. Особенно неблагоприятной является ситуация, когда донные осадки представлены насыщенными пузырьками газа илами [6].

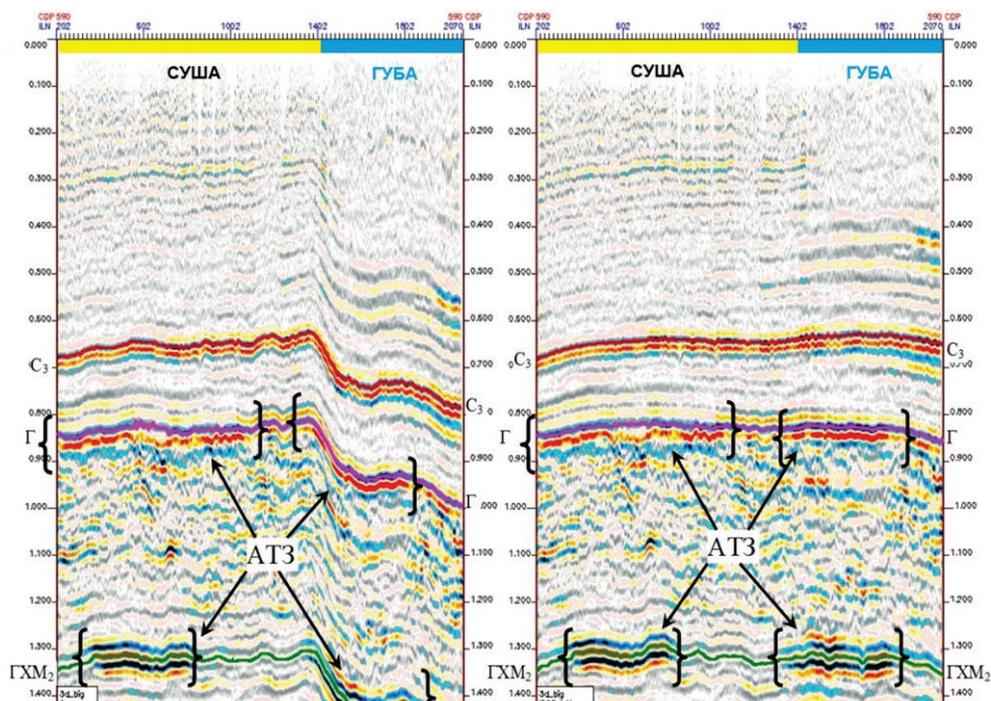


Рис. 1. Сравнение временных разрезов до (слева) и после (справа) учета неоднородностей верхней части разреза

Если на суше необходимую дополнительную информацию о параметрах самого верхнего слоя ВЧР можно получить за счет проведения специализированных многоуровневых исследований [5] (МСК, МОВ-микроОГТ, МПВ-микроОГП), то в акватории приходится довольствоваться исключительно той информацией, которую можно извлечь из сейсмограмм стандартных систем, не ориентированных на изучение объектов ВЧР и поэтому по определению дефицитных.

Особенно недостает информации о скорости в слое между дном и первой преломляющей границей, который часто как раз и включает упомянутые выше газонасыщенные илы.

С учетом больших величин временных задержек, обусловленных влиянием донных отложений, неучет изменений скорости в слое может привести к существенным ошибкам результативной ГСМ, что является критичным для малоамплитудных перспективных объектов.

Проблемы, связанные с изучением ВЧР и построением ГСМ разреза (включая модель ВЧР), могут быть решены на основе использования комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии сейсмических данных.

Принципиальная блок-схема упомянутой комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии приведена на рисунке 2.

Схема состоит из трех блоков, все основные элементы которых находятся в соответствии с точки зрения глубинности изучаемых объектов, а также методов и этапов их исследований. В основе схемы — последовательный (сверху вниз) подход к изучению и построению ГСМ разреза, характерный для практики многоуровневых сейсмических исследований.

Группа компаний ПАО «НОВАТЭК» имеет положительный опыт решения обозначенных выше проблем. Эффект достигается за счет применения комплексного подхода к проектированию, выполнению, обработке и интерпретации сейсмических исследований прибрежных территорий северных районов.

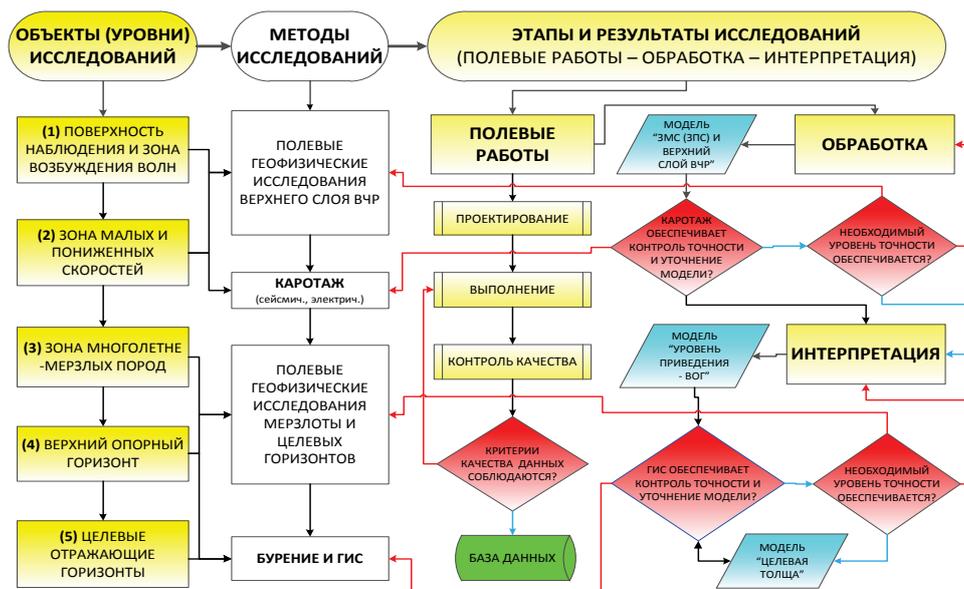


Рис. 2. Принципиальная блок-схема комплексной адаптивной технологии кинематической инверсии данных МОБ-ОГТ в условиях неоднородной верхней части разреза

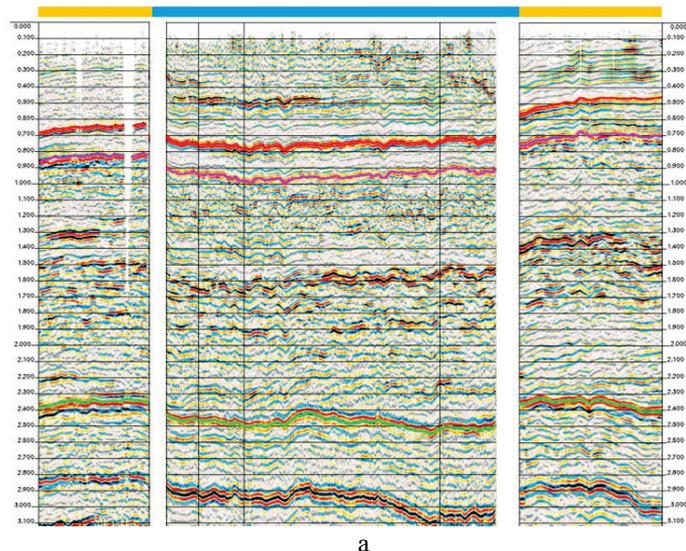
На этапах проектирования и выполнения работ комплексность состоит во многовариантности используемых в прибрежной зоне технических средств: различных источников сейсмических сигналов (пневмоисточников, импульсных и взрывных источников), различных сейсмических приемных устройств (многокомпонентных групп геофонов и гидрофонов). Для взаимной увязки сейсмических данных, полученных разными техническими средствами, предусматривается необходимое перекрытие наблюдений.

На этапе обработки и интерпретации данных комплексный подход состоит в использовании принципов и информации многоуровневых сейсмических исследований, раздельном последовательном подходе к изучению (учету) основных неоднородностей ВЧР (факторов рельефа, ЗМС и мерзлоты) и построению ГСМ разреза, включающей модель ВЧР.

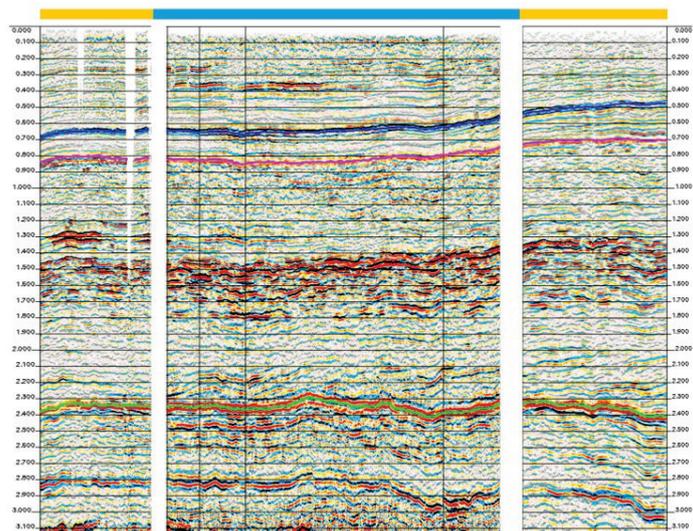
Первый опыт работ в условиях предельного мелководья был приобретен в Тазовской губе в пределах Юрхаровского лицензионного участка. В акватории Тазовской губы сосредоточено 90 % запасов Юрхаровского месторождения.

На рисунке 3 показан проходящий через Тазовскую губу широтный композиционный разрез (данные 2D прошлых лет) по направлению «левый берег — губа — правый берег» до и после учета неоднородностей ВЧР, иллюстрирующий искажения волновой картины, связанные с наличием толщи многолетнемерзлых пород (ММП) на суше и зоной растепления под водоемом, и различия в качестве данных сухопутной и морской сейсморазведки при стандартной постановке полевых работ и обработки.

На первом этапе были выполнены летние полевые сейсморазведочные работы 3D в акватории Тазовской губы по разработанной технологии отработки транзитных зон. Поскольку, согласно технологии, часть приемной расстановки располагалась на берегу, использовались двухкомпонентные (геофон + гидрофон) донные косы для водной среды и болотные сеймоприемники для суши в варианте телеметрического приема. Для возбуждения сейсмических сигналов использована группа воздушных пушек.



а



б

Рис. 3. Широтный композиционный разрез по направлению «левый берег — губа — правый берег» до (а) и после (б) учета неоднородностей верхней части разреза

Минимальная глубина, на которую могло заходить судно с источником сейсмических колебаний, составляла 1,5 м, что обусловило наличие значительных зон набора кратности. Для уменьшения площади таких зон в прибрежной зоне проводилось сгущение линий пунктов возбуждения, что позволило, кроме этого, существенно повысить окончательную кратность накопления по ОГТ (местами – до двухсот) и, соответственно, увеличить соотношение сигнал/помеха. Следует отметить, что, несмотря на все предпринятые меры, качество материалов в акватории губы существенно уступало наземным данным как по соотношению сигнал/помеха, так и по частотному составу и уровню шумов. Связано это было в первую очередь с отсутствием на тот момент специализированного сейсмического источника колебаний для условий мелководья (использовалась группа достаточно хороших источников, но для стандартных морских работ с глубиной водной толщи не менее 6 м).

Отмечается пониженное качество регистрации в наземной части расстановки, что связано с ветровой помехой и условиями летней установки приборов.

Специфические климатические условия района проведения работ позволили уже через три месяца реализовать стыковочные зимние работы по технологии транзитных зон. Технология предусматривала максимальный выход приемной расстановки на лед. Для возбуждения волн применялись взрывы в скважинах, что позволило получать данные высокого качества.

На участках водоохраных зон и охранных зон газопроводов, где запрещено применение взрывов, были использованы невзрывные импульсные электродинамические источники «Енисей». Эти источники выходили на лед в случае промерзания воды до дна. При наличии водного слоя работы не проводились из-за требований безопасности и резкого ухудшения соотношения сигнал/помеха. Приемные линии и линии возбуждения располагались с перекрытием или с продолжением по отношению к линиям приема и возбуждения летних работ, что позволило получить полное перекрытие по коврам кратности летних и зимних работ.

На рисунке 4 приведен пример полевых сейсмограмм общего пункта возбуждения (ОПВ) зимних транзитных работ в сухопутной части Юрхаровского месторождения. Параметры возбуждения группы невзрывных источников определялись опытным путем. Отмечаются закономерное ухудшение качества данных по сравнению с взрывным источником, а также наличие сильной волны-помехи при возбуждении и регистрации на льду.

Очевидно, следует учесть опыт работ в канадской Арктике и рекомендовать на будущее делать распилы льда со стороны приемной расстановки.

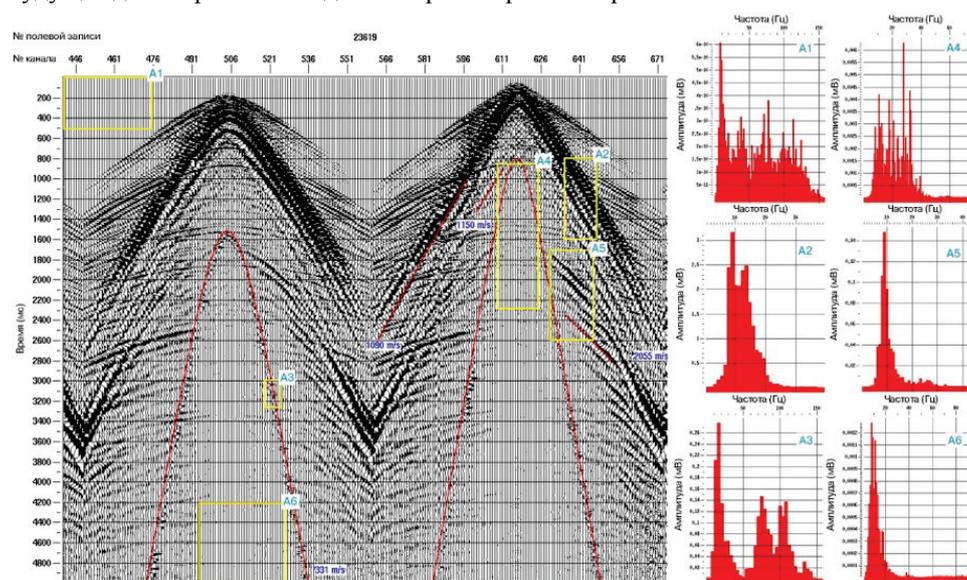


Рис. 4. Пример полевых сейсмограмм общего пункта возбуждения зимних транзитных работ в сухопутной части Юрхаровского месторождения

В результате проведенных зимних работ получен массив данных с номинальной кратностью 42 и размером бина также 25 x 25 м.

Фактическое результирующее поле пунктов приема (ПП) и возбуждения (ПВ) летне-зимних работ приведено на рисунке 5.

Уже на стадии предварительной обработки и учета ВЧР по данным этих летне-зимних работ был получен вполне кондиционный, без признаков каких-либо швов и прочих сопутствующих разнородным данным проблем, предварительный временной 3D-куб (рис. 6).

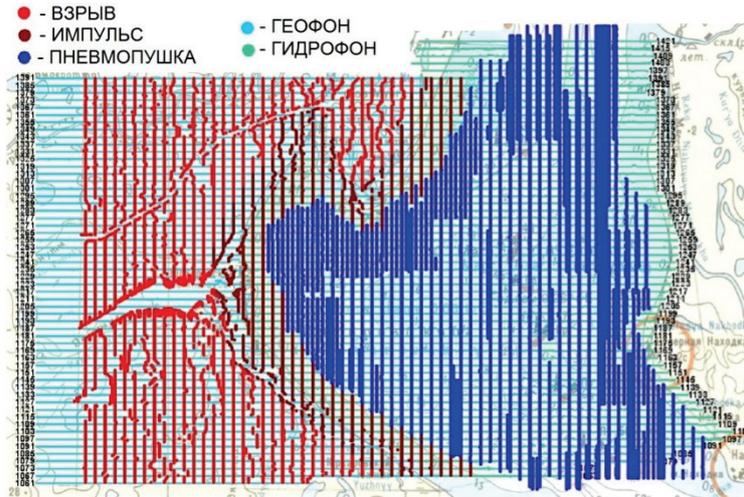


Рис. 5. Схема расположения пунктов приема и возбуждения

После применения всего комплекса методических приемов стандартной обработки, включающего в себя фазочастотные коррекции, обработку с сохранением истинных соотношений амплитуд, учет дефицита скоростей за счет отсутствия зоны ММП под акваторией Тазовской губы, компенсацию средне- и высокочастотных аномалий в ВЧР, удалось получить временной куб достаточно хорошего качества.

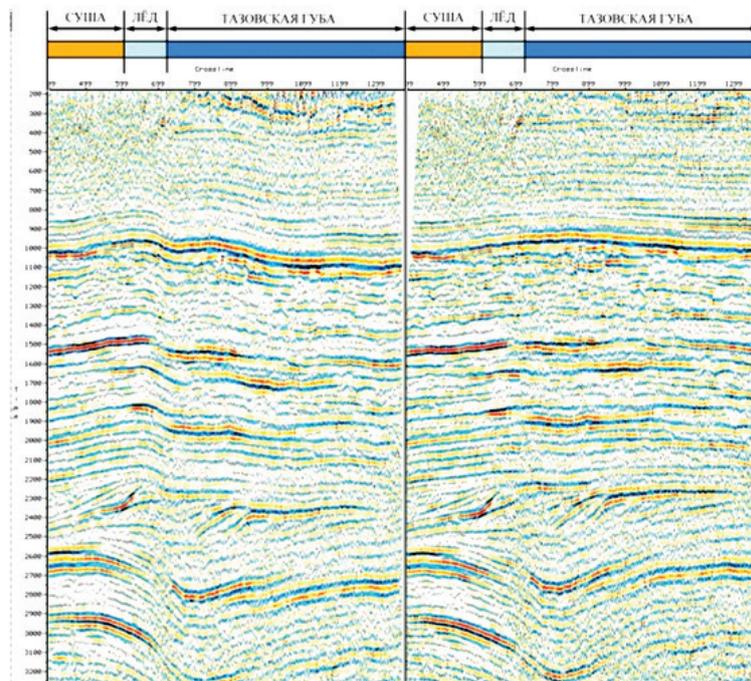


Рис. 6. Предварительный временной разрез по широтной линии куба до (слева) и после (справа) учета верхней части разреза

Показан пример временного (рис. 7) и глубинного (рис. 8) разрезов через наземную и морскую части Юрхаровского месторождения. Как видно из рисунков, почти не заметна линия перехода суша — море (показана вертикальной линией),

то есть при обработке удается скомпенсировать значительную часть неоднородности полевого материала и добиться динамической выразительности.

Наиболее яркий структурный элемент на сейсмическом временном разрезе — это так называемая инверсионная структура в нижнемеловом и юрском интервалах. На самом деле этот элемент волновой картины связан с низкоскоростными аномалиями, которые, в свою очередь, обусловлены наличием залежи УВ и зон аномально высоких пластовых давлений (АВПД) в нижнемеловом интервале геологического разреза. При корректном пересчете в глубинный масштаб инверсионный элемент полностью компенсируется скоростями.

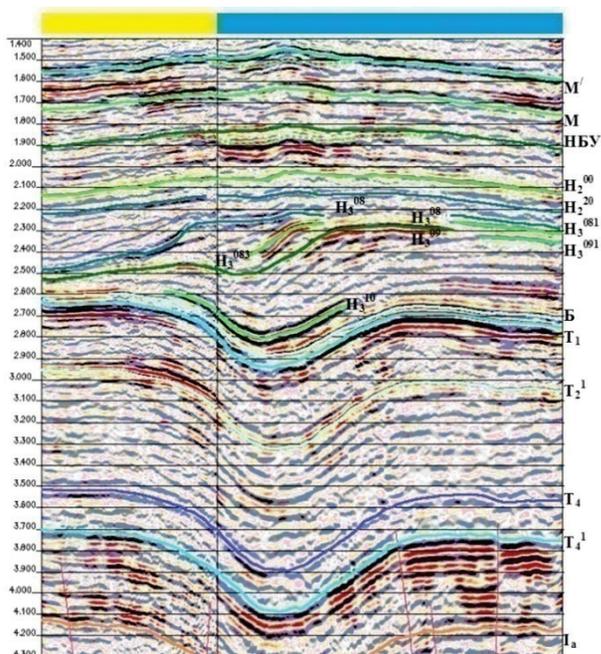


Рис. 7. Фрагмент окончательного временного разреза по широтной линии куба в зоне перехода суша — губа

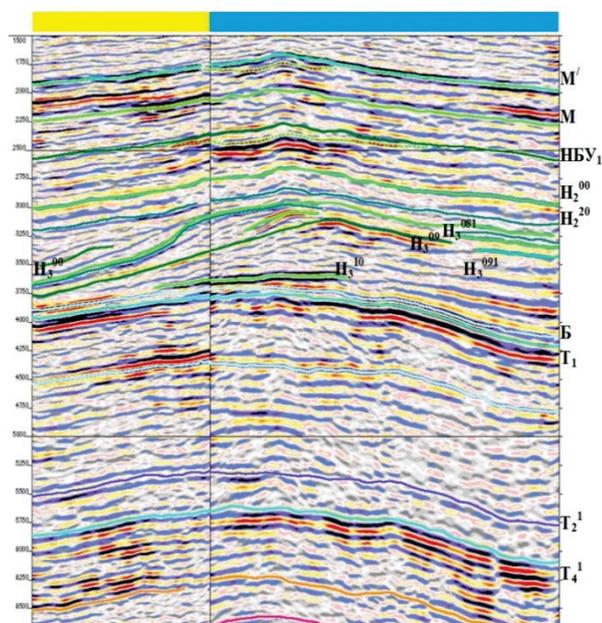


Рис. 8. Фрагмент окончательного глубинного разреза по широтной линии куба в зоне перехода суша — губа

Апробированный на Тазовской губе комплекс летне-зимних работ для условий транзитных зон севера Западной Сибири позволяет решать проблемы транзитных зон для этого региона с получением материалов 3D-сейсморазведки высокого качества.

К настоящему времени на основе полученного опыта проведены подобные работы в северо-восточной, акваториальной части Южно-Тамбейского лицензионного участка в Обской губе, в морской и транзитной частях Геофизического лицензионного участка, на новых Северо-Обском (исполнитель «Южморгеология») и Няхартинском (исполнитель «Донгеофизика») участках недр. В полной мере осуществлен переход на отечественное оборудование для возбуждения и регистрации сейсмических волн (система XZone® Marsh Line).

Этот опыт может быть использован другими компаниями и распространен на другие участки (например, на акватории многочисленных озер, находящихся на территории Западной Сибири).

Позиции, наиболее принципиальные для оптимизации технологии полевых сейсморазведочных работ в прибрежных зонах.

- Отработку площади, включающей транзитную зону, целесообразно проводить в два полевых сезона (лето — зима либо наоборот зима — лето) — в рамках заранее спланированного технологического цикла.
- Частотные характеристики всех элементов оборудования приемно-регистрирующего тракта должны быть известны и учитываться в процессе спектральной обработки.
- Необходимо единообразие графа кинематической и динамической обработки, единообразие методической схемы изучения и учета ВЧР.
- Система наблюдений в переходной зоне должна обеспечивать единообразие бинов, диапазонов удалений, азимутальных характеристик съемок.
- Необходимо добиться идентичности погрешностей топогеодезической привязки ПП и ПВ в плане и по высоте (особенно в случае использования GPS).
- Линии приема в акватории целесообразно ориентировать перпендикулярно береговой линии, с выходом ПП на сушу на расстояние, необходимое для полноценной увязки с данными сухопутной сейсморазведки.
- Пункты возбуждения со стороны суши и акватории должны подходить максимально близко к береговой линии, а линии возбуждения — отрабатываться максимально полноценно, с минимумом вынужденных сгущений и пропусков.
- В каждой отличающейся по условиям возбуждения — приема зоне транзитного участка (суша, прибрежная полоса, предельное мелководье, мелководье, малые глубины) необходимо использовать оптимальный для специфики данной зоны источник колебаний (взрыв в стандартной или мелкой скважине; вибрационный/импульсный поверхностный источник; одиночные/групповые пневмоизлучатели, ориентированные на разные глубины).
- Все осложняющие технологический процесс обстоятельства должны быть установлены заранее и учтены при отработке (наличие природоохранной зоны, в которой запрещено использование ВВ, ограничения по глубине для судов-раскладчиков и судов, транспортирующих источники).
- Внутренняя логистика сейсмопартии должна обеспечивать оперативное перемещение персонала, технических руководителей, супервайзеров и ИТР в пределах всех значимых с точки зрения производственного процесса точек и объектов (судно обеспечения, наземная база, сейсмостанция и т. д.).
- Система сбора полевых данных в транзитной зоне должна поддерживать как линейные, так и телеметрические системы, комбинировать разнородные приемные устройства, подключаемые к одной регистрирующей станции, при этом регистрировать информацию на один носитель.

• Весьма актуальным является дополнение аппаратурно-методического комплекса сейсморазведки прибрежных зон отдельной автономной приемно-регистрающей системой с малым (1–2 м) шагом приемных каналов для изучения слоя донных отложений.

Таким образом, представленная комплексная технология сейсмических исследований прибрежных территорий российского Севера позволяет повысить качество и информативность исходных полевых материалов, обеспечить получение точных и достоверных геологических и гидродинамических моделей месторождений, и, как следствие, увеличить экономическую эффективность работы нефтегазовых компаний.

Прямой экономический эффект данной технологии обусловлен долгосрочным повышением коэффициента успешности геолого-разведочных работ, что влечет за собой сокращение затрат на неэффективное бурение поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин.

Библиографический список

1. Шнейерсон М. Б., Шехтман Г. А. Элементы технологии сейсморазведки в транзитных зонах // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – № 1. – С. 5–9.
2. Mougenot D. Транзитная зона: последний рубеж сейсморазведки // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – № 1 – С. 10–13.
3. Гуленко В. И., Шумский Б. В. Технологии морской сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитной зоне: моногр. – Краснодар: КубГУ, 2007. – 112 с.
4. Жгенти С. А. Исследование и развитие технико-методических приемов сейсморазведки на предельном мелководье акваторий: дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 2009. – 148 с.
5. Долгих Ю. Н. Многоуровневая сейсморазведка и кинематическая инверсия данных МОВ-ОГТ в условиях неоднородной ВЧР. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2014. – 212 с.
6. Особенности результатов морских сейсмических работ в Карском море / С. В. Колесов [и др.] // Технологии сейсморазведки. – 2010. – № 4. – С. 77–85

Сведения об авторах

Кузнецов Владислав Иванович, д. г.-м. н., профессор кафедры прикладной геофизики, Тюменский индустриальный университет, заместитель генерального директора по науке, ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень, тел. 89220798504, e-mail: vikuznetsov@novatek.ru

Долгих Юрий Николаевич, к. т. н., ученый секретарь, ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень, тел. 89088771105, e-mail: YNDolgikh@novatek.ru

Information about the authors

Kuznetsov V. I., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Applied Geophysics, Industrial University of Tyumen, Deputy Director General for Science, LLC «NOVATEK NTC», Tyumen, phone: 89220798504, e-mail: vikuznetsov@novatek.ru

Dolgikh Yu. N., Candidate of Engineering, Scientific Secretary, LLC «NOVATEK NTC», Tyumen, phone: 89088771105, e-mail: YNDolgikh@novatek.ru

УДК 550.361:553.98(571.1)

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В ЗАЛЕЖАХ МАЛЫШЕВСКОГО ГОРИЗОНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА TEMPERATURE IN THE DEPOSITS OF MALYSHEV HORIZON OF WEST SIBERIAN SEDIMENTARY BASIN

А. Р. Курчиков, В. А. Казаненков, А. Г. Плавник, М. Н. Шапорина

A. R. Kurchikov, V. A. Kazanenkov, A. G. Plavnik, M. N. Shaporina

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск

Ключевые слова: Западно-Сибирский осадочный бассейн; тюменская свита; малышевская свита; залежи углеводородов; фазовое состояние залежей

Key words: the West Siberian sedimentary basin; Tyumen suite; Malyshev suite; hydrocarbon deposits; phase state of the deposits