

## Комплексная методика прогноза газонасыщенных коллекторов нижеберезовской подсыты севера Западной Сибири по данным ГИС и сейсморазведки

Д.А. Данько\* (Губкинский университет), А.В. Шубин (Губкинский университет), И.Д. Горбунов (ООО "Газпром добыча Ноябрьск"), Е.Г. Абарбанель (ООО "Газпром ВНИИГАЗ")

### Введение

В настоящее время ряд крупнейших газовых месторождений севера Западной Сибири находятся на стадии падающей добычи, что критически важно для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации и социально-экономического развития региона. В этих условиях приоритетным направлением исследований становится выявление новых газовых залежей на уже эксплуатируемых месторождениях.

Наибольший научно-практический интерес в рассматриваемом регионе представляют сенонские глинисто-кремнистые отложения, характеризующиеся многочисленными газопроявлениями и слабодобитными газовыми притоками. Детальное изучение литолого-петрофизических свойств пород сенонской толщи имеет стратегическое значение для оценки перспектив доразработки месторождений с истощенными запасами сеноманских газоносных отложений. Использование существующей промышленной инфраструктуры позволит минимизировать капитальные затраты на инфраструктуру месторождения, обустройство скважин и транспортировку добываемого газа.

Для оценки возможности прогноза потенциально-перспективных газонасыщенных объектов в интервале нижеберезовской (НБ) подсыты по скважинным исследованиям и данным сейсморазведки, была предложена и опробована методика, включающая в себя современные подходы петроупругого моделирования, машинного обучения и сейсмической интерпретации.

В результате опробования предложенной методики были получены кубы коэффициента газонасыщения, пористости, объемные содержания кремнистых и глинистых минералов, динамический индекс хрупкости (ДИХ) пород с учетом осложняющего фактора газонасыщения, а также вероятности разрывных нарушений, не связанные с нижележащей газонасыщенной залежью сеноманских отложений.

### Методика

Апробация разработанной методики проводилась на тестовом участке Вынгайхинского месторождения площадью 255 км<sup>2</sup>, охарактеризованном данными сейсморазведки МОГТ 3D и результатами геофизических исследований скважин (ГИС) по 6 скважинам. Несмотря на высокую плотность разбуривания, турон-сенонские отложения Вынгайхинского месторождения остаются недостаточно изученными в части коллекторских свойств и перспектив газоносности. Аналогичная ситуация характерна для большинства месторождений севера Западной Сибири, за исключением Надым-Пур-Тазовского региона, где детальные исследования представлены, в основном, на Медвежьем газовом месторождении [1, 2].

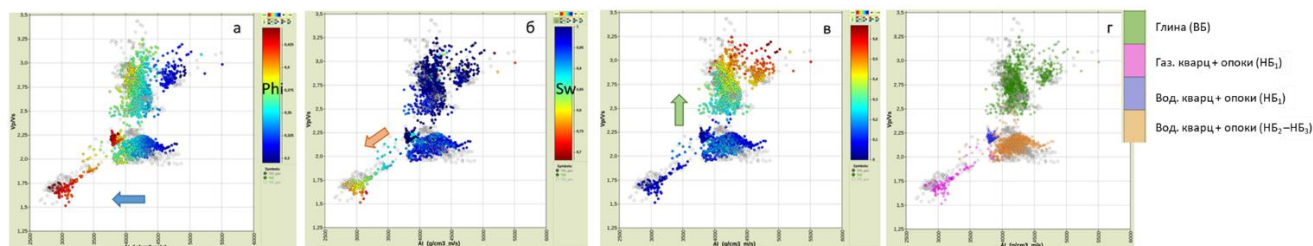
**Литолого-петрофизические исследования.** Для решения поставленной задачи был проведен комплексный анализ всей доступной информации о литолого-петрофизических свойствах нижеберезовских отложений изучаемого региона, включая данные открытых публикаций. Особое внимание уделялось результатам лабораторных исследований ядра Вынгапурского

месторождения, расположенного в 50 км южнее тестового участка и характеризующегося аналогичным геологическим строением.

**Петроупругое моделирование.** Основная цель данного этапа работ заключалась в исследовании связи упругих свойств горных пород с пористостью, литологией, насыщением и хрупкостью для разработки стратегии прогноза этих свойств по данным сейсморазведки. В качестве эталонных объектов использовались скважины Вынгапурского месторождения с представительным комплексом керновых исследований и детальными объемными литолого-петрофизическими моделями.

Методика петроупругого моделирования включала решение следующих задач: статистический анализ измеренных упругих и петрофизических параметров; построение петроупругой модели на основе теории эффективных сред; расчет теоретических скоростей продольных и поперечных волн, а также объемной плотности; моделирование флюидозамещения для условий пластового насыщения и предельных значений водо- и газонасыщенности; определение индекса хрупкости пород.

Установлено, что основные петрофизические параметры (пористость, глинистость, газонасыщенность) оказывают значительное влияние на скорости упругих волн, что создает благоприятные предпосылки для сейсмического прогнозирования. Распределение модельных упругих свойств представлено на зависимости «акустический импеданс – отношение  $V_p/V_s$ » (рисунок 1).



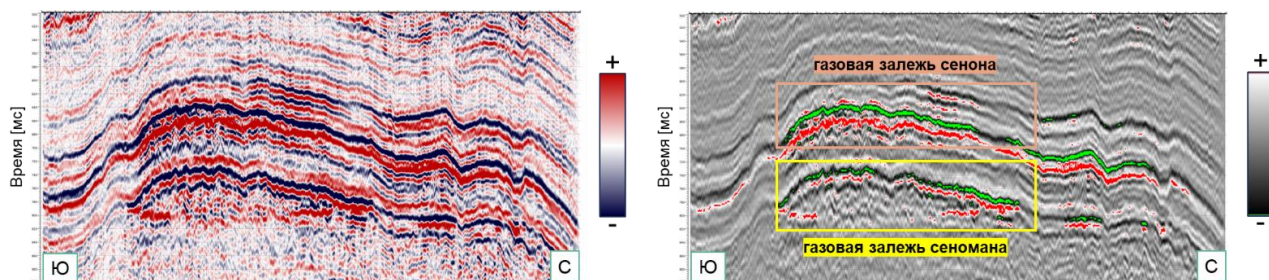
**Рисунок 1.** AVO График акустический импеданс – отношение  $V_p/V_s$ . Цвет: пористость (а), водонасыщение (б), глинистость (в), литотипы (г). Серые точки – измеренные данные. Увеличение пористости – синяя стрелка, увеличение газонасыщения – красная стрелка, увеличение глинистости – зеленая стрелка

Анализ результатов петроупругого моделирования показал:

- при увеличении пористости акустический импеданс снижается, отношение скоростей  $V_p/V_s$  изменяется незначительно;
- при увеличении газонасыщенности происходит уменьшение как акустического импеданса, так и отношения  $V_p/V_s$ ;
- при увеличении глинистости отношение  $V_p/V_s$  возрастает, в то время как акустический импеданс остается практически неизменным.

Полученные распределения упругих свойств показывают актуальность выполнения сейсмической синхронной инверсии с последующим прогнозом петрофизических свойств по результирующим кубам упругих свойств.

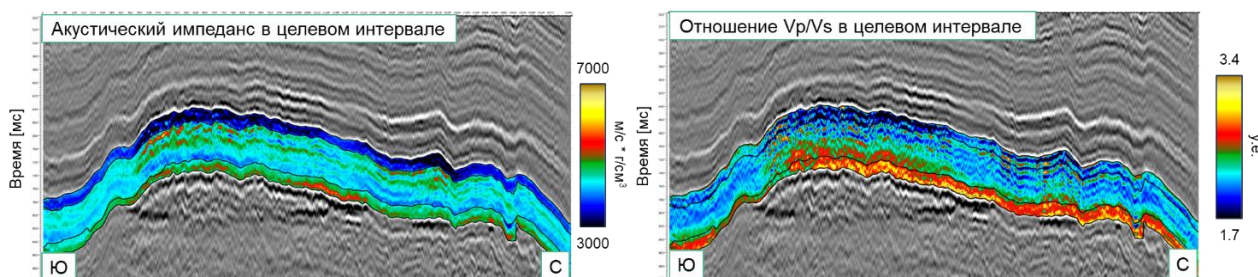
**Количественная интерпретация данных сейсморазведки.** Анализ полнократного сейсмического куба выявил отчетливо выраженные аномалии типа «яркое пятно» в интервалах сенонских и сеноманских отложений, приуроченные к структурным поднятиям и соответствующие классическим представлениям об антиклинальных газонасыщенных ловушках (рисунок 2).



**Рисунок 2.** Аномалия типа «яркое пятно» на разрезах полнократного сейсмического куба

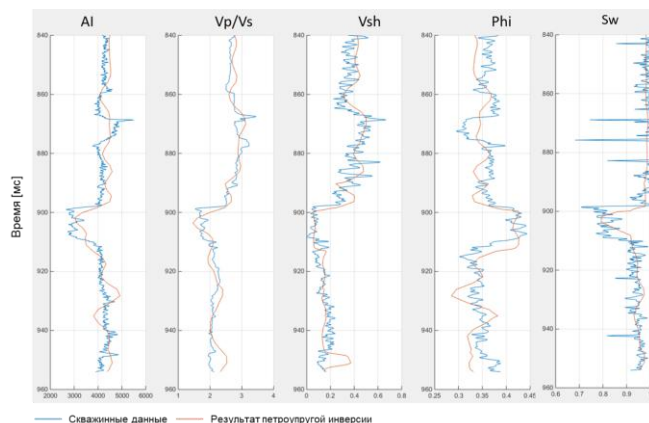
Эффект газонасыщения в целевом пласте НБ<sub>1</sub> оказывает значительное влияние на упругие свойства пород, что приводит к искажению прогноза как упругих параметров, так и индекса хрупкости по сейсморазведочным данным. В связи с этим при дальнейших исследованиях требуется применение специализированных методик компенсации влияния газонасыщения на прогнозирование параметров хрупкости.

Для получения кубов упругих свойств (акустического импеданса и отношения  $V_p/V_s$ ) выполнена синхронная сейсмическая инверсия. Учитывая осложняющее влияние газонасыщения в изучаемом интервале, низкочастотная модель упругих свойств построена с использованием скважинных данных, приведенных к условиям предельного водонасыщения. Результаты синхронной сейсмической инверсии в виде разрезов акустического импеданса и отношения  $V_p/V_s$  для целевого интервала НБ подшиты представлены на рисунке 3. Отчетливо проявляется влияние газонасыщения целевого пласта на прогнозные упругие характеристики в виде снижения значений акустического импеданса и отношения  $V_p/V_s$ .



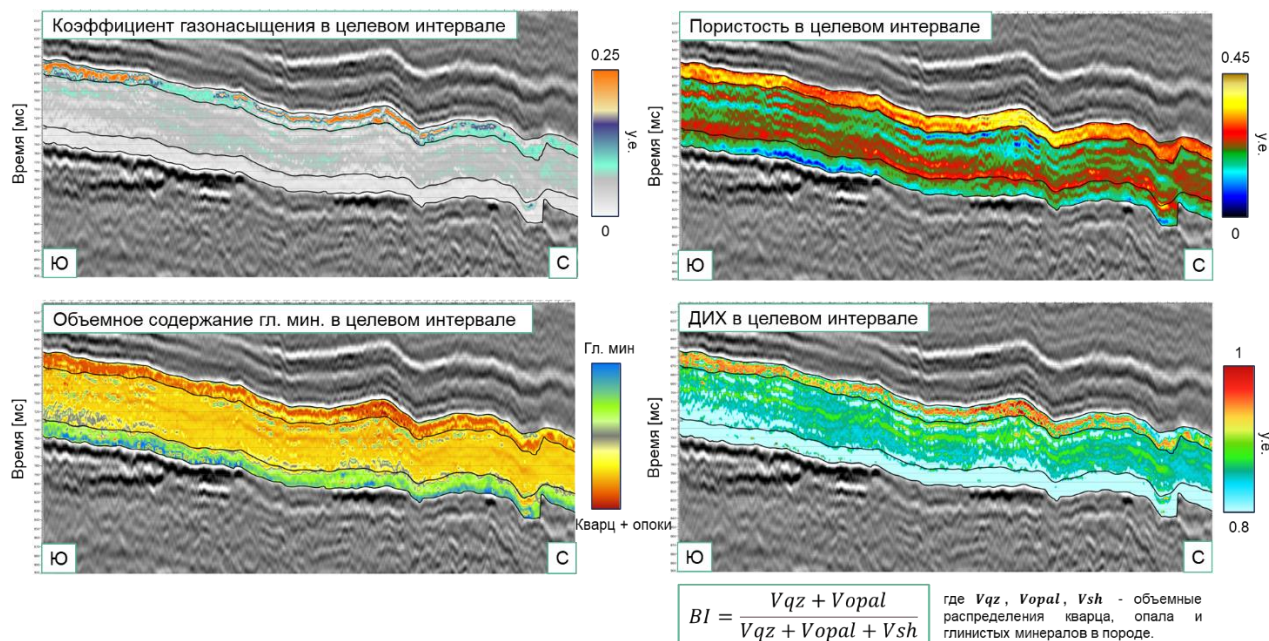
**Рисунок 3.** Результаты синхронной сейсмической инверсии в интервале НБ

**Петроупругая инверсия.** Для количественного прогнозирования петрофизических свойств в интервале НБ<sub>1</sub> применена технология петроупругой инверсии [3], обеспечивающая преобразование упругих свойств горных пород в коллекторские параметры на основе установленных петроупругих зависимостей (рисунок 4).



**Рисунок 4.** Пример результата синхронной инверсии и петроупругой инверсии в точке скважины. Слева направо: акустический импеданс, отношение  $V_p/V_s$ , объемное содержание глинистых минералов, пористость, коэффициент водонасыщения

Результаты петроупругой инверсии в виде разрезов прогнозных значений коэффициента газонасыщенности, коэффициента пористости и объемного содержания глинистых минералов представлены на рисунке 5.



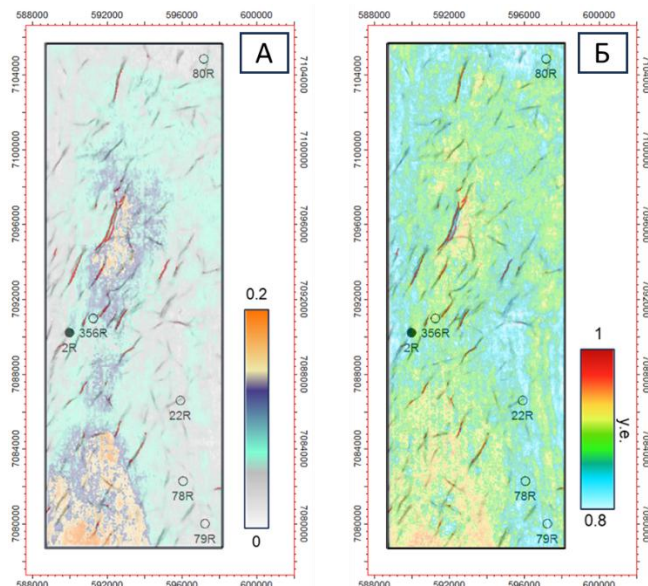
**Рисунок 5.** Пример результата петроупругой инверсии и оценки ДИХ

**Оценка динамического индекса хрупкости.** Хрупкость и пластичность являются ключевыми геомеханическими характеристиками пород при поиске и разведке нетрадиционных коллекторов. Хрупкие породы характеризуются наибольшей вероятностью развития естественной системы микротрещин и представляют основной объект исследований в нетрадиционных коллекторах для проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП). Породы, обогащенные кремнистым или карбонатным материалом, как правило, проявляют более высокую хрупкость по сравнению с породами, содержащими значительное количество глинистого вещества.

Для оценки ДИХ широко применяется формула Rickman и др. [4]. Однако эффект газонасыщения целевого пласта  $НБ_1$ , искажающий упругие свойства пород, исключает возможность использования данной формулы в классическом виде. Присутствие газа в поровом пространстве приводит к увеличению весового коэффициента отношения Пуассона ( $V_p/V_s$ ) и снижению влияния модуля Юнга (акустического импеданса), что в результате обуславливает некорректный расчет распределения ДИХ. В связи с этим принято решение о выполнении оценки ДИХ с учетом литолого-петрофизических характеристик пород пласта  $НБ_1$  (рисунок 5).

**Выделение зон потенциальной трещиноватости.** Для повышения детальности и надежности картирования разрывных нарушений в целевом интервале  $НБ$  подsvиты применен подход, основанный на технологиях машинного обучения [5]. Обучение нейронных сетей глубокого обучения осуществляется на библиотеке синтетических геологических моделей, где разломы моделируются как смещения в слоистой среде. Обученная нейронная сеть обрабатывает реальный сейсмический куб и формирует прогнозную модель распределения разрывных нарушений.

**Комплексирование полученных результатов.** Результатом интеграции выполненных оценок являются прогнозные карты потенциально перспективных газонасыщенных зон, характеризующихся повышенными значениями ДИХ и вероятным развитием трещиноватости. Совмещенные карты распределения газонасыщенных коллекторов, ДИХ и вероятности разрывных нарушений для целевого пласта  $НБ_1$  представлены на рисунке 6.



**Рисунок 6.** Карты вероятностей разрывных нарушений, совмещенные с картами газонасыщенных коллекторов (а) и ДИХ (б) в целевом интервале НБ<sub>1</sub>

## Выводы

Полученные результаты и разработанные методические подходы обеспечивают повышение достоверности изучения коллекторских свойств пород НБ подсветы по комплексу сейсморазведочных данных и ГИС, а также создают основу для прогнозирования перспективных газонасыщенных интервалов и оптимальных зон проведения гидравлического разрыва пласта. Предложенная методика может быть адаптирована и применена для изучения аналогичных сенонских отложений на других газовых месторождениях севера Западной Сибири со схожим геологическим строением и стадией разработки, что расширяет область практического применения полученных результатов.

## Благодарности

Мы благодарим наших коллег из РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, ООО «Лаборатория Приезжева», ООО "Газпром добыча Ноябрьск" и ООО "Газпром ВНИИГАЗ" за совместную работу и возможность публикации полученных результатов.

## Библиография

1. Пережогин А.С. Перспективы нефтегазоносности сенонских отложений севера Западной Сибири : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.12 / Пережогин Александр Сергеевич. – Тюмень, 2017. – 196 с.
2. Родивилов Д.Б., Кокарев П.Н., Мамяшев В.Г. Нетрадиционный коллектор нижеберезовской подсветы и критерии его выделения // Нефть и газ. – 2018. – № 3. – С. 37–43.
3. Шубин А.В., Кляжников Д.В., Рыжков В.И. Петроупругая инверсия для случая смеси нормальных распределений литотипов в задаче прогноза коллекторских свойств тюменской свиты // Геомодель 2024 : материалы конференции. – М., 2024.
4. Rickman R., Mullen M., Petre E., Grieser B., Kundert D. A practical use of shale petrophysics for simulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett Shale // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – 2008. – Paper 115258.
5. Wu X., Liang L., Shi Y., Fomel S. FaultSeg3D: Using synthetic data sets to train an end-to-end convolutional neural network for 3D seismic fault segmentation // Geophysics. – 2019. – Vol. 84, № 3. – P. IM35–IM45.