

УДК 550.7:551.243.4:553.98(571.56)

СНИЖЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АНОМАЛИЙ, СВЯЗАННЫХ С ГАЗОНАСЫЩЕНИЕМ, ПО ТЕХНОЛОГИИ AVO-АНАЛИЗА НА ТЕРРИТОРИИ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Феоктистова О.В.

ООО «ИНГЕОСЕРВИС», Тюмень, e-mail: info@ingeos.info

В данной статье рассматривается методика комплексного анализа для выявления перспективных этажей газоносности на примере одной из площадей Восточной Сибири. Ранее, по проведенным сейсморазведочным работам 2D и данным бурения, на площади были выявлены и подготовлены к бурению газовые залежи в пермско-триасовом комплексе. С целью доизучения и детализации структурно-тектонического строения площади были проведены сейсморазведочные работы 3D, в результате которых было установлено блоковое строение площади и детализировано строение перспективных и потенциально перспективных этажей. Сейсмическое волновое поле характеризуется наличием «ярких пятен», обусловленных контрастом физических параметров углей и газоносных песчаников во вмещающих породах пермско-триасового и мелового комплексов, в связи с чем была поставлена задача проведения комплексного анализа с целью разделения аномалий «уголь» – «газ» и выявления газовых залежей. В данной статье приводится технология проведения атрибутивного AVO-анализа с использованием петрофизических трендов, установленных по диаграммам каротажа в интервалах мела и верхней перми, обоснование выделения аномалий, вызванных ловушками УВ.

Ключевые слова: Вилуйская синеклиза, аномалия «яркое пятно», метод AVO, петрофизические тренды, акустический импеданс, миграция УВ

REDUCTION OF UNCERTAINTY AT DETECTION OF GAS SATURATED ANOMALIES BY TECHNOLOGY OF AVO-ANALYSIS ON THE VILAYSKY SINKLESIS TERRITORY

Feoktistova O.V.

ООО «INGEOSERVIS», Tyumen, e-mail: info@ingeos.info

This article discusses methods of complex analysis for determining future levels of gas content for example, one of the areas of Eastern Siberia. Previously, carried out 2D seismic work and drilling data, the square was revealed and prepared for drilling gas deposits in the Permian-Triassic complex. With the aim of examining and detailing of structural-tectonic structure of the area was conducted 3D seismic survey, which resulted in the established block structure of the area and detailed structure of promising and potentially promising floors. Seismic wave field is characterized by the presence of «bright spots», due to the contrast of the physical parameters of coal and gas-bearing sandstones in the host rocks of Permian-Triassic and Cretaceous complexes, in connection with which was given the task of performing a comprehensive analysis to separate anomalies «coal», «gas» and identify gas deposits. This article describes the technology of AVO attribute analysis using petrophysical trends established on diagrams of logs in intervals of chalk and upper Permian, the rationale for selection of anomalies caused by traps HC.

Keywords: Vilyui synecline, the anomaly of the «bright spot», the method of AVO, petrophysical trends, acoustic impedance, hydrocarbon migration

Развитие метода AVO (метод AVO – Amplitude Variation with Offset) началось с конца 1980-х гг. и связано с началом регистрации на временных сейсмических разрезах «ярких пятен» («bright spot»). Было замечено, что резкое изменение амплитуд отраженных волн на сейсмических разрезах может быть связано с газовыми залежами. Дальнейшие наблюдения показали, что яркие амплитудные аномалии могут быть вызваны также литологическими замещениями, и стал развиваться новый подход к изучению «ярких пятен» – анализ изменения амплитуд с удалением от источника возбуждения упругих волн (analysis of Amplitude Variation with Offset) [1, 2]. В основных алгоритмах AVO-анализа используется аппроксимация уравнения Шуэ [1, 2] вида: $R(\theta) = R_0 + G_R \sin^2\theta$, в которой R_0

определяется только контрастностью акустической жесткости ($AI = Vp * \rho$) для продольных волн на границе двух сред, градиент G_R – величина изменения амплитуд с удалением, определяется соотношением продольных (Vp) и поперечных (Vs) волн и является параметром, наиболее чувствительным к насыщению флюидом [1, 2].

В настоящее время существует много разнообразных направлений развития и применения данного метода, в которых величины R_0 и G_R , являясь основными атрибутами анализа, образуют вторичные атрибуты.

В рамках данной статьи рассматривается технология построения трехмерных кроссплотов AVO – кроссплотов R_0 и G_R с использованием третьего параметра в цветочкообразном виде. Данная технология используется для решения задач прогнози-

рования газоносных объектов на месторождениях Вилюйской синеклизы.

В пределах рассматриваемых участков эффект аномального усиления амплитуд (эффект «ярких пятен») на реальных сейсмических данных дают как газовые залежи, так и угольные пропластки. Анализ каротажных кривых (АК и ГГКп) показал, что для изучаемой территории упругие характеристики углей и газонасыщенных песков имеют резкий контраст и их не сложно разделить по параметру AI (V_p^*p), но вмещающие породы, представленные высокоскоростными глинами и аргиллитами, имеют более широкий диапазон изменений значений упругих характеристик, внося тем самым неоднозначность в интерпретацию аномалий.

Проблему неопределенности удалось решить путем построения теоретических петрофизических трендов, основанных на данных каротажа. В качестве анализируемых параметров использовались AI и V_p/V_s . Деление типов литологии по тому или другому параметру позволило оценить информативность последнего для интерпре-

тации эффектов «ярких пятен» в сейсмическом волновом поле.

Информативный атрибут включался в цветокодированном виде в качестве третьего параметра для построения кроссплотов AVO, что позволило получить многомерную информацию и интерпретировать эффекты «яркого пятна» в пределах изучаемой территории.

Краткая характеристика участка работ

В административном отношении площадь работ находится на территории Вилюйского и Верхневилуйского районов Республики Саха (рис. 1).

В нефтегазоносном отношении участок исследований расположен в северо-западной части Вилюйской газоносной области, входящей в состав Хатанго-Вилюйской нефтегазоносной провинции. В разрезе данного участка ранее проведенными работами были выявлены два продуктивных комплекса: верхнепермский и нижнетриасовый. На соседних площадях были получены притоки газа из верхнеюрских и нижнемеловых отложений [4].



Рис. 1. Республика Саха (Якутия) (Научно-технический сборник № 3(19) /2014) [4]

В тектоническом отношении площадь расположена на северо-западном склоне Виллойской гемисинеклизы. Бурением вскрыты породы палеозойского (среднего – верхнего) и мезозойского возраста.

Фундамент в районе исследований и к востоку от него образует Виллойскую депрессионную зону, разделяющую Алданское, Анабарское и Оленекское поднятия. В пределах исследуемого участка рельеф фундамента представляет собой выступ, осложненный серией складок северо-восточного простирания. Доминирующая северо-восточная ориентировка тектонических элементов сохраняется на всех вышележащих этажах, прерываясь лишь в центральной части площади обособленными блоками. Вся сложившаяся система трещин и деформаций является благоприятным фактором для миграции УВ (рис. 2, а, б, в, г).

Анализ сейсмических данных

На площади исследований проведены сейсморазведочные работы 3D. На сейсмических разрезах в пределах исследуемого участка в интервалах продуктивных горизонтов и в тех интервалах, где по материалам ранее проведенных сейсморазведочных

работ 2D перспективные объекты не выделялись, фиксируются амплитудные аномалии типа «яркое пятно».

Сейсмоимидж аномалий верхней части разреза, в интервале отложений бергеинской свиты, соответствует образу тектонически экранированных ловушек (рис. 2, д, е). Подобный вывод сформировался по совокупности внешних признаков, таких как четкие очертания динамических аномалий, вписывающихся в блоки системы в купольной части поднятия, при наличии проводящей системы трещин и сдвиговых деформаций.

Сейсмоимидж объекта в низах разреза, в интервале отложений хомустанской свиты, по протяженной форме, окаймляющей поднятие с юго-запада и четким границам, повторяющим контур склона, соответствующим контур склона, соответствуют образу стратиграфической ловушки УВ.

Выделение газонасыщенных аномалий по сейсмическим данным традиционно проводится по технологии AVO, в частности, путем построения кроссплотов G_R как функция R_0 («интерцепт-градиент»). В данном случае в анализ привлекалась третья компонента, которая в цветочкообразном виде содержала информацию о литологии: код раскраски точек кроссплота соответствовал тому или иному типу литологии.

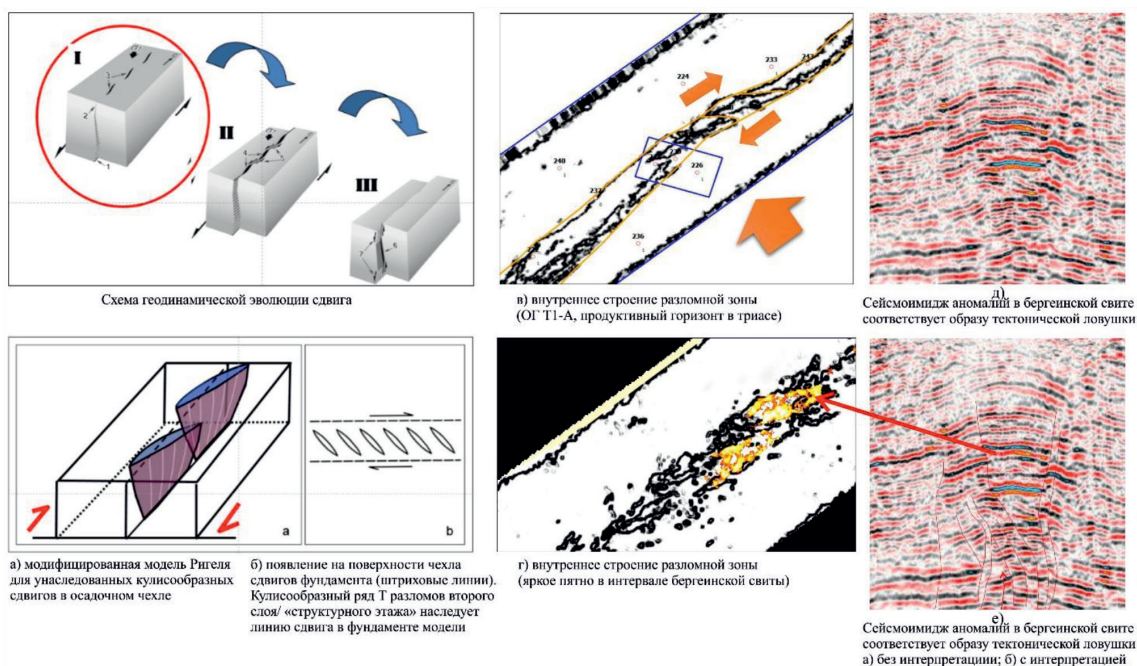


Рис. 2. Тектоническое строение территории: а, б – схема геодинамической эволюции сдвига; в, г – внутреннее строение разломной зоны в интервале триаса и нижнего мела; д, е – сейсмоимидж аномалий нижнего мела с интерпретацией и без интерпретации

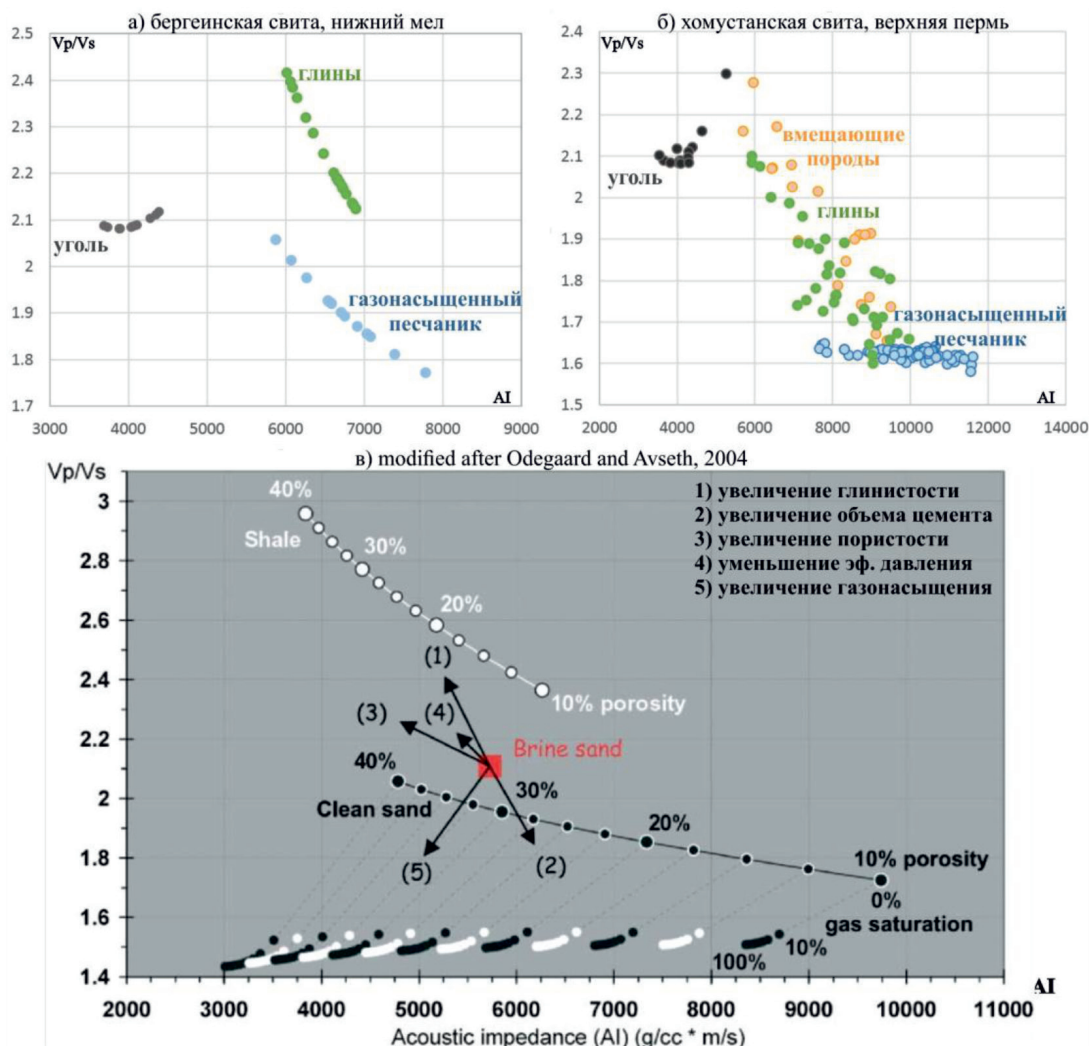


Рис. 3. Тренды распределения акустических свойств для пород: а) бергеинской свиты; б) хомустанской свиты; в) идеализированные теоретические тренды (Одегаард и Авсет, 2004)

Анализ каротажных диаграмм

Интерпретацию литологического состава и флюидонасыщения эффективно проводить по кроссплотам каротажных диаграмм [3, 5]. В качестве анализируемых параметров были выбраны упругие характеристики AI и V_p/V_s (V_p/V_s как функция AI). Код раскраски петрофизических трендов основан на выделении четырех литотипов в исследуемом интервале разреза: «уголь», «газонасыщенный песчаник», «глина», «вмещающие породы». Данная классификация основана на замерах в разрезе скважины потенциалов собственной поляризации, естественной радиоактивности пород и водородосодержания. Кроссплот включает в себя тренды распределения акустических свойств для углей и осадочных пород в за-

висимости от содержания в них глинистой компоненты и насыщения (рис. 3) [6].

На построенных по сейсмическим данным кроссплотам AVO локализуются отдельные группы аномалий, что говорит о чувствительности исследуемого волнового поля к контрастности скоростей поперечных волн и соотношений плотности на границах двух контактирующих сред. Классификацию AVO аномалий по литотипам можно осуществить путем введения в AVO кроссплоты в цветокодированном виде третьей компоненты.

Технологическая схема использования анализа AVO сводится к следующей последовательности:

1. Типизация разреза по диаграммам каротажа с назначением цветовых кодов.

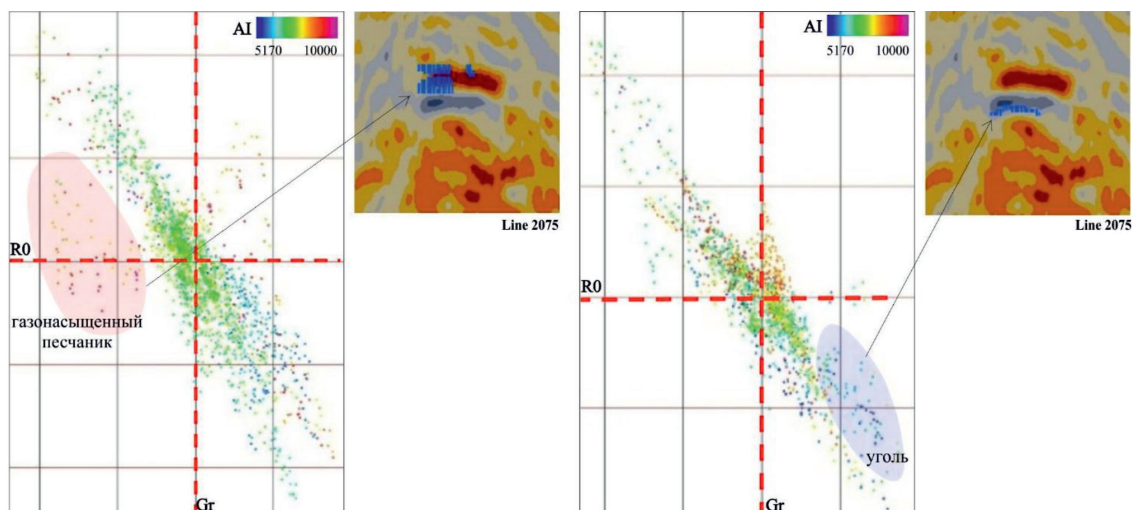


Рис. 4. Интерпретация результатов AVO-анализа для интервала отложений бергеинской свиты: слева – по коду раскраски кроссплота в сейсмическом волновом поле выделен литотип «газоносный песчаник»; справа – то же для литотипа «уголь»

2. Построение теоретических петрофизических трендов, выбор информативного параметра.

3. Построение трехмерных кроссплотов AVO, классификация аномалий AVO по типу литологии.

4. Выделение классов аномалий на временных сейсмических разрезах и на картах изохрон.

Построение петрофизических трендов и интерпретация результатов AVO-анализа в интервале нижнемеловых отложений

Исследованиями кернового материала в пределах этой и соседних площадей в отложениях нижнего мела, в бергеинской свите, установлены мощные песчаные пласты с хорошими коллекторскими свойствами. Покрышками песчаных тел являются слои высокоскоростных глин, залегающих под угленосной толщей. Поскольку на данном месторождении газо-насыщенность нижних этажей разреза установлена по данным бурения, то наличие проводящей системы трещин и разломов, с одной стороны, и наличие покрышек, сложенных высокоскоростными глинистыми пропластками, с другой, могут служить благоприятными факторами для скопления УВ в ловушках тектонического типа в бергеинской свите.

Анализ каротажных кривых и типизация разреза проводились по скважине, хорошо

охарактеризованной керновым материалом. Код раскраски, присвоенный литотипам на диаграммах каротажа, перенесен в область кроссплота для интерпретации петрофизических трендов.

Из характера распределения данных на графике следует, что литотип «насыщенный песчаник» и литотип «уголь» контрастны по своим акустическим параметрам. Это означает, что выбор параметра AI для включения в кросс-плот AVO в качестве третьей переменной позволит с достаточной долей уверенности определить на кроссплотах AVO и в сейсмическом волновом поле аномалии, вызванные угольными пропластками.

Распределение данных каротажа по такому параметру, как «контрастность скоростей», показывает, что тренды анализируемых литотипов локализованы в разных диапазонах значений V_p/V_s . Из этого следует, что на кроссплотах AVO аномалии, вызванные насыщенными песчаниками, и аномалии, вызванные угольными пропластками, также локализируются в отдельные группы аномалий относительно фоновой линии, что позволит их идентифицировать в сейсмическом волновом поле (рис. 4).

Построение петрофизических трендов и интерпретация результатов AVO-анализа в интервале отложений верхней перми

На площади исследования бурением вскрыта толща терригенных отложений

верхней перми, где среди мощных плотных пластов аргиллитов, глин и углей залегают пласты песчаников различной глинистости. В скважинах 230 и 231 данный интервал представлен газоносными песчаниками с низкой пористостью и слабой проницаемостью, ввиду чего к испытанию не рекомендовался. В скв. 238, расположенной в купольной части структуры, из этого же пласта при испытании был получен промышленный приток газа.

трофизических трендов для данного интервала. Значения по этому параметру не перекрываются, что является благоприятным фактором для включения AI в кроссплот AVO в качестве третьей переменной.

Перекрытие значений по параметру V_p/V_s говорит о том, что можно ожидать, что группы аномалий на кроссплотах AVO также будут перекрываться. Тем не менее в данной работе удалось идентифицировать в сейсмическом волновом поле амплитудные

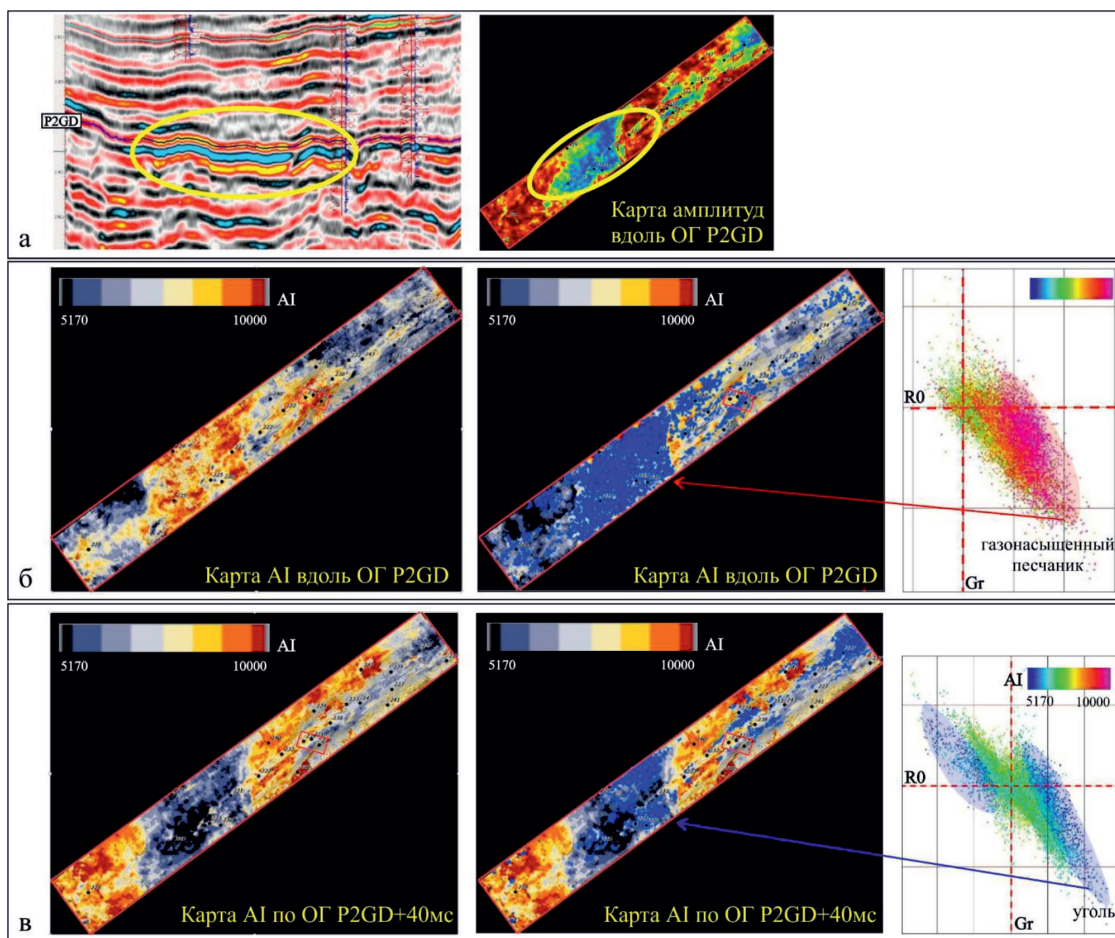


Рис. 5. Интерпретация результатов AVO-анализа для интервала отложений хомустанской свиты (верхняя пермь): а) сейсмоимидж ловушки; б) по коду раскраски кроссплота в сейсмическом волновом поле выделен литотип «газоносный песчаник»; в) то же для литотипа «уголь»

Эти газоносные залежи производят во временном сейсмическом поле эффект «ярких пятен». Ниже пласта на 30 м залегают мощные угольные пропластки, который дает аналогичный эффект «яркого пятна» (рис. 5). Контрастность литотипов «уголь» – «газоносный песчаник» по параметру AI можно установить по характеру распределения данных на диаграммах пе-

аномалии, связанные с газоносностью ловушки неструктурного типа в верхнепермских отложениях, и отличить их от аномалий, вызванных мощным пластом угля, залегающим ниже ловушки на 30 м (рис. 5).

Выводы

По результатам проведенных сейсморазведочных работ 3D выявлены текто-

нические ловушки в отложениях нижнего мела и уточнены контуры литологической ловушки верхней перми, детализировано тектоническое строение площади и установлена проводящая роль тектонических элементов. Построены петрофизические тренды и проведена интерпретация литологического состава для отложений бергеинской свиты нижнего мела и хомустанской свиты верхней перми. Проведен АВО-анализ с включением в технологическую цепочку результатов интерпретации петрофизических трендов, построенных по данным каротажных диаграмм, что позволило сократить риски при оценке перспектив газоносности исследуемых интервалов.

Данная работа проводилась на базе материалов, систематизированных и обработанных в ООО «ИНГЕОСЕРВИС» (г. Тюмень). Автор выражает свою благодарность сотрудникам и руководству компании за предоставленные материалы.

Список литературы

1. Бондарев В.И. Сейсморазведка. Учебник для вузов. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2007. – 690 с.
2. Воскресенский Ю.Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов. Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа, 2001. – 68 с.
3. Одегаард Эрик, Авсет Пер. Анализ каротажных диаграмм и сейсмических данных с использованием шаблона физических свойств пород / First Break. – 2004. – № 10. – С. 37–43.
4. Коротков С.Б., Крючков В.Е., Семенова Е.В., Франчук А.А. Литолого-стратиграфическое районирование глубокозалегающих рифей-нижнекембрийских отложений Сибирской платформы на лицензионных объектах ОАО «Газпром» // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2014. – № 3(19). – С. 89–98.
5. Bredesen K., Jensen E.H., Johansen T.A. Avseth P. Quantitative seismic interpretation using inverse rock physics modelling // Petroleum Geoscience. – 2015. – № 4. – P. 271–284.
6. Mavko G., Mukerji T., and Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Published in the United States of America by Cambridge University Press. New York. First published in print format 2009. URL: <http://www.cambridge.org/9780521861366>.

References

1. Bondarev V.I. Sejsmorazvedka. Uchebnik dlja vuzov. Ekaterinburg: Izdatelstvo UGGU, 2007. 690 p.
2. Voskresenskij Ju.N. Izuchenie izmenenij amplitud sejsmicheskikh otrazhenij dlja poiskov i razvedki zalezhej uglevodorodov. Uchebnoe posobie dlja vuzov. M.: RGU nefii i gaza, 2001. 68 p.
3. Odegaard Jerik, Avset Per. Analiz karotazhnyh diagramm i sejsmicheskikh dannyh s ispolzovaniem shablona fizicheskikh svojstv porod / First Break. 2004. no. 10. pp. 37–43.
4. Korotkov S.B., Krjuchkov V.E., Semenova E.V., Franchuk A.A. Litologo-stratigraficheskoe rajonirovanie glubokozalezajushhh rifej-nizhnkembrijskikh otlozhenij Sibirskoj platformy na licenzionnyh obektah OAO «Gazprom» // Nauchno-tehnicheskij sbornik «Vesti gazovoj nauki». 2014. no. 3(19). pp. 89–98.
5. Bredesen K., Jensen E.H., Johansen T.A. Avseth P. Quantitative seismic interpretation using inverse rock physics modelling // Petroleum Geoscience. 2015. no. 4. pp. 271–284.
6. Mavko G., Mukerji T., and Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. Published in the United States of America by Cambridge University Press. New York. First published in print format 2009. URL: <http://www.cambridge.org/9780521861366>.