

УДК 550.34.06.013.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТОХАСТИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ПСЕВДОСКВАЖИНЫ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНО-ТУРГАЙСКОГО ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

А.Д. Садыков

Совершенствование методов инверсионных преобразований в области интерпретации данных сейсморазведочных работ связано со стремлением получить наиболее полное представление о строении разведываемых или разрабатываемых залежей полезных ископаемых с использованием эффективных, простых и быстрых методов.

В настоящей статье рассматривается применение метода стохастической инверсии на примере месторождения, расположенного в пределах Южно-Тургайского осадочного бассейна, использующей в своей основе псевдоскважины, рассчитываемые для трассы расширенного упругого импеданса (Extended Elastic Inversion), с целью поиска наиболее согласующегося решения для этой трассы. Данный метод представляет интерес для уточнения геологической модели на основе выделенных литотипов, их картирования и расположения, основанном на полученной информации о местах перспективного оценочного бурения и др. Проведена оценка метода и производительности на основе имеющихся вычислительных мощностей и затрачиваемого времени.

Ключевые слова: стохастическая инверсия, расширенный упругий импеданс, цветная инверсия, псевдоскважины.

Развитие цифровых вычислительных систем и технологии в геофизике и геологоразведке привело к тому, что некоторые, ранее объемные в плане проводимых вычислений, методы стали доступнее. Одним из таковых является метод стохастической инверсии, основанный на использовании псевдоскважин, создаваемых с использованием продолжительных временных цепей Маркова (Continuous Time Markov Chains). На основе популяции заранее заданного количества псевдоскважин и вероятностей распространения литофаций задается модель упругих свойств горных пород. Целью является дальнейший подбор наиболее подходящего решения, отвечающего критерию наименьшей среднеквадратичной ошибки для каждой трассы заданного объема расширенного упругого импеданса (далее – EEI).

Идея метода не является новой, хотя с высокой долей вероятности он применялся к данным, расположенным в Южно-Тургай-

ском осадочном бассейне Республики Казахстан, впервые. Описание этого метода и похожих на него, основанных на использовании псевдоскважин, можно найти в статьях многих зарубежных исследователей [1]. Аналогично в зарубежных источниках приводится информация о теории и применении сейсмических данных, преобразованных в вид трехмерных объемов χ (CHI) углов расширенного упругого импеданса [2]. Исходя из этого, опустим детальное описание этих и других использованных методов в данной статье, а изложим проведенные наблюдения, некоторые результаты и выводы, ставшие итогом проделанной работы.

На исследуемом месторождении была проведена 3D МОГТ-съемка с использованием вибросейсмических источников, имеющая полную кратность порядка 880 и общее количество трасс порядка $1,6 \cdot 10^6$. Данные были обработаны с использованием передовых технологий для сохране-

ния «истинных» амплитуд. На финальных результатах обработки проведено спектральное балансирование, выправление по времени. В процедурах масштабирования и приведения фазы импульса к нулю не было необходимости. Обработываемым центром до момента проведения инверсии были рассчитаны куб полной кратности и 9 частично угловых сумм в диапазоне 0–50°, из которых для оптимизации количества вычислений использовано только 5. На площади в разные годы было пробурено множество скважин, имеющих комплекс ГИС по продуктивной части, однако на момент проведения исследования только в 4 из них имелись данные широкополосного акустического каротажа необходимых для моделирования упругих свойств. Привязка к временному сейсмическому кубу была осуществлена практически по всем вертикальным скважинам. Форма сигнала – обратная или европейской полярности.

Стохастическая инверсия проводилась в соответствии с процессом, указанным схематично на рис. 1. Перед расчетом интерцепта и градиента проводился контроль качества угловых сумм, а именно расчет частотных спектров, оценка отражений на предмет необходимости выравнивания и улучшения протяженности отражений на угловых суммах, привязка опорных скважин и расчет фазы угловых сумм по ним.

По итогу контроля качества были применены незначительные временные поправки, а также сбалансированы спектры частично угловых сумм к величинам частично угловой суммы ближних удалений. Дополнительная привязка опорных скважин с использованием детерминистического импульса показала незначительную вариацию фазы угловых сумм, и потому необходимости вносить правки по фазе не было.

Дальнейшая цветная инверсия (Coloured Inversion) проведена на кубах данных интерцепта и градиента, рассчитанных на основе трехчленной аппроксимации Фатти, которая учитывает углы более 30° [3]. Оператор цветной инверсии подбирался отдельно для частотных спектров сейсмического интерцепт/градиент импедансов по средней наиболее подходящей линии (best-fit line) частотного спектра интерцепт/градиент импедансов, рассчитанных по скважинам, имеющим широкополосный акустический каротаж. Правильно выбранный оператор цветной инверсии при расчете масштабирующих весов (scalar) должен иметь значения, близкие к 1. В нашем случае расчет масштабирующих весов для кубов по каждой опорной скважине показал близкие к 1 значения, которые были усреднены для получения единого среднеарифметического значения.

Полученные кубы сейсмических дан-

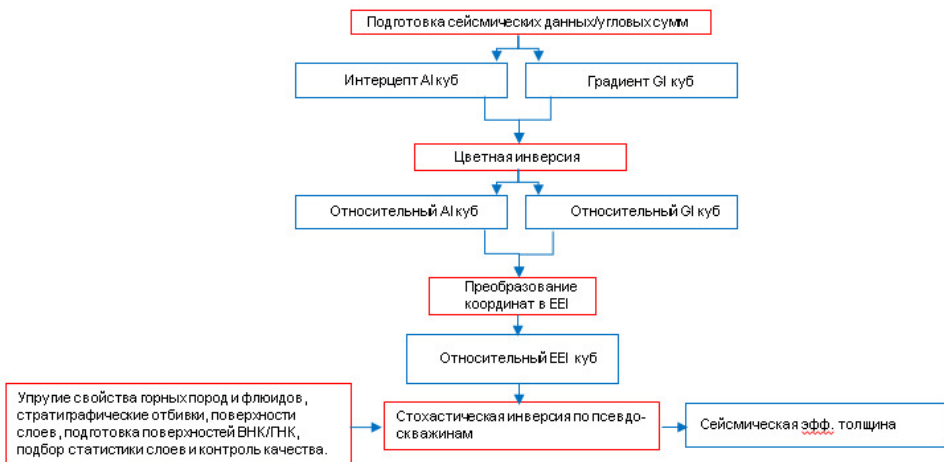


Рисунок 1. Схема проведения стохастической инверсии по псевдоскважинам, использованная для месторождения в Южно-Тургайском осадочном бассейне

ных после применения оператора цветной инверсии были проанализированы в зоне интереса для поиска оптимального χ (CHI) угла расширенного упругого импеданса (рис. 2). Анализ показал наличие корреля-

ции между кривой глинистости и χ углами в диапазоне от 16° до 30° , при этом наблюдается рост значения корреляции в сторону уменьшения χ угла.

Следующим шагом являлся расчет

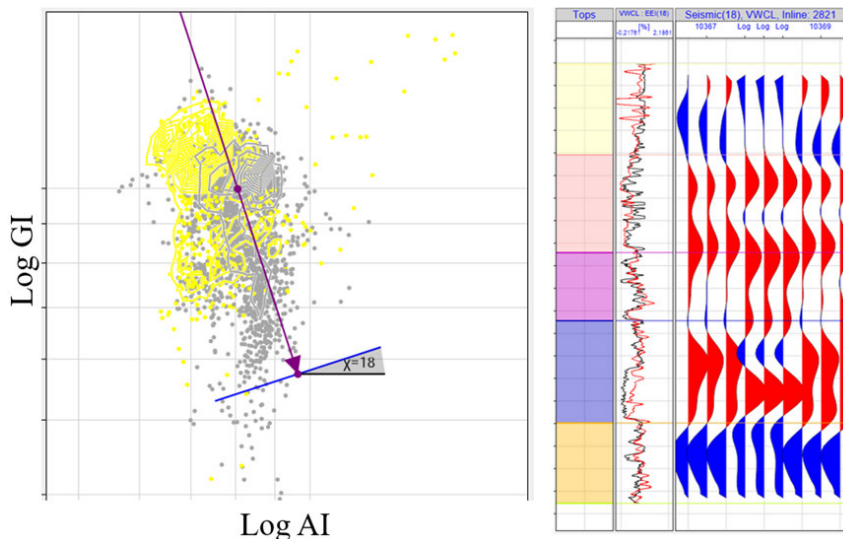


Рисунок 2. Пример проведения анализа для нахождения корреляции между кривой ГК и углом χ (черная кривая Vcl^* по скважине, красная кривая – её EEI аналог) на примере скважины месторождения в Южно-Тургайском осадочном бассейне

* Vcl объемная глинистость

упругих свойств горных пород, контроль качества стратиграфических отбивок, подготовка фациальной модели в опорных скважинах, создание требуемого количества непрерывных поверхностей, определение требуемых контактов и статистики в слоях. Расчет упругих свойств горных пород осуществлен на основе кривых продольных скоростей, поперечных скоростей, общей пористости, глинистости и плотностного каротажа имеющих в опорных скважинах. Непрерывность требуемых кривых ГИС по всему инвертируемому интервалу в опорных скважинах является обязательным условием. Разделение по фациям произведено на основе данных принятых граничных значений глинистости коллекторов в заданном интервале инверсии. Результаты лабораторных анализов флюидов (вода, нефть, газ) были использованы для рас-

чета свойств флюидов в пластовых условиях. В случае отсутствия информации о свойствах флюидов в пластовых условиях применялся FLAG калькулятор, основанный на уравнениях Батзела и Ванга [4] и позволяющий рассчитать модуль всестороннего сжатия (K_{fluid}) для необходимых типов пластовых флюидов (вода, нефть, газ) и приводить расчеты, выполненные в стандартных условиях, к пластовым условиям. Использование данного подхода упоминается во многих научных исследованиях и литературе, связанной с сейсмической инверсией. Кросс-plot Sw и пористости данных в интервале коллекторов, приведенный на рис. 3, позволил рассчитать значения коэффициентов, необходимых для уравнения вида $Sw = a-b \cdot por$, используемого для учета насыщенности в модели упругих свойств горных пород.

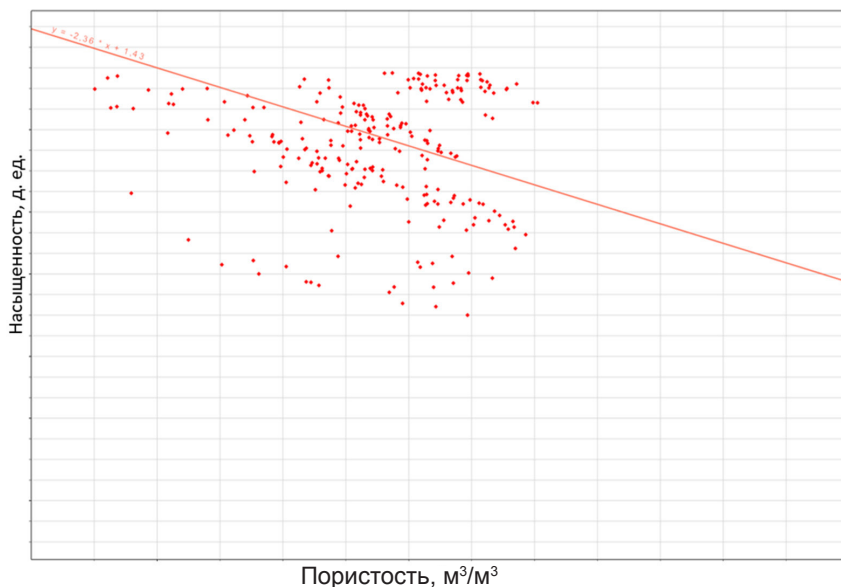


Рисунок 3. Пример определения коэффициентов для уравнения $Sw=a-b \cdot \rho_{ог}$ по кросс-плоту насыщения/пористость на примере скважины месторождения в Южно-Тургайском осадочном бассейне

Наряду с подготовкой данных сейсмо-разведочных работ и определением кривых расчета упругих свойств для популяции псевдоскважин также необходимо создать слоистую модель по стратиграфическим отбивкам и связанным с ними поверхностям, которые не имеют разрывов, полностью покрывают весь куб сейсмических данных и не пересекаются между собой. Данный критерий был достигнут путем выбора в качестве опорной поверхности (datum) точки отсчета сейсмических данных, равной 0 мс, а также использования ранее проинтерпретированных поверхностей, которые были пересчитаны для сглаживания разрывов в местах тектонических нарушений. В интервалах, где поверхности по кровлям продуктивных зон отсутствовали, использована выше или ниже лежащая проинтерпретированная поверхность, смещенная по разрезу к требуемой отметке. Стоит отметить что данное решение продиктовано ограничением временных рамок, поэтому в дальнейшем для достижения цели заданного метода инверсии желательнее заранее

предусмотреть интерпретацию поверхностей и создать модель стратиграфических отбивок, учитывающую все необходимые интервалы. Продуктивные интервалы, для которых планировалась инверсия, имели отдельные водонефтяные контакты (далее – ВНК), информация о которых приводилась при подсчете запасов. Примечательно, что в инверсионной модели можно учесть как один, так и несколько ВНК или газонефтяные контакты (далее – ГНК), однако важно, чтобы поверхности контактов не пересекались между собой.

В процессе расчета статистических данных придерживались рекомендаций, описанных в статье [5], а именно использования небольших значений λ для достижения вариативности по net-to-gross в интервале распространения песчаных каналов. Первичная статистическая информация по слоям и популяция созданных псевдоскважин по литофациям покрывала одинаковый диапазон.

Кульминацией внесения всей необходимой информации в инверсионную модель

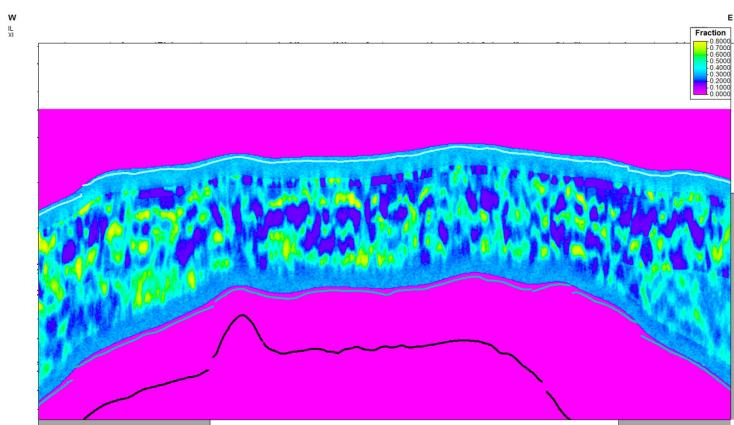


Рисунок 4. Пример результатов в инверсии в виде объема данных общей песчаности V_{sand}

является проведение контроля качества модели и расчет стохастической инверсии для заданного интервала с необходимым количеством рассчитываемых псевдоскважин. Полученные результаты в формате общей песчаности представлены в виде примера на рис. 4. Расчеты проводились на интерпретационной рабочей станции, имеющей вычислительную мощность, основанную на 2 процессорах по 2,6 МГц с 14 ядрами. Согласно полученным данным, длительность проведения вычислений для 2000 и 10000 псевдоскважин на трассу под-

чинена линейной зависимости, как показано на рис. 5. Однозначно полученные скорости вычислений гораздо быстрее тех, что приведены в научных публикациях, однако этой производительности, на наш взгляд, недостаточно, и она должна быть улучшена для массивов с очень большим количеством трасс. К примеру, в случае расчетов данных, имеющих 6×10^6 трасс, с текущей производительностью необходимо более 11 сут для расчетов с применением 10000 псевдоскважин на трассу.

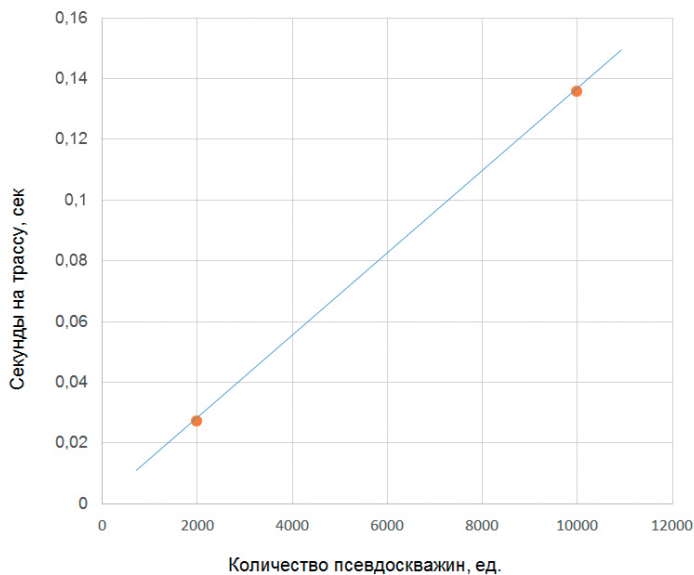


Рисунок 5. Производительность, полученная в результате расчетов с использованием заданного количества псевдоскважин

Выводы

Работы, проведенные с применением метода стохастической инверсии, показали необходимость тщательной подготовки входных сейсмических и скважинных данных, а также необходимость детальной интерпретации всех продуктивных интервалов и наличия подробной информации по свойствам пластовых флюидов.

Несмотря на наличие корреляции между кривыми ГК в опорных скважинах и данными EEI, полученные результаты с использованием только одного куба EEI неудовлетворительны. При сравнении полученного куба общего объема песчаников со скважинами наблюдаются пониженные значения песчаности в продуктивном интервале, которые, скорее всего, связаны с изменением χ угла в зоне перехода ВНК и ГНК. Кроме того, в некоторых местах с повышенной глинистостью наблюдается повышение значений песчаной состав-

ляющей, что, вероятно, связано с отсутствием очевидного разделения между литофациями при заданном χ угле и говорит в пользу необходимости включения в расчеты дополнительно рассчитанных кубов χ угла (-ов) расширенного упругого импеданса. Однако однозначно такое увеличение количества входных данных приведет к увеличению требуемых расчетов как минимум в 2 раза.

По итогу проведенных работ можно прийти к выводу, что вышеупомянутый метод стохастической инверсии не совсем оправдал возложенных ожиданий, но нужно помнить, что работы проводились в ограниченный временной период, поэтому в рамках указанного исследования прежде всего выявлялись технологические особенности и ограничения метода, а также проводилась оценка производительности метода на основе имеющихся вычислительных мощностей и затрачиваемого времени.

Список использованной литературы

1. Ayeni G., Huck A. and De Groot P.. Extending reservoir property prediction with pseudo-wells. – First Brake, 2008.
2. Whitcombe D.N., Connolly P.A., et al. Extended elastic impedance for fluid and lithology prediction. – Geophysics, v. 67, 2002.
3. Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D seismic case history using the Geostack technique. – <https://doi.org/10.1190/1.1443695>.
4. Batzle M. and Wang Z.. Seismic properties for pore fluids. – Geophysics, v. 57, 1992.
5. Connolly P.A. and Hughes M.J.. Stochastics inversion by matching to large numbers of pseudo-wells. – Geophysics, 2016, v. 81, p. M7-M22. DOI <https://doi.org/10.1190/geo2014-0582.1>

ОҢТҮСТІК ТОРҒАЙ ШӨГІНДІ БАССЕЙНІНДЕГІ МҰНАЙ КЕН-ОРНЫНДА ПСЕВДО-ҰҢҒЫМАЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ СТОХАСТИКАЛЫҚ ИНВЕРСИЯ ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

А.Д. Садықов

Сейсмикалық барлау жұмыстары кезінде алынатын деректерді өңдеу арқылы инверсиялық жолмен қайта қалыптастыру әдістерін тиімді, қарапайым және шапшаң әдістерін жетілдіру - барлау, немесе игеру алаңдарында пайдалы қазбалар кен-орындарының құрылымы туралы неғұрлым толық мағлұмат алуға мүмкіндік береді.

Бұл мақалада стохастикалық инверсия әдісін Оңтүстік Торғай шөгінді бассейні аумағында қалыптасқан кен-орнын мысал ретінде қарастырып, неғұрлым сәйкес шешімді табу мақсатында кеңейтілген серпімді импеданс (Extended Elastic Inversion) трассасы үшін псевдоұңғымалар қолданылды. Бұл

әдіс, анықталған литотиптердің геологиялық пішінін анықтау, болшақта бұрғыланатын орындарды картаға түсіру, оларды орналастыру үшін (және т.б.) алынған ақпараттар негізінде геологиялық модельді нақтылау мүмкіндігі себебінен қызығушылығын туғыздырып отыр. Қолда бар есептеу мүмкіндіктері мен жұмсалған уақытты негізге ала отырып, осы әдіс пен оның өнімділігі бағаланды.

Түйін-сөздер: стохастикалық инверсия, кеңейтілген серпімді импеданс, түсті инверсия, псевдоұңғыма.

IMPLEMENTATION OF STOCHASTIC INVERSION METHOD USING PSEUDO-WELLS BASED ON AN EXAMPLE FROM OIL FIELD LOCATED IN SOUTH TORGAY SEDIMENTARY BASIN

A.D. Sadykov

Development of modern inversion transformations in seismic data interpretation area is associated with strive of getting full insight on structure of the explored and developed accumulations using simple, fast and efficient methods. Nature of current seismic inversion methods is variable; therefore, choice of inversion technology conditioned by target that needs to be achieved, as well as, reservoir parameters, amount and quality of data. Of course, time limits set to find optimal solution must be taken into account, since they are guided by industry needs.

In the present paper, we reviewed implementation of the stochastic inversion method based on pseudo-wells that are estimated for a trace of extended elastic inversion (EEI) for purpose to find best-fitting solution for a given trace based on an example for an oil field located within South Torgay sedimentary basin. This method could be interesting for mapping of specified litho-types, clarification of the geological model, precise placement of the appraisal well drilling locations etc.

Method and productivity were evaluated based on time and existing computing power.

Key words: Stochastic inversion, extended elastic impedance, colored inversion, pseudo-wells.

Информация об авторах

Садықов Айхан Дусенович – ведущий инженер группы сейсмических исследований, asadykov@niikmg.kz.

ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Нур-Султан, Казахстан