Efficiency of Application of Geostatistical Inversion at Specification of a Structure of Oil-And-Gas Layers of the Jurassic Complex

A.V. Shaykhlislamova* (SPC Geostra), S.V. Gurina (SPC Geostra), T.R. Sharafutdinov (SPC Geostra LLC)

SUMMARY

As a matter of experience performance of seismic inversions for various geological tasks it is possible to draw a conclusion that the choice between deterministic and geostatistical methods needs to be made, proceeding from the set of geological objects and degree of study of the field. At an initial stage of development of the field it is enough to perform integrated forecast for deterministic inversion allowing to reveal zones of development of reservoirs with improved properties. In case it is necessary to specify a deposits structure during creation of geological model, planning of development drilling, in particular for a difficultly constructed and strongly changing on lateral reservoirs, it is necessary to use a method of geostatistical inversion. Possibilities of more objective forecast of petrophysical parameters of sandy reservoirs are extending, because of use of seismic data inversion in a complex with a structural factor, petrophysical modelling data, on the basis of knowledge of formation and a structure of oil-and-gas complexes of the region.

Эффективность применения геостатистической инверсии при детализации строения нефтегазоносных пластов юрского комплекса.

А. В. Шайхлисламова* (НПЦ «Геостра»), С.В. Гурина (НПЦ «Геостра»), Т.Р. Шарафутдинов (НПЦ «Геостра»)

Введение

Активное внедрение и развитие новых сейсмических технологий позволяет рассматривать сейсморазведку как один из передовых геофизических методов изучения строения нефтегазоносных осадочных толщ. С целью увеличения информативности сейсмических данных, повышения надежности и достоверности прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород, в настоящее время широко используется сейсмоакустическая инверсия – процесс преобразования сейсмических данных в количественное описание свойств пород, составляющих геологический разрез.

Метод

Под сейсмической инверсией традиционно принято понимать решение обратной динамической задачи сейсморазведки, т.е. восстановление распределения упругих параметров геологической среды по зарегистрированному волновому полю. В настоящее время можно выделить четыре основных метода инверсионных преобразований. По типу используемых сейсмических данных разделяются инверсии данных до или после суммирования. Кроме того, задачу инверсии сейсмических данных можно рассматривать как детерминистическую или геостатистическую (стохастическую). Результатом детерминистической инверсии является единственная модель упругих свойств, которая удовлетворяет сейсмическим данным и априорным ограничениям. Данный вид инверсии уже давно является производственным стандартом и обязательно используется в проектах по прогнозу коллекторских свойств продуктивных пластов. Результатом работы стохастической инверсии является множество реализаций импедансов высокого разрешения. К основным преимуществам геостатистических методов можно отнести возможность получать результаты в масштабе данных ГИС, рассчитав при этом вероятностную оценку прогнозных свойств. Геостатистический подход позволяет объединить информацию разных масштабов (геология, сеймика, ГИС) в виде единой 3D цифровой геологической модели.

Результаты

На примере одного сложно построенного месторождения Западной Сибири рассмотрим различные методы инверсии и то, какие задачи позволяет решать каждая из них. Территория расположена на границе Шаимского и Сергинского нефтегазоносных районов. Геологический разрез представлен доюрским комплексом, юрскими, меловыми, палеогеновыми и четвертичными отложениями. На месторождении промышленно нефтегазоносными являются песчано-алевролитовые пласты нижней и средней юры. Основной геологической задачей являлась детализация строения залежей углеводородов с целью оптимизации сети эксплуатационного бурения, для чего необходимо было построить объемные модели распределения коллекторов в целевых интервалах.

Рассмотрим результаты акустической детерминистической инверсии полнократного сейсмического куба, детерминистической и геостатистической синхронной инверсий набора частично-кратных сейсмических данных. Проанализируем возможности и ограничения каждого метода для решения существующих геологических задач.

Метод детерминистической инверсии. Основное преимущество акустической детерминистической инверсии состоит в ее вычислительной простоте, так как требуется минимальная специальная подготовка сейсмических данных. Число скважин, находящихся в пределах сейсмической съемки 3D, равномерность их расположения, качество записанного

и/или восстановленного акустического и плотностного каротажей играют немаловажную роль при построении низкочастотной модели.

На основе сейсмического материала 3Д и данных акустического и плотностного каротажей по 18 скважинам была построена низкочастотная опорная трехмерной модель импеданса, проводился выбор алгоритма инверсии на основе тестирования и анализа полученных результатов.

Полученный в результате акустической инверсии куб импеданса вполне информативный, существенно облегчающий интерпретацию стратиграфических и литофациальных границ и позволяющий проводить прогноз ФЕС пластов.

Кроме детерминистической акустической инверсии по суммарному кубу была выполнена детерминистическая упругая (синхронная) инверсия для расчета куба соотношения V_p/V_s , так как при проведении анализа упругих свойств по скважинным данным было получено разделение по признаку коллектор-неколлектор в поле упругого параметра - соотношение V_p/V_s .

Получаемые в результате синхронной инверсии кубы упругих параметров позволяют выполнить более точный по сравнению с акустической инверсией количественный прогноз ФЕС и прогноз распространения литотипов, определенных по скважинным данным.

Метод геостатистической инверсии. Данный метод инверсии, предложенный Хаасом и Дюбрулом [2], позволяет вплотную приблизиться к решению этой задачи. Идея, положенная в его основу, довольно проста: в процессе статистического моделирования для каждой реализации модели необходимо вычислять волновое поле, соответствующее полученному распределению упругих свойств пласта. После этого, сравнивая его с наблюдаемым полем, нужно отсеивать реализации, увеличивающие невязку. Таким образом, описав в виде функций плотности вероятностей все источники информации о резервуаре, с использованием тех или иных стохастических алгоритмов моделирования (последовательное гауссовское моделирование [5], анилинг [2,3], цепи Маркова – Монте-Карло [4] и др.), становится возможным получить множество моделей свойств (упругих и петрофизических), согласованных с имеющимися сейсмическими данными.

Каркасная модель для инверсии создавалась во временной области на основе скважинных данных и стратиграфических слоев, определяемых с помощью сейсмических горизонтов, сопоставляемых с кровлями пластов юрского интервала и горизонтальных и вертикальных – вариограмм. Использовалась корреляция стратиграфической кровли пластов целевого интервала с учетом результатов детерминистической инверсии, характер напластования внутри слоев был описан как пропорциональный. Далее подбирались модели вариограмм. В качестве тренда для описания изменения свойств каждого слоя использовалось распределение импеданса внутри слоев по результатам детерминистической инверсии (для горизонтальных вариограмм) и скважинные кривые импеданса (для вертикальной вариограммы).

Сопоставление рассчитанных множественных реализаций геостатистической инверсии и полученных кубов детерминистической инверсии с исходными кривыми импеданса по скважинным данным позволяет убедиться, что детерминистическая инверсия имеет интегральный характер, тогда как геостатистическая инверсия позволяет выделить отдельные проницаемые пропластки коллекторов (рисунок 1). Расчетные кривые импеданса по результатам реализаций геостатистической инверсии отличаются высокой сходимостью с априорными скважинными данными. Для анализа стабильности результатов при заданных параметрах было рассчитано 30 реализаций решений синхронной геостатистической инверсии, включающих кубы Р-импеданса и S-импеданса, плотности, V_p/V_s кубы распределения

вероятностей и куб стандартных отклонений абсолютных значений импеданса. В отличие от детерминистической инверсии, реализации геостатистической инверсии отличаются лучшей дифференциацией, а мелкие детали разреза хорошо воспроизводятся от одной реализации к другой.

Рисунок 1 Сопоставление расчетных кривых и разрезов акустического импеданса по результатам детерминистической (а, в) и геостатистической (б, г) инверсии.

С целью построения карт прогнозных петрофизических параметров анализируемых пластов и оценки их коллекторских свойств были использованы данные, извлеченные из куба Р-импеданса, прогнозного куба плотностей, куба соотношения V_p/V_s , а также динамические параметры сейсмического куба данных.

Рассмотрим промышленно нефтеносный пласт Ю₅ тюменской свиты. Коллектор представлен песчаниками с эффективными толщинами от 0,5 до 11,3 метра, средневзвешенной пористостью 13,1-21,3%.

По результатам сопоставления литотипов в поле упругих параметров на основе скважинных данных в интервале пласта Ю₅ по кривым, полученным в результате петроупругого моделирования, было отмечено отделение песчаного коллектора по пониженному уровню значений соотношения $V_p/V_s=1,8$ и менее, с незначительным перекрытием, от других литотипов (аргиллит, угли, плотные породы). Диапазон значений по Р-импедансу сопоставим с аргиллитами, для уплотненных разностей диапазон Р-импеданс самый высокий (рисунок 2). На рисунке песчаники обозначены желтым цветом, глины и глинистые разности – зеленым, плотные породы – фиолетовым.

На вертикальных сечениях по кубу соотношения V_p/V_s области распространения коллекторов пласта Ю₅ характеризуются понижением значений упругого параметра по сравнению с областями отсутствия коллектора, что обосновано по результатам анализа скважинных данных (рисунок 3).

Прогноз областей распространения коллекторов пласта Ю₅ был выполнен на основе параметра соотношения V_p/V_s , позволившего спрогнозировать распределение толщин коллекторов по пониженным значениям данного параметра (рисунок 4).

Вывод

Возможности все более объективного прогноза петрофизических параметров песчаных коллекторов расширяются, благодаря использованию данных сейсмической инверсии в комплексе со структурным фактором, данными петрофизического моделирования, на основе знаний о формировании и строении нефтегазоносных комплексов региона. Выбор между детерминистическим и геостатистическим методами нужно производить, исходя из поставленных геологических задач и степени изученности месторождения. На начальной

стадии освоения месторождения достаточно интегрального прогноза по детерминистической инверсии, позволяющего выявить зоны развития коллекторов с улучшенным ФЕС. В случае, когда необходима детализация строения залежи, при создании геологической модели, планировании эксплуатационного бурения, в особенности для сложно построенных и сильно изменяющихся по латерали резервуаров, необходимо использовать метод геостатистической инверсии.

Рисунок 4 Схемы соотношения Vp/Vs (а) и прогнозных эффективных толщин коллектора (б) в интервале пласта Ю₅.

Библиография

1. Ампилов Ю.П., Барков А.Ю., Яковлев И.В. Почти все о сейсмической инверсии. Ч. 1// Технологии сейсморазведки. 2009.4. С. 3–16.
2. Haas, A. and Dubrule, O. Geostatistical Inversion – a Sequential Method of Stochastic Reservoir Modeling Constrained by Seismic Data, 1994, First Break, 12, No. 11, p. 561—569
3. Gilks, W. R., Richardson, S. and Spiegelhalter, D. J. Markov Chain Monte Carlo in Practice. Chapman & Hall/CRC, 1996.
4. Дюбрюль О. Геостатистика в нефтяной геологии, ИКИ, 2009, 256 с.
5. Matheron, G. 1962. Traité de géostatistique appliquée. Tome 1, Editions Technip, Paris, 334 pp.

Bibliography

1. Ampilov Yu.P., Barkov A. Yu., Yakovlev I.V. Almost everything about seismic inversion. P. 1// Seismic technologies. 2009.4. p. 3–16.
2. Haas, A. and Dubrule, O. Geostatistical Inversion – a Sequential Method of Stochastic Reservoir Modeling Constrained by Seismic Data, 1994, First Break, 12, No. 11, p. 561—569
3. Gilks, W. R., Richardson, S. and Spiegelhalter, D. J. Markov Chain Monte Carlo in Practice. Chapman & Hall/CRC, 1996.
4. Dubrule O. Geostatistics in Petroleum Geology, IKI, 2009, 256 pp.
5. Matheron, G. 1962. Traité de géostatistique appliquée. Tome 1, Editions Technip, Paris, 334 pp.