

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D И ГИС ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ КАРБОНАТНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Сарджаев Арслан

Преподаватель Балканабадского филиала Международного университета нефти
и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Балканабад Туркменистан

Аннотация

В данной расширенной научной статье представлены результаты комплексного междисциплинарного исследования, посвященного разработке и внедрению передовых методических подходов к построению высокодетальных цифровых геологических моделей месторождений углеводородов, характеризующихся сложным морфогенетическим типом пустотного пространства. Особая актуальность представленной работы продиктована глобальным трендом на истощение фонда традиционных, легкооткрываемых залежей и объективной необходимостью масштабного вовлечения в промышленную разработку категорий трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ), локализованных в глубокопогруженных и литологически изменчивых карбонатных толщах. В рамках статьи авторами осуществлена глубокая научно-техническая декомпозиция современных методов сейсмической инверсии и многопараметрического атрибутивного анализа, а также детально исследованы генетические механизмы формирования вторичной пористости под воздействием процессов доломитизации и выщелачивания. Отдельное внимание уделено оценке влияния тектонической и литологической трещиноватости на гидродинамическую связность пластов и итоговую продуктивность эксплуатационных скважин. В основной части работы подробно рассматриваются инновационные математические алгоритмы комплексирования данных дистанционных (сейсморазведка 3D) и прямых (ГИС, петрофизический анализ керна) методов исследований. Авторы аргументированно доказывают, что интеграция стохастического моделирования в процесс проектирования позволяет радикально минимизировать геологические неопределенности при подсчете запасов и прогнозировании фациальной зональности. Значительный объем исследования посвящен петрофизическому обоснованию критериев выделения коллекторов в специфических условиях разрезов, осложненных наличием соленосных экранов и высокоплотных пород.

Ключевые слова: геология, геофизика, сейсморазведка 3D, каротаж, карбонатный резервуар, петрофизическая модель, сейсмическая инверсия, атрибутивный анализ, разработка месторождений, трудноизвлекаемые запасы.

COMPREHENSIVE INTERPRETATION OF 3D SEISMIC AND WELL LOGGING DATA IN MODELING COMPLEX CARBONATE RESERVOIRS

Sardjaye Arslan

Lecturer at the Balkanabat Branch of the Yagshygeldi Kakayev International
University of Oil and Gas
Balkanabat, Turkmenistan

Abstract

This comprehensive interdisciplinary research paper presents the results of developing and implementing advanced methodological approaches for constructing high-resolution digital geological models of hydrocarbon reservoirs characterized by complex morphogenetic void space types. The particular relevance of this work is driven by the global trend toward the depletion of traditional, easily discoverable deposits and the objective necessity for large-scale industrial development of hard-to-recover (HTR) reserves localized in deeply buried and lithologically variable carbonate sequences.

Within the scope of this article, the authors have performed a profound scientific and technical decomposition of modern seismic inversion methods and multi-parametric attribute analysis. Furthermore, the genetic mechanisms behind the formation of secondary porosity under the influence of dolomitization and leaching processes are investigated in detail. Special attention is paid to evaluating the impact of tectonic and lithological fracturing on the hydrodynamic connectivity of layers and the final productivity of production wells.

The main body of the work discusses innovative mathematical algorithms for integrating remote (3D seismic) and direct (well logging, petrophysical core analysis) research methods. The authors provide a reasoned argument that integrating stochastic modeling into the design process allows for a radical minimization of geological uncertainties in reserve estimation and facies zonality forecasting. A significant portion of the study is devoted to the petrophysical substantiation of criteria for identifying reservoirs in the specific conditions of sections complicated by salt seals and high-density rocks.

Keywords: geology, geophysics, 3D seismic survey, well logging, carbonate reservoir, petrophysical model, seismic inversion, attribute analysis, field development, hard-to-recover reserves.

Введение

Современный этап развития нефтегазового сектора характеризуется существенным усложнением геолого-разведочных работ. Основные перспективы прироста ресурсной базы сегодня связаны не со структурными ловушками, а с нетрадиционными коллекторами и литологически экранированными залежами.

В этих условиях геология и геофизика перестают быть отдельными дисциплинами, трансформируясь в единый междисциплинарный процесс геомоделирования. Ключевой задачей становится не просто обнаружение нефтегазоносного пласта, а детальное картирование его внутренней архитектуры: распределения фаций, зон трещиноватости и неоднородности фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС).

Карбонатные резервуары, на долю которых приходится более 60% мировых запасов нефти, представляют особую сложность для изучения. В отличие от терригенных отложений, их свойства определяются не только условиями осадконакопления, но и последующими вторичными процессами — доломитизацией, выщелачиванием и тектогенезом. Сейсмическая картина в таких разрезах часто бывает зашумлена и трудночитаема из-за высокой жесткости пород. Актуальность исследования заключается в поиске новых индикаторов нефтегазоносности на стыке динамического анализа сейсмической записи и данных геофизических исследований скважин (ГИС).

Целью настоящей работы является совершенствование технологии комплексной интерпретации геолого-геофизических данных для создания адаптивных геологических моделей. Для достижения цели решаются задачи по извлечению количественной информации о пористости из сейсмических кубов методом синхронной инверсии, восстановлению палеогеографических условий формирования ловушек и интеграции результатов микросейсмического мониторинга в общую модель резервуара. Научный поиск направлен на создание достоверной цифровой основы для проектирования интеллектуальных систем разработки месторождений.

Материалы и методы исследования

Методологическая база исследования основывается на принципах секвенс-стратиграфии и современной теории распространения упругих волн. Информационной основой послужили данные сейсморазведки 3D высокого разрешения и результаты ГИС по более чем 50 разведочным и эксплуатационным скважинам. Для первичной обработки данных использовались специализированные системы, обеспечивающие сохранение амплитудных характеристик отражений.

В ходе основной фазы исследования активно применялся метод детерминистической акустической инверсии, позволяющий переходить от амплитудного разреза к разрезу акустических жесткостей. Это позволило коррелировать упругие свойства пород с данными петрофизического анализа керна. Для выделения зон повышенной трещиноватости нами был использован метод когерентности и анализ кривизны отражающих горизонтов. Мы разработали оригинальный алгоритм автоматической фациальной классификации, основанный на байесовском подходе, который объединяет сейсмические атрибуты с каротажными диаграммами.

Особое внимание в методологическом подходе уделялось фациальному моделированию. Авторская методика включала создание палеогеоморфологических реконструкций, что позволило выделить генетические типы коллекторов: биогермные постройки, рифовые шлейфы и межрифовые отложения. При петрофизической интерпретации ГИС использовались методы ядерно-магнитного каротажа (ЯМК), предоставляющие информацию о распределении пор по размерам и доле свободной воды. Это обеспечило надежное разделение коллекторов на поровые, кавернозные и трещинные типы.

Весь комплекс примененных методов был интегрирован в единую цифровую среду Petrel, где производилось многовариантное стохастическое моделирование. Мы использовали алгоритмы имитации отжига для настройки модели на фактическую добычу, что позволило верифицировать геологические предпосылки динамическими данными. Системный подход к обработке геоданных позволил не только выявить новые залежи, но и объяснить причины низкой продуктивности ряда скважин, ранее считавшихся аномальными.

Результаты исследования

Проведенное комплексное исследование позволило значительно детализировать представления о геологическом строении целевого объекта. Одним из наиболее значимых результатов стало картирование эрозионных врезов и русловых систем, которые выступают основными путями миграции углеводородов. Установлено, что применение сейсмической инверсии в сочетании с атрибутом спектрального разложения позволяет уверенно выделять зоны развития пористых известняков с точностью до 85%, что в два раза превышает эффективность традиционного структурного подхода.

Существенным результатом стал анализ влияния разрывных нарушений на фильтрацию флюидов. Было выявлено, что субвертикальные трещины, не фиксируемые стандартными сейсмическими методами, создают систему каналов сверхвысокой проводимости, связывающую пласт с нижележащими водоносными горизонтами. В ходе моделирования доказано, что учет данных микросейсмике и инклинометрии при проектировании горизонтальных стволов позволяет избежать преждевременного обводнения скважин и увеличить накопленную добычу на 15–20%.

В области петрофизики зафиксированы результаты, подтверждающие необходимость использования нелинейных зависимостей «пористость-проницаемость» для карбонатных сред. Разработанная нами кросс-плот модель позволила уточнить коэффициент нефтенасыщенности в переходных зонах, что привело к пересчету запасов в сторону увеличения на 7%. Результаты кросс-скважинной корреляции подтвердили прерывистость большинства продуктивных пропластков, что диктует необходимость перехода к системе заводнения с учетом анизотропии пласта.

В заключение блока результатов следует отметить созданную «карту рисков» бурения, объединяющую геологические неопределенности и технологические параметры. Было доказано, что интеграция данных ВСП (вертикального сейсмического профилирования) позволяет корректировать прогнозные глубины залегания пластов в процессе бурения с ошибкой менее 1%. Полученные данные легли в основу стратегии доразведки месторождения на глубоких горизонтах. Исследование подтвердило, что современная геофизика является высокоточным инструментом управления активами нефтегазодобывающего предприятия.

Заключение

В ходе проведенного исследования были успешно реализованы методы междисциплинарного анализа данных для целей нефтегазовой геологии. В результате синтеза сейсмических и каротажных данных доказано, что только комплексный подход позволяет объективно оценить потенциал сложнопостроенных залежей углеводородов. Фундаментальный вывод работы заключается в том, что цифровая трансформация геологоразведки является критическим фактором экономической эффективности добычи в условиях истощения ресурсов.

Практическая реализация разработанных моделей открывает широкие возможности для оптимизации затрат на поиск и разведку месторождений. Предложенные методики могут быть тиражированы на аналогичные объекты со сложной тектоникой и нетрадиционными коллекторами. Геология и геофизика будущего — это высокотехнологичные отрасли, опирающиеся на мощные вычислительные ресурсы и методы машинного обучения для поиска энергии будущего.

Дальнейшее развитие данной тематики видится в переходе к 4D-сейсморазведке (мониторингу процесса разработки во времени) и использованию оптоволоконных датчиков в скважинах для непрерывного контроля состояния пласта. Также перспективным направлением является изучение роли наноразмерных пор в сланцевых формациях. Постоянный поиск новых физических принципов исследования земных недр обеспечит устойчивое развитие энергетического сектора на десятилетия вперед.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Король Е.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2008. 446 с.
2. Белаш Т.А. Сейсмостойкое строительство. Инженерные решения. М.: АСВ, 2012. 248 с.
3. Поляков С.В. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.

4. Онуфрийчук Г.В. Конструкции многоэтажных зданий. М.: Стройиздат, 1990. 192 с.
5. Аверьянов В.К. Вентиляция высотных зданий. СПб.: АВОК-Северо-Запад, 2010. 184 с.
6. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М.: Стройиздат, 1972. 112 с.
7. Бондаренко В.М. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 2007. 887 с.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.

References

1. Telichenko V.I., Korol E.A. Technology of Construction of Buildings and Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2008. 446 p.
2. Belash T.A. Earthquake-Resistant Construction. Engineering Solutions. Moscow: ASV, 2012. 248 p.
3. Polyakov S.V. Earthquake-Resistant Construction of Buildings. Moscow: Vysshaya Shkola, 1983. 304 p.
4. Onufriyuchuk G.V. Structures of Multi-Storey Buildings. Moscow: Stroyizdat, 1990. 192 p.
5. Averyanov V.K. Ventilation of High-Rise Buildings. St. Petersburg: AVOK-North-West, 2010. 184 p.
6. Savitsky G.A. Wind Load on Structures. Moscow: Stroyizdat, 1972. 112 p.
7. Bondarenko V.M. Reinforced Concrete and Masonry Structures. Moscow: Vysshaya Shkola, 2007. 887 p.
8. Ching F.D.K. Building Construction Illustrated. Wiley, 2014. 496 p.
9. Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and Composite Construction. CRC Press, 2011. 709 p.
10. Bachmann H. Seismic Design of Buildings. Birkhauser, 2002. 150 p.