

УДК 550.8.05
МРНТИ 39.19.15

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2023-20-4-137-143>

ЧНЫБАЕВА Д.М.

Казахстанско-Британский технический университет,
050000, г. Алматы, Казахстан
E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОГНОЗ ЛИТОЛОГИИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ В УСЛОВИЯХ СЛАБОЙ ИЗУЧЕННОСТИ СКВАЖИНАМИ

Аннотация

В последние десятилетия разведке нефти и газа уделяется особое внимание, и сейчас наблюдается стремительное ускорение темпов ее развития и появления новых, современных методов решения геологических проблем. Геофизическая разведка, особенно сейсморазведка, являясь единственным средством поиска нефтегазоносных структур, играет важную роль в обеспечении запасов нефти и газа. Сейсмические исследования дали уникальную информацию для изучения геологического строения и составления геодинамической модели на поверхности изучаемых объектов. На базе этих исследований открыто Кашаганское месторождение, месторождение Каламкас-море. Различные регионы казахстанского сектора Каспийского моря покрыты регулярной сетью профилей размером от 16х16 км до 4х4 км. Таким образом, помимо исторической изученности, данные работ к сегодняшнему дню привели к созданию объемной информационной базы сейсмических данных. Но при этом в связи с трудными морскими условиями и, соответственно, высокой стоимостью бурения скважинная информация достаточно скудная. Скудность скважинной информации приводит к большим ограничениям использования сейсмической информации. В рамках данной работы выполнено изучение упругих сейсмических свойств по доступной скважине и прогнозирование вещественного состава геологического разреза и типа флюидов, насыщающих породы на основе сейсмических данных, которые способствуют изучению литологии на месторождениях и залежах с трудными доступами к скважинным информации [1].

Ключевые слова: сейсмограммы, упругие свойства, волновое поле, скоростная модель, синхронная инверсия, скважина, акустический импеданс, AVO/AVA (amplitude versus offset/ angle), флюиды, литология.

Введение

Как известно, литология – это наука о составе, структуре, текстуре и происхождении осадочных пород. За границей она называется иначе – седиментология. Прикладная часть нефтегазовой литологии обслуживает нефтегазовую отрасль и изучает сведения о породах-коллекторах, месторождениях флюидоупоров, а также о природных резервуарах или ловушках для нефти с газом определенных классов. Практика прогнозирования литологии по данным сейсмических измерений широко распространена в геолого-разведочных работах, проводящихся на территории Казахстана.

Интерпретация прогноза литологии основывается на динамической инверсии, обеспечивающей оценку упругих характеристик изучаемой части геологического разреза по сейсмическим данным МОГТ. В основу изучения вероятностного прогноза литологии положена подборка упругих моделей анализируемого интервала геологического разреза [2].

Основная часть

Важную роль в обеспечении прироста запасов углеводородов играют геофизические методы, особенно сейсморазведка, являющаяся единственным средством обнаружения углеводородоносных структур. Однако в последние годы сейсмические исследования проводились на большей глубине для решения более сложных структурных проблем. Во многих геофизических компаниях при подготовке структур разведочного бурения используются горизонты отражения глубиной более 4–5 км, амплитуда которых зачастую не превышает первых десятков метров. Использование же вероятностных методов позволяет оптимизировать планирование и проек-

тирование сейсморазведочных работ, а также оценку их эффективности на этапе интерпретации сейсмических данных и, в частности, точность и надежность конструкций, построенных на основе этих данных.

Вероятностный прогноз литологии оценивает эффективность эксплуатации при решении геологических задач в процессе геолого-разведочных работ на газ и нефть [3]. Благодаря таким сейсмическим данным, как акустический импеданс и отношение V_p/V_s , мы можем извлечь достаточно информации, такой как литология пространства, пористость, проницаемость, флюидонасыщенность.

Одним из основных вопросов при сейсмотетрофическом прогнозировании литологии является изучение рокфизики, акустического импеданса и данных отношения продольной волны к поперечной (V_p/V_s). Полученные спектры и распределение физических параметров на графиках дает нам точную информацию, по которой строятся различные карты и далее выполняется подробный отчет применения прогноза на практике.

Обзор литературы

Вероятностный прогноз литологии широко используется при изучении интерпретации сейсмического материала как на этапе региональных геофизических работ, так и при изучении локальных разведочных объектов и вызывает интерес для будущего повышения экономической привлекательности геологоразведки.

Авторы Е.Г. Скорнякова, И.А. Титаренко (Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики) в своей научной статье «Технология ВЛП – возможности и ограничения» раскрывают подобную тему. В публикации описывается историческое начало метода и местность, где проводились первые пробные работы, с предоставлением наглядных иллюстраций, проблемы, которые могут возникнуть, и пути решения для построения качественной геологической информации.

В статье «Перспективы неструктурных ловушек как потенциал прироста ресурсной базы и дополнительной добычи углеводородов», авторами которой являются О.Б. Бегимбетов, Д.Т. Калиев, А.Б. Даулетов, основательно описывается изучение предшествующих процедур, которые служат основой для вероятностного прогноза литологии [4].

Проанализировав публикации этих авторов, можно сказать, что статьи близки по идеям. В их основе лежит описание тем по изучению синхронной инверсии, вероятностного прогноза литологии, анализа рокфизики, разведки и разработки неструктурных ловушек, и это говорит о том, что тема актуальная и современная. Работы наряду с доступными исходными материалами с производства стали основой для написания статьи.

Материалы и методы

1 Ограничения сейсмических данных

В первую очередь, следует отметить, что прогноз и анализ выполняются по сейсмическим данным, соответственно, следует принять во внимание ограничения сейсмических данных, то есть разрешенность.

2 Привязка сейсмических данных к скважинным

Под привязкой в данном случае понимается привязка скважинных данных и сейсмических данных до суммирования (угловые суммы и полная сумма). Для увязки скважинных и сейсмических данных были задействованы глубинно-временные зависимости, полученные на основе расчета синтетических сейсмограмм с использованием данных ВСП [5].

Использование синтетических сейсмограмм для стратиграфической привязки отражений основано на существовании закономерной связи между литологическим составом изучаемого разреза и характеристикой отражений. При прямой полярности исходных сейсмических данных отраженный основной импульс будет положительным при увеличении акустической жесткости нижележащего слоя относительно вышележащего, уменьшение акустической жесткости

вниз от границы слоев приводит к образованию отрицательной отраженной волны. Интенсивность этих отраженных сигналов является функцией разности акустических жесткостей (1.1).

$$Z = \text{скорость} * \text{плотность};$$

$$R = (Z'' - Z') / (Z'' + Z') \quad (1.1)$$

где Z' и Z'' – значение акустического импеданса в вышележащем и нижележащем слое.

R – коэффициент отражения на границе двух слоев.

3 Подготовка скоростной модели на основе сейсмических скоростей

Ввиду того, что планируется сопоставлять скважинные данные в глубинном масштабе с сейсмическими данными во временном масштабе, требуется построение скоростной модели.

Первый шаг предполагает увязку скважинных данных с сейсмическими данными для того, чтобы получить откалиброванные карты глубинно-временного преобразования. Второй шаг заключается в расчете погрешностей в существующем скоростном поле с учетом таких откалиброванных карт глубинно-временного преобразования. Третий шаг – построение 3D-модели этих погрешностей с использованием геостатистики. Заключительным шагом является применение полученного куба погрешностей скоростей к существующей модели для того, чтобы создать финальную масштабированную скоростную модель для глубинно-временного преобразования всего массива данных 3D.

4 Оценка технической осуществимости динамического анализа

Основополагающим принципом изучения AVO является предположение, что данные были правильно обработаны. Это означает, что корректно подавлен шум, распределение амплитуд сохранено, положение отражений во времени стабильно на изучаемом угловом интервале, амплитуды с удалениями согласуются с уравнениями Аки-Ричардса (или других аппроксимаций) и т.д.

5 Оценка других потенциально осложняющих анализ факторов

Другим осложняющим регистрируемую волновую картину фактором является фиксируемые палеоген-неогеновые врезы, влияние от которых распространяется на нижерасположенную часть волнового поля, также затрудняя однозначную корреляцию целевых сейсмических горизонтов, интерпретацию атрибутов, а также анализ скорости геологической среды в целевых интервалах [6].

6 Вероятностная оценка упругих свойств

Связующим звеном между каротажными данными и сейсмическими данными являются упругие свойства. Анализ упругих свойств, применяемый к данным сейсмических съемок, призван примирить различия этих шкал измерений и попытаться спрогнозировать наилучшее вероятное выражение литологии и распределения флюидов по сейсмическим данным. Соответственно, анализ упругих свойств поможет нам использовать информацию о сейсмических амплитудах (функция эластических свойств) для надежного прогноза различных коллекторских свойств.

7 Детерминистическая оценка упругих свойств

Для оценки сейсмического отклика также был применен и детерминистический подход, то есть в целевом интервале было выполнено флюидозамещение по Гассману с целью оценки различных сценариев насыщения. Полученные кривые после замещения были свернуты с импульсом, и возможная смена сейсмического отклика проанализирована.

8 Синхронная инверсия (AVO инверсия)

Исходными данными для сейсмической инверсии традиционно считаются сейсмические данные после миграции до суммирования во временной области, сигнал по каждой угловой сумме, а также исходная модель среды (тренд скорости и плотности из данных каротажа). В результате мы получаем отклик, который количественно описывает упругую породу в наблюдаемом поведении AVO, присутствующем в исходных сейсмических отраженных данных. Если говорить более точно, алгоритмы инверсии лучше работают с углом падения, чем с офсетом,

поэтому более точной аббревиатурой скорее будет AVA (Amplitude versus Angle – амплитуда по сравнению с углом) [7].

Последовательность процедур синхронной инверсии (относительной и абсолютной) нерегулярных импульсных всплесков по данным до суммирования состоит из следующих элементов:

- ♦ выделение импульса;
- ♦ построение низкоскоростной модели;
- ♦ геостатистическое глубинное преобразование;
- ♦ контроль качества сейсмической инверсии и производство;
- ♦ прогнозирование байесовской литологии/флюидов с использованием статистической модели зависимых от глубины физических свойств породы [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты синхронной инверсии могут количественно интегрироваться с моделью статистических физических свойств пород, которые зависят от глубины и были определены путем анализа имеющейся скважинной каротажной информации, в результате чего получаются «куб вероятности – неопределенности» литологии и/или флюидов. Например, кросс-плоты V_p/V_s в сравнении с акустическим импедансом коррелируются с инвертированным Р-импедансом, S-импедансом и значениями плотности, полученными по результатам сейсмической инверсии по каждому дискретному значению трассы для того, чтобы получить куб данных, где амплитуды будут представлять 80% вероятность насыщенности газом. Также можно прогнозировать ряд прочих классов/фаций. Также есть возможность изучать байесовскую (статистическую) литологию и прогнозировать флюидонасыщение в рамках схемы инверсии (а не после ее завершения), однако при этом сильно возрастают вычислительные затраты.

Конечной целью количественной инверсии является прогнозирование литологии и флюидного содержания вдали от скважин. Данный процесс должен принимать во внимание все имеющиеся в наличии данные, а не только сейсмические или скважинные данные. Геологическое понимание региона позволит отобрать значимые сейсмические атрибуты и в результате получить соответствующие действительности продукты инверсии.

Полученные данные затем количественно сравниваются с эквивалентными инвертированными данными для выработки прогнозов. Затем генерируются отдельные массивы данных вероятной литологии и флюидосодержания. Массив данных с наиболее высокой вероятностью (или информация о литологии/классе флюидов) также может рассчитываться, как и куб вероятности «неизвестной литологии», которые отображают результаты инверсии, не согласующиеся с моделью физических свойств пород [9].

Заключение

Благодаря оценкам исследованным сейсмическим и данным ГИС на основе всех необходимых атрибутов мы сможем прогнозировать в условиях малоизученных скважин литологию. Прогнозирование выполняется для палеозойских, в том числе и подсолевых, отложений, для мезозойских и кайнозойских комплексов пород. Эксплуатация вероятностного прогноза литологии позволяет оценить эффективность ее использования при решении различного рода геологических задач в процессе геолого-разведочных работ на нефть и газ и рассматривать основные проблемы и ограничения ее использования в практике геологоразведки.

Представление результатов прогноза в виде вероятностных характеристик наличия того или иного литотипа в межскважинном пространстве – это одно из преимуществ метода байесовской статистики. Метод требовал использования пре-стек сейсмических данных и каротажных кривых скоростей поперечных волн, или искусственных кривых скоростей, которые понадобились для построения куба коэффициентов Пуассона, и определить эмпирические законы. На основе результатов акустического импеданса и прогноза литологии выполнен прогноз

пористости методами геостатистики в зонах отдельных литотипов или коллектора, где зависимость между акустическим импедансом и пористостью имеет линейный характер. Прогноз флюидонасыщения, литологии, AVO классификация. При благоприятных геологических условиях существует возможность оценки характера насыщения перспективного объекта, а также определения литологической составляющей геологического разреза с помощью методов AVO/AVA-анализа. В итоге, получив распределение литологии изучаемого объекта по площади на основе анализа формы сейсмического сигнала, появляется возможность выполнить районирование территории, что является актуальным и важным критерием для разработки морского месторождения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Воцалевский Э.С., Булекбаев З.Е., Искужиев Б.А. и др. Справочник месторождения нефти и газа Казахстана. – Алматы, 1999.
- 2 Скорнякова Е.Г., Титаренко И.А., Мифтахов. Р.Л. Новый вероятностный алгоритм решения обратной динамической задачи сейсморазведки // Недра Поволжья и Прикаспия. – 1997. – 14 с.
- 3 Скорнякова Е.Г., Титаренко И.А. Сейсмометрофизическое тестирование геологического разреза // Недра Поволжья и Прикаспия. – 1997. – 14 с.
- 4 Дойен П.М. Характеристика сейсмического резервуара: перспектива моделирования Земли. – EAGE, 2007. – 255 с.
- 5 Глумов И.Ф. и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. – М. : Недра, 2004.
- 6 Даукеев С.Ж., Воцалевский Э.С., Парагульгов Х.Х. и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана // Нефть и газ. – Алматы, 2002. – Т. 3. – 248 с.
- 7 Марабаев Ж.Н., Жолтаев Г.Ж. и др. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Северного и Среднего Каспия. – Астана, 2005.
- 8 Правила представления недропользователями отчетов о проведении операций по недропользованию. Министерство по инвестициям и развитию Республики Казахстан. – Астана. – № 396. – 2015. – 12 мая.
- 9 Hampson D.P., Russell B.H., Bankhead B. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data // SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts. – 2005. – P. 1633–1637.

REFERENCES

- 1 Vocalevskij Je.S., Bulekbaev Z.E., Iskuzhiev B.A. i dr. (1999) Spravochnik mestorozhdenija nefti i gaza Kazahstana, Almaty.
- 2 Skornjakova E.G., Titarenko I.A., Miftahov. R.L. (1997) Novyj verojatnostnyj algoritm reshenija obratnoj dinamicheskoj zadachi sejsmorazvedki. Nedra Povolzh'ja i Prikaspija, 14 p.
- 3 Skornjakova E.G., Titarenko I.A. (1997) Sejsmopetrofizicheskoe testirovanie geologicheskogo razreza. Nedra Povolzh'ja i Prikaspija, 14 p.
- 4 Dojen P.M. (2007) Harakteristika sejsmicheskogo rezervuara: perspektiva modelirovanija Zemli. EAGE, 255 p.
- 5 Glumov I.F. i dr. (2004) Regional'naja geologija i neftegazonosnost' Kaspijskogo morja.
- 6 Daukeev S.Zh., Vocalevskij Je.S., Paragul'gov H.H. i dr. (2002) Glubinnoe stroenie i mineral'nye resursy Kazahstana. Neft' i gaz. Almaty, vol. 3, 248 p.
- 7 Marabaev Zh.N., Zholtaev G.Zh. i dr. (2005) Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti Severnogo i Srednego Kaspija, Astana.
- 8 Pravila predstavlenija nedropol'zovateljami otchetov o provedenii operacij po nedropol'zovaniju. Ministerstvo po investicijam i razvitiju Respubliki Kazahstan (2015), Astana, no. 396, 12 maja.
- 9 Hampson D.P., Russell B.H., Bankhead B. (2005) Simultaneous inversion of pre-stack seismic data. SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, pp. 1633–1637.

ЧНЫБАЕВА Д.М.

Қазақстан-Британ техникалық университеті

050000, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz

**ҰҢҒЫМАЛАРДЫҢ АЗ ЗЕРТТЕЛУІ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚ
ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША ЛИТОЛОГИЯНЫҢ ЫҚТИМАЛДЫҚ БОЛЖАМЫ****Аңдатпа**

Соңғы онжылдықта мұнай мен газды барлауға ерекше назар аударылды, қазір оның даму қарқыны мен геологиялық мәселелерді шешудің жаңа заманауи әдістерінің пайда болуы тез қарқынмен жүруде. Мұнай-газ құрылымдарын іздеудің жалғыз құралы ретінде геофизикалық барлау, әсіресе сейсмикалық барлау мұнай мен газ қорын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Сейсмикалық зерттеулер геологиялық құрылымды зерттеу және зерттелетін объектілердің бетінде геодинамикалық модель құру үшін бірегей ақпарат берді. Осы зерттеулер негізінде Қашаған кен орны, Қаламқас теңіз кен орны ашылды. Каспий теңізінің қазақстандық секторының әртүрлі өңірлері көлемі 16x16 км-ден 4x4 км-ге дейінгі профильдердің тұрақты желісімен қамтылған. Осылайша тарихи зерделеуден басқа, бұл жұмыстар бүгінгі күнге дейін сейсмикалық деректердің көлемді ақпараттық базасын құруға әкелді. Бірақ сонымен бірге қиын теңіз жағдайларына және тиісінше бұрғылаудың жоғары құнына байланысты ұңғыма туралы ақпарат өте аз. Ұңғымалық ақпараттың тапшылығы сейсмикалық ақпаратты пайдалануда үлкен шектеулерге әкеледі. Осы жұмыс шеңберінде қолжетімді ұңғыма бойынша серпімді сейсмикалық қасиеттерді зерделеу және ұңғымалық ақпаратқа қол жетімділігі қиын кен орындарында литологияны зерттеуге ықпал ететін сейсмикалық деректер негізінде жыныстарды қанықтыратын геологиялық киманың және флюидтердің түрінің заттық құрамын болжау орындалды.

Тірек сөздер: сейсмограммалар, серпімді қасиеттер, толқын өрісі, жылдамдық моделі, синхронды инверсия, ұңғыма, акустикалық кедергі, AVO/AVA (amplitude versus offset / angle), сұйықтықтар, литология.

CHNYBAYEVA D.M.

Kazakh-British Technical University,

050000, Almaty, Kazakhstan

E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz

**PROBABILISTIC LITHOLOGY TARGETING BASED ON SEISMIC DATA,
AT UNDEREXPLORED AREAS BY WELLS****Abstract**

In recent decades, special attention has been paid to oil and gas exploration, and now there is a rapid acceleration in the pace of its development and the emergence of new modern methods for solving geological problems. Geophysical exploration, especially seismic exploration, being the only means of searching for oil and gas bearing structures, plays an important role in ensuring oil and gas reserves. Seismic studies have provided unique information for studying the geological structure and compiling a geodynamic model on the surface of the studied objects. On the basis of these studies, the Kashagan field and the Kalamkas-Sea field were discovered. Various regions of the Kazakhstan sector of the Caspian Sea are covered by a regular network of profiles ranging in size from 16x16 km to 4x4 km. Thus, in addition to historical knowledge, these works to date have led to the creation of a voluminous information database of seismic data. But at the same time, due to difficult sea conditions and, accordingly, the high cost of drilling, well information is quite scarce. The scarcity of borehole information leads to great restrictions on the use of seismic information. Within the framework of this work, the elastic seismic properties of an accessible well were studied and the material composition of the geological section and the type of fluids saturating rocks based on seismic data were predicted, which contribute to the study of lithology in deposits and deposits with difficult access to borehole information.

Key words: seismograms, elastic properties, wave field, velocity model, synchronous inversion, borehole, acoustic impedance, AVO/AVA (amplitude versus offset/angle), fluids, lithology.

Информация об авторе

Чныбаева Дидар Максұтканқызы

Магистрант, Қазақстанско-Британский технический университет, Школа геологии,
ул. Төле би, 59, 050000, г. Алматы, Казахстан

ORCID ID: 0009-0001-3377-5799

E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz

Автор туралы мәлімет

Чныбаева Дидар Максұтканқызы

Магистрант, Қазақстан-Британ техникалық университеті, Геология мектебі,
Төле би көш., 59, 050000, Алматы қ., Қазақстан

ORCID ID: 0009-0001-3377-5799

E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz

Information about author

Chnybayeva Didar Maksutkankyzy

Master Student, Kazakh-British Technical University, School of Geology,
Tole-bi 59, 050000, Almaty, Kazakhstan

Almaty, Kazakhstan

ORCID ID: 0009-0001-3377-5799

E-mail: d_chnybayeva@kbtu.kz