

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOLOGY AND GEOECOLOGY

Научная статья
УДК 550.8
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-42-47>
EDN RSAPBE

Применение технологии объединения методов разведочных работ для достижения экологического эффекта на месторождениях Каспия

*Андрей Германович Алексеев, Елена Евгеньевна Радионова[✉],
Наталья Евгеньевна Болгова*

*ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»,
Астрахань, Россия, alenoch16@mail.ru[✉]*

Аннотация. Описывается методика выполнения разведочных работ, используемая на месторождениях Каспия, которая позволяет получить экологический эффект. Район исследований включает в себя Ракушечно-Широтную и Хвалыньско-Сарматскую зоны, месторождения, в пределах которых отличаются сложным геологическим строением. При создании модели месторождений используется комплекс данных: высокоточных сейсморазведочных работ 3D на площади исследования и результаты бурения скважин. Такая детальность сейсморазведочных работ позволяет получить результаты высокого качества. Они обусловлены большой плотностью точек отражения по площади и на максимальном использовании разнообразных динамических параметров отражённых волн. Результаты таких съёмок используются при подсчете запасов, обосновании работ по доразведке и последующей эксплуатации. На основе результатов сейсморазведочных работ выполнялся количественный прогноз коллекторских свойств по результатам инверсии. Для его реализации выполнялась обработка сейсмических данных с сохранением истинных амплитуд сейсмического сигнала. Бурение скважин являлось также основным источником информации при выполнении работы по подсчету запасов. Сложное строение и условия неоднородности коллекторских свойств по площади и разрезу, наличие разрывных нарушений обусловило применение описываемой технологии, которая предполагает оценку запасов и их перевода в промышленную категорию без проведения испытаний в колонне и вызова притока на поверхность. Это осуществляется путем комплексной ускоренной диагностики продуктивных пластов для оценки запасов промышленной категории. Такая диагностика предусматривает изучение продуктивных пластов на основе анализа и обобщения накопленного материала по керну, ГИС, ГДИС, ГДК-ОПК и PVT-исследованиям, не проводя испытания в скважинах. С помощью этих исследований определяются фильтрационно-емкостные свойства горных пород, характер насыщенности флюидов, положения контактов, статических уровней, пластовых и забойных давлений и пластовых температур, а также отбора глубинных проб. Использование современных приборов, таких как MDT (испытатель пластов), позволяет получать достоверные глубинные пробы пластового флюида. Результаты интерпретации данных успешно подтверждаются при подготовке отчетов по подсчету запасов УВС.

Ключевые слова: экологический эффект, скважинные данные, гидродинамический каротаж, отбор проб на кабеле, испытание пласта, фильтрационно-емкостные свойства, прибор MDT

Для цитирования: Алексеев А. Г., Радионова Е. Е., Болгова Н. Е. Применение технологии объединения методов разведочных работ для достижения экологического эффекта на месторождениях Каспия // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 3. С. 42–47. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-42-47>. EDN RSAPBE.

Original article

Combining exploration methods technology for environmental effect in the Caspian fields

Andrei G. Alekseev, Elena E. Radionova✉, Natalya E. Bolgova

*LUKOIL-Nizhnevolzhskneft, LLC,
Astrakhan, Russia, alenoch16@mail.ru✉*

Abstract. The method of performing exploration works allowing to obtain an environmental effect in the Caspian Sea fields is described in the article. The research area includes the Rakushechno-Latitudinal and Khvalynsko-Sarmatian zones. Deposits of these zones differ in a complex geological structure. When creating a model of deposits a set of data is used: high-precision 3D seismic surveys on the study area and the results of drilling wells. Such detail of seismic exploration works allows to obtain high-quality results that are due to the high density of reflection points over the area and to the maximum use of various dynamic parameters of reflected waves. The results of such surveys are used in the calculation of reserves, justification of work on additional exploration and subsequent operation. Based on the results of seismic surveys a quantitative forecast of reservoir properties was carried out due to the inversion. For implementation seismic data was processed while preserving the true amplitudes of the seismic signal. Drilling wells were also the main source of information when performing work on calculating reserves. The complex structure and heterogeneity conditions of reservoir properties in area and section, the presence of discontinuous violations led to the use of the described technology, which involves the assessment of reserves and their transfer to the industrial category without testing in the column and causing inflow to the surface. This is done by means of a comprehensive accelerated diagnostics of productive formations for the assessment of reserves of the industrial category. Such a diagnosis provides for the study of productive formations based on the analysis and generalization of accumulated material on core, GIS, GDIS, GDK-OPK and PVT studies, without conducting tests in wells. With the help of these studies the filtration-capacitance properties of rocks, the nature of fluid saturation, contact positions, static levels, reservoir and bottom-hole pressures and reservoir temperatures, as well as deep sampling are determined. The use of modern instruments such as MDT (reservoir Tester) makes it possible to obtain reliable deep samples of the reservoir fluid. The results of data interpretation are successfully approved when making reports on UVS reserves calculation.

Keywords: environmental effect, borehole data, hydrodynamic logging, cable sampling, reservoir testing, filtration and capacitance properties, MDT device

For citation: Alekseev A. G., Radionova E. E., Bolgova N. E. Combining exploration methods technology for environmental effect in the Caspian fields. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;3:42-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-3-42-47>. EDN RSAPBE.

Введение

Компания «ЛУКОЙЛ» активно внедряет технологии, направленные на повышение экологического эффекта при освоении месторождений природных ресурсов на Каспии.

Одним из важных направлений в реализации этих технологий является методология повышения экологической эффективности скважинных исследований, направленных на изучение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) горных пород, составляющих продуктивный пласт и добычных возможностей резервуара.

Для получения данной информации о пласте проводится испытание скважины в колонне с вызовом притока углеводородов на поверхность.

Испытание скважины дает возможность провести различные гидродинамические исследования на поисково-разведочных скважинах, что при этом существенно удлиняет цикл строительства скважин. Вызов промышленного притока на поверхность требует разработки специальных мероприятий, направленных на возможные риски, работы

могут привести к увеличению выбросов в атмосферу и т. д. Но проведение таких исследований является обязательным для перевода запасов углеводородного сырья в промышленную категорию.

На реализацию данных мероприятий оказывает влияние сложность геологического строения месторождений Северного Каспия.

Обзор месторождений и их исследований

Основными нефтегазоносными комплексами являются юрский и нижнемеловой, коллекторы представлены терригенными и карбонатными отложениями.

В Ракушечно-Широтной зоне поднятий, расположенной в пределах Карпинско-Мангышлакского сложного вала, выделяются три нефтегазоносных комплекса: юрский, нижнемеловой и палеогеновый.

В пределах Сарматско-Хвалынской приподнятой зоны, входящей в состав Прикумско-Центрально-Каспийской системы прогибов и поднятий, выделяются два нефтегазоносных комплекса: юрский и меловой.

Месторождения многопластовые, осложнены наличием разрывных нарушений, неоднородностью коллекторских свойств по площади и разрезу.

Значения градиентов давлений и температур, полученных при бурении нескольких скважин исследуемой площади, указывают на аномально высокие пластовые давления (АВПД), а также на присутствие в пластовом продукте скважин сероводорода.

Исследуемая в работе технология оценки запасов и их перевода в промышленную категорию без проведения испытаний в колонне и вызова притока на поверхность позволяет значительно снизить экологические риски и сделать минимальным воздействие на окружающую среду на акватории Каспийского моря [1].

При подготовке модели месторождений используется комплекс данных: данные сейсморазведочных работ 3D на площади исследования и скважинные данные месторождения.

При отнесении запасов к категории С1 необходимо определить тип, форму и размеры залежи или ее части, условия залегания, положения водонефтяного контакта (ВНК), газонефтяного контакта (ГНК) и газоводяного контакта (ГВК). Эти характеристики должны быть установлены геолого-геофизическими методами, в т. ч. высокоточной сейсморазведкой 3D [2].

Исследование месторождений на Каспии показывает однозначную необходимость изучения месторождений с помощью данных высокотехнологичной сейсморазведки 3D. Такой информативностью обладают сейсморазведочные работы высокой кратности.

Они позволяют получать принципиально более качественные результаты в сравнении с 2D-съемками. Это основано на очень высокой плотности точек отражения по площади и на возможности полноценного использования разнообразных динамических параметров отраженных волн.

Поэтому результаты таких съемок используются при подготовке площадей к эксплуатационному бурению, в уточнении запасов и ресурсной базы месторождений, в обосновании постановки доразведочных работ.

Выполнение сейсморазведочных работ высокой кратности подразумевает:

- применение системы наблюдений с оптимальными характеристиками, позволяющей качественно изучать целевые горизонты;
- использование динамических характеристик отраженных сейсмических сигналов;
- обеспечение их высокой временной и пространственной разрешенности;
- получение высоких соотношений сигнал/помеха;
- прослеживание нарушений, включая малоамплитудные.

Получение надежных динамических характеристик сигналов обеспечивается в первую очередь стабильными и оптимальными условиями возбуждения и регистрации упругих колебаний. Это требует использования достаточно мощных источников сигналов и стабильных приемных устройств с широким динамическим диапазоном, а также постоянным многокомпонентным контролем условий возбуждения и приема сигналов. Высокие соотношения сигнал/помеха, разрешенность и глубинность получают, используя современную телеметрическую систему с высокочувствительными донными гидрофонами.

В методике морских работ используются двухкомпонентные датчики с фиксированным шагом между приемными модулями, что дает гарантию сохранить геометрию расстановки и регулярный шаг между точками приема. Используется высокая кратность по общей глубинной точке (ОГТ). Система наблюдения по своей сути представляет собой ортогональную систему профилей.

В рамках данной работы использовались такие исследования, на базе которых выполнялся количественный прогноз коллекторских свойств по результатам инверсионных преобразований [3].

Для прогноза коллекторских свойств использовались результаты синхронных АВА-сейсмических инверсий – кубы акустического импеданса и отношения V_p / V_s , выполнялся прогноз средней пористости в коллекторе и доли коллектора в пласте, основанные на существовании функциональной связи между упругими и коллекторскими свойствами. Проведенные исследования показали высокую степень проработки геологии месторождения в части прогноза коллекторов [3]. Для обеспечения эффективного прогноза коллекторских свойств с использованием упомянутых инверсий потребовалось выполнить обработку сейсмических данных с сохранением истинных амплитуд сейсмического сигнала.

Бурение скважин является важным источником информации при формировании модели месторождения и последующем подсчете запасов.

В 2016–2017 гг. в пределах Сарматско-Хвалынской зоны пробурены две скважины с целью прироста запасов в северо-восточном и юго-западном направлениях данной зоны.

Применение методики комплексной ускоренной диагностики продуктивных пластов

Для снижения экологических рисков строительство данных скважин выполнялось с применением методики комплексной ускоренной диагностики продуктивных пластов для оценки запасов промышленной категории.

Данная методика предполагает изучение продуктивных пластов без проведения испытаний в скважинах, на основе анализа и обобщения накоп-

ленного материала по керну, геофизических исследований скважин (ГИС), гидродинамических исследований скважин (ГДИС), гидродинамических каротажей – отбора проб на кабеле (ГДК-ОПК) и PVT-исследованиям.

Современный испытатель пластов MDT (Modular Formation Dynamics Tester) (рис.) обеспечивает возможность проведения быстрых и точных многократных замеров пластового давления, и проведения многократного отбора представительных глубинных проб пластового флюида.



Прибор MDT (Modular Formation Dynamics Tester)

MDT Device (Modular Formation Dynamics Tester)

Для получения полной геолого-петрофизической информации, удовлетворяющей требованиям изученности промышленной категории запасов, должны быть выполнены следующие виды исследований:

- произведен сплошной отбор керна из продуктивных отложений с выносом не менее 80 % от интервала проходки;
- обеспечен равномерный отбор образцов на стандартный комплекс исследований керна;
- выполнены специальные исследования: изучение пород в шлифах, расширенная гранулометрия, объем и состав глинистых минералов, остаточная нефтенасыщенность на законсервированных образцах, капилляриметрия, показатель смачиваемости, относительные фазовые проницаемости по нефти и воде, коэффициент вытеснения, эффективная проницаемость по газу на образцах со связанной водой, удельное электрическое сопротивление полностью и частично водонасыщенных образцов, скорость пробега продольных и поперечных волн в объеме 10 % образцов от принятых на стандартный комплекс исследований керна [4].

Минимально необходимое количество скважин с отбором керна устанавливается по достижению устойчивых распределений коэффициентов пористости и проницаемости в каждом отдельном горизонте, подтверждающееся методами статистического анализа.

Во всех разведочных скважинах должен быть выполнен стандартный и детальный комплексы ГИС для конкретного района, который должен обязательно включать методы с высокой разрешающей вертикальной способностью 0,05–0,1 м (МБК, МЗ, МКВ), весь комплекс методов пористости (ГГКП, ГГКС, НК, АК, ЯМК), комплекс методов сопротивлений разноглубинными зондами, гидродинамические методы (ОПК, MDT).

Промысловые характеристики, удовлетворяющие требованиям изученности промышленной категории запасов, могут быть получены по результатам комплексных исследований опробователями и испытателями пластов на кабеле (прижимные и двухпакерные модификации). Для этого в разведочных скважинах должны быть выполнены следующие исследования:

- необходимо проведение достаточного количества замеров пластового давления для оценки профиля подвижности по глубине, построения градиентов давления и составления представительной гистограммы, минимум 5 точек для каждого интервала с различным типом флюида. По результатам профилирования давления и подвижности выбираются гидродинамически изолированные пропластки для проведения интервальных испытаний с использованием модуля двойного пакера [4];

– после выделения пропластков проводятся интервальные испытания аппаратурой MDT в конфигурации с двойным пакером в каждом заданном интервале с целью получения необходимого массива данных по скорости отбора и соответствующей депрессии для построения индикаторной диаграммы. По окончании каждого интервального испытания производится запись кривой восстановления давления (КВД) с целью оценки гидропроводности и радиальной проницаемости;

– в первых разведочных скважинах необходимы исследования продуктивных объектов гидрогазодинамическими методами на установившихся и неустановившихся режимах для привязки и эталонирования данных исследования пластов приборами на кабеле.

Для получения свойств углеводородных флюидов по результатам исследования пробоотборниками на кабеле, изученности промышленной категории запасов необходимо:

– пробы пластового флюида должны быть отобраны с нескольких глубин, минимум 2 точки отбора для интервала с различным типом флюида, чтобы полностью охарактеризовать насыщенность пласта в исследуемом интервале. Также должны быть отобраны пробы пластовой воды. В качестве рекомендации следует ограничить депрессию при отборе проб до 10 % от пластового давления, а при отборе проб вблизи флюидалных контактов ограничить депрессию до 5 % от пластового давления. В случае высоких проницаемостей рекомендуется использование прижимного зонда (башмака), а в случае ухудшенных фильтрационно-емкостных свойств пласта (ФЕС) следует использовать двойной пакер. Загрязненность пластового флюида фильтратом бурового раствора и фазовые изменения следует отслеживать и контролировать с помощью анализа флюида в режиме реального времени и для анализа отбирать представительные пробы после достаточного объема откачки. Оптические анализаторы

необходимы для контроля качества отбираемых проб углеводорода, в то время как датчик сопротивления и анализ pH-фактора – при отборе проб пластовой воды;

– в первых разведочных скважинах методом опробования в колонне на отдельных пластах (хотя бы по одному на каждую залежь) необходимо провести детальные исследования продуктивных объектов гидрогазодинамическими методами на установившихся и неустановившихся режимах с отбором глубинных и поверхностных проб пластовых флюидов для последующего PVT-анализа и диагностирования их фазового состояния, а также для привязки и эталонирования данных исследования пластов приборами на кабеле.

Выполнение перечисленных условий позволит получить необходимую геолого-промысловую информацию для классифицирования запасов углеводородного сырья по промышленным категориям.

Заключение

Приведенные в работе исследования решают задачи по определению строения месторождения, вещественного состава, характера насыщенности флюидов, положения флюидалных контактов, газоконденсатной характеристики, статических уровней, пластовых и забойных давлений и пластовых температур, а также отбора глубинных проб с использованием комплекса ГДК-ОПК [1].

Описанная методика позволила использовать технологии ГДК-ОПК с применением прибора MDT для представления запасов углеводородов к утверждению в государственных органах.

Благодаря применению комплексирования методов удалось обеспечить решение геологических задач без проведения испытания скважин в колонне и вызова притока на поверхность.

Выполнение этих мероприятий обеспечивает реализацию экоэффективных технологий на акватории Каспия.

Список источников

1. Акрам Х., Ашуров В. Обзор гидродинамических исследований скважин в открытом и обсаженном стволе модульным испытателем пластов на кабеле MDT/CHDT // Нефтегазовое обозрение. 2004. С. 30–45.
2. Стасенков В. В., Гутман И. С. Подсчет запасов нефти, газа, конденсата и содержащихся в них компонентов. М.: Недра, 1989. 269 с.
3. Анвар Хусен Акбар Али, Тим Браун, Роджер Дельгадо и др. Моделирование механических свойств

геологической среды как средство расшифровки напряжений в горных породах // Нефтегазовое обозрение. 2005. С. 4–23.

4. Карнаухов М. Л., Пьянкова Е. М. Современные методы гидродинамических исследований скважин. Справочник инженера по исследованию скважин. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 432 с.

References

1. Akram Kh., Ashurov V. Obzor gidrodinamicheskikh issledovaniy skvazhin v otkrytom i obsazhennom stvole modul'nym ispytatelem plastov na kabele MDT/CHDT [Review of hydrodynamic studies of wells in an open and cased

trunk by a modular reservoir tester on an MDT/CHDT cable]. *Neftgazovoe obozrenie*, 2004, pp. 30-45.

2. Stasnikov V. V., Gutman I. S. *Podschet zapasov nefi, gaza, kondensata i soderzhashchikhsia v nikh komponentov*

[Calculation of oil, gas, condensate reserves and components contained therein]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 269 p.

3. Anvar Khusen Akbar Ali, Tim Braun, Rodzher Del'gado i dr. Modelirovanie mekhanicheskikh svoistv geologi-cheskoj sredy kak sredstvo rasshifrovki napriazhenii v gornykh porodakh [Modeling of the mechanical properties of the geological environment as a means of decoding stresses

in rocks]. *Neftegazovoe obozrenie*, 2005, pp. 4-23

4. Karnaukhov M. L., P'iankova E. M. *Sovremennye metody gidrodinamicheskikh issledovaniy skvazhin. Spravochnik inzhenera po issledovaniyu skvazhin* [Modern methods of hydrodynamic studies of wells. Well Research Engineer's Handbook]. Moscow, Infra-Engineering Publ., 2010. 432 p.

Статья поступила в редакцию 27.06.2023; одобрена после рецензирования 24.07.2023; принята к публикации 08.09.2023
The article is submitted 27.06.2023; approved after reviewing 24.07.2023; accepted for publication 08.09.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Германович Алексеев – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; начальник геологического отдела; ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»; Andrej.Alexeev@lukoil.com

Елена Евгеньевна Радионова – ведущий геолог геологического отдела; ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»; alenoch16@mail.ru

Наталья Евгеньевна Болгова – инженер по гидродинамическому моделированию 1 категории отдела мониторинга разработки нефтяных и газовых месторождений и повышения нефтеотдачи пластов; ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»; smarty19@mail.ru

Andrei G. Alekseev – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor; Head of the Geological Department; LUKOIL-Nizhnevolzhskneft, LLC; Andrej.Alexeev@lukoil.com

Elena E. Radionova – Leading geologist Geological department; LUKOIL-Nizhnevolzhskneft, LLC; alenoch16@mail.ru

Natalya E. Bolgova – First rank engineer in reservoir; Simulation Department for monitoring the development of oil and gas fields and enhanced oil recovery; LUKOIL-Nizhnevolzhskneft, LLC; smarty19@mail.ru

