

Научная статья

УДК 550.8.053

<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-14-18>

EDN GYBKPE

Уточнение геологического строения залежей углеводородов при создании цифровой геологической 3D-модели²

Сергей Михайлович Калягин¹✉,
Иван Константинович Калинин², Елена Алексеевна Калинина³

^{1, 2}Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, kalyagin-sergey@lenta.ru✉

³ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»,
Астрахань, Россия

Аннотация. В статье демонстрируется использование интегрированного подхода при моделировании геологической структуры залежей углеводородов нефтяного месторождения «НК» Волгоградской области и применение геологических моделей для оптимизации принятия оперативных решений, учета геологических рисков и обеспечения специалистов актуальной геологической информацией. Основными объектами исследования являлись евлановско-ливенские, воронежские, петинские и семилукские нефтяные горизонты месторождения «НК». Для создания цифровой геологической 3D-модели продуктивных пластов нефтяного месторождения «НК» использовался программный пакет IRAP RMS фирмы ROXAR. После создания подробной трехмерной геологической сетки проводилось последовательное заполнение ее различными видами горных пород, учитывая условия их образования и их петрофизические характеристики. Создание цифровой геологической 3D-модели продуктивного горизонта включало в себя следующие этапы: загрузку исходных данных, структурное моделирование (построение каркаса трехмерной сеточной модели), создание трехмерной геологической сетки, обработку скважинных данных для усреднения, построение литологической и петрофизической модели. Данные бурения, испытания, результаты обработки материалов ГИС по вновь пробуренной эксплуатационной скважине № 2-НК показали сложное строение месторождения «НК», что отразилось на размерах и объемах залежей продуктивных пластов. В результате проведенного анализа накопленного геолого-промышленного материала (ранее проведенных сейсмических данных, результатов бурения и испытания скважин, проведенной интерпретации промыслово-геофизических исследований) уточнено геологическое строение и эксплуатационные характеристики продуктивных горизонтов. Исходя из новых геологических и промысловых данных, подсчитаны начальные геологические и извлекаемые запасы углеводородного сырья. В результате, начальные геологические запасы нефти по месторождению «НК» по категории C1 уменьшились на 0,2 %, а по категории C2 уменьшились на 98 %. В соответствии с новой величиной геологических запасов уточнена эксплуатационная характеристика и оценены добывные возможности разрабатываемых залежей.

Ключевые слова: геологическая модель месторождения, объекты моделирования, геофизические исследования скважин, петрофизические параметры, начальные геологические запасы, извлекаемые запасы

Для цитирования: Калягин С. М., Калинин И. К., Калинина Е. А. Уточнение геологического строения залежей углеводородов при создании цифровой геологической 3D-модели // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 2. С. 14–18. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-14-18>. EDN GYBKPE.

Original article

Clarification of the geological structure of hydrocarbon deposits when creating a digital geological 3D model

Sergey M. Kalyagin¹✉, Ivan K. Kalinin², Elena A. Kalinina³

^{1, 2}Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, kalyagin-sergey@lenta.ru✉

³LUKOIL-Engineering, LLC,
Astrakhan, Russia

Abstract. The article demonstrates the use of an integrated approach in modeling the geological structure of hydrocarbon deposits of the NK oil field in the Volgograd region and the use of geological models to optimize operational decision-making, take into account geological risks and provide specialists with up-to-date geological information. The main objects of the study were the Evlanovsko-Livensky, Voronezh, Petinsky and Semiluksky oil horizons of the NK field. ROXAR's IRAP RMS software package was used to create a digital geological 3D model of the productive layers of the NK oil field. After creating a detailed three-dimensional geological grid, it was sequentially filled with various types of rocks, taking into account the conditions of their formation and their petrophysical characteristics. The creation of a digital geological 3D model of the productive horizon included the following stages: loading of initial data, structural modeling (construction of the framework of a three-dimensional grid model), construction of a three-dimensional geological grid, processing of borehole data for averaging, construction of lithological and petrophysical models. Drilling data, tests, and the results of processing GIS materials for the newly drilled production well No. 2-NK showed the complex structure of the NK deposit, which affected the size and volume of deposits of productive formations. As a result of the analysis of accumulated geological and commercial material (previously conducted seismic data, results of drilling and testing of wells, interpretation of field and geophysical studies), the geological structure and operational characteristics of productive horizons have been clarified. Based on new geological and field data, the initial geological and recoverable reserves of hydrocarbons have been calculated. As a result, the initial geological reserves of oil at the place of birth of NK in category C1 decreased by 0.2%, and in category C2 decreased by 98%. In accordance with the new value of geological reserves, the operational characteristics have been clarified and the production capabilities of the developed deposits have been evaluated.

Key words: geological model of the field, modeling objects, geophysical studies of wells, petrophysical parameters, initial geological reserves, recoverable reserves

For citation: Kalyagin S. M., Kalinin I. K., Kalinina E. A. Clarification of the geological structure of hydrocarbon deposits when creating a digital geological 3D model. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2024;2:14-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-2-14-18>. EDN GYBKPE.

Введение

Современные трехмерные цифровые геологические модели месторождений нефти и газа представляют собой детальные трехмерные копии месторождений, созданные на основе комплексных исследований и включающие результаты анализа геологических аспектов. Построение таких моделей направлено на более глубокое понимание геологической структуры месторождения, а также на анализ и оценку текущего этапа его разработки. Качественная трехмерная геологическая модель способствует повышению достоверности и адекватности прогнозных расчетов для разработки месторождения.

Создание цифровой 3D-модели залежей углеводородов (УВ) требуется для объемного представления объекта исследования. Для этого необходимо исследовать размеры залежи, особенности внутреннего строения природного резервуара и залежи, пористость, проницаемость, нефтегазонасыщенность коллекторов.

В данной статье демонстрируется использование интегрированного подхода при моделировании геологической структуры залежей углеводородов нефтяного месторождения «НК» Волгоградской области и применение геологических моделей для оптимизации принятия оперативных решений, учета геологических рисков и обеспечения специалистов актуальной геологической информацией.

Основные цели:

- интерпретация данных геоинформационных систем (ГИС) новых скважин на основе имеющихся петрофизических моделей;
- создание или обновление цифровых трехмерных геологических моделей залежей;
- уточнение представлений о геологической струк-

туре объектов на основе результатов бурения новых скважин, сейсмических и других исследований;

- оценка геологических рисков.

Основными объектами исследования являются евлановско-ливенские, воронежские, петинские и семилукские нефтяные горизонты месторождения «НК».

Для создания цифровой геологической 3D-модели продуктивных пластов нефтяного месторождения «НК» использовался программный пакет IRAP RMS фирмы ROXAR. После создания подробной трехмерной геологической сетки проводилось последовательное заполнение её различными видами горных пород, учитывая условия их образования и их петрофизические характеристики.

Создание цифровой геологической 3D-модели продуктивного горизонта включало в себя следующие этапы:

- 1) загрузку исходных данных;
- 2) структурное моделирование (формирование каркаса трехмерной сеточной модели);
- 3) создание трехмерной геологической сетки;
- 4) обработку скважинных данных для усреднения;
- 5) построение литологической и петрофизической модели [1].

Построение геологической модели залежи

Структурное моделирование. Исходным геологическим и геофизическим материалом для построения геологической модели продуктивных пластов была следующая информация:

- структурные карты по отражающим горизонтам (рис. 1);
- результаты количественной интерпретации ГИС, которые включали в себя определение границ

проницаемых прослоев, характер их насыщения, значения пористости, нефтенасыщенности и др.;

– информация об условном водонефтяном контакте (ВНК) и принятые положения условного ВНК по скважинам;

– петрофизические параметры (пористость, проницаемость, остаточная водонасыщенность) на основе результатов исследования керна.

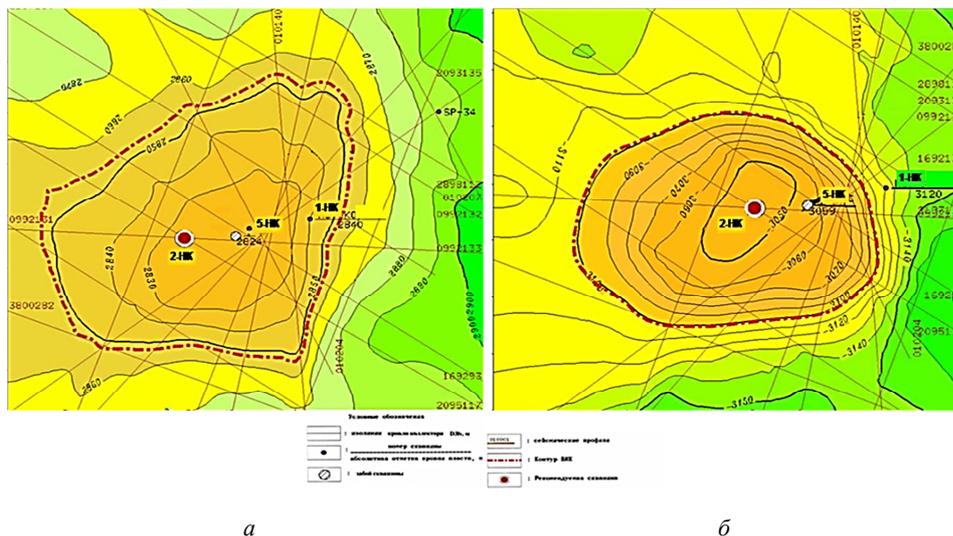


Рис. 1. Структурные карты по отражающему горизонту D₃lv (а) и D₃sm (б) (месторождение «НК»)

Fig. 1. Structural maps of the reflecting horizon D₃lv (a) and D₃sm (b) (the NK deposit)

Данная информация преобразовывалась в формат IRAP, при этом достигалась максимальная согласованность и взаимоувязанность структурных поверхностей залежей (рис. 2).

образом были построены структурные поверхности пласта I и II петинского горизонта с помощью тренда семилукско-рудкинского горизонта. Затем при помощи изохор были получены подошвы.

Размер ячеек в трехмерной сетке по горизонтали X и Y составил 25 × 25 метров. Вертикальный размер слоев по оси Z определялся общей толщиной пластов, их неоднородностью, а также минимальными значениями толщин проницаемых и непроницаемых прослоев. В результате была создана детальная 3D-сетка с разрешением, достаточным для сохранения мельчайших деталей прослоев в трехмерной модели (рис. 3).

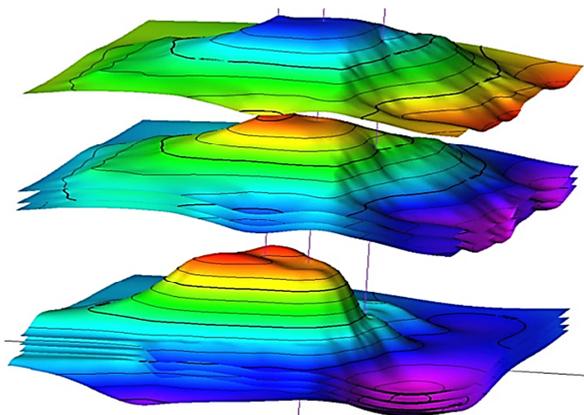


Рис. 2. Структурные поверхности (гриды) (месторождение «НК»)

Fig. 2. Structural surfaces (grids) (the NK deposit)

Сначала были созданы структурные поверхности (гриды) кровли евлановско-ливенского и семилукско-рудкинского горизонтов месторождения «НК». Затем были построены структурные поверхности пласта I и II воронежского горизонта с помощью тренда евлановско-ливенского горизонта. Таким же

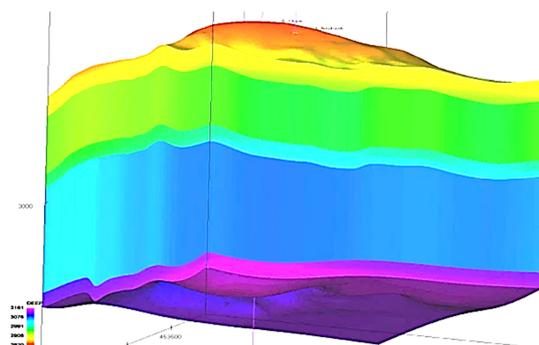


Рис. 3. 3D-сетка трехмерной модели (параметр глубина)

Fig. 3. 3D grid of a three-dimensional model (depth parameter)

Также были учтены данные обработки ГИС скважин № 1-НК, 2-НК и 5-НК – отметки пластопересечений, «коллектор-неколлектор», пористость, нефтенасыщенность.

Построение литологической модели. Получение пространственного распределения литологических типов пород является критическим этапом модели-

рования, поскольку параметр литологии определяет трехмерные поля коллекторских свойств и насыщенности. Во время литологического моделирования каждая ячейка была отнесена к коллектору либо неколлектору. Результат отображен в дискретном параметре литологии Lito, код 0 соответствует неколлекторам, код 1 – коллекторам (рис. 4, а) [1].

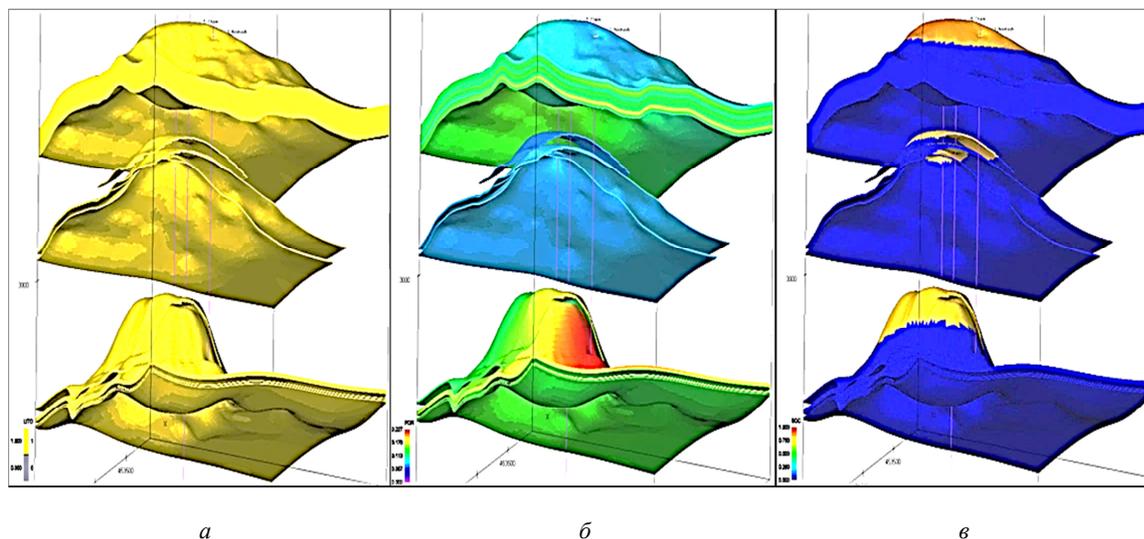


Рис. 4. 3D-куб параметров (месторождение «НК»):
а – литологии; б – пористости; в – нефтенасыщенности

Fig. 4. 3D cube of parameters (the NK deposit):
а – lithology; б – porosity; в – oil saturation

Для моделирования применялся детерминистский подход, основанный на трехмерной интерполяции непрерывной кривой литологии, после чего производилось разделение по граничному значению 0,5 на «коллектор-неколлектор». При использовании этого метода граница коллектора, присутствующая в одной скважине и заменяемая неколлектором в соседней, обрывается на середине расстояния между скважинами [1].

Построение петрофизической модели. Построение петрофизической модели проводилось только в тех породах, которые были отнесены на предыдущем этапе к коллекторам. При пространственном распределении пористости и нефтенасыщенности применялся детерминистский метод, на основе 3D-стратиграфической (послойной) интерполяции кривых $\rho_{\text{ог}}$ и $k_{\text{п}}$ (см. рис. 4, б) [2].

Распределение пористости и нефтенасыщенности контролировалось минимальными значениями этих параметров в соответствии с граничными значениями, установленными на основе петрофизических зависимостей [2].

В неколлекторах пористость и нефтенасыщенность были приравнены к нулю. В водонасыщенных коллекторах, находящихся ниже условного ВНК, неф-

тенасыщенность также приравнивалась к нулю.

Полученные трехмерные кубы параметров пористости и нефтенасыщенности анализировались визуально (см. рис. 4, б, в), а также путем сравнения их статистических характеристик с аналогичными характеристиками по керновым, каротажным данным и данным геодинамических исследований в скважинах [3].

Выводы

Данные бурения, испытания, результаты обработки материалов ГИС по вновь пробуренной эксплуатационной скважине № 2-НК показали сложное строение месторождения «НК», что отразилось на размерах и объемах залежей продуктивных пластов.

В результате проведенного анализа накопленного геолого-промыслового материала (ранее проведенных сейсмических данных, результатов бурения и испытания скважин, проведенной интерпретации промыслово-геофизических исследований) уточнено геологическое строение и эксплуатационные характеристики продуктивных горизонтов.

Исходя из новых геологических и промысловых данных, подсчитаны начальные геологические и извлекаемые запасы углеводородного сырья. В резуль-

тате, начальные геологические запасы нефти по месторождению «НК» по категории C1 уменьшились на 0,2 %, а по категории C2 уменьшились на 98 %.

В соответствии с новой величиной геологичес-

ких запасов уточнена эксплуатационная характеристика и оценены добывные возможности разрабатываемых залежей.

Список источников

1. Закревский К. Е., Кундин А. С. Особенности геологического 3D моделирования карбонатных и трещинных резервуаров. М.: Белый ветер, 2016. 404 с.

2. Закревский К. Е. Геологическое 3D моделирование. М.: Маска, 2009. 376 с.

3. Крашакова А. В., Бочкарев А. В., Калинина Е. А., Крашаков Д. В. Отчет по договору № 07V1024-145/07 «Этап 5. Подсчет запасов, месторождение «НК». Волгоград: ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», 2010.

References

1. Zakrevskii K. E., Kundin A. S. *Osobennosti geologicheskogo 3D modelirovaniia karbonatnykh i treshchinnykh rezervuarov* [Features of geological 3D modeling of carbonate and fractured reservoirs]. Moscow, Belyi veter Publ., 2016. 404 p.

2. Zakrevskii K. E. *Geologicheskoe 3D modelirovanie* [Geological 3D modeling]. Moscow, Maska Publ., 2009. 376 p.

3. Krashakova A. V., Bochkarev A. V., Kalinina E. A., Krashakov D. V. *Otchet po dogovoru № 07V1024-145/07 «Etap 5. Podschet zapasov, mestorozhdenie “NK”»* [Report on the agreement No. 07V1024-145/07 “Stage 5. Calculation of reserves, NK field”]. Volgograd, OOO “LUKOIL-VolgogradNIPImorneft”, 2010.

Статья поступила в редакцию 07.03.2024; одобрена после рецензирования 26.03.2024; принята к публикации 16.05.2024
The article was submitted 07.03.2024; approved after reviewing 26.03.2024; accepted for publication 16.05.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Михайлович Калягин – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; заведующий кафедрой геологии нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; kalyagin-sergey@lenta.ru

Иван Константинович Калинин – магистрант кафедры геологии нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; ivan34kalinin@mail.ru

Елена Алексеевна Калинина – кандидат геолого-минералогических наук; главный научный сотрудник; ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»; ivan34kalinin@mail.ru

Sergey M. Kalyagin – Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Geology of Oil and Gas; Astrakhan State Technical University; kalyagin-sergey@lenta.ru

Ivan K. Kalinin – Master’s Course Student of the Department of Geology of Oil and Gas; Astrakhan State Technical University; ivan34kalinin@mail.ru

Elena A. Kalinina – Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences; Head Researcher; LUKOIL-Engineering, LLC; ivan34kalinin@mail.ru

