

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ
СО СЛОЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ**

© Шабрин Никита Владиславович, © Никифоров Виталий Викторович, ©
Шарафутдинов Айдар Рафисович, © Климин Руслан Валерикович
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация: Одной из ключевых задач при проектировании системы разработки и планировании мероприятий по извлечению текущих остаточных запасов является геолого-гидродинамическое моделирование. Учёт всех особенностей геологического строения, в том числе фациального и тектонического – ключ к успешному освоению запасов углеводородов. В связи с этим необходимо внимательно подходить к вопросу качества исходных данных и построению геологических моделей в целом. В данной статье на примере одного из месторождений Западной Сибири представлен подход к построению геологической модели с учётом сложного строения продуктивных отложений. В географическом отношении месторождение расположено в западной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями тюменской свиты. Литологически данная свита представлена неравномерным чередованием аргиллитов, песчаников и алевролитов, содержащих прослойки глин и углистых пропластков. В тектоническом плане месторождение связано со структурой морфологически представленной антиклинальной складкой сложной формы северо-западного простирания, образованной над структурно-эрозионным выступом фундамента. В связи с этим на изучаемой территории широко распространены тектонические нарушения и зоны разуплотнения пород, что способствует образованию трещинных коллекторов во всех продуктивных отложениях. В свою очередь развитие вертикальной трещиноватости способствует объединению нескольких пластовых залежей в единую гидродинамическую систему. Исходя из этого, можно утверждать, что месторождение характеризуется сложным геологическим строением, связанным с наличием тектонических нарушений, зон выклинивания, а также невыдержанностью толщин. Для уточнения строения интерпретировались результаты сейсморазведочных работ последних годов. На их основе получены новые представления о строении структурных поверхностей продуктивных отложений, а также обновлена разломная модель месторождения.

Ключевые слова: геологическая модель, структурная модель, тектонические нарушения, юрские отложения, тюменская свита.

**GEOLOGICAL AND HYDRODYNAMIC MODELING OF AN OIL FIELD
WITH A COMPLEX GEOLOGICAL STRUCTURE**

© Shabrin Nikita Vladislavovich, Kotenev Yuriy Alekseevich, Nikiforov Vitaly
Viktorovich, Sharafutdinov Aidar Rafisovich
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State
Petroleum Technological University", Ufa, Russian Federation

Summary: Geological and hydrodynamic modeling is one of the key tasks in the design of the development system and planning of measures for the extraction of current residual reserves. Taking into account all the features of the geological structure, including facies and tectonic, is the key to the successful development of hydrocarbon reserves. In this regard, it is necessary to carefully approach the issue of the quality of the initial data and the construction of geological models in general. Using the example of one of the deposits in Western Siberia, this article presents an approach to building a geological model taking into account the complex structure of productive deposits. Geographically, the field is located in the western part of the West Siberian oil and gas province. The industrial oil content of the field is associated with the deposits of the Tyumen formation. Lithologically, this formation is represented by an uneven alternation of mudstones, sandstones and siltstones containing interlayers of clays and carbonaceous. In tectonic terms, the deposit is associated with the structure of a morphologically represented anticlinal fold of a complex shape of the northwestern strike, formed above a structurally erosive protrusion of the foundation. In this regard, tectonic disturbances and zones of rock decompression are widespread in the studied territory, which contributes to the formation of fractured reservoirs in all productive sediments. In turn, the development of vertical fracturing contributes to the unification of several stratified deposits into a single hydrodynamic system. Based on this, it can be argued that the deposit is characterized by a complex geological structure associated with the presence of tectonic disturbances, wedging zones, as well as incontinence of thicknesses. To clarify the structure, the results of seismic surveys in recent years were interpreted. Based on them, new ideas were obtained about the structure of the structural surfaces of productive deposits, as well as the fault model of the deposit was updated.

Keywords: geological and hydrodynamic model, Shaim PR, Jurassic deposits, Tyumen formation.

Введение. В географическом отношении месторождение расположено в западной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [1]. Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями тюменской свиты: пласты Ю₂, Ю₃, Ю₄, Ю₅, Ю₆ и Ю₇. Этаж нефтеносности – около 150 м. Основными продуктивными пластами на рассматриваемом участке являются пласты Ю₂ и Ю₃, в которых заключено около 76 % начальных геологических запасов нефти месторождения.

Месторождение находится на стадии разбуривания, характеризуется интенсивным и постоянным увеличением добычи нефти, быстрым ростом действующего фонда скважин и резким падением пластового давления. Закачка воды, с целью поддержания пластового давления на месторождении, началась с 2008 года.

В литолого-стратиграфическом строении выделяются породы палеозойского, триасового и мезо-кайнозойского возрастов. По данным глубокого разведочного бурения данные отложения представляют из себя – палеозойский фундамент, триасовый промежуточный этаж и мезозойско-кайнозойский ортоплатформенный чехол [2].

Верхний структурный этаж, с размывов залегающий на породах палеозоя и триаса, состоит из осадков от юрского до четвертичного возраста. Мощность изменяется от 1950 до 2400 м в зонах поднятий и погружений соответственно.

Палеозойские и триасовые отложения объединяются в нижний структурный этаж, который зачастую называют доюрским.

Юрский комплекс отложений, представленный терригенными образованиями континентального и морского генезиса, отличается пестротой изменчивостью, как по разрезу, так и по площади распространения.

Нефтеносность изучаемого месторождения связана с отложениями тюменской свиты. Породы данного возраста с размывов залегают на эродированной поверхности доюрских образований. Литологически данная свита представлена неравномерным чередованием сероцветных аргиллитов, песчаников и алевролитов, содержащих прослой гравелитов и конгломератов, нередко слюдистых, пиритизированных, а также глин и углистых пропластков.

Песчаники и алевролиты мелко-, реже среднезернистые, плохо отсортированные. Цемент глинистый, кремнисто-глинистый, карбонатный. Аргиллиты темно-серые, иногда буровато-серые, плотные, алевролитистые, прослоями сидеритизированные [3, 4].

По данным палинологических исследований в породах тюменской свиты содержатся спорово-пыльцевые комплексы нижней, средней и самых низов верхней юры, поэтому верхняя возрастная граница свиты совмещается с кровлей нижнекемловейского подъяруса. К кровле отложений тюменской толщи приурочен сейсмический отражающий горизонт «Т». Мощность осадков тюменской свиты от 50 до 150 метров.

В тектоническом плане месторождение связано со структурой морфологически представленной антиклинальной складкой сложной формы северо-западного простирания, образованной над структурно-эрозионным выступом фундамента.

Активное формирование доюрского основания, а также осадочных пород юрского периода в Западной Сибири, приводит к широкому распространению тектонических нарушений и зон разуплотнения пород. Этот процесс также способствует образованию трещинных коллекторов во всех продуктивных отложениях. А развитие вертикальной трещиноватости способствует объединению нескольких пластовых залежей в единую гидродинамическую систему.

Система трещин представляет собой совокупность трещин, которые расположены субпараллельно друг другу (имеют близкую пространственную ориентацию) и развиваются в определенном объеме породы. Обычно в породе развивается несколько таких систем трещин, однако также встречаются случаи, когда горные массивы содержат только одну систему трещин или имеют бессистемное, хаотичное распределение трещин.

Интенсивная трещиноватость гранулярных коллекторов, вызванная тектоническими процессами, оказывает значительное влияние на неоднородность фильтрации и анизотропию проницаемости, а также на

показатели продуктивности скважин. Тектонические трещины формируют сложную сеть каналов, по которым происходит перемещение нефти, газа и других флюидов. Это приводит к неоднородному распределению проницаемости внутри резервуара. Более того, направление и ориентация трещин могут создавать предпочтительные пути для потока флюидов. В результате, это влияет на характер распределения давления и фильтрацию внутри залежи и может сказываться на эффективности разработки [5, 6, 7].

Для детального изучения геологического строения месторождения проведена интерпретация данных сейсморазведочных работ с выделением структурных поверхностей продуктивных пластов и тектонических нарушений (рисунок 1).

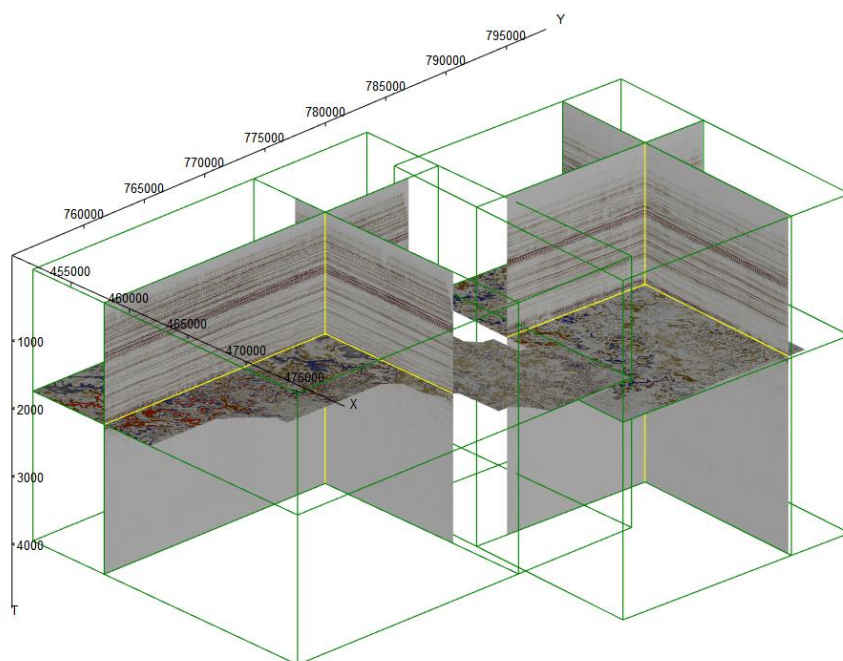


Рисунок 1 – Общий вид кубов 3D сейсмической съемки

Изучаемая территория характеризуется сложным взаимоотношением осадочного чехла и фундамента. В нижней части продуктивного разреза выделяются обширные области выклинивания коллектора, кроме этого, территория имеет разломно-блоковое строение [8, 9].

Тектонические нарушения выделялись в зонах с наибольшей прерывистостью фаз горизонтов, а также в зонах с резкими сдвигами фаз. Вследствие ограничений по вертикальной разрешающей способности исходных кубов амплитуд (в среднем 10 м.), предложенным методом удалось выделить только высокоамплитудные разломы (Рисунок 2).

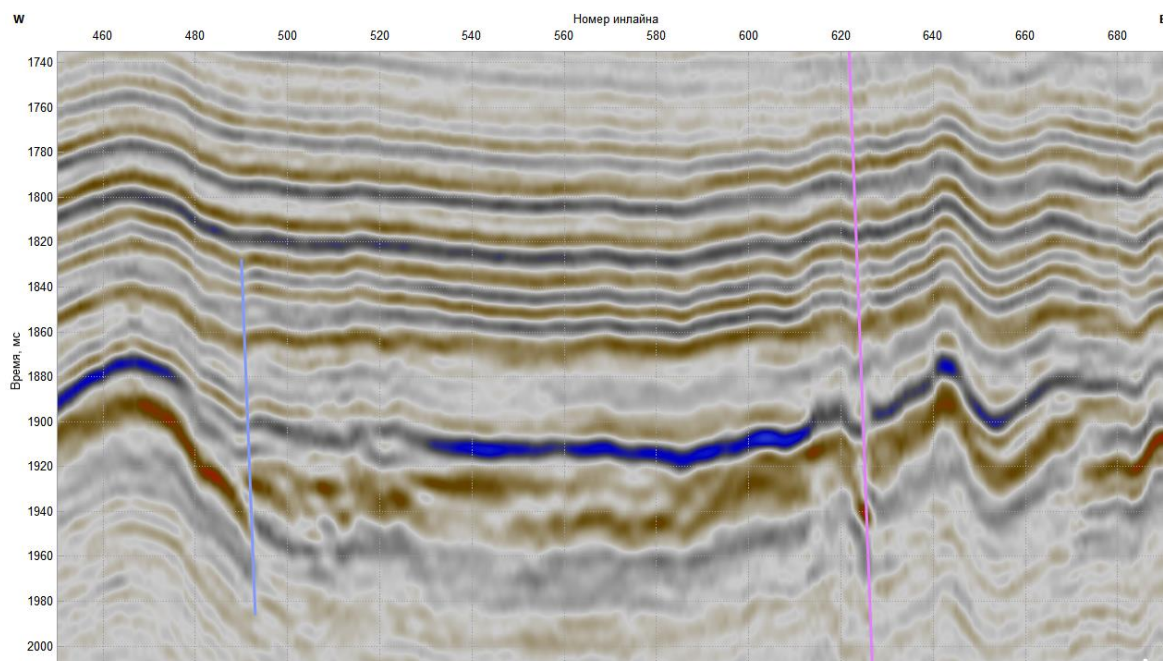


Рисунок 2 – Выделение разрывных нарушений по сейсмическому разрезу

Для выделения малоамплитудных тектонических нарушений в волновом поле использован атрибутный анализ исходных кубов сейсморазведочных работ. По результатам выделения тектонических нарушений в волновом поле и атрибутного анализа получена следующая картина распределения тектонических нарушений (рисунок 3) [10].

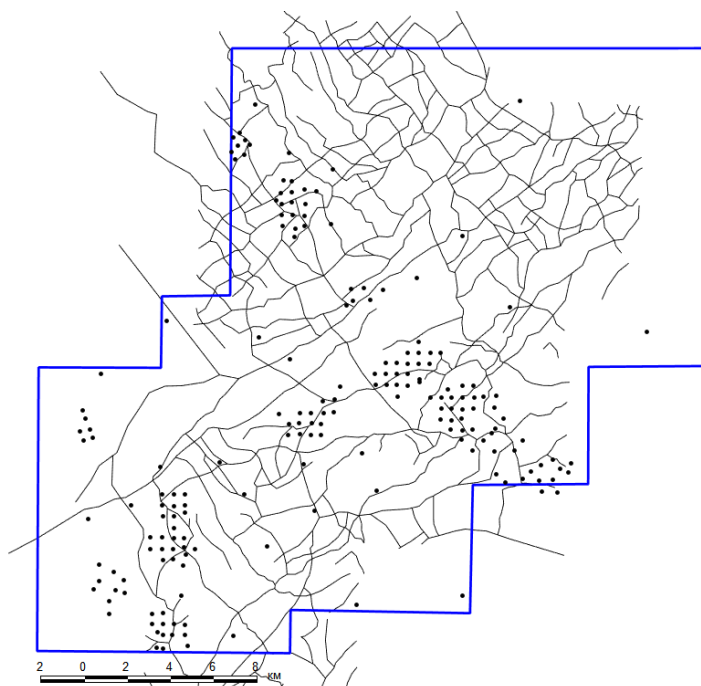


Рисунок 3 – Актуализированная разломная модель месторождения

На основе актуализированных данных построена трехмерная геологическая модель месторождения. Построение выполнялось в программном пакете Roxar IRAP RMS [11]. Моделирование производилось в соответствии с требованиями методических указаний по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Модель включает в себя шесть пластов Ю₂, Ю₃, Ю₄, Ю₅, Ю₆, Ю₇. В построении геологической модели участвовала 255 скважин из которых 152 составляют фонд месторождения. При актуализации добавлено 11 новых скважин, пробуренных в период за 2022-2023г.

В строение структурной модели месторождения выделяют восемь поверхностей, которые соответствуют: кровля пласта Ю₂ (U₂), кровля пласта Ю₃ (U₃), кровля пласта Ю₄ (U₄), кровля пласта Ю₅ (U₅), кровля пласта Ю₆ (U₆), кровля пласта Ю₇ (U₇), кровля доюрского фундамента (DUK) (рисунок 4).

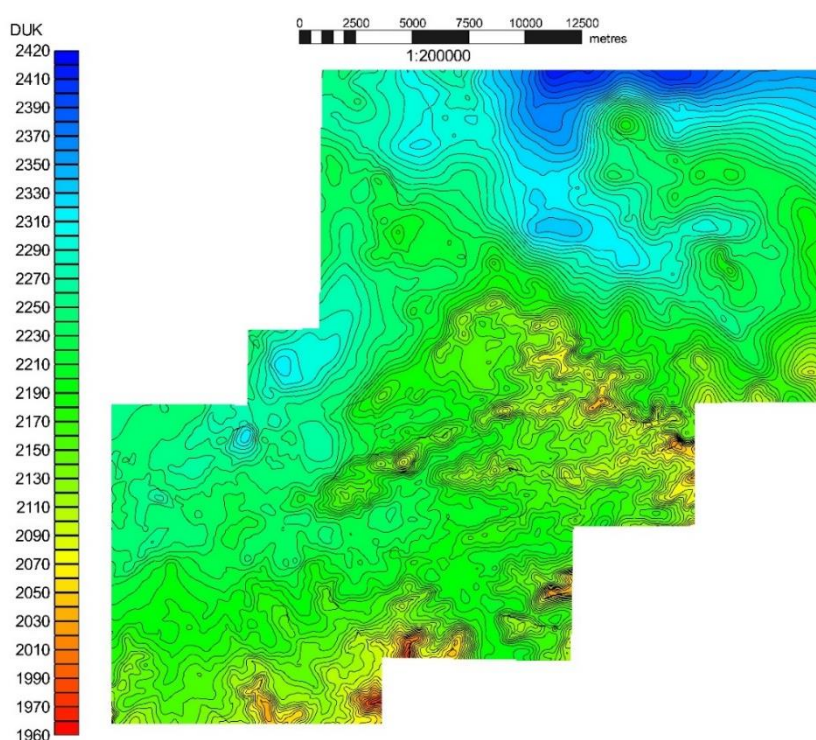


Рисунок 4 – Границы моделируемого участка месторождения (структурная карта горизонта доюрского основания ДЮК)

Для оценки контроля качества увязки горизонтов структурного каркаса со скважинными отбивками анализировалось по точечному графику.

Структурная модель строилась инструментом Structural Model. В качестве исходных данных загружались – сейсмические поверхности, отбивки пластопересечения и разломная модель. При структурном моделировании учтены особенности геологического строения месторождения такие как - зоны

выклинивания продуктивных пластов и замещения коллектора, разрывные нарушения, а также новые скважины.

Большое количество мелких залежей, разделенных тектоническими нарушениями и обширной зоной выклинивания по фундаменту, усложняют построение структурных поверхностей. Поэтому при создании поверхностей учитывалась линия разломов, выклинивания и согласованность с сейсмической поверхностью.

Контроль качества построения поверхностей структурного каркаса проводился визуальным просмотром структурных карт, а также карт углов наклона и гистограммы распределения величин углов наклона. Помимо этого, оценивались распределения общих толщин с учётом выклинивания.

Ввиду сложного геологического строения, при составлении структурной модели месторождения, внимание также уделялось и тектоническим нарушениям, контролирующим уровень ВНК (Рисунок 5) [12, 13].

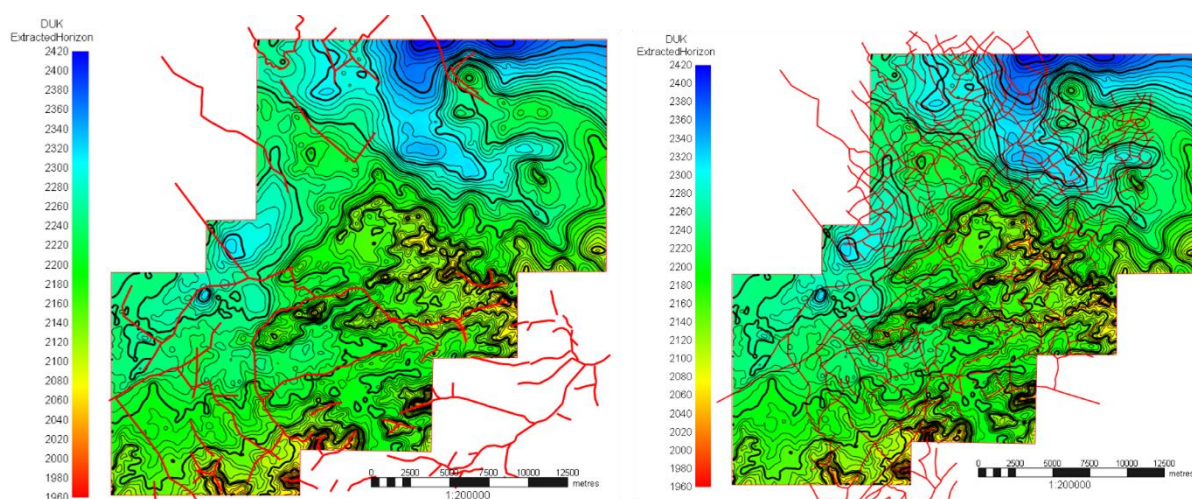


Рисунок 5 – Разломная модель месторождения

В результате изучения регионального геологического строения изучаемой территории, совместно с привлечением актуальных сейсмических данных и современных методов их обработки получено новое представление о тектоническом строении. На основе полученных представлений построена геологическая модель, учитывающая сложную тектоническую обстановку, включающая зоны выклинивания юрских отложений на фундамент, а также тектонические нарушения. Необходимость построения детальных геологических моделей, учитывающих разрывные нарушения, связана с их влиянием на распределение залежей, а также на характер движения флюидов [14].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». Ханты-Мансийск, 2004. 148 с.
2. Стратиграфия и палеогеография мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) / Э. О. Амон, В. П. Алексеев, А. Ф. Глебов, В. А. Савенко, Ю. Н. Федоров; под ред. В. П. Алексеева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 257 с.
3. Строение и корреляция отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) / В. П. Алексеев, Ю. Н. Федоров, В. А. Савенко; под ред. В. П. Алексеева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 227 с.
4. Шабрин, Н. В. Особенности условий обстановок осадконакопления северо-восточной части Шаимского нефтегазоносного района / Н. В. Шабрин, В. В. Никифоров, А. Р. Шарафутдинов // Актуальные проблемы науки и техники – 2023: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (Уфа, 27-31 марта 2023 г.): в 2 т. /под общ. ред. канд. техн. наук Рабаева Р.У. – Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2023. – С. 120-122.
5. Никифоров, В.В. Влияние литолого-фациальных особенностей и тектонического строения на распределения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов / В.В. Никифоров, Ш.Х. Султанов, Н.В. Шабрин, А.Р. Шарафутдинов // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2023. № 2. С. 9-15
6. Никифоров, В.В. Геодинамические особенности формирования залежей нефти Шаимского нефтегазоносного района и повышение эффективности нефтеизвлечения / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Нефть. Газ. Новации. 2022. №12(265). С. 16-19.
7. Шабрин, Н. В. Тектонические особенности тюменской свиты / Н. В. Шабрин, В. В. Никифоров // Материалы 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, 2021 – Т. 1. – С. 66.
8. Никифоров, В.В. Геотектонические критерии потенциала нефтегазоносности Шаимского региона / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2022. Т. 42. № 1(105). С. 39-47. DOI 10.24412/1728-5283_2022_1_39_47. EDN VJMCAG.
9. Никифоров, В.В. Геолого-физические особенности формирования и выработки запасов нефти залежей, осложненных разрывными нарушениями / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. № 6. С. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019-6-23-30. EDN TFZXDN.

10. Никифоров, В.В. Уточнение литолого-фациального строения юрско-нижнемеловых отложений на основе спектральной декомпозиции / В. В. Никифоров, А. Р. Шарафутдинов, Н. В. Шабрин, А.В. Чибисов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 2(35). – С. 49-65. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65. – EDN AGAJRZ.
11. Махмутов, А.А. Совершенствование построения трехмерных геологических моделей нефтяных месторождений сложного строения / А. А. Махмутов, Н. В. Шабрин, А. М. Маляренко [и др.] // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2023. – № 30. – С. 62-80. – DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80. – EDN SSVVHW.
12. Оценка качества 3D моделей / К.Е. Закревский, Д.М. Майсюк, В.Р. Сыртланов. М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008. 272 с.
13. Методика введения поправок на абсолютные отметки при обосновании положения ВНК / Р.Г. Сарваретдинов, Д.А. Кравец, С.Л. Рыжков, Р.Р. Байгизин // Нефтепромысловое дело. 2010. № 10. С. 7-11.
14. Никифоров, В. В. Методический подход по оптимизации системы разработки месторождений со сложным геологическим строением / В. В. Никифоров, А. Ю. Котенев, Т. А. Набиев // Бурение и нефть. – 2023. – № S1. – С. 54-56. – EDN LCONKD.

REFERENCES

1. Atlas "Geology and oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug". Khanty-Mansiysk, 2004. 148 p.
2. Stratigraphy and paleogeography of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the Shaimsky oil and gas district (Western Siberia) / E. O. Amon, V. P. Alekseev, A. F. Glebov, V. A. Savenko, Yu. N. Fedorov; edited by V. P. Alekseev. Yekaterinburg: Publishing house of UGSU, 2010. – 257 p.
3. Structure and correlation of deposits of the Tyumen formation of the Shaimsky oil and gas district (Western Siberia) / V. P. Alekseev, Yu. N. Fedorov, V. A. Savenko; edited by V. P. Alekseev. Yekaterinburg: Publishing House of UGSU, 2009. – 227 p.
4. Shabrin, N. V. Features of sedimentation conditions in the northeastern part of the Shaimsky oil and gas bearing region / N. V. Shabrin, V. V. Nikiforov, A. R. Sharafutdinov // Actual problems of science and technology – 2023: collection of materials of the XVI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists (Ufa, March 27-31, 2023): in 2 volumes /under the general editorship of Candidate of Technical Sciences Rabaeva R.U. – Ufa: UNPC "Publishing House of USPTU", 2023. – Pp. 120-122.
5. Nikiforov, V.V. The influence of lithological-facial features and tectonic structure on the distribution of reservoir properties / V.V. Nikiforov, Sh. Kh. Sultanov,

N.V. Shabrin, A.R. Sharafutdinov // Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR. 2023. No. 2. Pp. 9-15.

6. Nikiforov, V.V. Geodynamic features of the formation of oil deposits in the Shaim oil and gas region and increasing the efficiency of oil recovery / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 12(265). Pp. 16-19.

7. Shabrin, N. V. Tectonic features of the Tyumen formation / N. V. Shabrin, V.V. Nikiforov // Materials of the 72nd Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists of USNTU, 2021 – Vol. 1. – p. 66.

8. Nikiforov, V.V. Geotectonic criteria for the oil and gas potential of the Shaim region / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2022. T. 42. No. 1(105). Pp. 39-47. DOI 10.24412/1728-5283_2022_1_39_47. EDN VJMCAG.

9. Nikiforov, V.V. Geological and physical features of the formation and production of oil reserves of deposits complicated by discontinuities / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // Oil and Gas Business. 2019. T. 17. No. 6. Pp. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019- 6-23-30. EDN TFZXDND.

10. Nikiforov, V.V. Update the lithofacies structure based of spectral decomposition / V.V. Nikiforov, A.R. Sharafutdinov, N.V. Shabrin, A.V. // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. – 2024. – № 2(35). – pp. 49-65. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65. – EDN AGAJRZ.

11. Makhmutov, A.A. Improving methods of three-dimensional geological models of oil fields with complex structure / A.A. Makhmutov, N.V. Shabrin, A.M. Malyarenko [oth.] // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. – 2023. – № 30. – pp. 62-80. – DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80. – EDN SSVVHW.

12. Quality assessment of 3D models / K.E. Zakrevsky, D.M. Maysyuk, V.R. Syrtlanov. M.: LLC "IPC Mask", 2008. 272 p.

13. Methodology for introducing corrections for absolute marks when substantiating the position of the VNK / R.G. Sarvaretdinov, D.A. Kravets, S.L. Ryzhkov, R.R. Baigizin // Oilfield business. 2010. No. 10. Pp. 7-11.

14. Nikiforov, V. V. Methodological approach to optimization of the field development system with complex geology / V. V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev, T. A. Nabiev // Drilling and Oil. – 2023. – № S1. – pp. 54-56. – EDN LCONKD.

Сведения об авторах:

Шабрин Никита Владиславович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», младший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», Уфа, Российская Федерация, эл. адрес: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349.

Никифоров Виталий Викторович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», младший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: guk-geo@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-5198-0879.

Шарафутдинов Айдар Рафисович, аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», инженер Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: aydar.sharafutdinov1999@gmail.com. ORCID ID: 0009-0007-9451-6073.

Климин Руслан Валерикович, аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: rus.klimin@yandex.ru. ORCID ID: 0009-0008-0334-5887.

Author's personal details

Shabrin Nikita Vladislavovich, senior lecturer “Geology and exploration of oil and gas fields” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technical University”, junior researcher at the International Scientific Center “Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet”, Ufa, Russian Federation, email. address: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349.

Nikiforov Vitaly Viktorovich, senior lecturer “Geology and exploration of oil and gas fields” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technical University”, junior researcher at the International Scientific Center “Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet”, Ufa, Russian Federation, email. address: guk-geo@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-5198-0879.

Sharafutdinov Aidar Rafisovich, assistant of the department of "Geology and exploration of oil and gas fields" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technical University", engineer of the International Scientific Center "Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet", Ufa, Russian Federation, email. address: aydar.sharafutdinov1999@gmail.com. ORCID ID: 0009-0007-9451-6073.

Klimin Ruslan Valerikovich, post-graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technical University", Russian Federation. E-mail: klim-2222@mail.ru. ORCID ID: 0009- 0008-0334-5887.

© Шабрин Н.В., Никифоров В.В., Шарафутдинов А.Р., Климин Р.В.