

Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 50–57.
Geology, geography and global energy. 2022; 3(86):50–57 (In Russ.)

Научная статья
УДК 622.323+550.83+551.242
doi 10.54398/20776322_2022_3_50

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ГАЗОНОСНОСТИ ПЛАСТА Т1-Х
В ИНТЕРВАЛЕ ТАГАНДЖИНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО ТРИАСА ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ
(ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ) ПО МЕТОДИКЕ КЛАССИФИКАЦИИ БАЙЕСА,
ВЫПОЛНЕННОЙ НА ОСНОВЕ AVO АНАЛИЗА**

Ольга Викторовна Феоктистова

Якутская топливно-энергетическая компания, Вилуйский улус,
п. Кысыл-Сыр, Россия
FeoktistovaOV@yatec.ru

Аннотация. В настоящее время на территории Хапчагайского мегавала и смежных с ним территорий Вилуйской синеклизы Республики Саха (Якутия) активно проводятся сейсморазведочные исследования, в том числе, и на новых территориях, слабо изученных бурением, сейсморазведкой и другими геофизическими методами. В связи с чем актуальным является изучение строения продуктивных интервалов по данным сейсморазведки МОГТ 3D с целью поиска признаков выявления потенциально перспективных зон на данных МОГТ 2D. Еще одной важной задачей является поиск пропущенных ловушек УВ на действующих месторождениях. С этой целью проводился анализ по выявлению особенностей формирования ловушек УВ в низах таганджинской свиты по данным региональных исследований, выявлялись эффективные атрибуты сейсмической записи и технологии сейсмического анализа данных для выявления потенциально перспективных зон по данным МОГТ 3D с целью применения полученного опыта в дальнейшем на данных МОГТ 2D, а также. МОГТ 3D в условиях ограниченного фонда данных бурения. В данной статье приводятся результаты проведенного анализа, позволившие на примере одного из месторождений Восточной Сибири выявить пропущенные потенциально перспективные ловушки УВ пласта Т1-Х, уточнить зоны фациальных замещений, определить тектонические экраны, дать рекомендации на поисково-разведочное бурение.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, Вилуйская синеклиза, Хапчагайский мегавал, триас, таганджинская свита, сейсмические атрибуты, аномалии AVO, классификация, Байесовы сети, пропущенные ловушки УВ

Для цитирования: Феоктистова О. В. Выявление потенциала газоносности пласта Т1-Х в интервале таганджинской свиты нижнего триаса Вилуйской синеклизы (Восточная Сибирь) по методике классификации Байеса, выполненной на основе AVO анализа // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 50–57. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_50.

**IDENTIFICATION OF THE GAS-BEARING POTENTIAL OF THE T1-X RESERVOIR
IN THE INTERVAL OF THE TAGANDZHA SUITE OF THE LOWER TRIASSIC
OF THE VILYUI SYNECLISE (EASTERN SIBERIA)
USING THE BAYESIAN CLASSIFICATION METHOD BASED ON AVO ANALYSIS**

Olga V. Feoktistova

Yakut Fuel and Energy Company JSC, Vilyuyski ulus, Kysyl-Syr village, Russia
FeoktistovaOV@yatec.ru

Abstract. Currently, seismic surveys are being actively carried out on the territory of the Khapchagai mega shaft and the adjacent territories of the Vilyui syncline of the Republic of Sakha (Yakutia), including new territories poorly studied by drilling, seismic exploration and other geophysical methods. In this connection, it is relevant to study the structure of productive intervals

according to CDP 3D seismic data in order to search for signs of identifying potentially promising zones on CDP 2D data. Another important task is to search for missed hydrocarbon traps in existing fields. For this purpose, an analysis was carried out to identify the features of the formation of hydrocarbon traps in the lower part of the Tagandzha suite according to regional research data, effective seismic recording attributes and seismic data analysis technologies were identified to identify potentially promising zones according to CDP 3D data in order to apply the experience gained in the future to CDP 2D data, as well as. CDP 3D in conditions of limited drilling data. This article presents the results of the analysis, which made it possible, using the example of one of the fields in Eastern Siberia, to identify the missed potentially promising hydrocarbon traps of the T1-X formation, clarify the zones of facies replacements, determine tectonic screens, and give recommendations for exploration drilling.

Keywords: Eastern Siberia, Vilyui syncline, Khapchagai mega shaft, Triassic, Tagandzha Formation, seismic attributes AVO anomalies, classification, Bayesian networks, missed hydrocarbon traps

For citation: Feoktistova O. V. Identification of the gas potential of the T1-X formation in the interval of the Tagandzha formation of the Lower Triassic of the Vilyui syncline (Eastern Siberia) using the Bayesian classification method based on AVO analysis // *Geology, geography and global energy*. 2022. No 3(86):50–57. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_50.

Введение. На территории Виллюйской гемисинеклизы добыча углеводородов ведется из пермских, триасовых и, в меньшей степени, юрских отложений [2; 3]. На рисунок 1 представлена региональная карта по кровле перми. Исследуемый участок расположен в пределах Хапчагайского мегавала (1б) [8].

Геологическая эволюция на границе перми и триаса характеризуется интенсивными планетарными биосферными преобразованиями [9]. На изучаемой территории, и на планете того периода в целом, они, в числе других причин, были связаны с общим поднятием суши над уровнем моря. В рассматриваемом регионе оно сопровождалось сопутствующими эрозийными процессами, интенсивность и результаты которых определялись климатическими условиями местности (палеогеографией), составом пород, характером тектонических движений и их длительностью.

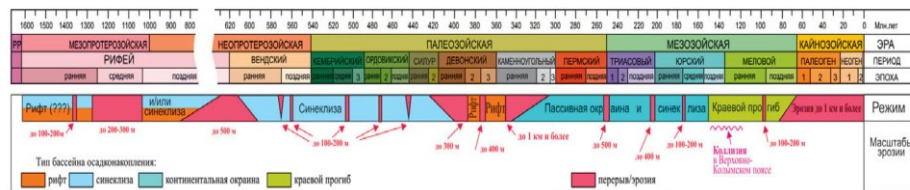
Таким образом, отложения индского яруса, включающие в себя таганджинскую свиту, сформировались с прерывистым характером залегания на выветрелых отложениях перми. Питающими провинциями являлись окружающие территорию Алданский Щит, докембрийские породы Южного Верхоянья, вулканиты Восточно-Азиатской континентальной окраины.

Мощность свиты на участке работ достигает 300 м. Свита представлена песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Обычны прослои туфогенных пород, брекчий и редких обломков древесины.

Анализ региональных обстановок осадконакопления. Формирование осадочного бассейна в индское время происходило по типу проградирующей мегадельты (рис. 2, 3), что обусловило увеличение мощности осадков (ОГ ТР – ОГ Т1-Х) в север-восточном направлении.

Энергичное перераспределение осадков, изменения в палеорельефе, тектоническая и вулканическая активность обусловили фациальную неоднородность нижней части таганджинской свиты, которая фиксируется как по данным бурения (ГИС, керн), так и по данным сейсморазведки МОГТ 3D (рис. 4), что приводит к формированию локальных малоразмерных перспективных зон. Характер залегания слоев по отношению к подошве комплекса относится к типу подошвенного несогласия – у основания поверхности, имевшей изначальный наклон, первоначально горизонтально залегавшие слои постепенно выклиниваются. Верхняя часть таганджинской свиты (ОГ Т1-Х – ОГ Т1-III) характеризуется согласным залеганием слоев.

Прерывание осей синфазности, до их полного выклинивания в подошве подкомплекса, и достижение уровня равновесия в его кровле, выражающееся в согласном залегании границ на уровне ОГ Т1-Х – ОГ Т1-III, позволяет реконструировать дельтовые формы палеорельефа.



Основные структурные элементы Лено-Вилюйского НГБ

- 1 – Вилюйская синеклиза:**
 - 1а – Линденская впадина, 1б – Халчагайский мегавал, 1в – Логорский мегавал; 2 – Предверхоянский краевой прогиб; 2а – Ленская ветвь, 2б – Алданская ветвь.
- Прилегающие тектонические структуры:**
 - 3 – Верхояно-Колымская складчатая система, 4 – Сибирская платформа: 4а – Алданская антеклиза, 4б – Кемлендский грабен, 4в – Сунтарский горст, 4г – Ыгытатинская впадина, 4д – Сюнджерская седловина, 4е – Анабарская антеклиза, 4ж – Оленекский свод

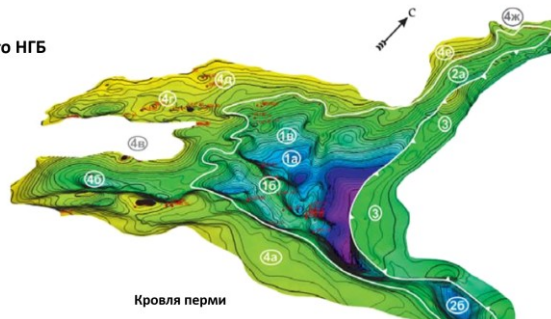
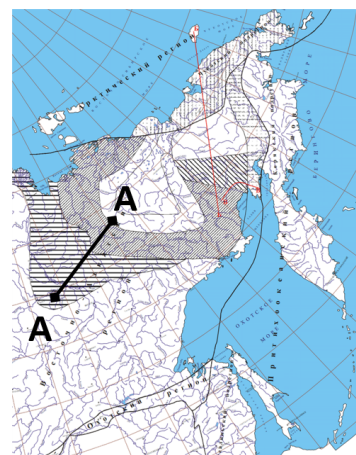
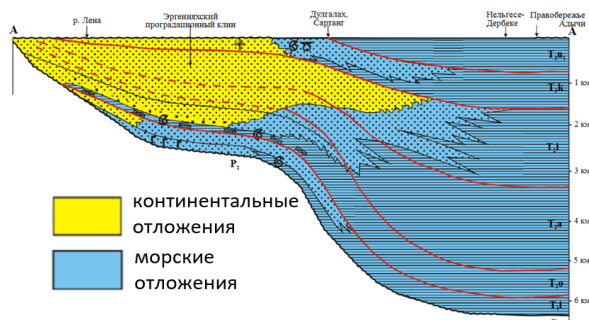


Рисунок 1 – Общие сведения о районе работ [8]



Седиментологический профиль триасовых отложений по линии А-А (Репин Ю.С., 2008)

Рисунок 2 – Циклы трансгрессий и основных геологических состояний и событий Северо-Востока России в триасе [5]

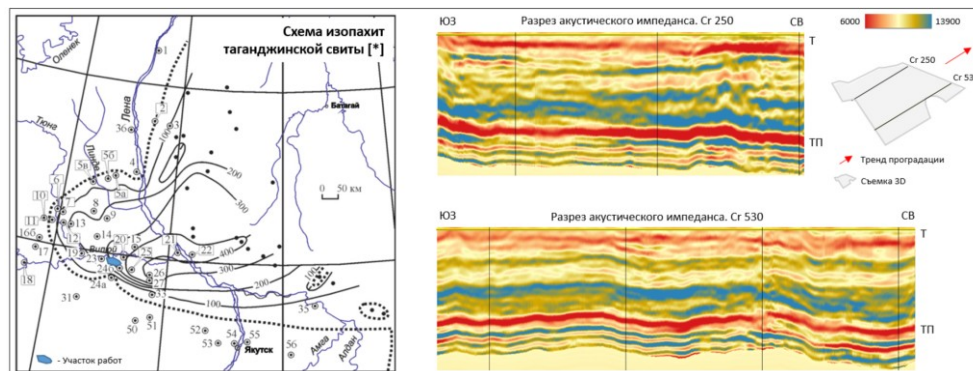


Рисунок 3 – Формирование осадочного бассейна в индское время (таганджинская свита) [2]

Направление последовательного выклинивания более молодых слоев по отношению к более древним является направлением, в котором возрастает длительность перерыва, обусловленного паузой в осадконакоплении вдоль данной поверхности несогласия. По всей видимости, в раннем триасе на изучаемой площади накопление происходило более интенсивно в северо-восточной части, что совпадает с региональным направлением проградационной линзы и всей аллювиально-дельтовой равнины к сибирским морям. В результате перераспределения осадков, сопровождаемого тектонической и вулканической активностью, к концу индского века сформировался новый палеорельеф.

Таким образом, особенности региональных обстановок осадконакопления обусловили формирование в нижней части таганджинской свиты сложнопостроенных объектов – тектонических и литологически экранированных ловушек УВ.

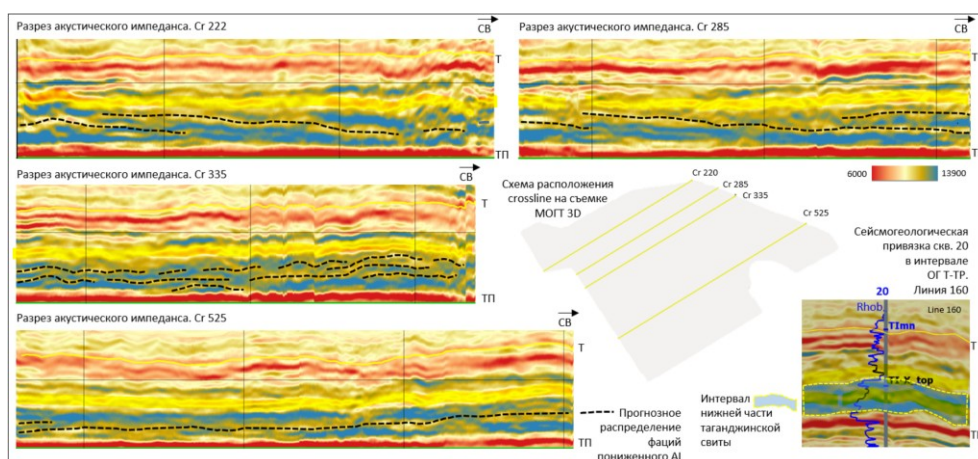


Рисунок 4 – Распределение фаций пониженного AI в нижней части таганджинской свиты

Анализ промысловой информации. В пределах съемки МОГТ 3D пласт T1-X вскрыт десять скважинами, в трёх из них получены притоки газа, в пяти скважинах по данным промыслово-геофизических исследований и данным интерпретации ГИС – вода, в двух пласт заглинизирован. Выделение эффективных толщин в интервале таганджинской свиты проводилось по качественным признакам (сужение диаметра скважины по сравнению с номинальным, которое фиксируется на кавернограмме, и наличию положительных приращений значений кажущихся сопротивлений на диаграммах микрозондов) и количественным критериям. Алгоритм оценки характера насыщения пласта устанавливался по сопоставлению данных ГИС с поинтервальными испытаниями скважин. Анализ упругих параметров в интервале пласта T1-X показывает, что импеданс газонасыщенных пород незначительно ниже акустической жесткости покрышки, что позволяет ожидать в сейсмическом волновом поле проявление аномалий III класса AVO [1; 10]. Плотность пород при этом коррелирует с кажущимся сопротивлением по типу насыщения, что создает предпосылки для интерпретации разрезов импеданса на данных МОГТ 2D.

Сейсмогеологическая интерпретация. Для исследований тектонического строения отдельных целевых интервалов полезно применять анализ сейсмостратиграфических амплитудных срезов. В данном случае рассчитывалась серия срезов сейсмического куба с шагом 2 мс от кровли перми (ОГ TP) до кровли пласта T1-X (ОГ T1-X). На представленной выборке (рис. 5) отчетливо прослеживаются следы деформаций северо-восточного простирания и напряжений, расположенных вкрест.

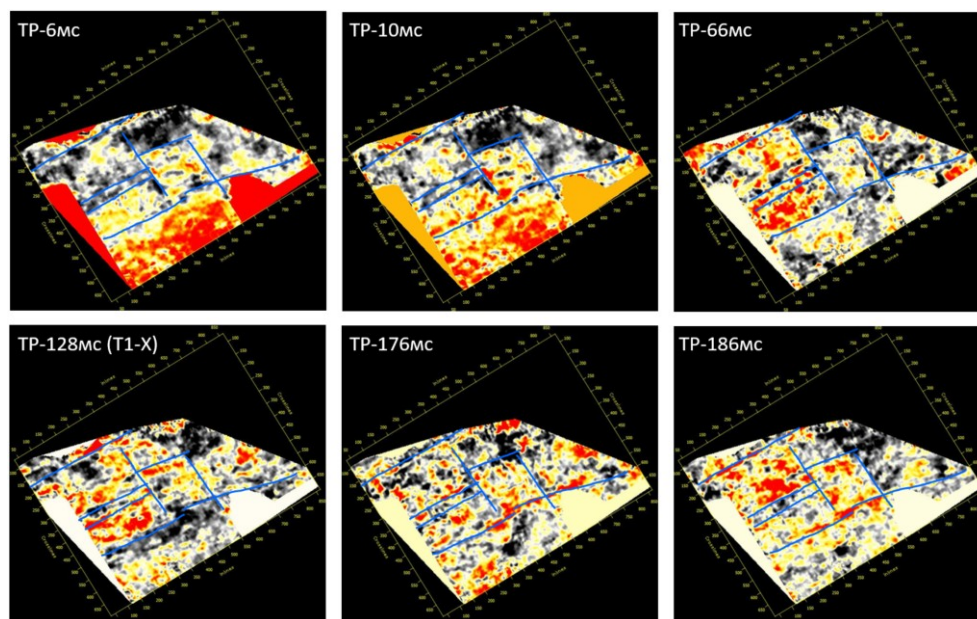


Рисунок 5 – Стратиграфические срезы в интервале ОГ TP – ОГ T1-X (с интерпретацией тектонических нарушений)

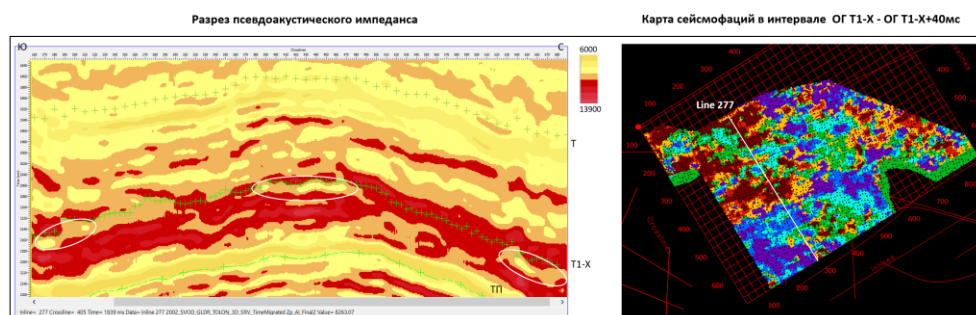
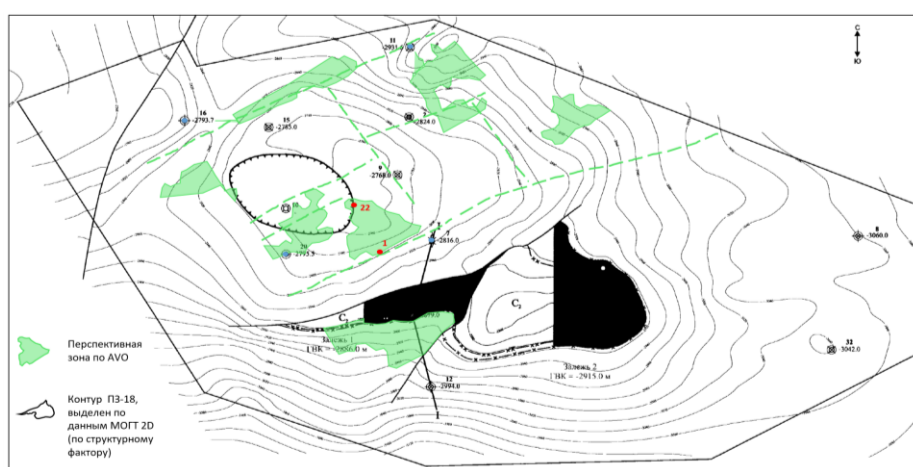
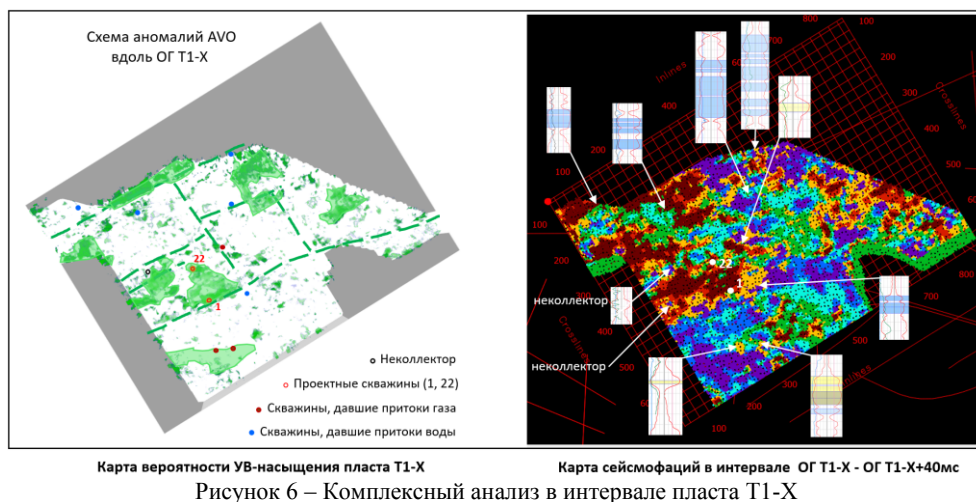
Виллойский осадочный бассейн и сопряженная с ним Якутско-Виллойская крупная изверженная провинция (ЯВП) являются одним из примеров совместного проявления рифтинга и магматизма. Новые данные датирования силлов и долеритов [4] установили, что возраст излияний в ряде скважин провинции относится к триасу и перми. Важность данного факта заключается в датировке тектонических импульсов: древняя рифтовая система периодически оживала. Тектонические импульсы обусловили ориентировку деформаций в направлении юго-запад – северо-восток.

При выборе эффективных технологий для изучения фациального строения интервала и поиска сложностроенных ловушек предпочтение получили различные виды классификации – сейсмофациальный анализ и классификация Байеса, основанная на AVO-атрибутах [6; 7].

Карта сейсмофаций интерпретируется как схематичное изображение распределения проницаемых интервалов пласта T1-X, а карта аномалий AVO – как схематичное изображение распределения УВ в проницаемых интервалах пласта. Вывод об эффективности выбранных подходов сделан на основе сопоставления полученных карт распределения фаций и карты вероятности УВ-насыщения пласта с данными бурения и результатами интерпретации ГИС (рис. 6). Таким образом, в соответствии с региональными особенностями условий формирования отложений пластов раннего триаса, выделенные потенциально перспективные зоны имеют конфигурацию сложностроенных тектонических и литологически экранированных ловушек УВ.

Результаты проведенной работы позволили дополнить и детализировать модель проницаемой части пласта T1-X, полученную по предыдущим данным МОГТ 2D (рис. 7): Кроме этого, подтвердились рекомендации на бурение, данные ранее по основным продуктивным этапам газоносности.

На примере линии 277 (рис. 8) вдоль ОГ T1-X отмечается соответствие отдельных классов сейсмофаций (красной и оранжевой цветокодировки) с зонами пониженных значений импедансов, а значит, с потенциально перспективными на УВ интервалами. Из чего следует, что в изучаемом регионе эффективно применять технологию инверсии на данных МОГТ 2D.



Выводы:

1. Сложнопостроенные ловушки в низах таганджинской свиты формировались в континентальных условиях в пределах аллювиально-дельтовой равнины, проградирующей в восточном направлении от участка работ. Интенсивный снос осадочного материала и характер тектонических напряжений, а именно, их активность и длительность, позволяют ожидать в нижней части таганджинской свиты сложнопостроенных тектонических и литологических ловушек УВ.

2. Эффективными и необходимыми инструментами для выявления по данным МОГТ 3D ловушек, зон глинизаций и тектонических экранов пласта Т1-Х таганджинской свиты являются сейсмофациальный анализ, анализ сеймостратиграфических слайсов, классификация Байеса, технология AVO. Для выявления потенциально перспективных зон по данным МОГТ 2D в условиях ограниченного фонда данных бурения рекомендуется сейсмофациальный анализ, анализ AVO и псевдоакустическая инверсия.

3. В результате проведенной работы были выявлены пропущенные потенциально перспективные ловушки УВ пласта Т1-Х, уточнены зоны фациальных замещений, определены тектонические экраны, даны рекомендации на поисково-разведочное бурение.

Список источников

1. Воскресенский Ю. Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов. Москва: РГУ нефти и газа, 2001. 68 с.
2. Девятков В. П., Трущелев А. М., Гриненко В. С. Стратиграфия триасовых отложений Верхоянской фациальной области (Центральная Якутия) // Региональная геология. 2012. № 2 (10). С. 24–37.
3. Космачева А. Ю., Федорович М. О. Структурная характеристика и история тектонического развития мезозойских отложений Вилуйской гемисинеклизы // Геофизические технологии. 2021. № 1. С. 4–18.
4. Среднепалеозойский и среднетриасовый импульсы траппового магматизма на востоке Сибирской платформы: результаты первых $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ – датировок долеритовых sillов / А. В. Прокопьев, О. П. Полянский, О. В. Королева, Д. А. Васильев, М. Д. Томшин, В. В. Ревердатто, С. А. Новикова // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 490, № 1. С. 7–11.
5. Репин Ю. С., Полуботко Н. В. Основные черты седиментогенеза куларского этапа (Т1-Т3к) на северо-востоке России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2/20_2008.pdf.
6. Феоктистова О. В. Определение потенциала газоносности в сложных геологических средах сейсмическими методами на основе байесовых вероятностных сетей // Успехи современного естествознания. 2019. № 2. С. 79–85.
7. Феоктистова О. В. Применение байесовых нейронных сетей для выявления газоносных резервуаров в условиях Западной Сибири // Нефть. Газ. Новации. 2019. № 9. С. 79–80.
8. Фролов А. В., Карнюшина Е. Е. и др. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилуйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2019. № 2. С. 13–30.
9. Чумаков Н. М., Жарков М.А. Климат во время пермо-триасовых биосферных перестроек. Статья 2. Климат поздней перми и раннего триаса. Общие выводы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2003. Т. 11, № 4. С. 55–70.
10. Шалаева Н. В. AVO-анализ: физические основы, возможности и ограничения. Геленджик: Геомодель, 2004. 51 с.

References

11. Voskresenskiy Yu. N. *Izuchenie izmenenij amplitud seismicheskikh otrazhenij dlya poiskov i razvedki zalezhey uglevodorodov* = Study of changes in the amplitudes of seismic reflections for prospecting and exploration of hydrocarbon deposits. Moscow: Russian State University of Oil and Gas, 2001:68 p. (In Russ.).
12. Devyatov V. P., Trushhelev A. M., Grinenko V. S. Stratigraphy of the Triassic deposits of the Verkhoyansk facies region (Central Yakutia). *Regional geology*. 2012; 2(10):24–37. (In Russ.).
13. Kosmacheva A. Yu. Fedorovich M. O. Structural characteristics and history of tectonic development of the Mesozoic deposits of the Vilyui hemisyncline. *Geophysical technologies*. 2021; 1:4–18 (In Russ.).
14. Prokopiev A. V., Polyansky O. P., Koroleva O. V., Vasiliev D. A., Tomshin M. D., Reverdatto V. V., Novikova S. A. Middle Paleozoic and Middle Triassic pulses of trap magmatism in the east of the Siberian Platform: results of the first $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ dating of dolerite sills. *Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth sciences*. 2020; 490(1):7–11 (In Russ.).

15. Repin Yu. S., Polubotko N. V. The main features of the sedimentogenesis of the Kular stage (T1-T3k) in the northeast of Russia. *Oil and gas geology. Theory and practice*. 2008; 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2/20_2008.pdf (In Russ.).

16. Feoktistova O. V. Determination of gas-bearing potential in complex geological environments by seismic methods based on Bayesian probabilistic networks. *Advances in current natural science*. 2019; 2:79–85 (In Russ.).

17. Feoktistova O. V. Application of Bayesian neural networks to identify gas-bearing reservoirs in Western Siberia. *Oil. Gas. Innovations*. 2019; 9:79–80 (In Russ.).

18. Frolov A. V., Karnyushina E. E. et al. Structural Features, Sedimentary Complexes and Hydrocarbon Systems of the Lena-Vilyui Oil and Gas Basin. *Georesources*. 2019; 2:13–30 (In Russ.).

19. Chumakov N. M., Zharkov M. A. Climate during the Permian-Triassic biospheric rearrangements. Article 2. The climate of the late Permian and early Triassic. General conclusions. *Stratigraphy. Geological correlation*. 2003; 11(4):55–70 (In Russ.).

20. Shalaeva N. V. *AVO-analiz: fizicheskie osnovy, vozmozhnosti i ogranicheniya* = AVO Analysis: Physical Foundations, Opportunities, and Limitations. Gelendzhik: Geomodel; 2004: 51 p. (In Russ.).

Информация об авторе

О. В. Феоктистова – главный специалист по сейсмической интерпретации.

Information about the author

O. V. Feoktistova – Chief Seismic Interpreter.

Статья поступила в редакцию 27.07.2022; одобрена после рецензирования 05.08.2022; принята к публикации 17.08.2022.

The article was submitted 27.07.2022; approved after reviewing 05.08.2022; accepted for publication 17.08.2022.