

Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 19–27.
Geology, geography and global energy. 2022; 3(86):19–27 (In Russ.).

Научная статья
УДК 622.323+ 550.83+ 551.242
doi 10.54398/20776322_2022_3_19

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ГАЗОНОСНОСТИ ПЛАСТА Т1-III
В ИНТЕРВАЛЕ ТАГАНДЖИНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО ТРИАСА ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ
(ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ) С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ AVO
АНАЛИЗА И КЛАССИФИКАЦИИ БАЙЕСА**

Ольга Викторовна Феоктистова

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

Аннотация. В настоящий момент в нефтегазовой отрасли особое значение и актуальность приобретают технологические возможности анализа больших массивов данных. Появление новых технологических возможностей и развитие методик и техник статистического анализа привело к разработке новых технологических решений. Одним из таких является реализация классификации сейсмических аномалий и трансформации сейсмического волнового поля в поле классов потенциально перспективных объектов на УВ. В данной статье приводятся результаты исследований, использующих методику комплексирования технологии AVO анализа и вероятностной классификации Байеса. Опробование методики проводилось на данных съёмки МОГТ 3D, расположенной в пределах Хапчагайского мегавала Вилуйской гемисинеклизы. Проведение классификации по признакам AVO-атрибутов позволило оценить потенциал газоносности песчаного пласта в интервале таганджинской свиты нижнего триаса.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, Вилуйская синеклиза, Хапчагайский мегавал, триас, таганджинская свита, сейсмическая аномалия, AVO, классификация, Байесовы сети, углеводороды

Для цитирования: Феоктистова О. В. Выявление потенциала газоносности пласта Т1-III в интервале таганджинской свиты нижнего триаса Вилуйской синеклизы (Восточная Сибирь) с помощью комплексирования технологии AVO-анализа и классификации Байеса // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 19–27. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_19.

**IDENTIFICATION OF THE GAS POTENTIAL OF THE T1-III FORMATION
IN THE INTERVAL OF THE TAGANDZHA FORMATION OF THE LOWER TRIASSIC
OF THE VILYUI SYNECLISE (EASTERN SIBERIA) USING THE INTEGRATION
OF AVO ANALYSIS TECHNOLOGY AND BAYESIAN CLASSIFICATION**

Olga V. Feoktistova

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

Abstract. At the moment, in the oil and gas industry, the technological capabilities of analyzing large data sets are of particular importance and relevance. The emergence of new technological capabilities and the development of methods and techniques of statistical analysis led to the development of new technological solutions. One of these is the implementation of the classification of seismic anomalies and the transformation of the seismic wave field into the field of classes of potentially promising objects on the SW. This report presents the results of studies using the technique of combining AVO analysis technology and Bayesian probabilistic classification. The technique was tested on the data of the CDP 3D survey located within the Khapchagai mega shaft of the Vilyui hem-

isineclise. The classification based on AVO-attributes made it possible to estimate the gas-bearing potential of the sand reservoir in the interval of the Lower Triassic Tagandzha suite.

Keywords: Eastern Siberia, Vilyui syncline, Khapchagai mega shaft, Triassic, Tagandzha suite, seismic anomaly, AVO, classification, Bayesian networks, hydrocarbons

For citation: Feoktistova O. V. Identification of the gas potential of the T1-III formation in the interval of the Tagandzha formation of the Lower Triassic of the Vilyui syncline (Eastern Siberia) using the integration of AVO analysis technology and Bayesian classification. *Geology, geography and global energy*. 2022; 3(86):19–28. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_19.

Введение. Исследуемый участок работ расположен в Республике Саха (Якутия) и в тектоническом отношении приурочен к Хапчагайскому мегашафту Вилуйской гемисинеклизы (рис. 1). В пределах данного района стратиграфический диапазон газоносности охватывает палеозойские и мезозойские отложения с доказанной газоносностью по пермским, триасовым и юрским отложениям [2; 3]. В пределах площади работ были проведены сейсморазведочные работы МОГТ 3D и поисково-разведочное бурение.

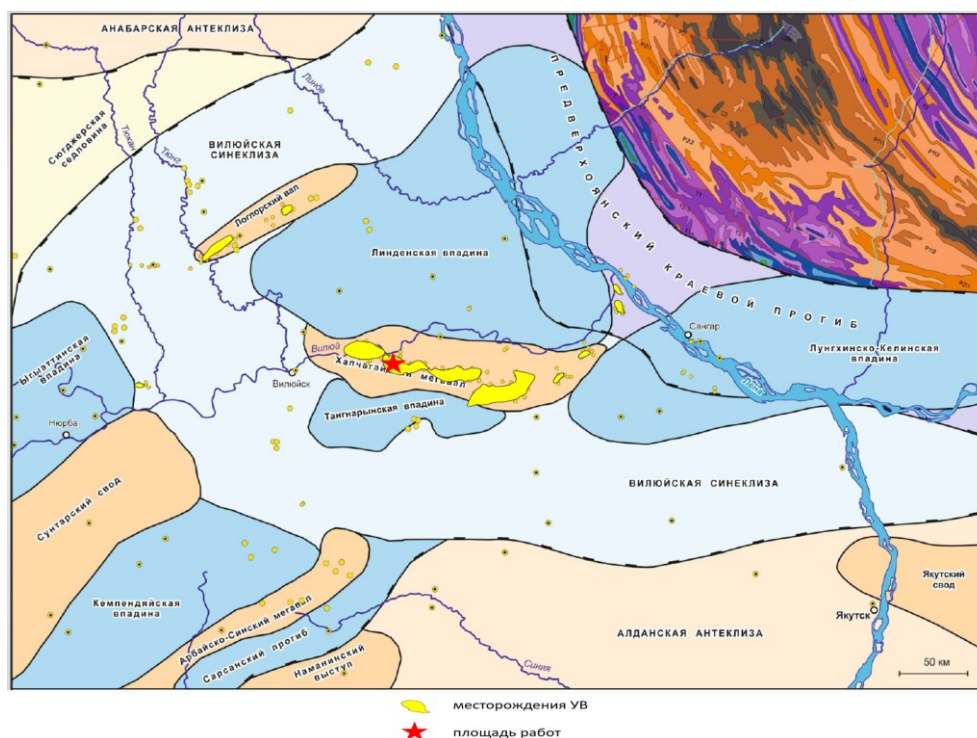


Рисунок 1 – Тектоническая карта Вилуйской синеклизы

Анализ скважинных данных. В пределах проведённой съёмки МОГТ 3D пласт T1-III таганджинской свиты нижнего триаса вскрыт 13-ю скважинами, в семи из них получены притоки газа и газа с водой, в остальных шести скважинах по данным промыслово-геофизических исследований и данным интерпретации ГИС – вода. В 12 скважинах отобран керн. По данным керна таганджинская свита сложена песчаниками с прослоями и пачками чередования алевритов и аргиллитов, присутствуют прослои вулканогенно-осадочных пород. Характерно широкое развитие конгломерато-брекчий. Выделение эффективных толщин в скважинах 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 сопо-

ставлению данных ГИС с поинтервальными испытаниями скважин: коллекторы с разными ёмкостными свойствами имеют различные критические сопротивления. Притоки газа могут быть получены из коллекторов, сопротивление которых выше некоторого критического сопротивления рпгр. По пласту Т1-III водонасыщенные коллектора характеризуются величинами УЭС по ГИС от 5 до 9,7 Ом м, газонасыщенные – выше 9,7 Ом м.

Анализ упругих параметров в интервале пласта Т1-III таганджинской свиты нижнего триаса показывает, что импеданс газонасыщенных пород незначительно ниже акустической жёсткости покрышки (AI вмещающих пород – ср. знач. 12 800 усл. ед., AI газонасыщенных пород – ср. знач. 11800 усл. ед.), 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 (рис. 2).

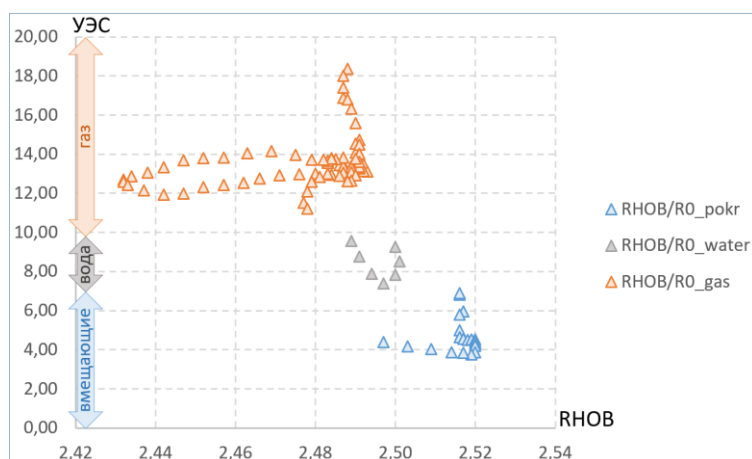


Рисунок 2 – Классификация геофизических параметров (плотности и удельного электрического сопротивления) по типу насыщения. Пласт Т1-III, скв. 20

Создание обучающей выборки выполнялось по кроссплотам AVO и сейсмическим атрибутам в окрестностях эталонной скважины 10, в качестве контрольных к анализу привлекались все остальные скважины.

Анализ сейсмических данных. Таганджинская свита содержит остатки фауны, позволяющие отнести её к индскому ярусу, который с перерывом залегает на выветрелых отложениях верхней перми и является одним из трёх крупных циклов триаса, каждый из которых начинается морской трансгрессивной толщей и заканчивается регрессивными прибрежными отложениями (рис. 3). Основными причинами цикличности являются тектонические [4] и эвстатические события. Трансгрессии имеют различную степень выраженности и радиус действия и в большинстве случаев совпадают с началом ярусов.

В результате палеогеографических изменений к началу формирования индского яруса в пределах Вилуйской гемисинеклизы сформировалась обширная палеосуша [8; 9]. Континентальная окраина в обстановках биосферных перестроек подвергалась ветровой эрозии, терригенный материал активно разбавлялся продуктами вулканического выветривания, что отразилось на составе пород и послужило формированию туфо-терригенных литофаций. Питающими провинциями являлись Алданский щит, докембрийские породы Южного Верхоянья, вулканы Восточно-Азиатской активной континентальной окраины.

Таким образом, таганджинская свита сформировалась на дельтовой платформе (ОГ ТР, неджелинская свита, разделяющая отложения триаса и перми, рис. 4). Генеральной тенденцией седиментогенеза в триасе на рассматриваемой территории являлось неуклонное формирование проградационной линзы и продвижение аллювиально-дельтовой равнины на восток, осложняемое и прерываемое большими и малыми

трансгрессивными волнами, сопряжёнными с климатическими циклами тёплого или субтропического гумидного климата. Окончание индского цикла венчает ранне-оленинская трансгрессия, самая значительная за весь триасовый период. Низменный пенепленизированный рельеф в областях сноса, слабая энергия транспортных путей способствовали распространению и накоплению однородных алевритово-глинистых осадков мономской свиты (ОГ Т – ОГ Т1-III), которая стала служить надёжной покрывкой для скоплений УВ в таганджинской свите.

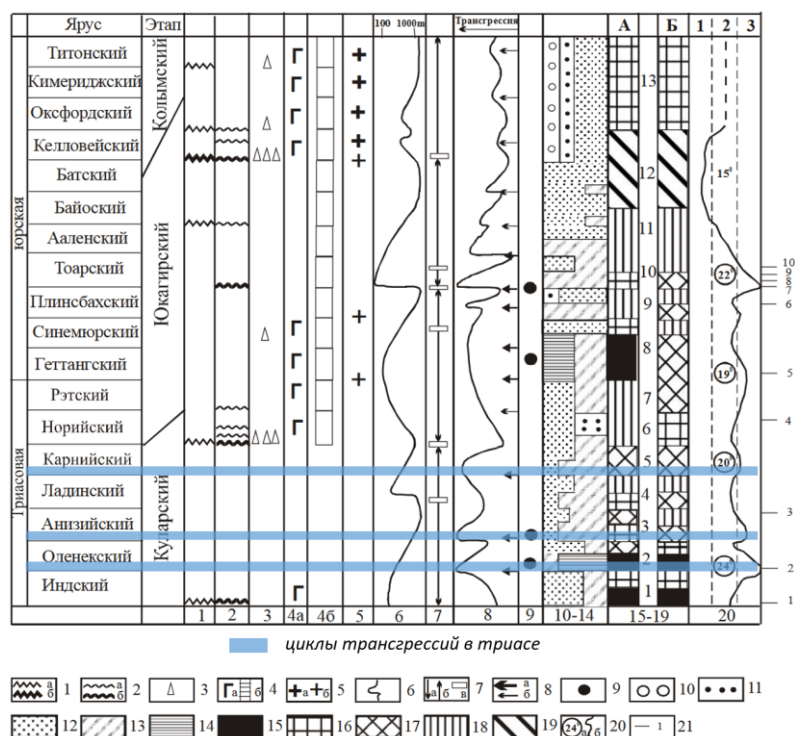


Рисунок 3 – Выделение циклов трансгрессий на схеме основных геологических состояний и событий на северо-востоке России в триасе и юре [5]: 1 – структурные (угловые) несогласия (а – региональные, б – локальные); 2 – стратиграфические перерывы (а – региональные, б – локальные); 3 – олистостромы (интервалы формирования олистостром); 4 – вулканизм (а – рифтовый, б – вулканических дуг); 5 – магматизм (а – региональный, б – локальный); 6 – кривая мощностей (относительные скорости осадконакопления); 7 – преобладающие тектонические состояния (обстановка) (а – прогибание, б – воздымание (поднятия?), в – равновесие (тектонический гомеостаз)); 8 – трансгрессивная кривая и интервалы трансгрессий (а – субглобальные, б – региональные); 9 – интервалы формирования пород черносланцевого типа; 10–14 – доминирующие обстановки седиментации (10 – континентальные, 11 – прибрежное мелководье, в т. ч. банки-отмели, 12 – мелководный шельф, 13 – глубоководный шельф, 14 – псевдоабиссаль); 15–19 – тип палеосообществ (А – аммониты, Б – двустворчатые) и названия палеосистем (15 – панталассоидный, 16 – амфибореальный, 17 – низкобореальный, 18 – высокобореальный, 19 – арктический); палеоэкосистемы: 1 – томпинская, 2 – лаптевская, 3 – куларская, 4 – приохотская, 5 – омкучанская, 6 – чахниткинская, 7 – финишская, 8 – гыданская, 9 – наледнинская, 10 – стартовская, 11 – ясчанская, 12 – уродочанская, 13 – анюйская); 20а – климатический оптимум и средняя температура вод; 20б – климатическая кривая (1 – умеренно холодный, 2 – тёплый, 3 – субтропический); 21 – субглобальные биохронологические реперы (1 – *Otoceras*, 2 – *Hedenstroemia-Euflemengites*, 3 – *Gymnotoceras*, 4 – *Monotis ochotica*, 5 – *Psiloceras*, 6 – *Amaltheus stokesi*, 7 – *Tiloniceras*, 8 – *Narproceras*, 9 – *Dactiloceras commune*, 10 – *Zugodactylites braunianus*)

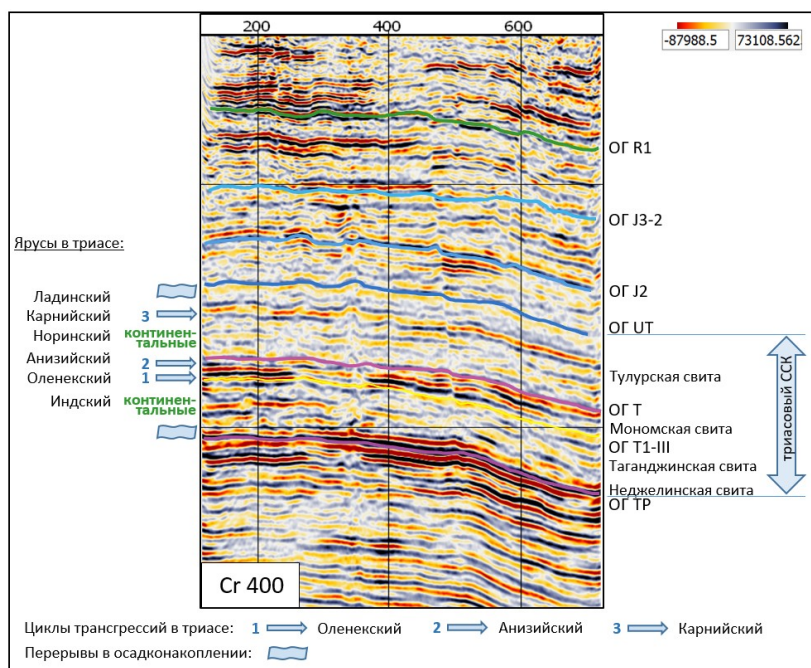


Рисунок 4 – Выделение циклов трансгрессий, основных геологических состояний и событий Северо-Востока России в триасе на сейсмическом разрезе участка работ

Основные сейсмогеологические реперы представлены преимущественно глинистыми толщами, сформировавшимися в эпоху трансгрессий и получившими распространение на обширных территориях, которые на временном сейсмическом разрезе представлены амплитудными, динамически выраженными и хорошо прослеживаемыми пакетами осей синфазностей. При этом крупные седиментационные циклы, в том числе и индский, в свою очередь, состоят из более мелких, обусловленных палеогеографическими и отчасти структурными перестройками. Границы этапов подчёркиваются паузами в осадконакоплении, несогласиями. В пределах индского яруса подкомплексы характеризуются различной акустической контрастностью и разделяются отражающим горизонтом T1-X. Глинистые толщи оленекского цикла трансгрессии имеют выраженный пониженный импеданс. Базальные отложения нижнего триаса, представленные неджелинской свитой (OG TP), также создают акустический контраст в волновом поле. Динамическая характеристика волнового поля в интервале раннего триаса приведена на рисунке 5.

Интерпретация результатов кросс-плотов AVO и классификации по Байесу. Выбор информативных для классификации атрибутов осуществлялся по трёхмерным кросс-плотам AVO – в окрестностях скважины 10 эффективными являются атрибуты «частота» и «акустический импеданс». На рисунке 6 показан пример расчёта кросс-плотов «интерцепт» – «градиент» с использованием третьего информативного параметра (атрибут «частота») в цветовой кодировке и селекция области, ассоциируемой с эффектом «яркого пятна».

Далее на основе атрибутов «интерцепт», «градиент», «частота» были рассчитаны по алгоритму условной вероятности Байеса кубы вероятности распределения аномалий, ассоциированных с пропластками, содержащими углеводороды и кубы классификации [6; 7].

Сейсмические аномалии, выявленные и отнесённые к III классу аномалий AVO, отождествляются с потенциально перспективными участками в объёме куба вероятности и в объёме куба классов, где 1 – отсутствие, а 2 – наличие углеводородов (рис. 7).

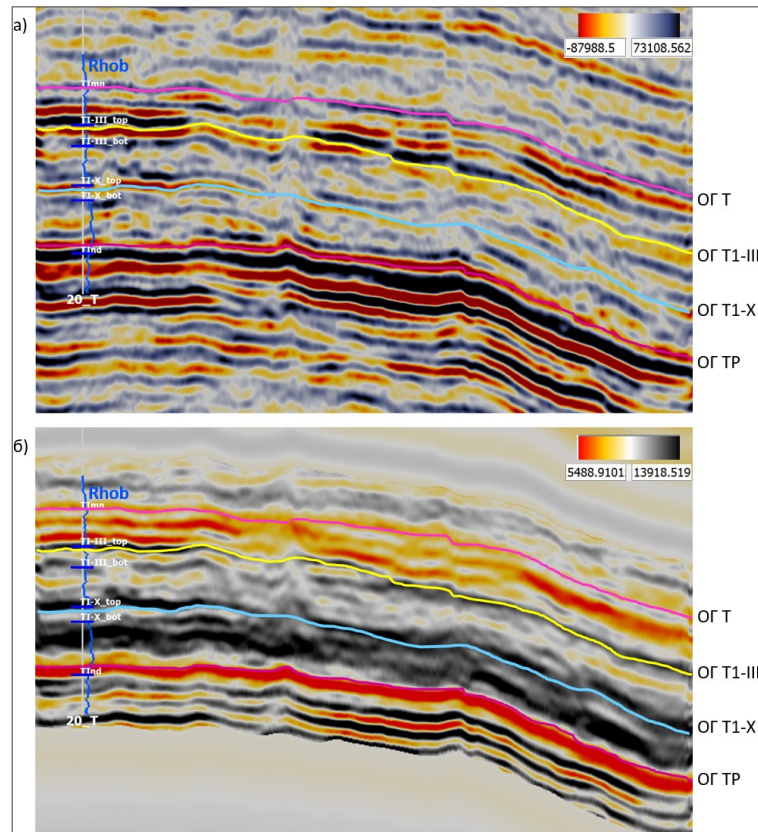


Рисунок 5 – Динамическая характеристика волнового поля раннего триаса: а – временной сейсмический разрез по crossline 395; б – псевдоакустический разрез по crossline 395

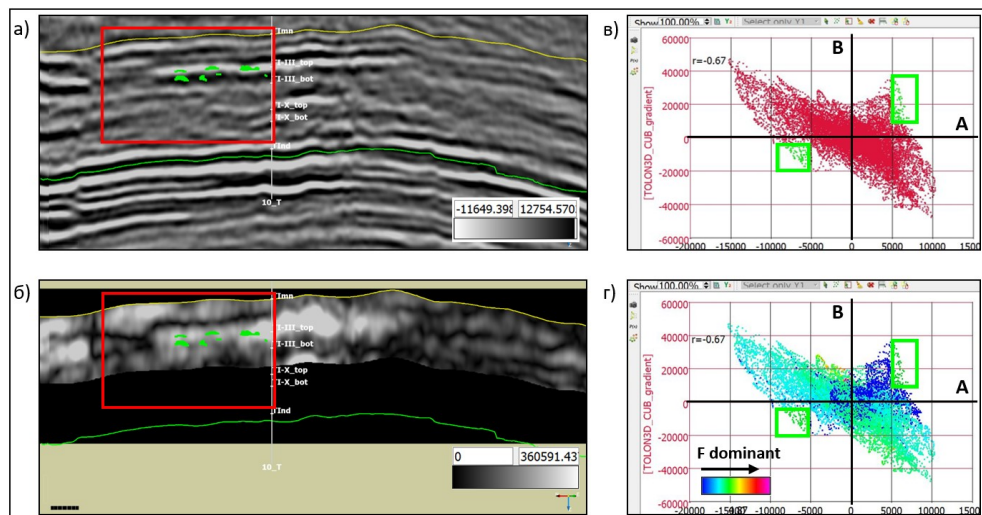


Рисунок 6 – Выбор информативных атрибутов: а – временной сейсмический разрез, inline 205; б – разрез частот (быстрое преобразование Фурье с доминирующей частотой 20 Гц), inline 205; в – кроссплот «интерцепт» – «градиент»; г – селекция anomalно отстраненных от общего тренда значений с использованием информативного атрибута в цветовой кодировке (синим цветом – низкие частоты)

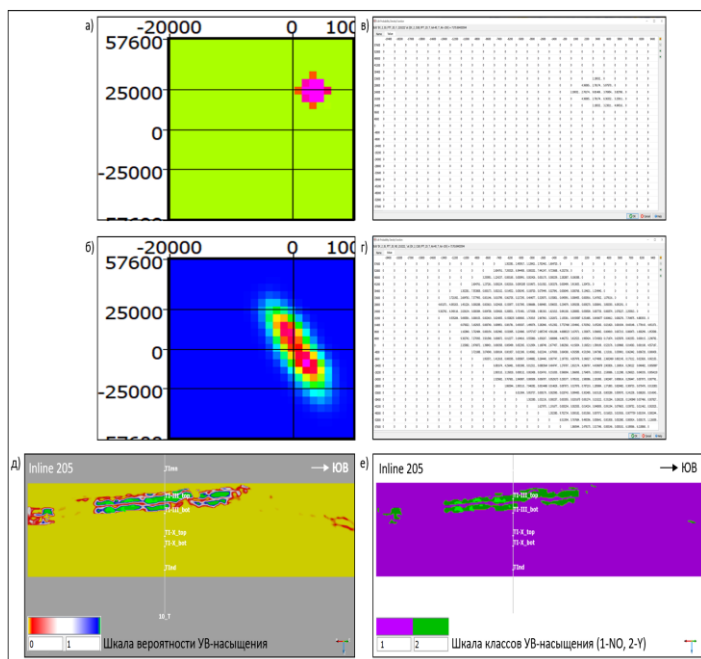


Рисунок 7 – Модель и результат классификации по эталону в окрестностях скв. 10, inline 205: а – графический формат записи эталона в значениях функции плотности вероятности; б – графический формат записи отсутствия эталона в значениях функции плотности вероятности; в – табличный формат записи эталона в значениях функции плотности вероятности; г – табличный формат записи отсутствия эталона в значениях функции плотности вероятности; д – сечение по кубу вероятности (inline 205) в окрестностях эталонной скв. 10; е – сечение по кубу классов (inline 205) в окрестностях эталонной скв. 10

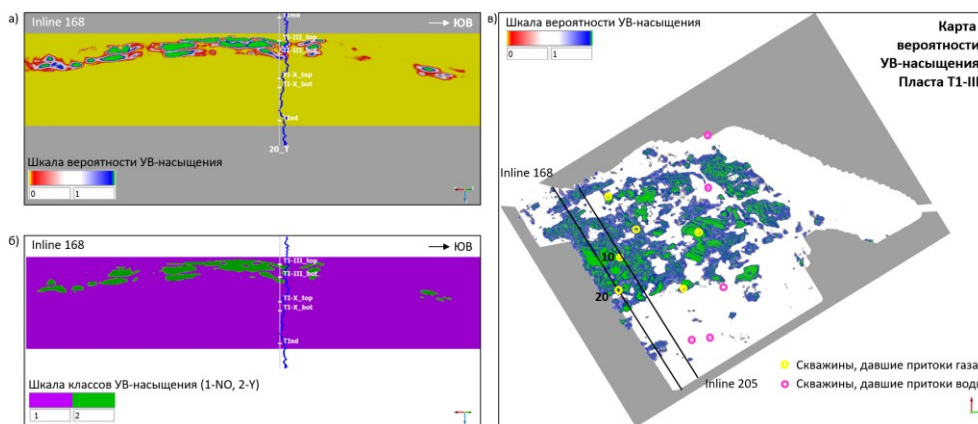


Рисунок 8 – Карта вероятности и контрольный анализ в окрестностях скв. 20: а – сечение по кубу вероятности (inline 168) в окрестностях контрольной скважины 20; б – сечение по кубу классов (inline 168) в окрестностях контрольной скважины 20; в – карта вероятности УВ-насыщения пласта Т1-III

Полученная модель песчаного пласта, насыщенного углеводородами, оценивалась визуально по вертикальным сечениям кубов вероятности и классов в окрестностях контрольных скважин и в плане с учётом данных испытаний пласта Т1-III (рис. 8).

Заключение:

1. Разработанная методика классификации Байеса на основе кроссплотов AVO может использоваться для экспресс-анализа сейсмических данных в случаях, когда

необходимо оценить вероятность потенциала перспектив аномалий в сейсмическом волновом поле по эталонным образцам.

2. Существует определённый потенциал в отношении совершенствования методики, например на основе матрицы функции плотности вероятности можно получить матрицу коэффициентов корреляции атрибутов, для того чтобы перейти к численному анализу данных.

3. В связи с тем, что классификация проводилась по суммарным разрезам, можно ожидать, что существует определённый потенциал в отношении чистоты и устойчивости эксперимента посредством целевой предобработки сейсмических данных.

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. Прокопьев А. В., Полянский О. П., Королева О. В., Васильев Д. А., Томшин М. Д., Ревердатто В. В., Новикова С. А. Среднепалеозойский и среднетриасовый импульсы траппового магматизма на востоке Сибирской платформы: результаты первых $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ – датировок долеритовых силлов // 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

1. Voskresenskiy Yu. N. Study of changes in the amplitudes of seismic reflections for prospecting and exploration of hydrocarbon deposits. *Izuchenie izmenenij amplitud seismicheskikh otrazhenij dlya poiskov i razvedki zalezhej uglevodorodov*. Moscow: Russian State University of Oil and Gas; 2001:68. (In Russ.)
2. Devyatov V. P., Trushchelev 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.)
3. 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.)
4. 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.)
5. 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.)

6. 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.)
7. 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.)
8. Frolov A. V., Karnyushina E. E., etc. Structural Features, Sedimentary Complexes and Hydrocarbon Systems of the Lena-Vilyui Oil and Gas Basin. *Georesources*. 2019; 2:13–30. (In Russ.)
9. 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.)
10. Shalaeva N. V. *AVO-analiz: fizicheskie osnovy, vozmozhnosti i ogranicheniya* = AVO Analysis: Physical Foundations, Opportunities, and Limitations. Gelendzhik: Geomodel; 2004: p. 51. (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 04.08.2022; принята к публикации 15.08.2022.

The article was submitted 27.07.2022; approved after reviewing 04.08.2022; accepted for publication 15.08.2022.