

Научная статья

Original article

УДК 55

doi: 10.55186/2413046X_2024_9_6_290

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДОВЫХ МЕТОДОВ СЕЙСМИЧЕСКОЙ
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ В
МЕЛКОВОДНЫХ МОРСКИХ БАСЕЙНАХ**
**THE USE OF ADVANCED SEISMIC INTERPRETATION METHODS TO
ASSESS OIL AND GAS POTENTIAL IN SHALLOW MARINE BASINS**



Аль-Реяши Хусам Ахмед Атик Али, Российский Университет дружбы народов, Москва, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Аль-Беадунни Абдулкадер Омар Абдулла, аспирант, Российский Университет дружбы народов, Москва, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Аль-Агбари Сара Абдулджалиль Газем, аспирант, Российский Университет дружбы народов, Москва, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Аль-Гаади Ахмед Али Ахмед Тхабет, Российский Университет дружбы народов, Москва, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Al-Reyashi Husam Ahmed Ateik Ali, Russian Peoples' Friendship University, Moscow, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Al-Beaduni Abdulkader Omar Abdulla, Graduate student, Russian Peoples' Friendship University, Moscow, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Al-Aghbari Sarah Abduljalil Gazem, Graduate student, Russian Peoples' Friendship University, Moscow, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Al-Gaadi Ahmed Ali Ahmed Thabet, Russian Peoples' Friendship University, Moscow, E-mail: Hoah7375@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена исследованию применения методов машинного обучения в сейсмической интерпретации для оценки нефтегазоносности.

Целью работы является анализ эффективности алгоритмов машинного обучения в сравнении с традиционными методами обработки геофизических данных. В исследовании использовались такие методы, как случайный лес, градиентный бустинг и нейронные сети.

Результаты показали, что машинное обучение способно ускорить и упростить обработку данных, улучшая качество и скорость сейсмической интерпретации. Особое внимание уделяется анализу каротажных диаграмм и предсказанию литологии без предварительной нормировки данных.

Выводы подчеркивают значимость интеграции новых технологий в геологоразведочные работы для повышения их эффективности.

Abstract. This article investigates the application of machine learning methods in seismic interpretation for assessing hydrocarbon potential.

The study aims to analyze the effectiveness of machine learning algorithms compared to traditional geophysical data processing methods.

Methods such as random forest, gradient boosting, and neural networks were used in the research. The findings demonstrate that machine learning can speed up and simplify data processing, improving the quality and speed of seismic interpretation.

Special attention is given to the analysis of well logging diagrams and predicting lithology without prior data normalization. The conclusions emphasize the importance of integrating new technologies into geological exploration to enhance its efficiency.

Ключевые слова: машинное обучение, сейсмическая интерпретация, нефтегазоносность, геофизические данные, литология, каротажные диаграммы

Keywords: machine learning, seismic interpretation, hydrocarbon potential, geophysical data, lithology, well logging diagrams

Мелководные морские бассейны, как показывает исследование Стафеева и его коллег, являются сложными и многоаспектными системами, в которых геологические, геофизические и экологические процессы тесно переплетены.

Основываясь на данных из работы по Баженовскому горизонту Сибири, можно выделить несколько ключевых аспектов, которые имеют значение при изучении мелководных морских бассейнов [1].

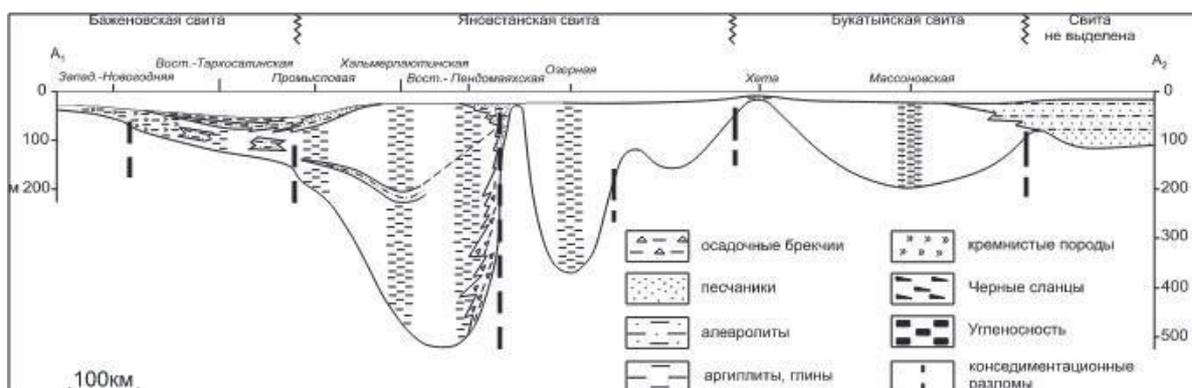


Рис.1. Литологический профиль баженовского горизонта вдоль Енисей-Хатангского прогиба

Во-первых, тектонические и гидродинамические условия играют решающую роль в формировании осадочных структур в этих бассейнах.

Например, в Баженовском горизонте, как отмечают авторы, черные сланцы накапливались на мелководном холмистом плато, что хорошо согласуется с общим палеогеографическим анализом этого горизонта.

Это указывает на важность комплексного подхода к анализу геологических структур, учитывая как тектоническую активность, так и гидродинамические процессы.

Во-вторых, геохимические условия, включая содержание органического вещества и наличие различных элементов в литосфере, оказывают значительное влияние на экологические условия мелководных морских бассейнов.

В исследовании отмечается, что благоприятные условия для накопления и захоронения органического вещества в Баженовском горизонте были обусловлены множественностью источников питательных веществ, их постоянным стоком и улавливанием терригенного материала в проточных бассейнах.

Третий ключевой аспект – это взаимодействие между геологическими процессами и морскими течениями.

Исследование показывает, что действие морского течения из Арктического океана в направлении Западно-Сибирского бассейна сыграло важную роль в распределении фаций и осадочного материала в системе сдвиговых проточных бассейнов.

Для глубокого понимания мелководных морских бассейнов необходимо учитывать как геологические и тектонические процессы, так и геохимические и гидродинамические аспекты.

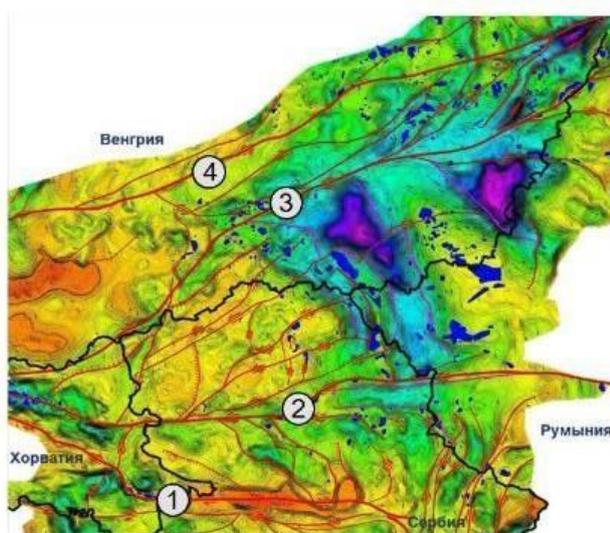


Рис.2. Региональная структурная карта кровли фундамента с дизъюнктивными нарушениями в бассейне (данные «НТЦ НИС-Нафтагас», 2016)".

Это позволит не только лучше понять эти уникальные экосистемы, но и способствует разработке эффективных подходов к их защите и устойчивому использованию.

В исследовании Бембея и коллег приводится анализ результатов 3D-сейсморазведки, использованных для исследования структурного строения фундамента в связи с прогнозированием и открытием новых высокопродуктивных интервалов терригенных пород.

Авторы подчеркивают успешное применение сейсмических данных для выявления малоразмерных залежей углеводородов, что стало возможным благодаря прогрессу в области сейсморазведки и её интерпретации [2].

Стоит выделить улучшение качества и разрешающей способности сейсмических данных, что позволило более точно локализовать потенциальные месторождения и увеличить эффективность геологоразведочных работ.

Дополнительно, авторы указывают на возможности применения сейсморазведочных данных для геоморфологической и структурной интерпретации, что существенно влияет на принятие решений в нефтегазовой промышленности.

Однако несмотря на значительные достижения, существует ряд ограничений, связанных с интерпретацией данных.

В частности, сложность геологического строения может привести к ошибкам в интерпретации, особенно в областях с комплексной тектонической историей или в случаях, когда сейсмические данные ограничены или имеют низкое качество.

Также стоит отметить, что существует потребность в дальнейшем усовершенствовании технологий для увеличения точности и глубины проникновения сейсмических волн.

Статья Бембеля и коллег предоставляет важную информацию о текущем состоянии и перспективах сейсморазведки, однако подчёркивает необходимость постоянного технологического развития в этой области для повышения точности и эффективности поиска и извлечения углеводородов.

В работе Бембеля и соавторов акцент делается на важности комплексного подхода к анализу геологических данных для эффективного поиска и разведки углеводородных залежей.

Интересно отметить, что авторы связывают успешное обнаружение новых залежей с применением современных сейсмических технологий, в частности, использованием 3D-сейсморазведки.

Этот метод позволяет более точно определить структуру подземных пород и наличие углеводородов.

Важным аспектом является также геоморфологическое изучение донеогенового основания и анализ локальных выступов фундамента, которые могут указывать на присутствие углеводородов.

Особое внимание уделяется изучению субвертикальных зон деструкции, которые связаны с наличием нефтегазовых залежей.

Хотя статья наглядно демонстрирует роль современных сейсмических технологий в увеличении эффективности поисковых работ, она также подчёркивает необходимость интеграции сейсмических данных с другими геологическими и геофизическими исследованиями.

Это подчёркивает, что одного лишь применения передовых технологий недостаточно для полного понимания и интерпретации подземных процессов. Такой комплексный подход обеспечивает более глубокое понимание геологической структуры и позволяет более точно определять местоположение залежей.

В исследовании Бембея и его коллег также внимание уделяется принципам сейсмической интерпретации для выявления малоразмерных залежей нефти и газа в Паннонском бассейне.

Основная цель исследования — использование комплексного подхода, включающего анализ сейсмических данных, геоморфологических особенностей и геофизических исследований скважин для определения перспективных структур, и залежей углеводородов.

Одним из ключевых аспектов сейсмической интерпретации является анализ субвертикальных зон деструкции, которые сильно коррелируют с наличием углеводородов. Эти зоны характеризуются резким падением амплитуд отражений и могут указывать на наличие нефтегазоносных структур.

Авторы также акцентируют внимание на важности изучения локальных выступов фундамента, что дает возможность более точно определить местоположение новых залежей [2].

Стоит отметить, что результаты исследования подчеркивают сложность и многоуровневость процесса сейсмической интерпретации. Несмотря на значительный прогресс в технологиях сейсморазведки, точность интерпретации зависит от множества факторов, включая качество данных, геологическую сложность исследуемой области и опыт специалистов.

Исследование подтверждает, что комплексный подход, сочетающий различные методы геологического и геофизического анализа, является ключевым для успешной интерпретации сейсмических данных в контексте поиска и разведки нефтегазовых залежей.

Одним из ключевых элементов в исследовании является изучение субвертикальных зон деструкции и локальных выступов фундамента. Эти особенности геологического строения, выявленные с помощью

сейсморазведки, оказались важными индикаторами присутствия углеводородов.

Использование сейсмических данных в сочетании с анализом геологической структуры области позволило авторам более точно прогнозировать местоположение залежей.

Однако стоит отметить, что успех такого комплексного подхода зависит от качества и точности всех используемых данных.

Точность сейсмических данных может быть ограничена из-за сложности геологической структуры, в то время как геофизические исследования скважин и геоморфологический анализ могут дополнить и уточнить эту информацию.

Интеграция различных типов данных является ключевым фактором в повышении точности прогнозов о нефтегазоносности.

Исследование, проведенное Гонгом, Ченом и Цзинем, играет ключевую роль в современной сфере сейсмической интерпретации, демонстрируя важность гармоничного сочетания классических подходов и инновационных технологий.

Особое внимание в их работе уделено новаторскому методу, известному как CSDNN.

Этот метод представляет собой интеграцию концепции сжатого ощущения (CS) с методами глубокого обучения (DL), целью которой является усовершенствование процесса реконструкции сейсмических данных, собранных в условиях пространственной нерегулярности.

Авторы обращают внимание на то, что традиционные методы CS, хотя и эффективны при обработке данных с высокой степенью дискретизации, могут сталкиваться с проблемами в условиях низкой дискретизации, влияя на точность и качество реконструкции.

В то же время, методы, основанные на глубоком обучении, такие как DnCNN, способны предоставить более точные результаты интерполяции данных даже при низкой дискретизации, однако их эффективность во многом зависит от способности обученных моделей к обобщению.

В своем исследовании Гонг и его коллеги демонстрируют, что предложенный ими метод CSDNN обладает значительными преимуществами перед традиционными подходами CS и DnCNN, особенно в сценариях с низкой степенью дискретизации данных.

Эффективность CSDNN была подтверждена как на синтетических, так и на реальных сейсмических данных.

Методика заключается в первоначальном использовании CS для предварительной реконструкции данных, за которой следует применение DnCNN для дополнительного повышения качества и точности восстановления сейсмических данных.

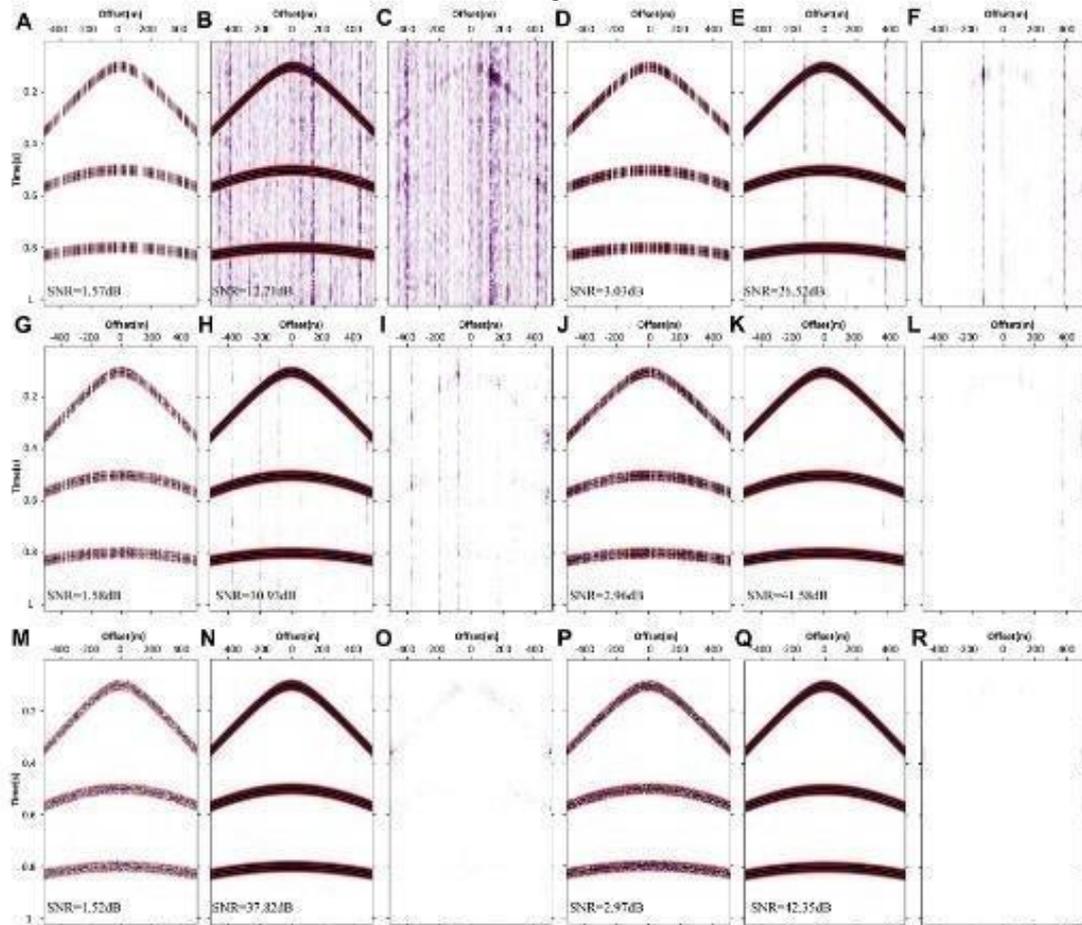


Рис.3. Данные, полученные при нерегулярном сейсмическом зондировании, и соответствующие результаты реконструкции для синтетических сейсмических данных u_1

Несмотря на свои преимущества, метод CSDNN требует более высоких вычислительных ресурсов и сложности реализации по сравнению с традиционными методами.

Кроме того, на практике может возникнуть проблема недостаточности обучающих данных, особенно в случаях, когда доступ к полным и разнообразным наборам данных ограничен.

Тем не менее, исследование Гонга и его коллег является значимым шагом в направлении улучшения качества и точности сейсмической интерпретации, особенно в сложных условиях пространственно нерегулярного сбора данных.

Сейсмическая интерпретация и моделирование разработки нефтяных месторождений в условиях неопределенности исходных данных играет ключевую роль в обеспечении достоверности прогнозов технологических показателей разработки.

Исследование, проведенное Кочневым, Козыревым и Кривошековым, подчеркивает важность адаптации математических моделей на основе фактических данных, что позволяет компенсировать неопределенности и повысить надежность прогнозов [4].

В исследовании обращается внимание на проблему высокой степени неопределенности исходной информации при моделировании, особенно на ранних стадиях разработки месторождений, когда доступна ограниченная информация.

Эта неопределенность ведет к значимым ошибкам в оценках запасов и прогнозах разработки, что, в свою очередь, сказывается на технологической и экономической эффективности всего проекта

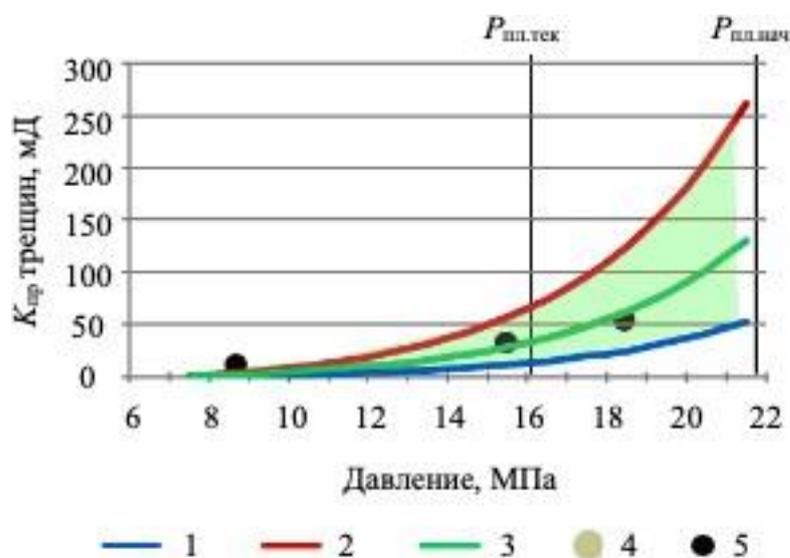


Рис.4. Изменение проницаемости трещин от пластового давления

Гладков особо подчеркивает важность многовариантного моделирования с оценкой неопределенностей геологической модели и рисков бурения скважин, что в зарубежной практике является стандартом, в то время как в России пока используется редко.

Такой подход позволяет учитывать различные сценарии разработки и оценивать риски на основе вероятностного распределения параметров.

Кавальканте предложил алгоритм непрерывного обучения на основе данных для адаптации геолого-гидродинамических математических моделей (ГДМ), что является эффективным подходом к управлению неопределенностью.

Следует отметить, что неопределенность в геологических данных и моделировании – это неизбежное явление, но при правильном подходе к моделированию и адаптации модели можно значительно повысить точность прогнозов и эффективность разработки нефтяных месторождений.

Важно подчеркнуть, что применение многовариантного подхода в сочетании с тщательным анализом и адаптацией моделей позволяет не только повысить достоверность прогнозов, но и обеспечить гибкость в принятии управленческих решений.

В свете недавних исследований, становится очевидным, что применение методов машинного обучения в геофизических исследованиях открывает новые горизонты для сейсмической интерпретации.

Как отмечается в работе Сахнюка и коллег, существующие методы интерпретации геофизических данных требуют значительных временных затрат, особенно при обработке данных с большого числа скважин [5].

Внедрение алгоритмов машинного обучения, способных обрабатывать необработанные каротажные кривые без предварительной калибровки и нормирования, существенно ускоряет и упрощает этот процесс.

Использование таких алгоритмов, включая случайный лес, градиентный бустинг и нейронные сети, демонстрирует их способность предсказывать литологию с высокой точностью, что свидетельствует об их потенциале в улучшении точности и скорости сейсмической интерпретации.

Это подчеркивает значимость интеграции машинного обучения в традиционные методы интерпретации для достижения более эффективного анализа геологических данных.

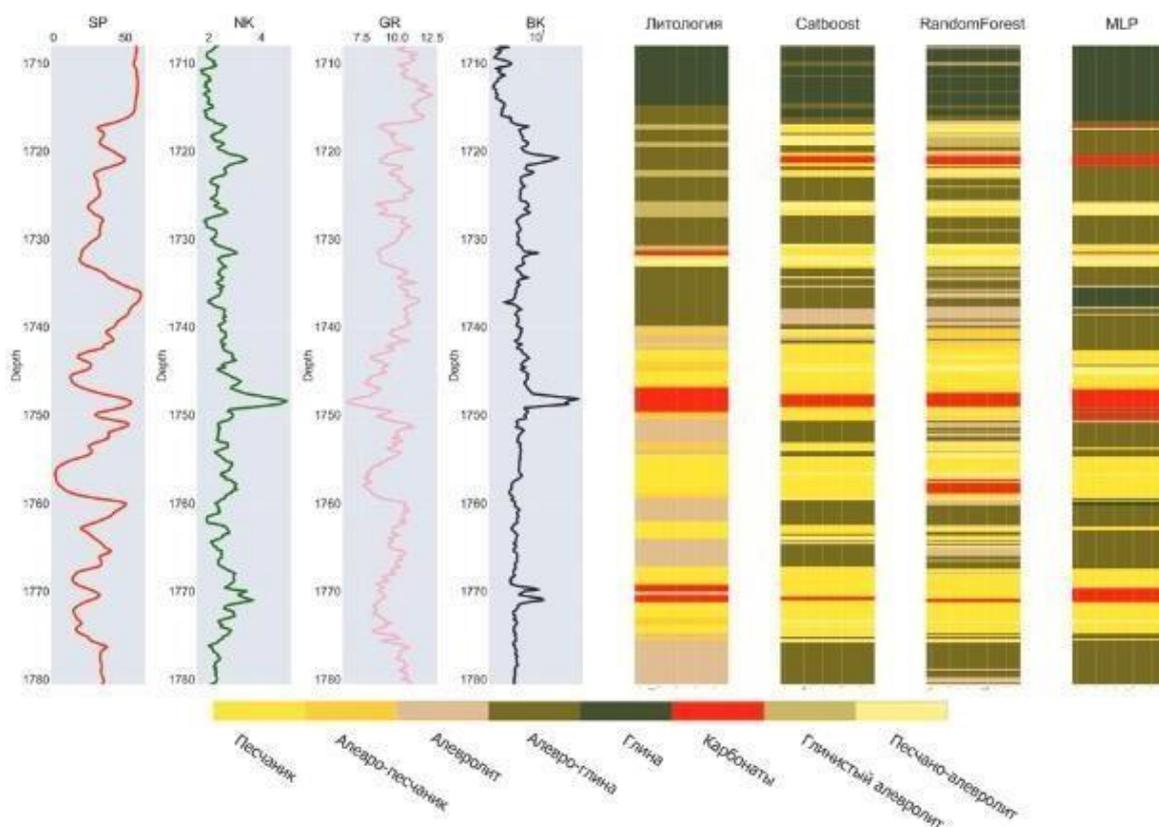


Рис.5. Результат работы алгоритмов: справа – колонки литологии для каждого метода, слева – каротажные диаграммы 4-х ненормированных кривых

Особенно показательным в этом контексте является Рисунок 5, который демонстрирует колонки литологии, полученные в результате обработки каротажных диаграмм четырех ненормированных кривых с помощью алгоритмов машинного обучения.

Этот график наглядно иллюстрирует способность машинного обучения к эффективной и точной интерпретации геофизических данных, что является ключевым аспектом в улучшении методов сейсмической интерпретации.

Заключительные результаты исследования, проведенного Сахнюком и его командой, подтверждают, что методы машинного обучения способны обеспечить достоверную и точную оценку литотипов, при этом их применение не требует сложной предварительной обработки данных, что является значительным прогрессом в области сейсмической интерпретации

Выводы: Внедрение методов машинного обучения в сейсмическую интерпретацию является перспективным направлением для повышения точности и эффективности анализа геофизических данных.

Использование алгоритмов, таких как случайный лес, градиентный бустинг и нейронные сети, значительно ускоряет обработку данных и улучшает качество интерпретации. Наш анализ подтверждает, что интеграция новейших технологических решений в традиционные методы геологоразведки способна повысить эффективность исследовательских работ.

Важно отметить, что результаты нашего исследования открывают новые возможности для практического применения современных технологий в геологии и геофизике.

Особенно это касается обработки и анализа каротажных диаграмм, предсказания литологии и оптимизации процессов сейсмической интерпретации. Предложенный подход может существенно сократить время на подготовительные работы и повысить точность прогнозов залежей углеводородов.

Мы подчеркиваем необходимость дальнейшего развития и совершенствования технологий машинного обучения в геологии.

В будущем исследования могут быть направлены на улучшение алгоритмов, повышение их точности и адаптации к различным геологическим условиям. Это позволит не только расширить границы применения машинного обучения в геологоразведочных работах, но и открыть новые горизонты в поиске и разработке нефтегазовых месторождений.

Список источников

1. Стафеев А.Н., Ступакова А.В., Сулова А.А., Гиляев Р.М., Шелков Е.С., Книппер А.А. "Баженовский горизонт Сибири (титон – нижний берриас): тектонические и гидродинамические условия осадконакопления". // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 2. С. 117-128.
2. Бембель С.Р., Милей Е.С., Грицюк А.С., Бембель Р.М. "Выявление малоразмерных залежей нефти и газа в Паннонском бассейне по данным сейсморазведки". // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2022. № 4. С. 9–24.
3. Gong S., Chen S., Jin Z. // Intelligent Reconstruction of Spatially Irregular Seismic Data by Combining Compressed Sensing With Deep Learning. Front. Earth Sci. 2023. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1299070>.
4. Кочнев А.А., Козырев Н.Д., Кривошеков С.Н. Оценка влияния неопределенности параметров трещин на динамику технологических показателей разработки Турнэйско-Фаменской залежи нефти месторождения им. Сухарева // Записки Горного института. 2022. Т. 258. С. 1026–1037. DOI: 10.31897/PMI.2022.102
5. Сахнюк В.И., Новиков Е.В., Шарифуллин А.М., Белохин В.С., Антонов А.П., Карпушин М.Ю., Большакова М.А., Афонин С.А., Сауткин Р.С., Сулова А.А. Применение методов машинного обучения в обработке данных геофизических исследований скважин отложений викуловской свиты // Георесурсы. 2022. Т. 24. № 2. С. 230–238.

6. Методы морской сейсморазведки: <https://geoyugservice.ru/metody-morskojsejsmorazvedki/>
7. Сейсморазведка 2D и 3D: принципы и применение: https://www.researchgate.net/publication/265999444_Seismic_Exploration_2D_and_3D_Principles_and_Applications
8. Морская сейсмическая разведка: <https://www.sciencedirect.com/topics/earthand-planetary-sciences/marine-seismic-exploration>
9. Сейсмическая интерпретация для нефтегазовых месторождений: <https://www.intechopen.com/chapters/64444>
10. Применение сейсморазведки в мелководных морских бассейнах: https://www.researchgate.net/publication/265999444_Seismic_Exploration_2D_and_3D_Principles_and_Applications

References

1. Stafeev A.N., Stupakova A.V., Suslova A.A., Gilaev R.M., Shelkov E.S., Knipper A.A. "Bazhenov horizon of Siberia (Titon – Nizhny Berrias): tectonic and hydrodynamic conditions of sedimentation". // Geo resources. 2019. Vol. 21. No. 2. pp. 117-128.
2. Bembel S.R., Miley E.S., Gritsyuk A.S., Bembel R.M. "Identification of small-sized oil and gas deposits in the Pannonian basin according to seismic data". // News of higher educational institutions. Oil and gas. 2022. No. 4. pp. 9-24.
3. Gong S., Chen S., Jin Z. // Intelligent reconstruction of spatially irregular seismic data by combining Compressed sensing with Deep Learning. Before. Earth science. 2023. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1299070>
4. Kochnev A.A., Kozyrev N.D., Krivoshchekov S.N. Assessment of the influence of uncertainty of crack parameters on the dynamics of technological indicators for the development of the Tournaisko-Famenskaya oil deposit of the field. Sukhareva // Notes of the Mining

Institute. 2022. Vol. 258. pp. 1026-1037. Business Activity Index: 10.31897/PMI.2022.102

5. Sakhnyuk V.I., Novikov E.V., Sharifullin A.M., Belokhin V.S., Antonov A.P., Karpushin M.Yu., Bolshakova M.A., Afonin S.A., Sautkin R.S., Suslova A.A. Application of machine learning methods in data processing of geophysical studies of wells of the Vikulov formation deposits // Geo resources. 2022. Vol. 24. No. 2. pp. 230-238.

6. Methods of global seismic exploration: <https://geoyugservice.ru/metody-morskojsejsmorazvedki/>

7. 2D and 3D seismic exploration: examples and applications: https://www.researchgate.net/publication/265999444_Seismic_Exploration_2D_and_3D_Principles_and_applications

8. Marine seismic exploration: <https://www.sciencedirect.com/topics/earthand-planetary-sciences/marine-seismic-research>

9. System interpretation for unregulated places of birth: <https://www.intechopen.com/chapters/64444>

10. Application of seismic exploration in shallow marine basins: https://www.researchgate.net/publication/265999444_Seismic_Exploration_2D_and_3D_Principles_and_their_application

© *Аль-Реяши Хусам Ахмед Атик Али, Аль-Беадунни Абулкадер Омар Абдулла,*

Аль-Агбари Сара Абдулжалиль Газем, Аль-Гаади Ахмед Али Ахмед Тхабе,

2024. Московский экономический журнал, 2024, № 6.