

УДК 553.98:004.9:004.8  
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-243-248

## ОБЗОР МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Б.Б. Какчекеева

**Аннотация.** Представлен обзор современных методов и моделей моделирования нефтегазовых месторождений с использованием элементов искусственного интеллекта. Описаны основные принципы работы искусственного интеллекта в контексте геолого-геофизического моделирования, приведен анализ данных и прогнозирования параметров месторождений. Рассматриваются различные подходы к применению методов машинного обучения, нейронных сетей и других технологий искусственного интеллекта для оптимизации процессов разведки, бурения и эксплуатации нефтегазовых месторождений. Рассмотрена история развития применения компьютерных технологий в геологоразведке СССР, современные тенденции и будущие наработки в области искусственного интеллекта, приуроченных к оценке эффективности освоения месторождений, а также технологии разработки.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект; нейронные сети; месторождения нефти и газа; поиск и разведка полезных ископаемых.

## ЖАСАЛМА ИНТЕЛЛЕКТТИН ЭЛЕМЕНТТЕРИН КОЛДОНУУ МЕНЕН МУНАЙ ЖАНА ГАЗ КЕНДЕРИН МОДЕЛДӨӨГӨ СЕРЕП ЖҮРГҮЗҮҮ

Б.Б. Какчекеева

**Аннотация.** Бул макалада жасалма интеллекттин элементтерин колдонуу менен мунай жана газ кендерин моделдөөнүн заманбап ыкмаларына жана моделдерине сереп жүргүзүлөт. Ал геологиялык жана геофизикалык моделдөө, маалыматтарды талдоо жана кендердин параметрлерин болжолдоо контекстинде жасалма интеллекттин негизги принциптерин чагылдырат. Макалада мунай жана газ кендерин чалгындоо, бургулоо жана эксплуатациялоо процесстерин оптималдаштыруу үчүн машиналарды үйрөнүү ыкмаларын, нейрон тармактарын жана башка жасалма интеллект технологияларын колдонуунун ар кандай ыкмалары талкууланат. Мындан тышкары, бул жаатта жасалма интеллектти колдонуунун артыкчылыктары жана чектөөлөрү, ошондой эле аны мындан ары өнүктүрүүнүн келечеги талкууланууда. СССРдин геологиялык чалгындоо иштеринде компьютердик технологияларды колдонуунун өнүгүү тарыхы, кенди иштетүүнүн натыйжалуулугун баалоого, ошондой эле иштетүү технологиясына арналган жасалма интеллект тармагындагы учурдагы тенденциялар жана келечектеги өнүгүүлөр каралат. Макалада мунай жана газ кендерин геологиялык-геофизикалык моделдөөдө жасалма интеллектти колдонуунун учурдагы абалына жана өнүгүү перспективаларына сереп берилген.

**Түйүндүү сөздөр:** жасалма интеллект; нейрондук тармактар; мунай жана газ кендери; пайдалуу кендерди издөө жана чалгындоо.

## OVERVIEW OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODELING OIL AND GAS FIELDS

Б.Б. Какчекеева

**Abstract.** This article is an overview of modern methods and models for modeling oil and gas fields using elements of artificial intelligence. It outlines the basic principles of artificial intelligence in geological and geophysical studies, data analysis and forecasting of field parameters. The article discusses various approaches to the use of machine learning methods, neural networks and other artificial intelligence technologies to optimize the processes of exploration, drilling and operation of oil and gas fields. In addition, the advantages and limitations of the use of artificial intelligence in this area, as well as the prospects for its further development, are discussed. The history of the development of the

use of computer technologies in geological exploration of the USSR, modern and future developments in the field of artificial intelligence, dedicated to increasing the efficiency of field development, as well as technology development, are considered.

*Keywords:* artificial intelligence; neural networks; oil and gas fields; search and exploration of mineral resources.

Углеводороды, включающие нефть и газ, в современной цивилизации – явление уникальное. Им принадлежит ведущее место в мировом топливноэнергетическом балансе. Они выступают самым востребованным товаром на мировом рынке [1].

Углеводороды и продукты их переработки интегрированы во все сферы жизнедеятельности человека. Разработка, переработка и потребление углеводородов входят в базовую часть мировой политики и власти и в национальные стратегии практически всех государств [2]. Углеводороды играют определяющую роль и в «глобальной борьбе за политическое и экономическое превосходство».

Проблема ограниченности и конечности природных ресурсов вносит свои коррективы в процессы добычи и переработки полезных ископаемых. В настоящее время их добыча производится в труднодоступных местах и в сложных геологических условиях месторождений. Требуется применение современных технологий для повышения эффективности производства работ, особенно актуальным становится вопрос использования искусственного интеллекта, который может помочь на всех этапах геологоразведочных и эксплуатационных процессов.

Поиск и разведка полезных ископаемых включает в себя сбор и анализ большого количества разнообразных геологических и геофизических данных. Наличие огромных объемов информации требует развития и средств их анализа и обработки. Поэтому не удивительно, что с появлением электронно-вычислительных машин (ЭВМ) их использование быстро нашло практическое применение в геологических исследованиях.

Появление первых цифровых вычислительных машин приходится на середину 1950-х годов, и их использование для обработки и анализа информационных потоков было предопределено в конце 1930-х – начале 1940-х годов фундаментальными теоретическими исследованиями таких выдающихся ученых, как профессор Норберт Винер из США и академик А.Н. Колмогоров из СССР.

Первые исследования по применению ЭВМ в геофизике начались в начале 1960-х годов почти одновременно в нескольких странах. В США коммерциализация этой технологии произошла быстрее, и поэтому в середине 1960-х годов там были представлены первые промышленные системы для обработки сейсмических данных.

Исследования в области цифровой обработки геофизической информации, начатые в СССР в институте ВНИИГеофизика и Центральной геофизической экспедиции, были частью глобального перехода от аналоговых технологий к цифровым в геофизике и сейсморазведке. Этот переход был обусловлен рядом преимуществ цифровых методов, включая более высокую точность, улучшенные возможности для анализа и интерпретации данных, а также упрощение процесса хранения и передачи информации.

Введение в производство первой отечественной цифровой обрабатывающей системы в СССР в 1974 г. ознаменовало собой значительный шаг в развитии геофизических исследований. К 1983 г. полный переход на цифровую обработку сейсмических данных свидетельствовал о быстром прогрессе в этой области. Это было особенно важно для нефтяной промышленности, где точная и эффективная интерпретация сейсмических данных имеет решающее значение для поиска и разработки месторождений углеводородов.

Значение цифровых технологий в геофизике продолжало расти, и их применение расширялось на другие методы исследований, включая скважинную геофизику, гравимагнитные и электроразведочные работы, а также дистанционное зондирование Земли с помощью спутников и аэрогеофизические исследования.

Спрос на мощные вычислительные комплексы в 1970–1980-е годы со стороны нефтяных компаний как в СССР, так и в западных странах, подтверждает важность этих технологий. Нефтяные

компании были одними из основных заказчиков суперкомпьютеров, так как им требовались значительные вычислительные ресурсы для обработки и анализа огромных объемов сейсмических данных, получаемых в ходе разведочных работ.

Цифровизация геофизических методов привела к значительному улучшению качества исследований, а также к повышению эффективности и сокращению затрат в геологоразведочной отрасли. Это, в свою очередь, способствовало более успешному поиску и разработке новых месторождений полезных ископаемых.

Переход к цифровой регистрации и обработке сейсмических данных с использованием вычислительных машин действительно привел к значительному улучшению глубины и детализации геофизических исследований. Это позволило решать новые классы задач и более точно изучать стратиграфические комплексы. Примеры из различных регионов России показывают, как цифровая обработка данных расширила возможности геофизических исследований, позволяя изучать ранее недоступные комплексы и обнаруживать новые структуры и образования.

Однако реформы экономической системы в начале 1990-х годов привели к распространению западных программных и технических средств на российский рынок, что замедлило собственные научно-технические разработки в области цифровых технологий России. Несмотря на это, российские геологи-нефтяники имеют доступ к современным научнотехническим достижениям в области цифровых технологий, таким как высокоскоростной интернет, персональные компьютеры, мобильные устройства, мощные вычислительные ресурсы и широкий спектр программных продуктов и алгоритмов для работы с данными. Современные требования импортозамещения требуют создания собственных программных продуктов на основе искусственного интеллекта.

Эти новые средства анализа и интерпретации данных представляют собой значительное дополнение к традиционным методам, создавая новые возможности для решения сложных задач в геологоразведке, производстве и научных исследованиях. Таким образом, цифровые технологии играют важную роль в современной геофизике и геологоразведке, обеспечивая более точные и эффективные методы анализа геологических данных.

Все это подчеркивает важность разработки новых технологий для обеспечения эффективной добычи нефти и газа в условиях современных вызовов. Значительная часть новых месторождений принадлежит к категории мелких и очень мелких, а наличие огромного ресурсного потенциала в России свидетельствует о необходимости развития новых подходов к геологоразведке, добыче и обработке углеводородов.

Спецификация областей с большим потенциалом, таких как мезозойские отложения Гыдано-Ханганского региона Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и другие неосвоенные территории, подчеркивает важность дальнейших исследований и инноваций в этой области [3].

Кроме того, упоминание о значительных перспективах в акваториях северных морей России подчеркивает важность устойчивого подхода к разработке этих ресурсов с учетом экологической безопасности и чувствительности окружающей среды.

Развитие новых технологий, включая инновационные методы геофизических исследований, улучшенные методы добычи и обработки, а также экологически безопасные подходы к разработке месторождений будут иметь решающее значение для эффективной добычи углеводородов в будущем.

Использование современных технологий при добыче таких полезных ископаемых как нефть и газ, необходимо, в том числе для:

- увеличения точности исследований, ориентированных на выявление структурно-тектонических элементов различного порядка;
- увеличения эффективности исследований керна;
- увеличения точности гидродинамической модели месторождения;
- повышения достоверности прогноза нефтегазоносности разреза;
- снижения себестоимости полевых работ [4];

- увеличения объема извлекаемых запасов;
- повышения эффективности геологоразведочных работ – поиска, разведки и разработки месторождений;
- возможности извлечения трудноизвлекаемых запасов;
- обеспечения точной экспертной оценки экономической эффективности месторождения и т. п.

Развитие и применение современных цифровых технологий играют важную роль в решении проблем, связанных с геологическим исследованием недр и созданием минерально-сырьевой базы. Цифровизация в сфере сбора, хранения и обработки больших объемов данных является существенным средством достижения основных целей экспертной оценки месторождения и геологического сопровождения геотехнологий.

Цифровизация в области геологии и недропользования представляет собой процесс разработки и внедрения современных цифровых технологий, программных продуктов и аппаратных комплексов для эффективного решения ключевых задач. Она способствует более точному анализу геологических данных, улучшению методов прогнозирования месторождений, оптимизации процессов добычи и обработки полезных ископаемых, а также более эффективному управлению недропользованием.

Однако важно подчеркнуть, что цифровизация не является самоцелью, а скорее инструментом для достижения основных целей в области геологических исследований и недропользования. Она предоставляет возможности для улучшения процессов и повышения их эффективности, что в свою очередь способствует развитию и оптимизации использования природных ресурсов.

Применение элементов искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли возможны на всех этапах работы на месторождении. В первую очередь это необходимо на этапе оценки экономической эффективности месторождения. Наряду с применением искусственного интеллекта, необходим инструментарий автоматизированного проектирования и мониторинга технологических процессов. В настоящее время остро стоит проблема автоматизации проектирования следующих этапов:

- геологической разведки углеводородов;
- добычи углеводородов;
- переработки углеводородов;
- хранения, транспортировки и логистики углеводородов и т. п.

Это позволит значительно уменьшить затраты и увеличить экономическую эффективность общего проекта. К примеру, ПАО «Газпром» в 2020 году создали «Когнитивную систему подбора внутрискважинных операций».

Одним из инструментов повышения продуктивности скважин является кислотная обработка призабойной зоны (ОПЗ). Ее цель – растворить частицы породы, которые забивают поры пласта и ухудшают его фильтрующую способность.

Компания тратит более 100 млн рублей в год на ОПЗ. Около 35 % обработок не окупается или не приносит прибыли из-за неопределенности геологической информации и человеческого фактора. Около 650 человеко-часов в год тратится на формирование программ ОПЗ и подбор скважин-кандидатов.

Команда «Газпром нефть» (при участии Высшей школой экономики Санкт-Петербурга на этапе НИОКР) разработала автоматизированную систему, которая предсказывает эффективность кислотных обработок.

Учитывая историю прошлых ОПЗ, система прогнозирует результат будущих, исключая влияние человека и используя максимально доступное количество геолого-промысловой информации за короткое время используются две стандартные метрики регрессии, по которым оценивается качество модели: корень из среднеквадратичной ошибки RMSE и коэффициент детерминации Пирсона R<sup>2</sup>.

Для каждой скважины сопоставляется свой набор признаков. Количество признаков фиксировано и определяет зависимые переменные, через которые необходимо восстановить зависимость по отношению к целевой функции. Весь набор данных, который используются в различных видах анализа и машинного обучения (датасет), разбивается на две части – признаки и значения целевой функции.

Общее количество признаков, которые подавались для обучения моделей, – 53. Для общей сходимости моделей важными оказались порядка 30 признаков.

В качестве алгоритмов использованы Catboost, RandomForest и ElasticNet.

Во время обучения моделей процесс учитывает вычисление признаков для новых скважин, обучение модели на подмножестве из 10 наиболее важных признаков датасета, сохранение модели локально на жесткий диск, обогащение модели новой выборкой при новой загрузке сводки ОПЗ. Также из датасета исключаются 10 % наиболее аномальных скважин для получения стабильной сходимости моделей.

Помимо цикла автоматизации работ, возможно развитие и использование ИИ в различных направлениях. Искусственный интеллект позволяет аккумулировать мировой опыт, расширять инструментарий аналитики больших данных, осуществлять подбор наиболее эффективных решений и оптимальных параметров.

На основе элементов искусственного интеллекта и анализа максимального количества показателей, можно оценить эффективность освоения месторождения и технологии его разработки. Определить основные вызовы, угрозы, ограничения, риски. При этом появляется возможность учета множества параметров, малосвязанных между собой, например:

1. Политический – насколько стабильная политическая обстановка в государстве, поддержка инвестиций госучреждениями и политическими ветвями власти.
2. Юридический – правовые основы недропользования в государстве.
3. Социальный – инфраструктура – наличие профессиональных кадров, социальные условия и пр.
4. Геологический – геологическая модель месторождения.
5. Рельефный – цифровая модель поверхности – важен при освоении высокогорных месторождений и обеспечения коммуникаций.
6. Гидрометеорологический показатель – условия деятельности. Климатические условия (вечная мерзлота, жаркий климат и т. п.).
7. Технологические показатели.
8. Геомеханические условия разработки. Напряженно-деформированное состояние массива. Прочностные свойства пород. Структура месторождения по технологическим особенностям пород.
9. Техническое обеспечение.
10. Инфокоммуникационный. Цифровая и компьютерная обеспеченность (техническая и программная).
11. Экологические требования, а также много других параметров и показателей, которые нужно учитывать при экспертизе и эксплуатации месторождения.

Таким образом, именно всесторонняя экспертиза месторождения может проводиться исключительно с применением элементов искусственного интеллекта. Искусственный интеллект в будущем – это мощный инструмент цифровизации проектных работ. Искусственный интеллект позволит учесть все многообразие способов, методов и средств недропользования.

Существуют фундаментальные вопросы при использовании искусственного интеллекта. Оптимизация работы предприятия и автоматизация однозначно приведут к сокращению кадров и дальнейшему росту безработицы. В то же время открытым остается вопрос об ответственности за принятие ошибочных решений, что вполне вероятно при применении элементов искусственного интеллекта. Поэтому принятие инженерных решений остается за специалистом. Нельзя полностью полагаться на решения, предложенные искусственным интеллектом. Это лишь мощный инструмент в руках высококвалифицированного специалиста.

Поступила: 08.04.24; рецензирована: 22.04.24; принята: 24.04.24.

*Литература*

1. *Варламов А.И.* Состояние и перспективы развития цифровых технологий в нефтегазовой геологии и недропользовании России / А.И. Варламов, Г.Н. Гогоненков, П.Н. Мельников, Е.Н. Черемисина // Геология нефти и газа. 2021. № 3. – С. 5–20.
2. *Подольский А.К.* Применение методов искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности / А.К. Подольский // Современная наука. 2016. № 3. С. 33–36.
3. *Хисамов Р.С.* Искусственный интеллект – важный инструмент современного геолога / Р.С. Хисамов, А.П. Бачков, С.Е. Войтович, Е.Г. Грунис, Р.А. Алексеев // Геология нефти и газа. 2021. № 2. С. 37–45.
4. *Казначеев П.Ф.* Применение методов искусственного интеллекта для повышения эффективности в нефтегазовой и других сырьевых отраслях / П.Ф. Казначеев, Р.В. Самойлова, Н.В. Курчински // Экономическая политика. 2016. Т. 11. № 5. С. 188–197.