

Геоинформатика. 2021. № 4. С. 18–27.
Geoinformatika. 2021;(4):18–27.

Геоинформационные системы

Научная статья
 УДК 553.98+004.9
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-18-27>

Цифровизация в геологоразведке: обзор и анализ современного состояния

© 2021 г. — Евгения Наумовна Черемисина^{1,2,a)}, Татьяна Владимировна Костылева^{1,b)}, Арутюн Ваникович Мурадян^{1,c)}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия;

²Институт системного анализа и управления ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», Дубна, Московская область, Россия;

^{a)}e.cheremisina@geosys.ru, ^{b)}tkostyleva@geosys.ru, ^{c)}a.muradyan@geosys.ru

Аннотация. В статье рассмотрены современные сквозные цифровые технологии и возможности их использования в геологоразведочной отрасли для улучшения качества данных, оперативной работы, оптимизации процессов, увеличения добычи нефти, сокращения времени выполнения работ и простоев, снижения финансовых и других рисков. А также отмечены необходимые требования для подготовки или переподготовки высококвалифицированных специалистов в области использования современных цифровых технологий в геологии и недропользовании.

Ключевые слова: *цифровые технологии, цифровизация, геологоразведочные работы на нефть и газ, геоинформационные системы, геологическая информация, новые технологии, сквозные технологии, импортозамещение*

Для цитирования: Черемисина Е.Н., Костылева Т.В., Мурадян А.В. Цифровизация в геологоразведке: обзор и анализ современного состояния // Геоинформатика. — 2021. — № 4. — С. 18–27. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-18-27>.

Geoinformation systems

Original article

Digitalization in geological exploration: a review and analysis of the current state

© 2021 — Eugenia N. Cheremisina^{1,2,a)}, Tat'yana V. Kostyleva^{1,b)}, Arutyun V. Muradyan^{1,c)}

¹All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia;

²Institute of System Analysis and Management "Dubna University", Dubna, Moscow Region, Russia

^{a)}e.cheremisina@geosys.ru, ^{b)}tkostyleva@geosys.ru, ^{c)}a.muradyan@geosys.ru

Abstract. The article discusses modern end-to-end digital technologies and the possibilities of their use in the geological industry in order to improve the quality of data and operational work, to optimize the processes, to increase oil production, to shorten downtime and work execution time, and to reduce financial and other risks. The necessary requirements for the training or retraining of highly qualified specialists in the field of modern digital technologies in geology and subsoil use are also noted.

Key words: *digital technologies, digitalization, geological exploration for oil and gas, geoinformation systems, geological information, new technologies, end-to-end technologies, import substitution*

For citation: Cheremisina E.N., Kostyleva T.V., Muradyan A.V. Digitalization in geological exploration: a review and analysis of the current state. *Geoinformatika*. 2021;(4):18–27. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2021-4-18-27>. In Russ.

Введение

При проведении нефтегазопоисковых работ приходится систематизировать, обрабатывать и анализировать огромные объемы разнородной информации. Для оптимизации этих процессов, расширения возможностей и дальнейшей экономической выгоды необходимо внедрять сквозные цифровые технологии.

Переход на цифровые технологии в геологоразведке начался несколько десятилетий назад, и к настоящему времени более 80% всей информации представляется в цифровом виде. Стремительно развивающиеся информационные технологии и непрерывно расширяющиеся и усложняющиеся геологические задачи требуют существенного углубления и расширения областей применения

современных цифровых технологий в геологоразведке и недропользовании. В настоящее время представляется целесообразным переход от решения отдельных частных задач к созданию специализированных интегрированных ГИС-проектов, охватывающих все информационные ресурсы — от получаемой первичной информации до результирующей, включая результаты моделирования и интерпретации. Следствием этого должно явиться существенное повышение качества решения геологических задач, резкое сокращение сроков выполнения работ, повышение эффективности управления и принятия решений.

Цифровизация в сфере геологии и недропользования — это процесс разработки и внедрения современных цифровых технологий, программных продуктов и аппаратных комплексов для решения ключевых задач геологического исследования недр, воспроизводства минерально-сырьевой базы и организации рационального недропользования.

Сформулированная в этом определении цель непосредственно отвечает основным положениям национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», принятой в соответствии с Указом Президента России от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

I. В настоящее время для решения геологических задач используются следующие сквозные цифровые технологии:

- Искусственный интеллект и нейротехнологии;
- Big Data (большие данные);
- Облачные технологии;
- Машинное обучение;
- Виртуальная и дополнительная реальность;
- Беспилотные авиационные системы (БАС/БВС);
- Видеоаналитика и техническое зрение;
- Блокчейн;
- Цифровые двойники;
- ГИС-технологии.

Остановимся более подробно на каждой из них.

Искусственный интеллект и нейротехнологии

Искусственный интеллект это комплекс технологических решений, имитирующий когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма), при выполнении задач позволяет достигать результатов, сопоставимых с результатами интеллектуальной деятельности человека. Комплекс технологических решений включает информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение, в котором в том числе используются методы машинного обучения, процессы и сервисы по обработке данных и выработке решений. В настоящее время ключевое место в методах машинного обуче-

ния занимают нейросетевые технологии и алгоритмы, имитирующие мозговую деятельность человека при принятии решений в процессе распознавания образов на основе больших объемах разрозненных цифровых данных [1].

Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года была утверждена указом Президента российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490. В нефтегазовом деле под искусственным интеллектом понимается комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции нефтяника и получать при выполнении производственных задач результаты, сопоставимые, с результатами интеллектуальной деятельности самого специалиста нефтяника. Методы и технологии искусственного интеллекта реализуются по следующим направлениям: интеллектуальные системы поддержки принятия решений; компьютерное зрение; обработка и распознавание естественного языка, синтез речи. Национальной стратегией определены задачи развития искусственного интеллекта в России, к которым относятся:

- поддержка научных исследований в целях опережающего развития искусственного интеллекта в нефтегазовом деле;
- разработка и развитие нефтегазового программного обеспечения, в котором используются технологии искусственного интеллекта;
- повышение доступности и качества больших геоданных, необходимых для развития технологий искусственного интеллекта;
- увеличение доступности киберфизического оснащения, необходимого для решения задач в области искусственного интеллекта;
- повышение уровня насыщения нефтегазового рынка технологиями искусственного интеллекта, квалифицированными кадрами с цифровыми компетенциями и обучение специалистов возможностям использования новых цифровых технологий.

В дорожной карте от 2019 года по сквозной технологии искусственного интеллекта в отрасли «Добыча полезных ископаемых» (Классификатор ОКВЭД «В») выделяются следующие области применения: оптимизация разведки и извлечения запасов на основе анализа геологического геофизических данных, повышение эффективности и безопасности производственного процесса за счет применения автономного оборудования и транспорта, предотвращение простоев оборудования и дорогостоящих ремонтов за счет превентивного обслуживания. В рамках перехода на цифровизацию нефтегазовой отрасли предполагается разработать «Национальный стандарт общей информационной модели нефтегазодобычи», которая будет служить основой для единого нефтегазового информационного пространства и системы управления большими геоданными. Национальный стандарт общей информационной модели позволит создавать цифровые

двойники нефтегазовых объектов. Общая информационная модель нефтегазодобычи станет основой накопления упорядоченного массива больших геоданных для внедрения прогнозной аналитики и передовых технологий машинного обучения и искусственного интеллекта [2].

Big Data (большие данные)

Технологии Big Data являются одним из ключевых драйверов развития информационных технологий современного периода. Представляет собой целый комплекс различных инструментов, подходов и методов работы с информацией, позволяющих решать набор важных задач. Таких как: хранение и управление гигантскими массивами информации, которые невозможно эффективно использовать с помощью обычных баз данных; организация и систематизация неструктурированной или частично структурированной информации, записанной в многообразных форматах; обработка и анализ полученной информации для формирования высокоточных прогнозов.

За многие годы в геологоразведке накопился огромный объем информации, новые подходы к работе с ней позволяют обнаруживать закономерности и точнее моделировать процессы, более эффективно обнаруживать перспективные месторождения. В сфере добычи и переработки нефти сбор данных о работе оборудования позволяет удаленно контролировать работу любого актива, оптимизировать производственные процессы, предсказывать возможные аварии и сбои в работе.

Выделены приоритетные задачи, для решения которых рекомендовано использовать технологии Big Data:

- поиск объектов-аналогов;
- обработка массивов данных сейсморазведки;
- геолого-гидродинамическое моделирование;
- восстановление исторических эксплуатационных данных;
- комплексирование и анализ данных в масштабах месторождения;
- обработка данных исследований в режиме реального времени;
- обработка данных скважинных операций и методов увеличения нефтеотдачи;
- выявление и прогнозирование осложнений в режиме реального времени;
- автоматизация процессов сбора, обработки и подготовки больших массивов [3, 4].

Облачные технологии обеспечивают:

- хранение огромных массивов данных;
- возможность подключения дополнительных мощностей для удовлетворения вычислительных потребностей;
- гибкость вычислений.

Одной из ресурсоемких задач в отрасли является обработка сейсмических данных. Сейсморазведка это наиболее эффективный способ поиска залежей нефти и газа. Искажения по сравнению с эталонным сигналом, отраженные на сейсмограммах, без бурения позволяют увидеть весьма точную картину строения земной коры по конкретному участку.

Площади анализируемых участков, обычно измеряются тысячами квадратных километров, а объемы данных сейсмограмм – десятками терабайт. Для обработки таких данных необходимо использование высокопроизводительных вычислительных кластеров (High Performance Cluster, HPC-кластер), их количество в стране ограничено, а стоимость установки такого кластера у себя – очень высокая. Сегодня подобные вычисления стали доступнее благодаря облачным HPC-кластерам.

Облачные HPC-кластеры дают возможность автоматизировать развертывание вычислительного кластера и подключить необходимое количество ресурсов. Посекундная тарификация максимально экономически эффективна при проведении расчетов в Облаке: заказчик оплачивает только те ресурсы, которые ему нужны в данный момент времени, без каких-либо простоев. Все больше и больше компаний отказываются от закупки дорогостоящего оборудования и отдают предпочтение облачным вычислениям для такого рода задач.

Большинство людей уже привыкли использовать Dropbox, Google Drive, iCloud и другие облачные сервисы для хранения файлов. Это дает возможность не ограничивать себя емкостью локального диска на персональном компьютере, способствует организации совместной работы с данными и увеличивает надежность сохранности, даже в случаях аппаратных сбоев.

Для применения технологий Big Data создаются свои особые хранилища – так называемые озера данных. В этих озерах концентрируются большие объемы неструктурированных данных, собранных одной компанией. Размещаться такие озера могут также в облаке, чтобы упростить доступ к ним для широкого круга специалистов. Отличие подобных хранилищ в том, что они объединяют данные самого разного рода. Озера данных пополняются по принципу «лишней информации не бывает». А уже потом искусственный интеллект разбирается, находит в этих данных важные закономерности и устанавливает необходимые связи [5, 6].

Машинное обучение

Это такой класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение за счёт применения решений множества схожих задач. Для построения этих методов используются средства математической статистики, численных методов, математического анализа, распознавания образов,

методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме.

Во многих компаниях нефтегазовой отрасли сейчас разрабатываются алгоритмы, основанные на методах машинного обучения. Технологии позволяют повысить качество эксплуатационных данных, получаемых из скважин, а также выявляют новые закономерности. Внедрение разрабатываемых методов позволяют вдвое сократить время анализа эксплуатационных данных, оперативно учитывать найденные новые закономерности при дальнейшей разработке месторождений, для увеличения добычи нефти подбирать оптимальные методы разработки, при этом сокращая затраты.

Разрабатываемые инструменты за счет использования методов машинного обучения, повышают скорость обработки и анализа больших объемов информации, которые поступают с месторождения. Кроме того, используемые инструменты машинного обучения позволяют интегрировать разнородные данные, анализировать каждый мегабайт имеющейся информации, что приводит к появлению новых выводов, способных вывести качество данных на новый уровень.

Применение методов Data Science (наука о данных) дает возможность обрабатывать большие массивы данных (Big Data), выявлять новые закономерности и учитывать их в дальнейшем для построения прогнозов. В некоторых компаниях уже сформированы алгоритмы поиска некорректных значений, восстановления пропущенных данных, определения процессов взаимовлияния скважин друг на друга, а также классификация скважин по отклонениям текущей продуктивности от возможной для скважин, находящихся в схожих геологических условиях. Применение новых алгоритмов может существенно повысить скорость и эффективность работы специалистов по разработке месторождений, снизить риски принятия неверных дорогостоящих решений по разработке и уменьшить время простоя скважин [7].

Виртуальная и дополнительная реальность

Виртуальная реальность конструирует созданный техническими средствами мир (объект), и передает человеку через ощущения: зрение, слух, осязание и другие. Человек может взаимодействовать с трехмерной, компьютеризированной средой и выполнять конкретные задачи. Виртуальная реальность имитирует как воздействие, так и реакции на воздействие. Дополненная реальность – технология введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации.

Технологии виртуальной и дополненной реальности представляют собой сложные технологические разработки, состоящие из субтехнологий.

Развитие специализированных VR/AR-систем позволяет формировать универсальные мировые стандарты для нефтегазовой отрасли. При этом могут быть достигнуты следующие показатели: сокращение затрат на обслуживание оборудования, сокращение числа ошибок и простоев (до 30%); увеличение эффективности работы с 3D-моделями, автоматическая конвертация САПР моделей в VR/AR, сокращение срока проектирования (на 30–50%), сокращение срока согласования объектов (на 7–30%). Достижение указанных показателей подтверждено опытом внедрения VR/AR в международных компаниях, а также в ходе проведения пилотных внедрений в российских промышленных компаниях, например, Газпромнефть [8].

Беспилотные авиационные системы (БАС/БВС)

Это комплекс взаимосвязанных беспилотных воздушных судов (одного или нескольких), средств управления и контроля за полетом. В зависимости от выполняемых задач беспилотные воздушные суда могут быть оснащены дополнительным оборудованием (фото- и видеокамеры, тепловизионные камеры, лазерные сканеры, магнитометры и другие).

Основная функция беспилотных систем в нефтегазовом производстве это контроль и наблюдение за производственными площадками. Большой объем работ сосредоточен на картографировании.

В настоящее время беспилотные авиационные системы широко используются при:

- Мониторинге наземных геологоразведочных работ;
- Многоуровневой аэромагнитной съемке;
- Планировании геологоразведочных работ;
- Аэрогравитационной съемке;
- Определении техногенных тел в грунте;
- Дефектоскопии оборудования буровых установок;
- Контроле нефтесервисных работ и состояния оборудования;
- Выявлении аномалий и неполадок в работе буровой;
- Газоанализе;
- Наблюдении за ледовой обстановкой;
- Мониторинге трубопроводов: выявлении врезок, мест утечки нефтепродуктов;
- Обнаружении очагов возгорания;
- Соблюдении техники безопасности персоналом [6].

Видеоаналитика и техническое зрение

Видеоаналитика использует методы технического зрения для автоматизации получения различных данных, анализируя изображения, поступающие с камер в онлайн-режиме или из записей.

Техническое зрение — это научное направление в области робототехники, которое занимается

технологиями создания машин для обнаружения, отслеживания и классификации объектов.

В возможности технического зрения входит не только обработка фото- и видеозаписей, а также берутся трехмерные данные, например, с кинетического сенсора.

Возможно применение технологий видеоаналитики и технического зрения для:

- разведки территорий;
- контроля соблюдения норм промышленной безопасности;
- контроля исправности оборудования;
- контроля организации производственных процессов.

Блокчейн — это система распределенного реестра, база цифровых транзакций, записей о событиях, содержащих важную информацию, которая на основе заданных алгоритмов, одновременно создается, хранится и обновляется на всех носителях у всех участников реестра [6].

Такие технологии можно применять для верификации истории бурового оборудования и в системе электронного документооборота.

Цифровые двойники — это семейство сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам, конструкциям, машинам, приборам, различным системам, физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы).

Цифровой двойник является технологией-интегратором практически всех сквозных цифровых технологий, обеспечивает технологические прорывы и позволяет компаниям переходить на новый уровень развития. Разработка изделий и продукции на основе технологии цифрового двойника может обеспечивать снижение временных, финансовых и других ресурсных затрат до 10 раз и более. Именно с помощью разработанных заранее цифровых двойников лидеры мировых высокотехнологичных рынков формируют «гарантированное зарезервированное развитие» (А.И. Боровков, А.А. Аузан). В этом случае семейство цифровых двойников обеспечивают производство («материализация цифрового двойника») и поставку продукции с конкурентными характеристиками в кратчайшие сроки в зависимости от возникающей конъюнктуры на глобальном высокотехнологичном рынке, реализуя триаду «технологический прорыв — технологический отрыв — технологическое лидерство / превосходство» [9].

ГИС-технологии

В базовые определения ГИС технологий входят следующие понятия:

Географическая информационная система — это совокупность аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, предназначенных

для сбора, ввода, хранения, математико-картографического моделирования и образного представления геопро пространственной информации.

Геопро пространственные данные означают информацию, которая идентифицирует географическое местоположение и свойства естественных или искусственно созданных объектов, а также их границ на земле. Эта информация может быть получена с помощью, дистанционного зондирования, картографирования и различных видов съемок.

- ГИС используются для выработки рекомендаций по стандартным направлениям природоохранной деятельности, оценки текущего состояния объекта (набора вариантов решения проблемы в рамках основных направлений природоохранной деятельности). С помощью полученной информации выбираются территориальные и тематические приоритеты деятельности (в том числе, приоритеты инвестиций).

- ГИС используется в геологоразведке, как в научных, так и в практических задачах. Это не только задачи информационного обеспечения, но и, например, задачи прогнозирования месторождений полезных ископаемых, контроль за экологическими последствиями разработок, мониторинг разработки месторождений, изучение глубинного строения территорий и др.

Роль и место ГИС в природоохранных мероприятиях

Экологическое образование. Поскольку создание карт с помощью ГИС значительно упрощается и удешевляется, появляется возможность получения большого количества разнообразных природных карт, что расширяет возможности и широту охвата программ и курсов экологического образования.

Экотуризм. Возможность быстрого создания привлекательных, красочных и, в то же время, качественных профессионально составленных карт делает ГИС идеальным средством создания рекламных и обзорных материалов для вовлечения публики в быстро развивающуюся сферу экотуризма.

Мониторинг. По мере расширения и углубления природоохранных мероприятий одной из основных сфер применения ГИС становится слежение за последствиями предпринимаемых действий на локальном и региональном уровнях. Источниками обновляемой информации могут быть результаты наземных съемок или дистанционных наблюдений с воздушного транспорта и из космоса.

Интеллектуальные географические информационные системы:

Главные особенности Интеллектуальных ГИС — способность произвести новые типы аналитических карт, тематических карт, карты риска для различных видов применения на основе Байесовских

Интеллектуальных Технологий, обеспечивая управление качеством решений ГИС.

Интеллектуальные ГИС-технологии применяются для индустриальной оценки загрязнения, защиты окружающей среды, мониторинга предприятий топливно-энергетического комплекса, системного развития территорий.

II. Важно отметить, что цифровизация не является самоцелью чего-либо, а является важнейшим средством достижения главных целей геологического исследования недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Как отмечается в статье «Состояние и перспективы развития цифровых технологий в нефтегазовой геологии и недропользовании России» [10] основными задачами цифровизации геологоразведочной отрасли является:

1. Разработка и совершенствование информационных систем, программных продуктов и аппаратных комплексов с целью ликвидации зависимости от импортных аналогов.

Сегодня необходимо расширить использование отечественных программных продуктов среди основных потребителей, таких как крупные нефтяные и сервисные компании.

Если есть возможность решения задачи на базе отечественных аппаратных средств и программного обеспечения, то предприятиям российского геологического и нефтегазового комплекса необходимо начать использовать именно отечественные средства. Нужно практиковать включение в контракты на ГРП с использованием государственных средств обязательств по использованию отечественных аппаратно-методических и программных комплексов.

У российских производителей появится возможность для более активного развития и улучшения своих разработок при условиях, что нефтяные компании и крупные сервисные предприятия будут тратить 15-20% своего годового бюджета на приобретение и поддержку отечественного ПО. Тендерные комитеты нефтяных компаний могут при иных равных условиях отдавать приоритет тем исполнителям, которые готовы выполнить работу с максимальным использованием отечественной аппаратуры и программных средств. Очевидно, что без вмешательства государственных органов исполнительной власти в регулирование отношений в этой сфере и без государственного заказа на НИОКР, не удастся существенно продвинуть развитие отечественных программных продуктов.

2. Совершенствование действующих и разработка новых цифровых технологий регистрации, обработки и интерпретации геофизических данных.

Современный геологоразведочный процесс включает в себя проведение множества разновид-

ностей геофизических измерений в воздухе, на поверхности Земли и в глубоких скважинах. По объему информации геофизические наблюдения на несколько порядков превышают все остальные виды данных, получаемых в процессе ГРП. Неудивительно, что именно с обработки геофизических данных началось практическое внедрение цифровых методов в геологоразведке. Кратко рассмотрим современное состояние и направления развития цифровизации основных геофизических измерений.

2.1. Совершенствование средств сбора, обработки и интерпретации сейсмических методов разведки.

Сейсморазведка основной перспективный геофизический метод изучения всей толщи геологического разреза, выявления и локализации перспективных на скопления углеводородов объектов, подготовки их к поисковому бурению. Метод генерирует огромные объемы первичных данных, в которых полезная информация скрыта в поле разнообразных волновых помех. Многоэтапная цифровая обработка обеспечивает выделение полезных сигналов, количественное определение их параметров, тесно связанных с особенностями строения изучаемого разреза. Благодаря развитию технологии сейсмических работ на суше и в акваториях, и расширению средств обработки и извлечения полезной информации из сейсмических записей стремительно возрастает объем сейсмических данных, снимаемых с единицы изучаемой площади. К 2020 году созданы аппаратные и программные комплексы, обеспечивающие сейсмические съёмки с плотностью до 100 млн трасс на один квадратный километр. Обработка и интерпретация таких объемов данных требует гигантских вычислительных мощностей и принципиально новых алгоритмов, базирующихся на технологиях облачных вычислений, машинном обучении и искусственном интеллекте.

2.2. Развитие цифровых технологий для обработки и интерпретации данных потенциальных геофизических методов магниторазведки, гравитразведки, электроразведки.

Полевые измерения в потенциальных геофизических методах уже давно осуществляются в цифровой форме. Обработка и интерпретация данных потенциальных методов практически полностью всегда осуществлялась на базе отечественных программных разработок, в развитии которых принимают участие многие институты, университеты и частные предприятия. В настоящее время этап развития нацелен на углубление обработки и повышение достоверности интерпретации как отдельных методов, так и интегрально, имея на выходе согла-

сованную со всеми геофизическими данными единую геологическую модель изучаемой территории.

2.3. Создание новых методов и алгоритмов геологического анализа и интерпретации данных геофизических исследований скважин.

По мере расширения спектра и сложности геологических задач растет объем и детальность геофизических измерений в открытом и закрытом стволе скважины. Число методов измерений, основанных на регистрации самых разных физических полей, составляет несколько десятков, и многие методы регистрируют несколько измеряемых величин. Основной объем обработки и интерпретации данных каротажа в крупных нефтяных и сервисных компаниях до сих пор выполняется с применением импортных программных продуктов, подготовленных крупнейшими транснациональными компаниями Schlumberger, Halliburton, Paradigm. Отечественные компании, специализирующиеся на создании программного обеспечения для обработки и интерпретации каротажных данных (ООО «ГЕОС-С»; НТЦ «Амплитуда»; АО «Панагея»), активно модернизируют свои комплексы с привлечением машинного обучения и искусственного интеллекта.

2.4. Создание новых автоматизированных алгоритмов использования аэрокосмических данных, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов.

В настоящее время для изучения поверхности и глубинного строения верхней части разреза Земли наблюдения проводятся только в цифровом виде и перечень таких методов охватывает самый широкий спектр частот от измерения инфракрасного излучения через весь диапазон видимого света до регистрации сигналов в радиочастотных диапазонах. Мультиспектральные измерения естественных излучений, дополненные регистрацией сигналов от искусственных источников, генерируют огромные объемы информации, которые практически не возможно использовать без цифровых средств обработки, анализа и визуализации.

Вероятнее всего в самое ближайшее время аэрогеофизические исследования полностью перейдут на использование беспилотных летающих аппаратов, которые также требуют применения сложных современных алгоритмов для анализа, количественной и качественной интерпретации больших объемов различной информации. ГНПП «Аэрогеофизика» активно развивает программное обеспечение для проведения аэрогеофизических работ с целью полной замены импортных программных средств.

3. Разработка цифровых технологий и программных продуктов для повышения эффективности сбора, систематизирования (структурирования) и анализа геологической информации при выполнении научно-исследовательских и геологоразведочных работ.

Не менее важными методами получения информации являются геологические региональные и поисковые работы, а также тематические и научные исследования, направленные на прогноз и оценку углеводородного потенциала земной коры на всю доступную для изучения глубину. На базе полученных знаний должны создаваться постоянно действующие и непрерывно совершенствующиеся и обновляющиеся геологические модели строения и история развития перспективных нефтегазоносных бассейнов, должна выполняться оценка ресурсов и осуществляться планирование дальнейших геологоразведочных работ с целью перевода ресурсов в достоверные запасы. Повышение эффективности геологоразведочных работ связано с расширением цифровизации основных технологий и производственных процессов. Рассмотрим главные направления применения современных цифровых технологий в геологоразведке.

3.1. Новые программные средства сбора, хранения, верификации и более полного использования непрерывно растущих объемов геолого-геофизической информации.

Для выполнения типичного проекта геологического изучения разведочной площади нужно привлечь данные из нескольких десятков различных источников, часто данные взаимно противоречивые, почти всегда неполные и содержат ошибки. Последние десятилетия все данные собираются и хранятся в цифровом виде, но необходим следующий этап развития систем хранения и доступа к геологической информации, обладающих лучшими средствами контроля на входе, интеллектуальными алгоритмами поиска необходимых данных, унификацией программных средств обмена информацией. Для сбора и хранения геолого-геофизической информации российские нефтяные компании в своей практической работе до сих пор чаще всего используют западные программные средства. В то же время в России созданы и находят практическое применение отечественные программные средства, специализированные под задачи сбора, хранения и широкого использования любых видов данных, используемых в геологоразведочном процессе и далее при разработке месторождений полезных ископаемых. Хорошим примером такой разработки является единый банк данных ВНИГНИ.

3.2. Интегрированные системы для интерпретации и построения геологических моделей на базе разнородной геолого-геофизической информации.

Интегрированные интерпретационные системы являются основным программным продуктом, на базе которых осуществляется совместный анализ, взаимная увязка и построение финальной геологической модели изучаемого объема геологической среды. Отечественные интегрированные программные комплексы, доведенные до уровня

коммерческого применения, разработаны и представляются компаниями ГридПойнт Дайнамик и Пангея. Реализованные там функциональные средства для структурной интерпретации и прогноза вещественного состава разреза практически не уступают аналогичным блокам западных систем, но в то же время блоки, связанные с проектированием скважин и геологическим моделированием, находятся еще в стадии разработки.

Для регионального этапа исследований, характеризующегося редкой сетью сейсмических и геоэлектрических профилей и единичными скважинами, на базе ГИС INTEGRO во ВНИГНИ разработана технология интеграции скважинной, сейсмической, электроразведочной и гравиметрической информации, заканчивающаяся построением непротиворечивой трехмерной физико-геологической модели среды.

3.3. Расширение перечня и повышение точности анализа керна и флюидов.

Благодаря появлению современной аппаратуры, работа с кернами перешла от описательного характера к цифровым количественным измерениям, расширился перечень измеряемых физических и химических характеристик образцов пород, появились возможности неразрушающего изучения внутренней структуры коллектора, построения цифровых трехмерных моделей, отражающих наиболее важные структурно-текстурные особенности, влияющие на коллекторские свойства. Разработаны и активно внедряются алгоритмы перехода от точечных детальнейших измерений керна через набор каротажных данных к определению целевых характеристик значительных интервалов разреза. Во ВНИГНИ разработана общая концепция и подготовлена реализация специализированного банка данных по результатам анализа керна и флюидов нефтяных скважин.

3.4. Создание новых средств моделирования геологических процессов и их отображения в геофизических полях.

Ранее ограниченные вычислительные мощности требовали упрощения моделей, часто в ущерб качеству решения задачи. Стремительное развитие вычислительной техники и систем связи, позволяющие использовать удаленные вычислительные мощности, дает возможность существенно детализировать и уточнить как исходные модели среды, так и способы решения прямых задач, широко применять стохастические методы при моделировании, не ограничиваться статическими моделями, а перейти к динамическому моделированию, что особенно важно при анализе процессов седиментации осадочных толщ. Моделирование бассейнов обеспечивает прогноз углеводородного потенциала не вскрытых скважинами толщ на основе структурных моделей среды, учитывая палеотектонические трансформации, процессы дифференцированно-

го уплотнения пород, изучения тепловых потоков, процессов накопления органического материала активно используемого при освоении слабо изученных бассейнов и при анализе глубоко погруженных частей районов активной нефтедобычи.

3.5. Создание принципиально новых средств решения геологических задач с применением машинного обучения, искусственного интеллекта, распознавания образов, экспертных систем, когнитивных технологий.

Новые методы анализа больших массивов данных существенно раздвинули рамки традиционных технологий геологоразведочных работ. Множество рутинных операций с данными, требующих большого объема ручной и аналитической работы, переложили на новые машинные алгоритмы, освободив геолога для контроля процессов и более глубокого осмысления всего объема полученной информации. Изучая зарубежные и отечественные публикации можно понять, что новые методы анализа плохо структурированных данных уже сегодня находят широкое применение в отдельных методах геофизических исследований. Вероятнее всего, наибольшие перспективы следует ожидать от применения новых алгоритмов на этапе комплексирования разных методов, построения непротиворечивой геологической модели среды на базе согласования данных всех методов её изучения в скважинах, на поверхности Земли и в космосе.

3.6. Цифровые технологии повышение качества и геологической информативности строительства параметрических и опорных скважин.

Основным источником получения прямой информации о наличии или отсутствии полезных ископаемых в толще горных пород остается буровая скважина. Обычно строительство скважины происходит при недостатке геологической информации о вскрываемом разрезе, поэтому требуется непрерывный контроль и быстрое реагирование на возникающие нестандартные ситуации. На этом этапе особенно эффективно применение современных цифровых технологий, позволяющих автоматизировано собирать информацию со многих датчиков, характеризующих параметры режима бурения и состояние скважины, практически мгновенно анализировать поступающую информацию, подсказывать наиболее оптимальные решения в реальном времени.

В настоящее время в геологоразведочной отрасли остро ощущается дефицит кадров, обладающих междисциплинарными компетенциями на стыке геологии и цифровых технологий. В ВУЗах геологического профиля отсутствуют соответствующие программы подготовки. В связи с этим необходимы разработка и реализация партнерских программ ВУЗов и организаций геологоразведочной отрасли. Необходимо принять организационные меры по разработке программ обучения по ис-

пользованию облачных технологий, технологии Big Data, искусственного интеллекта, информационной безопасности, «Интернета вещей» в геологии и нефтепользовании. Необходимо предусмотреть в ВУЗах геологического профиля обучение технологиям комплексной обработки и интерпретации геолого-

геофизической информации на базе отечественных программно-технологических комплексов. Необходимо разработать программы повышения квалификации в очных и дистанционных формах, а также технологии проведения вебинаров и удаленных мастер классов [10].

Список источников

1. *Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект».* (2019). Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.
2. *Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Филиппова Д.С., Сафарова Е.А.* Цифровой нефтегазовый комплекс России // Георесурсы. – 2020. – Спецвыпуск. – С. 32-35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.SI.32-35>.
3. *Хасанов М.М., Прокофьев Д.О., Урмаев О.С., Белозеров Б.В., Гильманов Р.Р., Маргарит А.С.* Перспективные технологии Big Data в нефтяном инжиниринге: опыт компании «Газпром нефть» // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 12. – С. 76-79.
4. *Больше, чем данные.* // Сибирская нефть. Онлайн журнал. Приложение «Индустрия 4.0 Просто о сложном». – сентябрь 2018. – № 154. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-september-projects/1863684/> (дата обращения 19.10.2021).
5. *Машика А.Г.* Зачем нужны облачные вычисления в нефтегазовом секторе. Дек 24, 2020. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neftianka.ru/zachem-nuzhny-oblachnye-vychisleniya-v-neftegazovom-sektore/> (дата обращения 20.10.2021).
6. *Цифровая трансформация. Сквозные технологии* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digital.gazprom-neft.ru/technologies?page=2> (дата обращения 15.10.2021).
7. «Газпром нефть» развивает технологии машинного обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-razvivaet-tehnologii-mashinnogo-obucheniya/> (дата обращения 20.10.2021).
8. *Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности».* (2019). Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.
9. *Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Новые производственные технологии».* (2019). Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ.
10. *Варламов А.И., Гогоненков Г.Н., Мельников П.Н., Черемисина Е.Н.* Состояние и перспективы развития цифровых технологий в нефтегазовой геологии и нефтепользовании России // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 5-20. DOI 10.31087/0016-7894-2021-3-5-20.

References

1. *Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoi» tsifrovoy tekhnologii «Neirotekhnologii i iskusstvennyi intellekt»* [Roadmap for the development of "end-to-end" digital technology "Neurotechnologies and Artificial Intelligence"]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. Moscow; 2019. 50 p. – Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019ii.pdf> (accessed 22.12.2021).
2. *Dmitrievskiy A.N., Eremin N.A., Filippova D.S., Safarova E.A.* Digital oil and gas complex of Russia. *Georesursy*. 2020;special issue:32-35. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.SI.32-35>.
3. *Khasanov M.M., Prokofiev D.O., Ushmaev O.S., Belozero B.V., Gilmanov R.R., Margarit A.S.* Promising Big Data technologies in petroleum engineering: the experience of the Gazprom Neft PJSC. *Neftyanoe khozyaistvo*. 2016;12:76–79.
4. *Bol'she, chem dannye* [More than data]. *Sibirskaya neft'*. Online journal. Appendix «Industriya 4.0 Prosto o slozhnom». September 2018;154. Available at: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2018-september-projects/1863684/> (accessed 19.10.2021).
5. *Mashika A.G.* *Zachem nuzhny oblachnye vychisleniya v neftegazovom sektore* [Why cloud computing is needed in the oil and gas sector]. 24.12.2020. Available at: <http://neftianka.ru/zachem-nuzhny-oblachnye-vychisleniya-v-neftegazovom-sektore/> (accessed 20.10.2021).
6. *Tsifrovaya transformatsiya. Skvoznye tekhnologii* [Digital transformation. End-to-end technologies]. *Gazprom neft'*. Available at: <https://digital.gazprom-neft.ru/technologies?page=2> (accessed 15.10.2021).
7. «Gazprom neft'» *razvivaet tekhnologii mashinnogo obucheniya* [“Gazprom Neft” develops machine learning technologies]. *Gazprom neft'*. Available at: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-razvivaet-tehnologii-mashinnogo-obucheniya/> (accessed 20.10.2021).
8. *Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoi» tsifrovoy tekhnologii «Tekhnologii virtual'noi i dopolnennoi real'nosti»* [Roadmap for the development of "end-to-end" digital technology "Technologies of virtual and augmented reality"]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. Moscow; 2019. 50 p. – Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019vrr.pdf> (accessed: 22.12.2021).
9. *Dorozhnaya karta razvitiya «skvoznoi» tsifrovoy tekhnologii «Novye proizvodstvennye tekhnologii»* [Roadmap for the development of "end-to-end" digital technology "New production technologies"]. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. Moscow; 2019. 49 p. – Available at: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019npt.pdf> (accessed: 22.12.2021).
10. *Varl'mov A.I., Gogonenkov G.N., Melnikov P.N., Cheremisina E.N.* Development of digital technologies in petroleum industry and subsoil use in Russia: current state and future considerations. *Russian Oil and Gas Geology*. 2021;3:5-10. DOI 10.31087/0016-7894-2021-3-5-20.

Статья поступила в редакцию 13.12.2021, одобрена после рецензирования 20.12.2021, принята к публикации 23.12.2021.
The article was submitted 13.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 23.12.2021.

Информация об авторах**Черемисина Евгения Наумовна**

Доктор технических наук, профессор
Заведующий отделением Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ»,
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8.

Директор Института системного анализа и управления
ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»,
141980 Дубна, Московская обл., ул. Университетская, 19
e-mail: e.cheremisina@geosys.ru
ORCID: 0000-0002-6041-8359

Костылева Татьяна Владимировна

Начальник участка
отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ»,
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8.
e-mail: tkostyleva@geosys.ru

Мурадян Арутюн Ваникович

Кандидат технических наук,
Заведующий центром редакционно-издательской
деятельности отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ»,
117105 Москва, Варшавское шоссе, д. 8.
e-mail: a.muradyan@geosys.ru

Information about authors**Eugenia N. Cheremisina**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of the Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI",
8, Varshavskoe shosse, 117105, Moscow, Russia

Director of the Institute of System Analysis and Management
GBOU VO MO "Dubna University"
19 Universitetskaya str., Dubna, Moscow region, 41980, Russia
e-mail: e.cheremisina@geosys.ru
ORCID: 0000-0002-6041-8359

Tat'yana V. Kostyleva

Head of Segment
of the Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI"
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: tkostyleva@geosys.ru

Arutyun V. Muradyan

Candidate of Technical Sciences
Head of Editorial and Publishing Center
of the Geoinformatics Department of FSBI "VNIGNI"
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: a.muradyan@geosys.ru