

УДК 553.98+004.9

DOI 10.31087/0016-7894-2021-3-5-20

Состояние и перспективы развития цифровых технологий в нефтегазовой геологии и недропользовании России

© 2021 г. | А.И. Варламов, Г.Н. Гогоненков, П.Н. Мельников, Е.Н. Черемисина

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; info@vnigni.ru; gogonenkov@vnigni.ru; melnikov@vnigni.ru; head@geosys.ru

Поступила 15.03.2021 г.

Доработана 16.04.2021 г.

Принята к печати 21.04.2021 г.

Ключевые слова: *цифровые технологии; цифровизация; геолого-разведочные работы на нефть и газ; геоинформационные системы; геологическая информация; новые технологии; импортозамещение.*

Аннотация: Создание и широкое внедрение цифровых технологий на всех этапах геолого-разведочного процесса соответствует основным положениям национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденного Указом Президента России от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.». В статье дается определение «цифровизации», сформулированы цель и основные задачи, реализации которых позволит существенно повысить эффективность геологического исследования недр, воспроизводства минерально-сырьевой базы и организации рационального недропользования. Отмечено, что, несмотря на доминирующее использование импортной техники и программных продуктов, практически по всем направлениям геолого-разведочной деятельности в стране применяются собственные аппаратные и программные разработки, в значительной мере покрывающие функциональные возможности импортных средств и технологий. Обосновывается, что для дальнейшего развития и внедрения отечественных аппаратных и программных средств необходима государственная поддержка в виде заказа на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. К главным направлениям цифровизации в геологоразведке относятся: разработка новых и развитие действующих программных средств сбора, хранения, верификации геолого-геофизической информации; создание новых аппаратных и программных продуктов и технологий; создание новых и совершенствование действующих ГИС-проектов для решения ключевых задач геологического исследования недр по функциональным направлениям деятельности Роснедр. В завершающей части статьи рассмотрены факторы, сдерживающие активную цифровизацию: трудности сбора и верификации многих видов ретроданных; необходимость перевода значительной части ретроданных, особенно данных по скважинам, в цифровую форму; значительный объем использования импортных программных средств, сдерживающих развитие и внедрение отечественных аналогов; практическое отсутствие государственных инвестиций в развитие науки и специализированного программного обеспечения в области геолого-разведочных работ; дефицит кадров, обладающих междисциплинарными компетенциями на стыке геологии и цифровых технологий.

Для цитирования: Варламов А.И., Гогоненков Г.Н., Мельников П.Н., Черемисина Е.Н. Состояние и перспективы развития цифровых технологий в нефтегазовой геологии и недропользовании России // Геология нефти и газа. – 2021. – № 3. – С. 5–20. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-3-5-20.

Development of digital technologies in petroleum industry and subsoil use in Russia: current state and future considerations

© 2021 | A.I. Varlmov, G.N. Gogonenkov, P.N. Melnikov, E.N. Cheremisina

All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; info@vnigni.ru; gogonenkov@vnigni.ru; melnikov@vnigni.ru; head@geosys.ru

Received 15.03.2021

Revised 16.04.2021

Accepted for publication 21.04.2021

Key words: *digital technologies; digitization; oil and gas geological exploration; geoinformation systems; geological information; innovative technologies; import substitution.*

Abstract: Creation and mainstreaming of digital technologies in all stages of geological exploration is in accordance with main provisions of the “Digital Economy of the Russian Federation” national project approved by the Russian Federation Presidential Executive Order No. 204 dated May 07, 2018 “National Objectives and Strategic Targets of the Russian Federation Development for the Period Until 2024”. The paper defines “digitization”, formulates the objective and main tasks implementation of which will significantly increase the effectiveness of geological exploration of subsoil, reproduction of mineral resource base and management of sustainable subsoil use. It is noted that despite the predominant use of imported hardware and software products, the country is developing its own hardware and software in almost all the areas of geological exploration activities, largely covering the functionality of imported tools and technologies. It is justified that for further development and introduction of domestic hardware and software, the state support in the form of research and development work order is necessary. The main

GENERAL DIGITALIZATION ISSUES IN GEOLOGY

areas of digitization in geological exploration are: development of new and further development of the existing software aimed at geological and geophysical information gathering and verification; creation of new hardware and software products and technologies; creation of new and updating of active GIS projects to address key problems of geological exploration of subsoil in accordance with functional areas of the Rosnedra activities. In the final part of the article, the authors discuss the factors that hinder active digitization, namely: difficulties of collecting and verifying many types of legacy data; the need to digitize much of legacy data, especially well data; the significant use of imported software tools, hindering development and introduction of Russian analogues; the practical lack of government investments in the development of science and specialist software in the area of geological exploration; shortage of staff having interdisciplinary competencies at the interface between geology and IT.

For citation: Varlamov A.I., Gogonenkov G.N., Mel'nikov P.N., Cheremisina E.N. Development of digital technologies in petroleum industry and subsoil use in Russia: current state and future considerations. *Geologiya nefti i gaza*. 2021;(3):5–20. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-3-5-20. In Russ.

Введение

Национальный проект «Цифровая экономика» предусматривает широкое внедрение современных информационных технологий в производственные процессы во всех областях народного хозяйства. Это актуально и для геологической отрасли, и в первую очередь для нефтегазопроисводственных работ, при производстве которых приходится систематизировать, обрабатывать и анализировать огромные объемы разнородной информации.

Переход на цифровые технологии в геологоразведке начался несколько десятилетий назад, и к настоящему времени более 90 % всей информации получается в цифровом виде. Это обстоятельство, в совокупности со стремительно развивающимися информационными технологиями и непрерывно расширяющимися и усложняющимися геологическими задачами, требует существенного углубления и расширения областей применения современных цифровых технологий в геологоразведке и недропользовании. Настало время, когда можно попытаться перейти от решения отдельных частных задач к созданию специализированных интегрированных ГИС-проектов, охватывающих все информационные ресурсы — от получаемой первичной информации до детальной геологической модели изучаемого разреза. Следствием должно явиться существенное повышение качества решения геологических задач, резкое сокращение сроков выполнения работ, повышение эффективности управления и принятия решений.

В представленной статье кратко охарактеризовано современное состояние цифровизации в нефтяной геологии, отмечены основные проблемы и трудности полного перехода на цифровые технологии, установлены основные задачи, которые необходимо решать на текущем этапе освоения информационных технологий при нефтегазопроисводственных работах.

Исторические вехи

Геолого-разведочный процесс поиска и подготовки новых запасов минерального сырья сопряжен с получением и анализом огромного объема разнородных геологических и геофизических данных. Получаемые в процессе измерений гигантские массивы информации постоянно требовали развития средств их анализа и обработки, поэтому неудивительно,

что с момента появления ЭВМ их использование быстро находит практическое применение при геологическом исследовании недр. Появление первых цифровых вычислительных машин восходит к середине 1950-х гг. Их использование для обработки и анализа потоков информации было предопределено фундаментальными теоретическими исследованиями выдающихся ученых — профессора Норберта Винера (США) и академика А.Н. Колмогорова (СССР) в конце 1930-х – начале 1940-х гг. Первые исследования в области применения ЭВМ в геофизике начинаются в начале 1960-х гг. практически одновременно в нескольких странах. Коммерциализация в США проходит быстрее, поэтому в середине 1960-х гг. там появляются первые промышленные системы обработки сейсмических данных.

В бывшем СССР первые исследования по цифровой обработке геофизической информации проходят практически параллельно в двух научных центрах: институте ВНИИГеофизика при Министерстве геологии СССР и Центральной геофизической экспедиции при Министерстве нефтяной промышленности СССР. В это же время начинаются разработки цифровых систем для регистрации данных полевой сейсморазведки. В 1974 г. в России была запущена в производство первая отечественная цифровая обрабатывающая система, а в 1983 г. уже 100 % полевой сейсмической информации проходило обработку на ЭВМ. В последующие годы системы цифровой обработки геофизической информации непрерывно совершенствовались. Поэтапно происходила цифровая трансформация других геофизических методов: скважинной геофизики, гравимагнитных и электроразведочных наблюдений, дистанционных спутниковых и аэрогеофизических методов. Важность и востребованность цифровой техники для обработки больших объемов геофизических данных иллюстрирует известный факт, что в 1970–1980-е гг. наиболее мощные вычислительные комплексы и в нашей стране, и в ведущих западных странах производились по заказам нефтяных компаний.

Цифровая регистрация полевых сейсмических данных позволила в последующие годы многократно использовать массив цифровых данных, непрерывно повышая точность и детальность картирования геологических границ на основе использования

постоянно совершенствующихся алгоритмов цифровой обработки информации ([1–3] и др.).

Переход на цифровую регистрацию и обработку сейсмических данных на вычислительных машинах позволил существенно повысить глубинность и детальность геофизических исследований, приступить к планомерному решению новых классов задач, изучению новых стратиграфических комплексов. Так, в Западной Сибири внедрение цифровой обработки позволило изучить юрский комплекс вплоть до кровли палеозойского складчатого основания. На востоке Русской платформы цифровая обработка обеспечила планомерное картирование девонских отложений, региональное выявление линейных систем малоамплитудных тектонических нарушений и связанных с ними ловушек структурно-тектонического типа, позволила выделить большое количество локальных рифовых построек. В Восточной Сибири появилась возможность регистрировать устойчивые отражения от палеозойских границ под трапповыми толщами.

К сожалению, коренная перестройка экономической системы России, прошедшая в начале 1990-х гг., привела к активному проникновению на российский рынок западных программных и технических средств регистрации и обработки геофизических данных, что существенно затормозило, а в отдельных направлениях полностью остановило собственные научно-технические разработки цифровых технологий.

Несмотря на это, в распоряжении российских геологов-нефтяников находятся все наиболее значимые научно-технические достижения, определяющие современный облик цифровых технологий и возможности процесса цифровизации в геологоразведке:

- развитие Интернета как скоростной глобальной цифровой сети, обеспечивающей связь и передачу больших объемов информации между любыми точками планеты. Хотя Интернет широко используется более 20 лет, его современная особенность — глубокая интеграция непосредственно в технологические процессы производства и управления народным хозяйством;

- полная оснащенность специалистов отрасли персональными компьютерами и мобильными устройствами, обеспечивающими возможность вне зависимости от места нахождения самостоятельно решать множество различных задач и осуществлять выполнение производственных процессов;

- доступность и относительно низкая стоимость огромных вычислительных мощностей, что обеспечивает возможность хранения и анализа гигантских объемов информации;

- наличие широкого спектра программных продуктов и алгоритмов решения задач на слабоструктурированных данных: глубокие нейронные сети,

машинное обучение, искусственный интеллект, распознавание образов, когнитивные технологии, облачные сервисы, экспертные системы и др.

Объем публикаций, посвященных применению новых подходов к анализу данных, лавинообразно нарастает ([4–7] и др.). Идет активный процесс внедрения новейших разработок в самые разные сферы научной и промышленной деятельности, в управление производством, в различные уровни обучения и анализ социальных процессов.

При этом надо иметь в виду то важнейшее обстоятельство, что новые средства анализа и интерпретации данных не направлены на вытеснение существующих методов работы с данными. Новые подходы являются значительным дополнением к успешно применяемым традиционным алгоритмам преобразования данных, в совокупности с ними представляя новую среду решения сложных задач, с которыми сталкиваются современное производство и научные исследования.

Цель и задачи цифровизации в геологии и недропользовании

К настоящему моменту ресурс средних, крупных и гигантских месторождений на доступных глубинах в традиционных районах нефтедобычи в значительной мере исчерпан. Основной объем открываемых в последние годы месторождений относится к классу мелких и очень мелких. В то же время, по данным количественной оценки, в России имеется огромный ресурсный потенциал — более 50 млрд т усл. топлива ресурсов категорий D_1 и D_2 . Эти ресурсы могут быть реализованы в нефтегазоперспективных зонах, выделенных на территории России [8]. Большая часть из них находится в мезозойских отложениях Гыдано-Хатангского региона Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НПП), палеозойских и венд-рифейских комплексах неосвоенных районов Лено-Тунгусской НПП, в складчатых осадочных комплексах палеозоя фундамента Западно-Сибирской плиты, в палеозойских толщах Предуралья Краевого прогиба и глубокопогруженных отложениях Прикаспийской НПП.

Следует отметить, что и акватории северных морей характеризуются значительными прогнозными ресурсами УВ-сырья, но их следует рассматривать как резервы для будущих времен, поскольку их опосредованное потребление потребует огромных капиталовложений и создания принципиально новых технологий добычи, гарантирующих экологическую безопасность в этом регионе с суровыми климатическими условиями и весьма чувствительной окружающей средой.

Учитывая современные экономические реалии (снижение финансирования геолого-разведочных работ из федерального бюджета, введение санкций западными странами, существенное удорожание бурения и сейсморазведки в труднодоступных

GENERAL DIGITALIZATION ISSUES IN GEOLOGY

районах и т. д.), можно сформулировать основные геологические и экономические проблемы, которые существенно влияют на задачи, стоящие перед отечественной геологоразведкой:

- повышение достоверности прогноза нефтегазоносности разреза;
- обоснование и подготовка поисковых объектов на больших глубинах — до 8 км и более;
- снижение себестоимости полевых работ;
- разработка и внедрение в практику геологоразведочных работ отечественных (импортозамещающих) аппаратурных и программных комплексов.

Вполне понятно, что без развития и использования новых цифровых технологий решение перечисленных проблем невозможно. Однако следует отметить, что «цифровизация» не является самоцелью чего-либо, а является, по мнению авторов статьи, важнейшим средством достижения главных целей геологического исследования недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы.

Цифровизация в сфере геологии и недропользования — это процесс разработки и внедрения современных цифровых технологий, программных продуктов и аппаратурных 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 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 г.».

В процессе цифровизации геолого-разведочной отрасли потребуются решение широкого комплекса задач. Остановимся на наиболее важных из них.

Разработка и совершенствование операционных систем, программных продуктов и аппаратурных комплексов для ликвидации зависимости от импортных аналогов

Широкое применение цифровой техники в народном хозяйстве пришло в Советский Союз и Россию из развитых западных стран и, прежде всего, из США. Наиболее распространенной во всем мире и в России сейчас является операционная система Windows разработки американской компании Microsoft. Более 80 % всех персональных компьютеров в России работает на этой операционной системе. На ее базе реализовано большинство прикладных программных пакетов во всех отраслях промышленности, в том числе и в геолого-разведочной отрасли. Второй достаточно широко распространенной в мире операционной системой является Linux, появившейся на рубеже столетий как дальнейшее развитие опера-

ционной системы Unix, ориентированной на обслуживание мощных серверных систем.

Операционная система Windows и специализированные узконаправленные программы, выполненные на ядре Unix-подобных операционных систем, изначально являлись коммерческими продуктами, за использование которых приходилось платить разработчикам. В основу же последних разработок программного обеспечения в нашей стране положена операционная система Linux, изначально созданная и распространяемая в соответствии с моделью разработки свободного и открытого программного обеспечения, поддерживаемая и развиваемая международным сообществом.

Вслед за операционными системами в середине 1990-х гг. в Россию с Запада пришли пакеты прикладных программ для разных отраслей промышленности, в том числе и для обработки и интерпретации геофизических данных. За ними стояли транснациональные гиганты: Шлюмберже, Халлибертон, Парадайм-геофизикал. Одновременно с программными пакетами в Россию пришли цифровые системы регистрации геофизических, прежде всего сейсмических, данных. Сегодня более 80 % полевых работ в России выполняется с использованием импортной полевой техники и более 90 % обработки сейсмических данных проводится с использованием импортных программных пакетов.

Вместе с тем в России силами ряда частных и государственных предприятий ведутся собственные разработки аппаратуры и программного обеспечения для решения текущих задач геолого-разведочных работ. Саратовским бюро специального геофизического приборостроения (АО СКБ СП) несколько лет выпускается кабельная телеметрическая система ТЗ, рассчитанная на объем до 26 000 каналов и предназначенная для выполнения работ 2D, 3D, изготовлены первые образцы отечественной бескабельной (нодальной) телеметрической станции Scout, проводятся полевые испытания новой модификации бескабельной телеметрической станции «Открытие» на базе отечественного высокочувствительного и широкодиапазонного молекулярно-электронного сейсмического датчика с существенно уменьшенными размерами наземных блоков.

Кроме отечественных разработок следует отметить и позитивный опыт выпуска импортной аппаратуры на базе наших российских предприятий. В частности, на базе саратовского АО СКБ СП выпускаются наземные блоки телеметрических станций Sercel (Франция).

В области геофизических исследований скважин, благодаря целенаправленным усилиям Министерства энергетики, удалось сохранить потенциал отечественных предприятий — разработчиков геофизической скважинной аппаратуры. Сегодня более 70 %

объема скважинных геофизических наблюдений проводится российскими предприятиями с применением отечественной аппаратуры. За западными компаниями остались наиболее сложные и современные виды скважинных наблюдений, особенно для работ на акваториях. Но и здесь продолжается постепенное вытеснение импортных аппаратуры и технологий отечественными разработками.

Рассмотрим ситуацию с программным обеспечением. Здесь проблема импортозамещения является не только экономической, но непосредственно связана с информационной безопасностью сырьевого сектора страны. Отечественный рынок программного обеспечения в области поиска, разведки и разработки месторождения УВ на 95 % занят зарубежными производителями программного обеспечения. В то же время при отсутствии государственной поддержки и централизованного финансирования отдельные российские компании, физические лица и творческие коллективы разрабатывали и внедряли отечественное программное обеспечение. На сегодня оно по функциональным возможностям на 80–90 % покрывает зарубежные разработки. Несмотря на относительно многочисленные центры программных разработок, использование международных форматов первичных геофизических и топографических данных обеспечивает как достаточно простую интеграцию между отечественными программными системами, так и обмен данными с западными комплексами. Для всех основных программных комплексов западного производства существуют отечественные аналоги, уже ряд лет находящиеся в производственном применении (таблица). Как можно заметить, практически по всем основным направлениям геофизических работ существуют достаточно продвинутые отечественные разработки, которые прошли апробацию, включены в каталог российского программного обеспечения Минкомсвязи и предлагаются сегодня на замену импортных продуктов.

Главная проблема на сегодня — расширение использования отечественных программных продуктов их основными потребителями — крупными нефтяными и сервисными компаниями.

Предприятиям российского геологического и нефтегазового комплекса необходимо во всех случаях, когда решение задачи может быть выполнено на базе отечественных аппаратурных средств и программного обеспечения, применять именно отечественные средства. Необходимо включение в контракты на геолого-разведочные работы с использованием государственных средств обязательств по использованию отечественных аппаратурно-методических и программных комплексов.

Если нефтяные компании и крупные сервисные предприятия будут тратить 15–20 % своего годового бюджета на приобретение и поддержку отечественного программного обеспечения, то рос-

сийским производителям это дало бы возможность активно развивать и улучшать свои разработки. Тендерные комитеты нефтяных компаний могли бы при прочих равных условиях отдавать приоритет тем исполнителям, которые готовы выполнить всю работу с максимальным использованием отечественной аппаратуры и программных средств. Однако очевидно, что без вмешательства государственных органов исполнительной власти в регулирование отношений в этой сфере и без государственного заказа на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) существенно продвинуть развитие отечественных программных продуктов не удастся.

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

Современный геолого-разведочный процесс включает в себя проведение множества разных видов 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 геолого-разведочных работ. И 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.

Совершенствование средств сбора, обработки и интерпретации сейсмических методов разведки

Сейсморазведка была и на обозримую перспективу остается основным геофизическим методом изучения всей толщи геологического разреза, выявления и локализации перспективных на скопления УВ 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 акваториях и расширению средств обработки и извлечения полезной информации из сейсмических записей стремительно возрастает объем сейсмических данных, снимаемых с единицы изучаемой площади. В статье Т. Маннинга и др. [9] убедительно показано, что за последние 50 лет плотность сейсмических данных возрастала на порядок в течение каждого десятилетия. Если на рубеже тысячелетий максимальный объем сейсмических трасс, снимаемых с 1 км² изучаемого разреза, составлял до 1 млн, то к 2020 г. созданы аппаратурные и программные комплексы, обеспечивающие сейсмические съемки с плотностью до 100 млн трасс

GENERAL DIGITALIZATION ISSUES IN GEOLOGY

Таблица. Зарубежное и отечественное программное обеспечение

Table. Foreign and Russian software

| Компания | Название | Компания | Название | Процент соответствия | Комментарии |
|--|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Зарубежное | | Отечественное | | | |
| Проектирование систем наблюдений и полный контроль качества сейсмических наблюдений | | | | | |
| ION | MEZA | ООО «Геосейсконтроль» | ПИКЕЗА, ФНЕ | 75 | |
| CGG | GEOLAND | | ФГБУ «ВНИГНИ» | SeisCont | |
| Schlumberger | OMNI | ООО «Клауднет» | | SPS – PC | |
| | Vista | | | | |
| Обработка данных сейсморазведки | | | | | |
| Halliburton | SeisSpace ProMax | ООО «Сейсмотек» | Прайм | 95 | |
| Shlumberger | Omega | | Новосибирск, физ. лица | ПРИМУС | |
| Paradigm | Echos-NexGen, GeoDepth | ООО «Дека-геофизика» | | RodExPro | |
| CGG | Geovecteur | | | | |
| Отдельные блоки обработки | | | | | |
| | | ООО «ГСД» | IST-3MP | 85 | Коррекция статических поправок |
| | | ПАО «ЦГЭ» | СейсмоСкан | 90 | Программа глубинной миграции |
| Обработка и интерпретация данных ВСП | | | | | |
| Shlumberger | VSP | ООО «Геоверс» | ЮНИВЕРС (ВСП) | 95 | |
| Анализ и интерпретация данных ГИС | | | | | |
| Halliburton | Geologic Interpretation Component | ООО «ГЕОС-С» | ГЕОПОИСК | 80 | |
| Shlumberger | Petrel – Well Correlation | | НТЦ «Амплитуда» | Solver | |
| Paradigm | Geologic Interpretation Component | АО «Пангея» | | PetroExpert | |
| Jason/CGG | PowerLog | | | | |
| Roxar | Irap – RMS | ООО «ГИФТС» | Gintel | 90 | |
| IHS | Kingdom | | | | |
| Отдельные блоки | | | | | |
| | | ООО «ИПНЭ» | AutoCorr | 95 | Автоматическая корреляция |
| | | АО «Пангея» | PetroExpert | 80 | Распознавание образов |

Примечание. В таблице отображены наиболее широко применяемые в России зарубежные и российские программные средства, а также экспертная оценка процента соответствия российских продуктов их западным аналогам. Процент соответствия дает представление о том, насколько функционал российского программного продукта отвечает обобщенному функционалу западных продуктов.

Таблица, окончание
Table, end.

| Компания | Название | Компания | Название | Процент соответствия | Комментарии |
|--|----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|--|
| Зарубежное | | Отечественное | | | |
| Интерпретация данных сейсморазведки | | | | | |
| Halliburton | Seismic Interpretation Component | ООО «ГПД» | Геоплат -S | 95 | |
| Shlumberger | Petrel | | | | |
| Paradigm | SeisEarthXV, ExplorerMV | ПАО «ЦГЭ» | ИНПРЕС | 75 | |
| Jason/CGG | Insight Earth | АО «Пангея» | ReView, Certainty | 90 | |
| Roxar | Irap – RMS | | | | |
| IHS | Kingdom | | | | |
| Обработка и интерпретация данных магнито-, грави- и электроразведки | | | | | |
| Geosoft | Oasis montaj | РГГРУ | Coscad 3D | 40 | Только данные гравиразведки и магниторазведки, нет первичной обработки |
| | | ФГБУ «ВНИГНИ» | ГИС INTEGRO | 50 | Нет первичной обработки |
| | | ООО «Северо-Запад» | Zond ST2d | 80 | Магнито-теллурическое зондирование |
| | | ООО «Геодевайс» | MagGPS | 80 | Магниторазведка |
| Геологическое моделирование | | | | | |
| Shlumberger | Petrel | ООО «ГПД» | Геоплат-5 | 80 | |
| Paradigm | Gocad – Skua | ООО «НЦ РИТ «Дельта» | TimeZYX | 20 | Проверка моделей |
| Jason/CGG | EarthModel FT | | | | |
| Roxar | Irap – RMS | ООО «Изолайн» | Изолайн GIS | 40 | 2D-моделирование |
| | | ФГБУ «ВНИГНИ» | ГИС INTEGRO | 20 | |
| Гидродинамическое моделирование | | | | | |
| Shlumberger | Eclipse | RFD | T-navigator | 95 | Проверка моделей |
| | | ПАО «Сургутнефтегаз» | Техсхема | 75 | |
| Roxar | Tempest | ООО «НЦ РИТ «Дельта» | TimeZYX | 20 | |
| Halliburton | VIP | ООО «ГПД» | Pix-Geo | 20 | |
| Геоинформационные системы | | | | | |
| ESRI | ArcGIS | ФГБУ «ВНИГНИ» | ГИС INTEGRO | 80 | |
| ESTI Map | Map Info | | | | |

на 1 км². Обработка и интерпретация таких объемов данных требует гигантских вычислительных мощностей и принципиально новых алгоритмов, базирующихся на технологиях облачных вычислений, машинном обучении и искусственном интеллекте. Российские разработчики программного обеспечения (см. таблицу) активно включились в развитие новейших средств работы с большими массивами данных. Об этом свидетельствуют некоторые статьи настоящего тематического выпуска журнала.

Развитие цифровых технологий для обработки и интерпретации данных потенциальных геофизических методов (магниторазведки, гравитразведки, электро-разведки)

Полевые измерения в потенциальных геофизических методах уже давно осуществляются в цифровой форме. Обработка и интерпретация данных потенциальных методов, в отличие от сейсморазведки, практически полностью изначально осуществлялась на базе отечественных программных разработок, в развитии которых принимают участие многие институты, университеты и частные предприятия. Современный этап развития нацелен на углубление обработки и повышение достоверности интерпретации как отдельных методов, так и интегрально, с получением на выходе согласованной со всеми геофизическими данными единой геологической модели изучаемой территории.

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

По мере расширения спектра и повышения сложности геологических задач растут объем и детальность геофизических измерений в открытом и закрытом стволах скважины. Число методов измерений, основанных на регистрации самых разных физических полей, составляет несколько десятков, и многие методы регистрируют несколько измеряемых величин. Полноценный анализ такого массива данных, прогноз литологии, условий седиментации, свойств насыщающих пласт флюидов, получение количественных характеристик фильтрационно-емкостных свойств горных пород невозможен без широкого применения цифровой обработки и интерпретации. Основной объем обработки и интерпретации данных каротажа в крупных нефтяных и сервисных компаниях выполняется с применением импортных программных продуктов, разработанных крупнейшими транснациональными компаниями Шлюмберже, Халлибертон, Парадайм. Отечественные компании, специализирующиеся на создании программного обеспечения для обработки и интерпретации каротажных данных (см. таблицу), активно модернизируют свои комплексы с привлечением машинного обучения и искусственного интеллекта.

Создание новых автоматизированных алгоритмов использования аэрокосмических данных, в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов

Дистанционные методы изучения поверхности и глубинного строения верхней части разреза с помощью искусственных спутников Земли за последние годы претерпели самые серьезные изменения. Аналоговые фотоснимки давно ушли в прошлое, все виды наблюдения проводятся только в цифровом виде и перечень таких наблюдений 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 без цифровых средств обработки, анализа и визуализации не представляется возможным практически использовать.

Аэрогеофизические методы, которые в самое ближайшее время полностью перейдут на использование беспилотных летающих аппаратов, также генерируют огромный объем измерений различных физических полей, требующих применения сложных современных алгоритмов для их анализа, количественной и качественной интерпретации. Ведущее отечественное предприятие для проведения аэрогеофизических работ — ГНПП «Аэрогеофизика» активно развивает программное обеспечение для обработки данных, анализа и геологической интерпретации для полной замены импортных программных средств.

Разработка цифровых технологий и программных продуктов для повышения эффективности сбора, систематизации (структурирования) и анализа геологической информации при выполнении научно-исследовательских и геолого-разведочных работ

Рассмотренные выше геофизические методы получения информации о геологическом разрезе являются важной частью геолого-разведочного процесса, но его существо составляют геологические региональные и поисковые работы, а также тематические и научные исследования, направленные на прогноз и оценку УВ-потенциала земной коры на всю доступную для изучения глубину. На базе полученных знаний должны создаваться постоянно действующие и непрерывно совершенствующиеся, на основе новых поступающих данных, геологические модели строения перспективных нефтегазоносных бассейнов, выполняться оценка ресурсов и осуществляться планирование дальнейших геолого-разведочных работ с целью перевода ресурсов в достоверные запасы. Значительные резервы повышения эффективности геолого-разведочных работ связаны с расширением цифровизации основных технологий и производственных процессов. Рассмотрим главные

направления применения современных цифровых технологий в геологоразведке.

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

Решение любой геологической задачи начинается со сбора и анализа всей имеющейся разнородной информации по изучаемому объекту: как первичных геологических и геофизических данных, так и результатов их обработки и обобщения. Сегодня для выполнения типичного проекта геологического изучения разведочной площади нужно привлечь данные из нескольких десятков источников, полученные разными методами в существенно различное время, часто взаимно противоречивые, почти всегда неполные и содержащие ошибки. В последние десятилетия все данные собираются и хранятся в цифровом виде, однако 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. Российские нефтяные компании в своей практической работе до последнего времени используют западные программные средства для сбора и хранения геолого-геофизической информации. В то же время в России созданы и находят практическое применение отечественные программные средства, специализированные под задачи сбора, хранения и широкого применения любых видов данных, используемых в геолого-разведочном процессе и далее при разработке месторождений полезных ископаемых. Хорошим примером такой разработки является банк данных ФГБУ «ВНИГНИ», описанный в статье К.Н. Маркова и др. настоящего номера журнала.

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

Основным программным продуктом, на базе которого осуществляются совместный анализ, взаимная увязка и построение финальной геологической модели изучаемого объема геологической среды, являются интегрированные интерпретационные системы. Такие системы первоначально были ориентированы на комплексную интерпретацию сейсморазведки 2D и 3D совместно с данными по скважинам, выдавая на выходе структурную геологическую модель разреза, осуществляя в благоприятных случаях прогноз литологического состава и фильтрационно-емкостных характеристик целевых отложений в пределах изучаемой разведочной площади. Однако по мере развития функционал интегрированных систем непрерывно расширялся и дополнялся средствами собственно геологического анализа, геологического моделирования, подсчета запасов, проектирования разведоч-

ных и эксплуатационных скважин, подготовки данных для гидродинамического моделирования, либо включал гидродинамическое моделирование как отдельный блок интегрированной системы. Масштаб анализируемого разреза существенно расширился от отдельных разведочных площадей до крупных осадочных бассейнов. Комплексы обеспечены собственными оперативными базами данных, которые тесно увязаны с основными банками хранения информации. Все крупные западные производители программного обеспечения представляют такие системы: Шлюмберже — PETREL, Халлибертон — DecisionSpace Geosciences (DSG), Парадайм-геофизикал — интегрированный программный комплекс, не имеющий отдельного названия, но представленный широким спектром отдельных подсистем в совокупности эквивалентных или даже превышающих возможности программных комплексов компаний Шлюмберже и Халлибертон.

Отечественные интегрированные программные комплексы, доведенные до уровня коммерческого применения, разработаны и представляются компаниями ГридПойнт Дайнамикс и Пангея (см. таблицу). Реализованные там функциональные средства для структурной интерпретации и прогноза вещественного состава разреза практически не уступают аналогичным блокам западных систем. 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 ФГБУ «ВНИГНИ» разработана технология интеграции скважинной, сейсмической, электроразведочной и гравиметрической информации, завершающаяся построением непротиворечивой трехмерной физико-геологической модели среды. Этой технологии посвящена статья А.В. Любимовой и Е.Р. Толмачевой настоящего выпуска журнала.

Расширение перечня и повышение точности анализа керна и флюидов

За последние годы, благодаря появлению новых приборов и аппаратуры, работа с керном от описательного характера перешла к цифровым количественным измерениям, резко расширился перечень измеряемых физических и химических характеристик образцов горных 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 детальных 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.

Создание новых средств моделирования геологических процессов и их отображения в физических полях

Моделирование и решение прямых задач давно успешно применяются при анализе и интерпретации геофизических данных, помогая лучше понять связь физических полей с особенностями строения разрезов, облегчая выбор наиболее адекватного варианта решения обратной задачи. Бассейновое моделирование, обеспечивающее прогноз УВ-потенциала не вскрытых скважинами толщ на основе структурных моделей среды, с учетом палеотектонических трансформаций, процессов дифференцированного уплотнения пород, изучения тепловых потоков, процессов накопления органического материала, активно используется при освоении слабоизученных бассейнов, а также при анализе перспектив глубоководных частей районов активной нефтегазодобычи.

Ограниченные вычислительные мощности предшествующего периода требовали упрощения моделей, часто в ущерб качеству решения задачи. Стремительное развитие вычислительной техники и систем связи, позволяющее 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 также перейти к динамическому моделированию, что особенно важно при анализе процессов седиментации осадочных толщ.

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

Появившиеся в последнее десятилетие новые методы анализа больших массивов данных существенно расширили рамки традиционных технологий геолого-разведочных работ. Появилась возможность переложить множество рутинных операций с данными, требующих большого объема ручной и аналитической работы, на новые машинные алгоритмы, что позволило геологу освободить время для контроля процессов и более глубокого осмысления всего объема полученной информации. Судя по зарубежным и отечественным публикациям, новые методы анализа слабоструктурированных данных уже сегодня находят широкое применение в отдельных методах геофизических исследований. Однако наибольшие перспективы следует ожидать от применения новых алгоритмов на этапе комплексирования разных методов, построения непротиворечивой геологической

модели среды на базе согласования данных всех методов ее изучения в скважинах, на поверхности Земли и в космосе.

Цифровые технологии повышения качества и геологической информативности строительства параметрических и опорных скважин

Буровая скважина сегодня и на обозримую перспективу остается главным источником получения прямой информации о наличии или отсутствии полезных ископаемых в толще горных пород. Процесс строительства скважины всегда происходит при недостатке геологической информации о вскрываемом разрезе, и, как следствие, требуются непрерывный контроль и быстрое реагирование на возникающие нестандартные ситуации. Именно здесь особенно эффективно применение современных цифровых технологий, позволяющих автоматически собирать информацию со многих датчиков, характеризующих параметры режима бурения и состояние скважины, практически мгновенно анализировать поступающую информацию, подсказывать наиболее оптимальные решения. Наличие современных средств связи дает возможность управлять бурением удаленно, привлекать к решению текущих проблем каждой сложной скважины ведущих специалистов, обладающих необходимым опытом и знаниями.

Создание новых и совершенствование действующих ГИС-проектов по функциональным направлениям деятельности Роснедр

Начиная с 1990-х гг. в геологической отрасли широко использовались универсальные картографические геоинформационные системы зарубежного производства (ArcGIS, Map Info и пр.). Это было обусловлено высоким уровнем функциональности этих систем, хорошей проработкой интерфейсов, а также активным внедрением этих продуктов в качестве программного обеспечения для реализации крупных государственных проектов.

Однако в настоящее время, в силу реализуемой Правительством Российской Федерации программы импортозамещения, чрезвычайно актуальным становится вопрос о развитии отечественных программно-технологических средств, в особенности в такой стратегически важной для российской экономики области, как недропользование.

Удачным примером импортозамещающего геоинформационного обеспечения для решения задач недропользования является программно-технологический комплекс ГИС INTEGRO, разрабатываемый во ФГУП «ГНЦ РФ ВНИИГеосистем» с 1998 по 2015 г. Сегодня, в связи с реорганизацией предприятия, его сопровождение и развитие обеспечивается в рамках деятельности отделения Геоинформатики ФГБУ «ВНИГНИ». Важно отметить, что реализованные возможности комплекса ГИС INTEGRO позво-

ляют не только решать задачи на уровне отдельных предприятий и региональных структур, но и обеспечивать обобщенными данными структуры государственного управления отраслью в лице Роснедр и подразделений Министерства природных ресурсов [10, 11]. Создаваемая во ФГБУ «ВНИГНИ» единая распределенная информационно-технологическая платформа для решения задач нефтегазовой геологии представляет все необходимые возможности для систематизации, хранения, доступа и обработки геолого-геофизической информации. В состав разрабатываемой информационно-технологической платформы входит широкий спектр программно-технологических комплексов, включая: ГИС INTEGRO, «Единый банк геолого-геофизической информации ВНИГНИ», различные информационно-аналитические системы, программный комплекс SeisCont и др. Эта платформа обеспечивает подготовку ГИС-проектов и картографической основы производственных и научно-исследовательских работ, а также визуализацию и обработку геологических карт, геофизических и геохимических данных, сейсмических профилей и кубов, космоснимков, скважинных и трехмерных данных.

Основные аналитические возможности ГИС INTEGRO сфокусированы на решении задач геологического картопостроения, прогноза полезных ископаемых, изучения глубинного строения Земли и т. п. Наряду со стандартным набором инструментов для выполнения картографических работ (ввод, редактирование, пространственный анализ, координатная привязка, оформление и печать), сопоставимым с функционалом ArcGIS (производство ESRI), комплекс предоставляет ряд существенных преимуществ для проведения прикладных геолого-геофизических исследований:

- возможность одновременной визуализации картографических, профильных и скважинных данных с синхронизацией по осям X , Y , Z , обработка и 3D-визуализация поверхностей, сечений и кубов данных в многооконном интерфейсе ГИС-проекта, не предоставляемая в пакете в ArcGIS, но крайне необходимая при работе с геолого-геофизической информацией [12];

- блок обработки гравиметрической и магнитометрической информации, включающий корреляционно-спектральный анализ, разделение поля на компоненты, обнаружение аномалий на фоне случайных помех, зондирование, решение прямых и обратных задач в различных постановках. Функционал блока сопоставим с возможностями пакета Oasis-montaj фирмы GEOSOFT и может заменить его во многих задачах [10];

- инструменты пространственного анализа и блок решения прогнозно-диагностических задач, реализующий большое число алгоритмов классификаций и распознавания по многомерным наборам геоданных [11].

В рамках работ по формированию тематических ГИС-проектов по изучаемым нефтегазоперспективным зонам Российской Федерации разработано методико-технологическое обеспечение систематизированного ведения и комплексного представления цифровых геолого-геофизических, картографических и иных данных, отображающих основные результаты геолого-разведочных работ в рамках изучения нефтегазоперспективных зон РФ. В качестве программного обеспечения работ по сбору, увязке, систематизации и оформлению данных используется программно-технологический комплекс ГИС INTEGRO [13, 14].

На базе программного комплекса ГИС INTEGRO разработаны технологии решения ряда важных комплексных задач геолого-разведочной отрасли. Учитывая, что в последующих статьях этого журнала эти технологии рассматриваются подробно, ограничимся здесь только их перечислением:

- количественная оценка ресурсов УВ-сырья на федеральном и региональном уровнях;

- формирование ГИС-проектов по крупным нефтегазоперспективным зонам;

- геоинформационное сопровождение планирования и проведения геолого-разведочных работ;

- геоинформационная технология оперативно-го мониторинга объектов недропользования;

- геоинформационная технология построения региональных 3D-моделей территорий по комплексу разнородной геолого-геофизической информации.

Во ФГУП «ГНЦ РФ ВНИИгеосистем» (2005–2013) была разработана *информационная система обеспечения работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы (СОБР Роснедра)*. Эта система содержит геоинформационную оболочку, позволяющую выполнять визуализацию и интеграцию разнородных данных отраслевых институтов. Система введена в эксплуатацию на основании приказа Роснедр «Об обеспечении доступа к геологической информации» от 04.10.2013 № 845. СОБР Роснедр принята к бюджетному учету приказом Роснедр № 640 от 29.12.2017 и зарегистрирована в АИС «Учет» Минкомсвязи 24.11.2015 с № 10.0013174. СОБР Роснедра представляет собой интеграционную основу отраслевых информационных систем и ресурсов. В настоящее время в систему интегрированы 32 информационные системы, разработанные ведущими предприятиями и учреждениями отрасли: Росгеолфонд, ВСЕГЕИ, ВНИИГеосистем, ЦНИГРИ, ВНИГНИ, ИМГРЭ, Гидроспецгеология и пр.

Пользователями системы являются специалисты отраслевых учреждений Роснедр, институтов РАН, предприятий АО Росгеология, других федеральных служб и органов федеральной и региональ-

ной исполнительной власти, а также высших учебных заведений.

Базовой основой систематизации, хранения, интеграции и организации доступа к геолого-геофизической информации на УВ-сырье является программно-технологический комплекс ГЕОБАНК. ГЕОБАНК представляет собой полностью веб-ориентированную среду для организации хранения и доступа к геолого-геофизической информации, комплекс базируется на программно-технологической платформе MGS-Framework и СУБД PostgreSQL. На MGS-Framework получено свидетельство о государственной регистрации программы в реестре программ для ЭВМ под № 2017660222 от 19 сентября 2017 г.

На базе программно-технологического комплекса ГЕОБАНК реализован «Единый банк геолого-геофизической информации ВНИГНИ» (ЕБД ВНИГНИ), который предназначен для организации доступа к геолого-геофизической информации, имеющейся в Институте. Интерфейс пользователя для доступа к ресурсам функционирует в среде большинства современных веб-браузеров и не требует установки на устройстве пользователя специальных программных оболочек.

ЕБД ВНИГНИ содержит следующие разделы информации:

- геологические отчеты, получаемые из различных источников;
- полевые сейсмические данные по объектам геолого-разведочных работ;
- материалы по сейсмическим профилям;
- материалы по скважинам со всей сопутствующей информацией;
- материалы по гравirazведке, магниторазведке и электроразведке;
- итоговые ГИС-проекты и 3D-модели.

На основе ЕБД ВНИГНИ ведутся работы по созданию следующих информационно-аналитических систем.

1. ИАС «Керн-2019», основными блоками которой являются: информационно-аналитический портал, геоинформационная оболочка, поисковая подсистема, подсистема работы с данными, подсистема разграничения и управления доступом, подсистема подготовки отчетов.

В настоящее время ИАС «Керн-2019» обеспечивает решение следующих основных задач:

- хранение данных об основных объектах системы;
- отображение данных в текстовом, табличном и графическом виде;
- поддержание целостности информации;

- поиск, выборка и агрегация данных по заданным атрибутам;
- визуализация координированной информации на электронной карте;
- многопользовательский режим работы;
- защита информации от повреждения и несанкционированного доступа;
- удаленный доступ к данным в режимах чтения, создания новых записей, редактирования данных, удаления записей;
- разработка раздела «Палеонтологические коллекции»;
- механизмы предоставления информации во ФГИС «Единый фонд геологической информации».

2. ИАС «Разработка месторождений УВ-сырья». Целевым назначением системы является создание инструмента оперативного анализа текущего состояния разработки для обеспечения Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) информацией об изменении состояния сырьевой базы месторождений УВ-сырья, а также внесения изменений и дополнений в лицензионные соглашения в связи с отклонениями, допущенными пользователями недр, от утвержденных проектных решений.

Основными функциями системы являются:

- хранение и обновление информации о текущем состоянии разработки месторождений УВ-сырья РФ с привязкой к участкам недр;
- поиск месторождений-аналогов по анализу соответствия различных геолого-физических характеристик с возможностью визуализации выбранных месторождений на карте;
- составление таблиц геолого-физических характеристик месторождений;
- составление таблиц по проектным и фактическим показателям разработки месторождений УВ-сырья;
- построение графиков по различным показателям разработки месторождений УВ-сырья;
- построение графиков на основе данных Государственного баланса запасов с учетом параметров фильтрации исходных данных;
- построение аналитических таблиц в различных разрезах на основе данных Государственного баланса запасов.

Система опирается на созданные единые справочники месторождений, геологических объектов и подсчетных объектов по Государственному балансу и лицензиям ФГИС «Автоматизированная система лицензирования недропользования».

С января 2020 г. к системе подключены сотрудники ГКЗ (центральный офис и пять филиалов).

Сдерживающие факторы

Несмотря на то, что сегодня нет необходимости кого-то убеждать в высокой эффективности применения современных компьютерных средств работы с данными, процесс освоения современных компьютерных технологий, а главное — их широкое практическое применение сдерживаются рядом объективных и субъективных факторов, преодоление которых позволит существенно ускорить внедрение цифровизации на всех уровнях геолого-разведочного процесса.

Рассмотрим кратко пять основных сдерживающих факторов.

Трудности сбора и верификации многих видов ретроданных (сейсмические материалы, данные по скважинам, керну и флюидам)

Несмотря на то, что многие годы существует Государственный фонд геологической информации (Росгеолфонд), созданный для того, чтобы обеспечить полную сохранность и доступность накопленной геологической информации, до настоящего времени доступ ко многим видам необходимых геологических данных существенно затруднен. Успешно решена только задача доступа к отчетам по итогам геолого-разведочных работ. Но хотя отчеты и содержат важную и полезную информацию, их нельзя ввести в интерпретационную систему или программу комплексного анализа данных. Для реализации цифровых технологий необходим доступ непосредственно к данным, на которых основан отчет: сейсмическим профилям или даже к первичным сейсмограммам, различным видам скважинной информации, картам потенциальных полей, анализам данных керна и флюидов. Но такая информация доступна только в ограниченном объеме. Первичные данные геофизических съемок стали поступать в Росгеолфонд только в последнее десятилетие, а именно первичные данные в цифровом виде представляют наибольшую ценность в процессе обобщения и комплексного анализа информации. Прием информации в Росгеолфонд осуществляется без должного смыслового контроля. Системы жесткой ответственности исполнителя работ за полноту и качество передаваемой в государственные фонды информации не существует. В результате у геологов, использующих фондовые данные, до 50 % продуктивного времени уходит на сбор и верификацию полученных материалов.

Необходимость перевода значительной части ретроданных (особенно данных по скважинам) в цифровую форму

До настоящего времени большие объемы первичных данных, особенно данных по скважинам, построенным в 1970-1990-е гг., когда проводились интенсивные геолого-разведочные работы в Западной Сибири, в Восточной Сибири и Якутии, в Волго-Уральском регионе и Предкавказье, сохраняются на

бумажных носителях и не переведены в цифровую форму, что существенно затрудняет вовлечение этой важной информации в региональное обобщение, включение ее в современные компьютерные системы анализа данных, выявление региональных закономерностей. Определенный объем оцифровки ретроданных выполняют подразделения «Росгеолфонда», а также крупные нефтяные компании и институты, однако планы таких работ не публикуются, как и перечни скважин и других видов данных, переведенных в цифровую форму. Нет отработанных процедур обмена данными, не согласованы цифровые форматы некоторых вспомогательных данных.

Чрезмерный объем использования импортного программного обеспечения и, как следствие, низкий уровень применения отечественных программных систем, сдерживающий их развитие

В настоящее время более 90 % программных средств, применяемых при решении геолого-разведочных задач в нефтяных компаниях, сервисных предприятиях и отраслевых институтах, приобретены за рубежом. Даже в тех задачах, для которых существуют эффективно работающие отечественные программные комплексы, они с большим трудом пробиваются на отечественный рынок. Создание комплексных цифровых технологий с использованием импортных пакетов сопряжено с рисками возможных санкционных ограничений либо со сменой технической политики компаний-разработчиков, приводящей к радикальным изменениям поставляемого программного обеспечения. Необходимы объединенные усилия отечественных разработчиков программных средств и основных пользователей для поэтапного исправления ситуации, расширения использования отечественного программного обеспечения, без чего невозможна эффективная цифровизация в геолого-разведочных работах.

Отсутствие государственных инвестиций в развитие науки и специализированного программного обеспечения в области геолого-разведочных работ

В финансовых планах Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Федерального агентства по недропользованию не предусмотрено выделение средств на развитие науки и НИОКР, не выделяются субсидии на создание и развитие программных продуктов. В этих условиях невозможно обеспечить эффективное выполнение утвержденных планов геолого-разведочных работ. Институты вынуждены проводить программные разработки полуправильно, отчисляя на их реализацию какую-то долю средств, получаемых из внебюджетных источников. Для обеспечения технико-технологической безопасности и решения задач импортозамещения необходимо планировать научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, выделять соответствующее финансирование, как на

GENERAL DIGITALIZATION ISSUES IN GEOLOGY

неотъемлемую и очень важную часть геолого-разведочных работ.

В настоящее время в геолого-разведочной 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 геолого-разведочной отрасли. Необходимо принять организационные меры по разработке программ обучения по использованию облачных технологий, технологии Big Data, искусственного интеллекта, информационной безопасности, «Интернета вещей» в геологии и недропользовании. 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 [15].

Преодоление вышеотмеченных сложностей при реализации комплекса задач перехода на цифровую геологоразведку возможно только при объединении усилий государственных органов управления отраслью, отраслевых институтов и институтов РАН, крупных нефтяных компаний, университетов и частных компаний, ведущих разработки в области цифровых

технологий и программного обеспечения. Очень важно, чтобы Минприроды РФ и Роснедра возобновили государственный заказ на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и поддерживали отечественных производителей геолого-разведочного оборудования и программного обеспечения.

ФГБУ «ВНИГНИ», как головной институт отрасли в области геолого-разведочных работ на УВ-сырье, активно применяет цифровые методы анализа разнообразных данных при изучении регионального строения перспективных территорий страны. Хотя программные разработки не являются целевой задачей Института, появление собственных перспективных идей и производственная необходимость привели к тому, что ряд подразделений Института за счет внебюджетных средств выполняет собственные программные разработки, повышающие эффективность решения основных задач Института. Объем и качество программных разработок существенно возросло после вхождения в состав Института ряда подразделений ВНИИГеосистем. Появилась возможность обеспечивать новым программным обеспечением не только текущие нужды Института, но и готовить программные средства в отраслевом масштабе, вытесняя широкораспространенные импортные дорогостоящие программные комплексы.

Ряд статей настоящего специализированного выпуска журнала посвящен описанию последних программных продуктов, разрабатываемых в системе Роснедр, а также примерам их практического применения при решении текущих исследовательских задач различными подразделениями Института.

Литература

1. Козлов Е.А. Прогностическая фильтрация кратных волн // Прикладная геофизика. – 1976. – № 82. – С. 3–18.
2. Глоговский В.М., Райман М.П., Фиников Д.Б. Ступенчатая миграция // Прикладная геофизика. – 1984. – № 109. – С. 28–38.
3. Гогоненков Г.Н., Мороз Б.П., Плешкевич А.Л., Турчанинов В.И. Теоретические основы и практическое использование отечественной программы 3Д-глубинной сейсмической миграции до суммирования // Геофизика – 2007. – № 4. – С. 15–24.
4. Zheng Y., Zhang Q., Yusifov A., Shi Y. Applications of supervised deep learning for seismic interpretation and inversion // The Leading Edge. – 2019. – № 7. – С. 526–533. DOI: 10.1190/tle38070526.1.
5. Peters B., Haber E., Granek J. Neural networks for geophysicists and their application to seismic data interpretation // The Leading Edge. – 2019. – № 7. – С. 534–540. DOI: 10.1190/tle38070534.1.
6. Guillon S., Joncour F., Barrallon P-E., Castanié L. Ground-truth uncertainty-aware metrics for machine learning applications on seismic image interpretation: Application to faults and horizon extraction // The Leading Edge. – 2020. – № 10. – С. 734–741. DOI: 10.1190/tle39100734.1.
7. Карнаухов А.М. Перспективы цифровизации исследовательской деятельности в геологоразведке [Электронный ресурс] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2017. – Т. 12. – № 4. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/3/44_2017.pdf (дата обращения 18.01.2021). In Russ. DOI: 10.17353/2070-5379/44_2017.
8. Варламов А.И., Афанасенков А.П., Виценовский М.Ю. и др. Состояние и пути наращивания сырьевой базы углеводородов в Российской Федерации // ВНИГНИ-65. Люди, результаты, и перспективы. – М.: ВНИГНИ, 2018. – С. 109–128.
9. Manning T., Abylazina D., Quigley J. The nimble node – Million-channel land recording systems have arrived // The Leading Edge – 2019. – № 9. – С. 706–715. DOI: 10.1190/tle38090706.1.
10. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Любимова А.В. ГИС INTEGRO — импортозамещающий программно-технологический комплекс для решения геолого-геофизических задач // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 8–17.
11. Деев К.В. Перспективы развития ГИС INTEGRO // Геоинформатика. – 2020. – № 1. – С. 3–7.
12. Любимова А.В., Хромова Н.Ю. Комплексный анализ возможностей ГИС-пакетов для решения картографических задач в сфере природопользования // Геоинформатика. – 2020. – № 2. – С. 11–19.

13. Жуков К.А., Кравченко М.Н., Любимова А.В. Методико-технологическое обеспечение работ по количественной оценке ресурсов углеводородов // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 27–34.
14. Арбузова Е.В., Любимова А.В., Толмачева Е.Р. Анализ картографических материалов по геолого-геофизической изученности на УВС для решения практических задач нефтяной геологии // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 98–105.
15. Черемисина Е.Н., Любимова А.В., Крейдер О.А. Геоинформационные технологии в подготовке кадров в сфере управления природопользованием // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 111–115.

References

1. Kozlov E.A. Prognosticheskaya fil'tratsiya kratnykh voln [Predictive filtering of multiples]. *Prikladnaya geofizika*. 1976;(82):3–18. In Russ.
2. Glogovskii V.M., Raiman M.P., Finikov D.B. Stupenchataya migratsiya [Multistage migration]. *Prikladnaya geofizika*. 1984;(109):28–38. In Russ.
3. Gogonenkov G.N., Moroz B.P., Pleshkevich A.L., Turchaninov V.I. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe ispol'zovanie otechestvennoy programmy 3D-glubinnoi seismicheskoy migratsii do summirovaniya [Basics and field use of pre-stack 3D deep seismic migration]. *Geofizika*. 2007;(4):15–24. In Russ.
4. Zheng Y., Zhang Q., Yusifov A., Shi Y. Applications of supervised deep learning for seismic interpretation and inversion. *The Leading Edge*. 2019;(7):526–533. DOI: 10.1190/tle38070526.1.
5. Peters B., Haber E., Granek J. Neural networks for geophysicists and their application to seismic data interpretation. *The Leading Edge*. 2019;(7):534–540. DOI: 10.1190/tle38070534.1.
6. Guillon S., Joncour F., Barrallon P.-E., Castanié L. Ground-truth uncertainty-aware metrics for machine learning applications on seismic image interpretation: Application to faults and horizon extraction. *The Leading Edge*. 2020;(10):734–741. DOI: 10.1190/tle39100734.1.
7. Karnaukhov A.M. Perspektivy tsifrovizatsii issledovatel'skoy deyatel'nosti v geologorazvedke [Perspectives of research activities digitalization in geological exploration]. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*. 2017;12(4). Available at: http://www.ngtp.ru/rub/3/44_2017.pdf (accessed 18.01.2019). DOI: 10.17353/2070-5379/44_2017. In Russ.
8. Varlamov A.I., Afanasenkov A.P., Vitsenovskii M.Yu. et al. Sostoyanie i puti narashchivaniya syr'evoy bazy uglevodorodov v Rossiiskoi Federatsii [Status and ways to build up the hydrocarbon raw materials base in the Russian Federation]. In: VNIGNI-65. Lyudi, rezul'taty, i perspektivy. Moscow: VNIGNI; 2018. pp. 109–128. In Russ.
9. Manning T., Ablaizina D., Quigley J. The nimble node – Million-channel land recording systems have arrived. *The Leading Edge*. 2019;(9):706–715. DOI: 10.1190/tle38090706.1.
10. Cheremisina Ye.N., Finkelstein M.Ya., Lyubimova A.V. GIS INTEGRO — importozameshchayushchii programmno-tekhnologicheskii kompleks dlya resheniya geologo-geofizicheskikh zadach [GIS INTEGRO – import substitution software for geological and geophysical tasks]. *Geoinformatika*. 2018. (3):8–17. In Russ.
11. Deev K.V. Perspektivy razvitiya GIS INTEGRO [Perspective ways of the GIS INTEGRO development]. *Geoinformatika*. 2020;(1):3–7. In Russ.
12. Lyubimova A.V., Khromova N.Yu. Kompleksnyi analiz vozmozhnostei GIS-paketov dlya resheniya kartograficheskikh zadach v sfere prirodopol'zovaniya [Comprehensive analysis of GIS package features for solving cartographic problems in the field of natural resource management]. *Geoinformatika*. 2020;(2):11–19. In Russ.
13. Zhukov K.A., Kravchenko M.N., Lyubimova A.V. Metodiko-tekhnologicheskoe obespechenie rabot po kolichestvennoi otsenke resursov uglevodorodov [Methodological and technological support of the hydrocarbon resources assessment]. *Geoinformatika*. 2018;(3):27–34. In Russ.
14. Arbuzova E.V., Lyubimova A.V., Tolmacheva E.R. Analiz kartograficheskikh materialov po geologo-geofizicheskoi izuchennosti na UVS dlya resheniya prakticheskikh zadach neftyanoi geologii [Analysis of cartographic data, representing of the geophysical survey coverage (profiles and wells), for solving of practical problems of petroleum geology]. *Geoinformatika*. 2018;(3):98–105. In Russ.
15. Cheremisina E.N., Lyubimova A.V., Kreider O.A. Geoinformatsionnye tekhnologii v podgotovke kadrov v sfere upravleniya prirodopol'zovaniem [Geoinformation technologies for education and training of personnel in the field of nature-use management]. *Geoinformatika*. 2018;(3):111–115. In Russ.

Информация об авторах

Варламов Алексей Иванович

Доктор геолого-минералогических наук,
научный руководитель

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,

105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36

e-mail: info@vnigni.ru

SCOPUS ID: 23974029900

Information about authors

Aleksey I. Varlamov

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Academic Director

All-Russian Research
Geological Oil Institute,

36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia

e-mail: info@vnigni.ru

SCOPUS ID: 23974029900

GENERAL DIGITALIZATION ISSUES IN GEOLOGY**Гогоненков Георгий Николаевич**

Доктор технических наук,
советник генерального директора
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36
e-mail: gogonenkov@vnigni.ru
Scopus ID: 6603122004

Мельников Павел Николаевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36
e-mail melnikov@vnigni.ru

Черемисина Евгения Наумовна

Доктор технических наук, академик РАН, профессор,
заведующая отделом
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8
e-mail: head@geosys.ru
Scopus ID: 56122596400

Georgy N. Gogonenkov

Doctor of technical Sciences,
Advisor to Director-General
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: gogonenkov@vnigni.ru
Scopus ID: 6603122004

Pavel N. Melnikov

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Director General
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: melnikov@vnigni.ru

Evgeniya N. Cheremisina

Doctor of Technical Sciences, Member of the Russian Academy
of Natural Sciences, Professor, Head of Department
All-Russian Research
Geological Oil Institute
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia
e-mail: head@geosys.ru
Scopus ID: 56122596400