

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОЛОГИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Л. Е. Чесалов

ФГБУ «Гидроспецгеология», г. Москва, Россия

chesalov@specgeo.ru

Аннотация

Рассмотрен опыт развития цифровых технологий в геологии и добывающих отраслях, включая государственные и частные структуры, промышленные, научные и образовательные учреждения. Приведены результаты использования цифровых технологий для широкого спектра исследований в области геологоразведки и добычи, рассмотрены преимущества и недостатки. Предложены подходы, способные обеспечить качественный прирост знаний и информации в области геологии.

Ключевые слова: *цифровые технологии, геология, добывающие отрасли, информационные системы.*

Цифровые технологии в геологии развиваются более 60 лет. Использование цифровых технологий в геологии и недропользовании за последние годы находится под влиянием двух разнонаправленных факторов – взрывной интерес к технологиям искусственного интеллекта (ИИ) и снижение конъюнктуры минерального сырья и энергетических ресурсов. Следует отметить, что снижение конъюнктуры сырья ведет к поиску более дешевых методов геологического изучения, что также усиливает интерес к цифровым технологиям прогнозирования, поисков разведки и разработки месторождений.

Внедрение цифровых технологий на раннем этапе (70–80-е годы XX в.), как правило, не давало прямого экономического эффекта: затраты на информационную инфраструктуру не окупались. Однако появлялись новые возможности, особенно в области сбора, хранения и обработки геологической информации, что стимулировало разработку алгоритмов и программ [1]. Современный этап начался в конце 80-х – начале 90-х XX в. и связан с резким удешевлением компо-

нентов информационной инфраструктуры (IBM-совместимые персональные компьютеры). За прошедшие 35 лет практически исчезли из массового сегмента разнообразные RISC-процессоры и архитектуры, несовместимые с Intel. Развитие открытого программного обеспечения обеспечило доступность алгоритмов обработки и интерпретации, а относительная низкая эффективность их реализации компенсировалась вычислительной мощностью. Рост возможностей и конкуренция технологий ИИ (OpenAI, DeepSeek и др.) за последнее время также создают уникальные возможности для развития цифровых технологий в прикладных областях.

Использование цифровых технологий в геологии и недропользовании можно условно разделить на следующие три направления.

1. *Традиционное (условно-пассивное)*, связанное со сбором и хранением геологической информации. В его рамках развиваются автоматизация сбора, повышение эффективности хранения и доступа, стандартизация и технологии обмена данными. Именно это направление создает основу (в т. ч. пресловутые «датасеты») для дальнейшего использования и развития. Резкое удешевление твердотельных накопителей существенно расширило возможности по хранению данных.

2. *Традиционное (условно-активное)*, связанное с промышленными аналитическими решениями по обработке геологической, геофизической и геохимической информации. В рамках этого направления решаются задачи информационной поддержки разработки месторождений и переработки сырья. Многие реализуемые алгоритмы являются вычислительно-емкими. К сожалению, иллюзия бесконечного роста вычислительной мощности (эмпирический «закон Мура», действовавший более 50 лет) отодвинула на второй план поиск более эффективных алгоритмов обработки.

3. *Инновационные решения*, направленные как на решение новых задач, так и на повышение эффективности традиционных методов обработки. Эти решения активно развиваются во всех областях геологии, однако есть области, вызывающие больший интерес. Всеобщий бум машинного обучения ведет к пере-

оценке качества получаемых решений, спорным подходам к формированию датасетов для обучения и часто к игнорированию физических основ методов и измерений.

Рост использования цифровых технологий наблюдается практически во всех секторах – это государственное управление и геологическое изучение недр за счет бюджета, разведка и разработка месторождений (преимущественно частный сектор), наука и образование. Существенно разные направления развития цифровых технологий характерны для государственного и частного секторов.

Государственный сектор главным образом заинтересован в совершенствовании управления фондом недр в соответствии со стратегическими задачами отрасли. За последние годы осуществлен переход к цифровому лицензированию права пользования недрами, идет реформирование отчетности недропользователей, экспертизы и разрешительной деятельности. Генеральное направление – это обеспечение прозрачности деятельности недропользователей для государства, развитие потенциалов мониторинга и управления. Отметим также, что активно продолжается модернизация доступа к накопленной геологической информации и совершенствование ее сбора и хранения.

Общий интерес государства и частного сектора связан с исчерпанием поискового задела (т. е. возможностей открытия новых месторождений полезных ископаемых), что стимулирует интерес к прогнозно-поисковым исследованиям, в том числе с помощью инновационных методов. На практике частный сектор видит в цифровых технологиях средство снижения издержек (и себестоимости), особенно связанных с ресурсо- и энергоемкими технологиями добычи и переработки сырья. Возможности глобальной оптимизации процессов недропользования связывают с технологиями «цифровых двойников» – от цифрового ядра до цифрового месторождения.

Для частного сектора российского недропользования характерно отсутствие коллаборации между компаниями для совместного развития новых технологий. Сотрудничество в этой сфере с вузами и научными организациями также зачастую оказывается номинальным и малоэффективным. Таким образом, единственным способом получения новых цифровых технологий являются их закупка или разработка собственными силами, что доступно только крупным компаниям.

Для вузов, ведущих собственную разработку цифровых технологий, определяющим фактором являются наличие связей с заказчиком – крупной компанией или параллельное создание компаний-разработчиков, пользующихся ресурсами вузов, но действующих на рынке независимо, в качестве сервисных компаний.

В качестве научных организаций в настоящее время можно рассматривать только учреждения Российской академии наук. Отраслевые организации либо остались под контролем государства и выполняют задания, связанные с управлением недрами и геологическим изучением недр за счет государства, либо перешли под контроль крупных недропользователей, либо прекратили свое существование. Организации, созданные вузами, полностью зависят от вуза и сотрудничества с определенной компанией-недропользователем.

Независимых разработчиков новых информационных технологий следует относить к категории сервисных компаний. Для них также крайне важно сотрудничество с крупными игроками – государством или частной компанией.

Далее перечислим основные направления цифровых инноваций в геологии и недропользовании:

1. Прогнозно-поисковые исследования на основе машинного обучения. В эту область вкладываются очень большие усилия ресурсы (как человеческие, так и финансовые), однако результаты пока скромные или непубличные. Нет сведений о крупных открытиях в России, сделанных с помощью искусственного интеллекта. В то же время есть публикации о крупных успехах в мировой практике.

2. Оптимизация производственных процессов при разведке и добыче, особенно для дорогостоящего оборудования. Показаны высокая эффективность и реальная экономия.

3. Применение машинного зрения. При высокой эффективности в других отраслях геология и недропользование еще ждут развития и применения новых технологий на этой основе.

4. Создание эффективных баз и банков данных [2]. Направление несколько отошло на второй план, хотя именно надежные данные являются основой успеха для любых цифровых технологий. Имеются отдельные успехи у частных компаний, в то время как организация современных высокоэффективных государственных архивов (фондов) еще находится на стадии проектирования.

5. Разработка информационных систем и сервисов для недропользователей. В значительной мере инициатива принадлежит государству, хотя есть отдельные попытки создания независимых сервисов для рынка.

6. Решение типовых задач обработки и интерпретации геолого-геофизической информации. Идет развитие традиционных аналитических подходов, применение машинного обучения пока не дает прорывных результатов.

7. Разработка и использование языковых моделей. Это потенциально высоко эффективное направление, потому что значительная часть геологической информации представлена текстами. Есть только одиночные попытки реализации небольших моделей, в то время как геологические службы зарубежных стран давно развивают это направление [3].

Именно геология и недропользование являются той сферой научно-технической деятельности, где могут быть получены прорывные результаты. Многие технологии, отработанные в других отраслях, ждут своего применения. Большой резерв сосредоточен в организации эффективного сотрудничества и взаимодействия организаций разных секторов. Высокая рыночная востребованность таких результатов гарантирована отсутствием альтернативных источников минеральных ресурсов и невозможностью полной замены ископаемого топлива альтернативной энергетикой в ближайшее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов В.П., Морозов А.Ф., Ткаченко В.В. и др. Компьютеризация в геологии и недропользовании. М.: ВНИИгеосистем, 2011.

2. Аракчеев Д.Б., Чесалов Л.Е., Юон Е.М. Единый фонд геологической информации о недрах: перспективы создания // Разведка и охрана недр. 2016. № 9. С. 70–74.

3. Lawley Ch.J.M, Gadd M.G., Parsa M., Lederer G.W., Graham G.E., Ford A. Applications of Natural Language Processing to Geoscience Text Data and Prospectivity // Modeling, Natural Resources Research. 2023. Vol. 32, No. 4.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN GEOLOGY: STATUS AND PROSPECTS

L. E. Chesalov

FSBI "Hydrospetzgeologiya", Moscow, 123060, Russia

chesalov@specgeo.ru

Abstract

The experience of the development of digital technologies in geology and extractive industries, including governmental and private structures, industrial, scientific and educational facilities, is considered. The results of the using of digital technologies for a wide range of studies of geological exploration and production, the advantages and disadvantages are considered. The approaches that can provide a qualitative increase in knowledge and information in the field of geology are proposed.

Keywords: *digital technologies, geology, extractive industry, information systems.*

REFERENCES

1. Orlov V.P., Morozov A.F., Tkachenko V.V. et al. Komp'juterizacija v geologii i nedropol'zovanii. M.: VNIIGeosistem, 2011.
2. Arakcheev D.B., Chesalov L.E., Juon E.M. Edinyj fond geologicheskoy informacii o nedrah: perspektivy sozdaniya // Razvedka i ohrana neдр. 2016. № 9. S. 70–74.
3. Christopher J.M. Lawley, Michael G. Gadd, Mohammad Parsa, Graham W. Lederer, Garth E. Graham, Arianne Ford. Applications of Natural Language Processing to Geoscience Text Data and Prospectivity // Modeling, Natural Resources Research. 2023. Vol. 32, No. 4.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ЧЕСАЛОВ Леонид Евгеньевич – доктор технических наук по специальности «геоинформатика», профессор, начальник управления информационных технологий и защиты информации ФГБУ «Гидроспецгеология» Федерального агентства по недропользованию.

Leonid Evgen'evich CHESALOV – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Information Technologies and Information Protection of the Federal State Budgetary Institution "Hydro-Specgeology" of the Federal Agency for Subsoil Use.

email: chesalov@specgeo.ru

Материал поступил в редакцию 25 октября 2025 года