Русскоязычный перевод статьи DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4 *

Цифровая экономика как фактор технологического развития минерально-сырьевого сектора

В.С. ЛИТВИНЕНКО
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия
✉ *rectorat@spmi.ru*

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Litvinenko, V.S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector. *Nat Resour Res* 29, 1521–1541 (2020). https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4

Аннотация: В статье описывается влияние глобальной цифровой экономики на технологическое развитие минерально-сырьевого сектора в мире. В связи с различной спецификой законодательных баз исследуемых регионов, таких как США, Китай, ЕС и Африка, развитие цифровой трансформации представлено на примере Российской Федерации в контексте мировых тенденций. В статье представлен анализ возможностей использования прямых цифровых технологий при поиске, проектировании, разработке и использовании минеральных ресурсов. Описана структура, способствующая развитию прикладных цифровых технологий через научно-образовательные центры и международные центры компетенций. Такая структура позволит сформировать новые компетенции для персонала, работающего в цифровой экономике. Недостаточное финансирование информационно-вычислительной инфраструктуры может стать серьезным вызовом для цифровой трансформации экономики. Создание условий для надежного и безопасного процесса генерации, хранения и использования данных – основа защиты от угроз кибербезопасности, которые могут стать тормозом для развития технологий. В данной статье рассматриваются организационные и технологические приоритеты развития минерально-сырьевого комплекса на примере Российской Федерации. Вызовы для минерально-сырьевого комплекса, обусловленные глобальными изменениями, могут быть приняты через технологические преобразования отрасли. В статье подробно рассмотрены вопросы, связанные с технологическими разработками в сырьевом секторе, нефтеперерабатывающей промышленности, созданием комплексных и перспективных систем переработки минерального сырья, использованием бытовых и промышленных отходов. В исследовании представлены базовые технологии, способствующие устойчивому развитию, начиная с прогнозирования разведки и добычи и заканчивая устойчивым планированием и распределением материальных и энергетических ресурсов на основе данных, получаемых в режиме реального времени. Особое внимание уделяется возможностям создания цифровых платформ для минерально-сырьевого сектора. Цифровая интеграция, объединяющая направления исследований, кадры, процессы, пользователей и данные, создаст условия для научно-технических достижений и прорывов, обеспечивая научное и экономическое развитие смежных отраслей и, прежде всего, мирового минерально-сырьевого рынка.

Ключевые слова: цифровые технологии, учебные центры, минерально-сырьевой сектор, цифровая трансформация, устойчивое развитие, цифровая платформа.

Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector

Vladimir S. LITVINENKO
Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia
✉ *rectorat@spmi.ru*

Abstract: This article describes the impact of the global digital economy on the technological development of the mineral sector in the world. Due to the different specifics of the legislative bases of the investigated regions, such as the USA, China, EU, and Africa, the development of digital transformation is presented on the example of the Russian Federation in the context of world trends. The article presents an analysis of the possibilities of using straightthrough digital technology in prospecting, design, development, and use of mineral resources. It describes a structure promoting the development of applied digital technology through research–education centers and international competence centers. This structure would allow forming the new competencies for personnel working in the digital economy. The underfunding of the information and computing infrastructure could be a significant challenge to the digital transformation of the economy. Creating the conditions for a reliable and secure process of generating, storing, and using data is the basis for protection from the cybersecurity hazard that could act as a brake on technology advancement. This article discusses the organizational and technological priorities of the development of the mineral resource sector on the example of the Russian Federation. The challenges for the mineral resource complex resulting from global changes can be taken on through technological changes of the industry. The article gives a thorough description of issues related to technological developments in the raw materials sector, oil refining industry, development of integrated and advanced mineral processing systems, and the use of household

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2019 The authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2024.

DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4

and industrial wastes. The research presents basic technology contributing to sustainable development, starting from exploration and production forecasting and up to sustainable planning and distribution of material and energy resources based on real-time data. It also pays special attention to the possibilities of creating digital platforms for the mineral sector. Digital integration, combining research areas, personnel, processes, users, and data will create conditions for scientific and technological achievements and breakthroughs, providing scientific and economic developments in related industries and, above all, in the global mineral and raw materials market.

Keywords: Digital technologies, Training centers, Minerals sector, Digital transformation, Sustainable development, Digital platform.

Введение

Минеральная промышленность включает в себя широкий спектр предприятий – от кустарных, низкотехнологичных, неформальных производств до крупных транснациональных предприятий, использующих самые современные технологии добычи и переработки полезных ископаемых. Полезные ископаемые, включая топливо минерального происхождения, являются важнейшими ресурсами для развития общества (Свердруп и др. 2013). Минеральная промышленность состоит из нескольких основных сегментов:

- добыча, переработка и металлургия железа и ферросплавов;
- добыча, переработка и металлургия цветных металлов;
- добыча, переработка и металлургия драгоценных металлов;
- добыча и переработка промышленных минералов;
- добыча и переработка строительных минералов;
- добыча и переработка драгоценных минералов; и
- добыча и переработка минерального топлива.

Горнодобывающая промышленность включает в себя множество различных узкоспециализированных видов деятельности, таких как: геологоразведка; горное проектирование; экологическая и социальная оценка и управление; добыча, транспортировка, переработка полезных ископаемых; металлургия и рафинирование металлов, финансы, юридическое управление, маркетинг. Минерально-сырьевой сектор экономики представляет собой совокупность отраслей, занимающихся добычей и первичной переработкой полезных ископаемых, разведанные запасы которых создают минерально-сырьевую базу. Ограничения, накладываемые на минерально-сырьевой сектор, оказывают существенное влияние на общие проблемы, стоящие перед мировым сообществом. Требования потребителей к количеству, качеству и скорости поставок минералов, металлов и энергии создают необходимость, а значит, и возможности для обновления и повышения эффективности отрасли.

По данным БП Глобал (Статистический обзор мировой энергетики за 2019 год), около 85 % энергии в мире получают из ископаемого топлива. В обозримом будущем минерально-сырьевой сектор различных регионов и стран должен решать вопросы обеспечения безопасности поставок энергии, минералов и металлов и стать гарантом «устойчивого развития», которое является основой для удовлетворения потребностей будущих поколений (Кальво и др. 2016; ICMM 2016). Ряд исследований ставит под сомнение долговечность мировых запасов ископаемого топлива и/или минералов и предполагает, что когда-нибудь добыча достигнет максимального уровня и начнет сокращаться, если индустриальный мир не разработает новые технологические решения (Хёёк и др. 2012). Развитие технологий в минерально-сырьевом секторе, поддержка высокотехнологичных компаний, создание благоприятной среды для стартап-проектов, быстрое внедрение и коммерциализация новых разработок являются необходимыми факторами для создания конкурентоспособной экономики любой страны. Однако стоимость реализации горнодобывающих проектов достигает нескольких миллиардов долларов. При этом капитальные вложения (CAPEX, от англ. capital expenditure), необходимые для запуска новых отложений в горнодобывающей промышленности, могут достигать миллиардов долларов США. В среднем CAPEX горнодобывающих проектов, подтвержденных государственными технико-экономическими обоснованиями, составляет около 500 млн долларов США. Однако для проектов, способных оказать значительное влияние на производство основных сырьевых товаров, таких как Al, Cu, Fe, Ni и Zn, объем капитальных вложений зачастую составляет миллиарды долларов США, особенно если проект включает строительство одного или нескольких плавильных и рафинировочных заводов и/или отложение транспортной инфраструктуры, такой как железные дороги и/или глубоководные гавани.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

В среднем срок окупаемости проектов составляет 3-12 лет, для районов с отсутствием инфраструктуры и удаленностью от крупных центров этот срок достигает 15-35 лет, а при освоении Арктики с дешевыми углеводородами он может доходить до 50 лет. При этом горно-геологические риски существенны, а рынки спроса циклически меняются (Токсикол 2008). В то же время, учитывая высокую капиталоемкость горнодобывающих проектов и необходимость контроля операционных затрат и дальнейшего повышения общей эффективности горнодобывающей промышленности, существуют широкие возможности для дальнейшей автоматизации производственных процессов, особенно в отдаленных районах/сложных условиях, таких как Крайний Север; районы, не имеющие выхода к морю, или районы с дефицитом энергетических и водных ресурсов, а также при разработке морских месторождений (Бенндорф и Янсен 2017). Поэтому только очень мощные компании могут взять на себя технические и финансовые риски при реализации таких проектов, и они даже стараются сотрудничать, чтобы снизить риски при реализации отложений. Учитывая это, процесс принятия решений по развитию минерально-сырьевого комплекса требует больше информации и знаний. Планирование использования природных ресурсов во всех отложениях требует новых последовательных методов оценки влияния добычи и использования ресурсов, и особенно необходимо внедрение сложных технологических решений, которые позволят получить надежные и объективные результаты (Хейнс и др., 2013).

В связи с этим возникает вопрос: чего ожидать минерально-сырьевому комплексу от цифровой экономики? Цифровая экономика – это не просто отдельный сектор, а система экономических и социальных отношений, основанная на использовании цифровых технологий, проникновение которых в ближайшем будущем объединит реальный и виртуальный мир, что в свою очередь качественно преобразит экономику и энергетические рынки (Жуковский и др. 2019а, б). Глобальные социально-экономические тенденции сопровождаются быстрыми технологическими изменениями, которые приводят к резкому росту видов и количества минерального сырья, используемого в сложных технологиях и приложениях (Кристманн 2018). Цифровые преобразования являются одним из основных факторов глобального экономического роста (табл. 1). По данным исследования Глобальный институт МакКинзи, в Китае увеличение ВВП до 22 % к 2025 году может произойти за счет интернет-технологий. Ускорение научно-технического прогресса и исчезновение некоторых видов деятельности из-за проникновения автоматизации, все более поддерживаемой искусственным интеллектом, Интернетом вещей, нанотехнологиями и 3D-печатью, на все этапы производственных процессов – вот факторы возможного роста для предприятий будущего. Исследования показали, что существующий кадровый потенциал горнодобывающей промышленности вряд ли может способствовать цифровой трансформации, а во многом даже препятствует ей (Казанин и др. 2014; Тао и др. 2018). Кроме того, необходимо развивать новые навыки на международном уровне, чтобы обеспечить устойчивое управление для всех стран (Глобальное исследование ИТ-директоров 2017-2018). В США ожидаемый рост стоимости, создаваемой цифровыми технологиями, не менее впечатляющий – к 2025 году он может достичь 1,6-2,2 триллиона долларов. Потенциальный экономический эффект от цифровизации российской экономики увеличит ВВП страны на 4,1-8,9 триллиона рублей (в рублях 2015 года), что составляет 19-34 % от общего ожидаемого роста ВВП (Медведев 2018; МакКинзи и компания 2019).

Таблица 1

Вклад цифровой экономики в ВВП России и ее составляющие в сравнении с другими странами (% от ВВП)

	США	Китай	5 стран Западной Европы*	Индия	Бразилия	Россия
Расходы домохозяйств на цифровое пространство	5,3	4,8	3,7	3,2	2,7	2,6
Компании, инвестирующие в цифровизацию	5	1,8	3,9	2,7	3,6	2,2
Государственные расходы на цифровизацию	1,3	0,4	1	0,6	0,8	0,5
Экспорт ИКТ **	1,4	5,8	2,5	5,9	0,1	0,5
Импорт ИКТ	2,1	2,7	2,9	6,1	1	1,8
Размер цифровой экономики	10,9	10	8,2	6,3	6,2	3,9

* Великобритания, Германия, Италия, Франция, Швеция

** Информационно-коммуникационные технологии

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

В секторе минеральных ресурсов технологии определяют будущее мирового сырьевого рынка, являясь при этом одной из самых сложных для прогнозирования сфер. Достоверная оценка рисков, связанных с поставками, необходима для обеспечения собственных интересов каждой страны в области экономики и национальной безопасности. Провести оценку рисков предложения практически невозможно без информации о производстве и потреблении минерального сырья в каждой стране. Поскольку спрос и предложение на минеральные ресурсы – величины динамичные, их анализ также должен быть динамичным (Фортье и др. 2018). Наступление четвертой промышленной революции приводит к весьма значительной неопределенности в отношении успешности различных технологических направлений (Жуковский и др. 2019a, b). Этот вопрос актуален, поскольку многие важные вызовы, стоящие перед обществом, связаны с наличием, развитием и использованием природных ресурсов. Оценка доступности источников энергии и полезных ископаемых и высокий уровень технологической составляющей помогут принимать обоснованные решения в отношении этих ресурсов (Фортье и др. 2018). Информация о полезных ископаемых, такая как зависимость от импорта, концентрация производства в стране, рост мирового производства, волатильность цен и глобальное (мировое) управление, – все это важные данные для оценки рисков, связанных с поставками базовых, критически важных и стратегических минералов и материалов. Для получения более полной картины рисков необходима более подробная информация о минеральном сырье, например, по отдельным редкоземельным элементам, торговым потокам различных минералов и более широкой части цепочки поставок минеральной продукции (концентраты, металлы, оксиды и т. д.).

Основные прямые цифровые технологии

Программа «Индустрия 4.0» использует возможности так называемого «Интернета вещей» (IoT) и киберфизических систем (КФС) в промышленности и производственных процессах, что связано с ускорением развития цифровых технологий и постепенным исчерпанием потенциала роста и эффективности традиционных промышленных, экономических и социальных систем (Берман 2012; Тобен и др. 2017). Развитие и проникновение цифровых технологий во все инженерные и социальные слои приводит к глобальным изменениям, которые неизбежно затронут минерально-сырьевой сектор и технологическую сферу, вызывая необычайный рост одних технологий (например, блокчейн, технологии DPS и BIM, интеллектуальные датчики, цифровые двойники), необходимость системной интеграции, бесшовность этой интеграции, а также системную массу и угасающий интерес к сторонним технологиям (например, Scada-системам, ERP и MES-системам).

В последнее время горнодобывающая отрасль перешла к цифровизации цепочки поставок и внедрению технологии блокчейн (Технологические тренды Делойт 2019). При этом изобилие природных ресурсов и снижение стоимости рабочей силы перестают быть основными факторами роста, драйверами развития станут социальные и технологические инновации, цифровая трансформация на основе сквозных технологий (Катунцов и др., 2017). Это справедливо и для горнодобывающих предприятий, их эффективность во многом зависит от влияния трудно предсказуемых политических, регуляторных, экономических, экологических, социальных, управленческих, технических и геологических факторов. К основным «прорывным» цифровым технологиям относятся следующие: «большие данные», нейротехнологии, искусственный интеллект, системы распределенных книг (блокчейн), квантовые технологии, нанотехнологии, порошковая металлургия и 3D-печать, промышленный интернет вещей, робототехника и сенсорные технологии, «облачные технологии», технологии виртуальной и дополненной реальности, цифровое моделирование (Бахга и Мадисетти 2016; Маховиков и др. 2019).

Программа «Индустрия 4.0» предусматривает сквозную цифровизацию всех физических активов и их интеграцию в цифровую экосистему вместе с партнерами, участвующими в цепочке создания добавленной стоимости. Киберфизическая интеграция является важной предпосылкой для создания «умного» производства. Цифровые технологии позволяют внедрить сетевое взаимодействие между машинами, оборудованием, зданиями и информационными системами (Жуковский и Малов, 2018). Вещи» отслеживают и анализируют окружающую среду, производственный процесс и свое состояние в режиме реального времени. Кроме того, передача функций управления и принятия решений интеллектуальным системам и алгоритмам приводит к смене парадигмы технологического

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

развития предприятий. Киберфизические системы (КФС) и цифровые двойники (ЦД) являются предпочтительными средствами такой интеграции. КФС – это многомерные и сложные системы, объединяющие кибернетический и динамичный физический мир. ЦД – это программный аналог физического устройства или процесса, который моделирует поведение физического объекта под воздействием помех и возмущений, а также окружающей среды и человеческого фактора. Киберфизическая интеграция и взаимодействие в реальном времени достигаются для того, чтобы контролировать и управлять физическими объектами надежным, безопасным, совместным, достоверным и эффективным способом. DT создает высококачественные виртуальные модели физических объектов в виртуальном пространстве для имитации их поведения в реальном мире и обеспечения обратной связи. Будучи предпочтительными средствами киберфизической интеграции, КФС и ЦД прокладывают путь к интеллектуальному производству, которое кардинально изменит существующие производственные системы и бизнес-модели.

Основные условия развития цифровых технологий

Эффективность развития товарных рынков в условиях цифровой экономики возможна только при наличии передовых технологий. Эффективным является создание модели технологического развития, основанной на принципах и методах когниции (лат. Cognito-понимание, знание, осознание). Парадигма IoT чрезвычайно восприимчива и адаптивна к новым принципам и архитектурам, связанным с различными областями науки и техники (Лю и др.2017). Минерально-металлургическая отрасль мировой экономики является высокотехнологичной и наукоемкой, поэтому основные направления внедрения цифровых технологий должны быть сосредоточены прежде всего на двух базовых условиях.

Во-первых, организация научно-образовательных центров (НОЦ) требует развития прикладной цифровой экономики (то есть организационного и политического управления, кадров, системы оценки профессиональных знаний, новых профессиональных стандартов, образовательных систем с улучшенным научным обеспечением подготовки кадров) и соблюдения следующих условий:

- совершенствование техники, технологий и технологических процессов за счет внедрения известных и новых научных знаний (эволюционный и революционный научно-технический прогресс);
- неограниченный доступ к информации (получение, передача и обмен данными);
- обновление перечня востребованных профессий в связи с интеллектуализацией, цифровизацией и автоматизацией трудовых процессов; и
- переобучение и подготовка новых специалистов.

Во-вторых, развитие основных элементов инфраструктуры отраслевых цифровых технологий – информационно-вычислительной инфраструктуры, информационной безопасности. НОЦ в процессе развития цифровых технологий (рис. 1) является базовым блоком сетевого взаимодействия, а несколько НОЦ образуют узел. Объединение узлов создает отраслевой когнитивный кластер НОЦ. Когнитивность означает, что комбинация обладает следующими общими свойствами:

- способность к самоанализу и реконфигурации на основе существующей среды, спроса, текущих целей, вытекающих из поставленных задач;
- способность адаптировать свое состояние в соответствии с существующими условиями или событиями, основываясь на определенных критериях и знаниях о предыдущих состояниях и накопленном опыте;
- способность динамически изменять свою топологию и/или параметры в соответствии с требованиями технологических и социальных вызовов;
- самоконфигурация с распределенным управлением на основе правил и установленного режима управления; и
- возможность самоопределения своего текущего состояния и использования этой информации для планирования своей работы, включая принятие определенных решений в качестве обратной связи с текущей ситуацией и спросом.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4

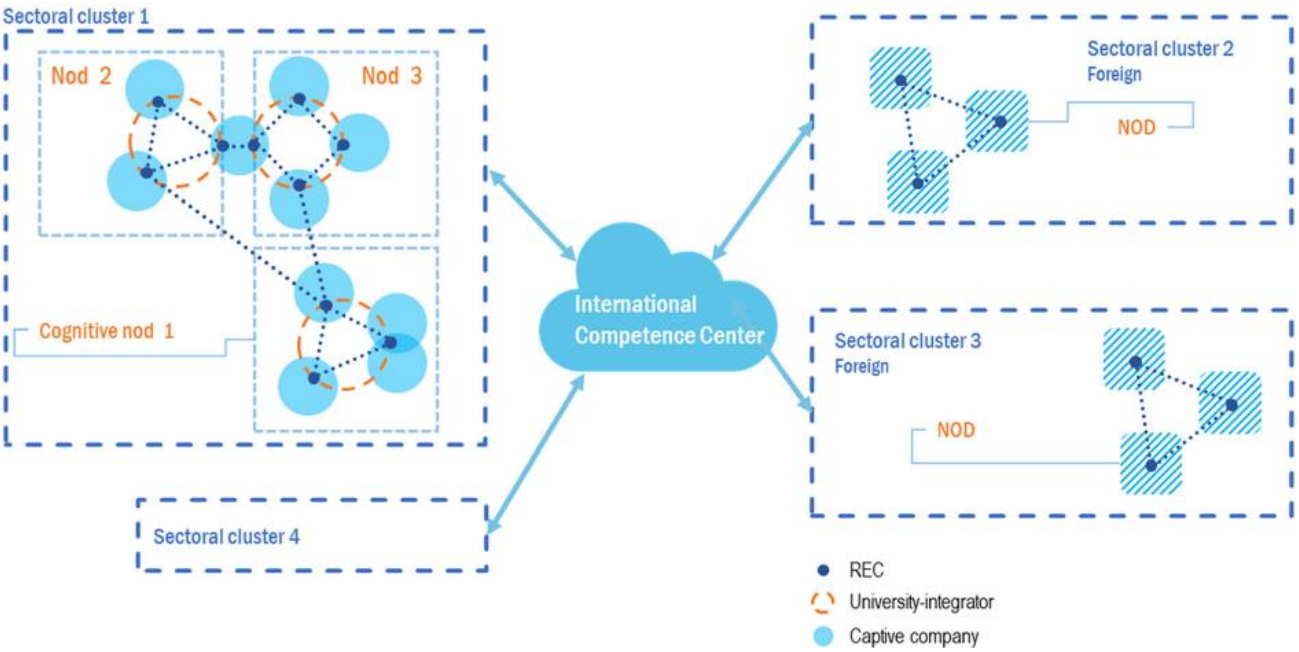


Рис. 1. Когнитивная блок-схема развития цифровых технологий в минерально-сырьевом секторе в мире

Международные центры компетенций связывают региональные когнитивные узлы или кластеры международных узлов, а также играют интегрирующую роль в распространении знаний и технологий за пределы региона и страны. Предлагаемая структура позволяет развивать исследовательские компетенции и технологическую базу для эффективного внедрения цифровых технологий во всей технологической цепочке всех горных работ (поиск, разведка, добыча, транспортировка, переработка, получение продукта прямого потребления).

Создание научно-образовательных центров

Глобальные изменения в управлении остаются самой слабой стороной внедрения цифровизации на российских и зарубежных предприятиях. Цифровая эпоха развивается столь стремительно, что бросает вызов организациям как частного, так и государственного сектора, поскольку требует нового мышления. Следовательно, этот процесс значительно меняет функции отделов кадров (ОК) в этих организациях и их роль в поиске новых подходов к управлению людьми.

Результатом цифровой трансформации экономики являются ключевые изменения, входящие в рамки концепции «Индустрия 4.0» и «Промышленный интернет вещей» (IIoT), которые определяют мировой тренд научно-технического прогресса: скорость, гибкость, качество и эффективность. Основой этой трансформации являются человеческие компетенции и навыки. В ближайшие десятилетия цифровизация приведет к значительной замене человеческого труда машинами и высвобождению существенной доли рабочей силы, что создаст определенные трудности для компаний и государства (Касио 2019). Даже в крупнейших международных компаниях, активно внедряющих цифровые технологии, существуют проблемы с высококвалифицированными сотрудниками.

Согласно отчету Логикалисс «Глобальный опрос ИТ-директоров компании 2017-2018», руководители считают, что препятствиями на пути цифровой трансформации являются устаревшая инфраструктура (44 % респондентов), неготовность сотрудников к принятию новой организационной культуры (56 %) и стоимость развертывания цифровых процессов (50 %). Среди других проблем – отсутствие должных технических навыков (34 %), проблемы с безопасностью (32 %) и отсутствие интереса к трансформации (11 %). Кроме того, поиск квалифицированного персонала сегодня стал настоящей проблемой из-за отсутствия знаний и навыков в соответствующем

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

объеме по автоматизации и цифровизации бизнеса в минерально-сырьевом секторе. Поэтому в российских условиях большинство проектов по внедрению ИТ-систем сегодня направлены на автоматизацию, а не на трансформацию бизнеса. Эти системы хранят огромное количество данных о том, что происходит на производстве, но уровень их аналитики остается слабым. Необходимо использовать возможности, которые дают нам технологии, чтобы получить, возможно, принципиально иные бизнес-модели, изменить характеристики работы самих организаций и бизнес-процедур. Такая трансформация включает в себя изменения в мышлении, стиле руководства, системе поощрения инноваций, а также в принятии новых бизнес-моделей для улучшения работы сотрудников организации, ее клиентов, поставщиков и партнеров. Более сложным этапом в трансформации компании является перестройка всех процессов организации, развитие компетенций персонала и формирование доверия к новым цифровым технологиям.

По данным исследования, из тысячи опрошенных 31 % сообщили, что через 6 месяцев ушли на новую работу из-за неготовности к переменам. Опрос проводился среди сотрудников горнодобывающих компаний России, прошедших курсы дополнительного образования в Санкт-Петербургском горном университете. Общее количество респондентов составило тысячу человек из 19 компаний, которые занимаются добычей и переработкой угля, руды и строительных материалов. К 2020 году до трети (около 50 миллионов человек) рабочих мест в США могут быть изменены (Меняющаяся роль управления людьми в цифровую эпоху 2016). Вопрос мотивации и обучения персонала имеет первостепенное значение. Необходимо совершенствовать систему образования, которая обеспечит цифровую экономику компетентными кадрами (Ричардсон и Бисселл 2019). В России исчезнет не менее 57 профессий, но будет создано 187 новых (Атлас новых рабочих мест 2019).

Термин «половинная дезинтеграция компетенций» используется для оценки скорости устаревания знаний специалиста, под которой понимается промежуток времени после окончания вуза, когда в связи с появлением новой научно-технической информации компетенции выпускника снижаются на 50 %. Сегодня полуустаревание знаний в области науки составляет около 5 лет. Необходимо повышать компетенции специалистов в области цифровых технологий в рамках существующих отечественных и международных программ обучения (Всемирный банк 2018).

Подготовку новых кадров, готовых работать в цифровых минерально-сырьевых технологиях, нужно было начинать уже «вчера», поскольку научно-технический процесс в минерально-сырьевом секторе набирает колоссальные обороты, полудезинтеграция компетенций в этой отрасли практически догонит развитие IT-сектора к 2030 году и составит 2-3 года. При этом цифровизация должна происходить синхронно с модернизацией лабораторной базы и знаний преподавательского состава в университетах.

В настоящее время научное и промышленное сообщество не только в Европе, но и во всем мире активно обсуждает, какими навыками должны обладать инженеры и бакалавры в рамках современного тренда четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» и всепроникающего интернета (Грубер 2019). Очевидно, что главный навык человека должен включать в себя наиболее востребованные характеристики будущего, а именно гибкость, поскольку скорость изменений очень велика. Поэтому это свойство выделено как основное, ведь очень важно быстро реагировать, перестраивать себя, свои компетенции, осваивать новые профессии, постоянно находиться в обучении. Будущий профессионал – это человек, который может быстро адаптировать себя, свои знания и компетенции к быстро меняющемуся технологическому миру сетевого мультикультурного взаимодействия. Подготовка высококвалифицированных кадров на основе современных технологий и подходов к обучению позволит будущим профессионалам отрасли быстро ориентироваться в быстром, массивном и фрагментированном информационном потоке. Быть гибким, адаптируемым к разнообразным условиям работы и открытым к технологическим изменениям – значит быть востребованным на рынке будущих профессий.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4

Во всем мире горнодобывающая промышленность сталкивается с многоаспектными, часто взаимосвязанными проблемами, в которых порой очень сложно сочетаются технические, экономические, экологические, управленческие и социальные факторы. Качественная подготовка будущих менеджеров горнодобывающей и металлургической промышленности должна учитывать все эти факторы. Одной из главных проблем создания качественной подготовки в горной промышленности является адаптация знаний к быстро меняющимся технологиям. В ближайшие 20 лет наиболее востребованными технологическими направлениями в горнодобывающей промышленности будут следующие: аддитивное производство и порошковая металлургия; искусственный интеллект и большой анализ, технологии блокчейн, коллективный разум, кибербезопасность данных; промышленная экология, материаловедение; управление и автоматизация процессов, моделирование и «цифровые двойники»; «подключенный» транспорт; накопители энергии; программные комплексы и системы; связь и периферия; автоматизация.

При реализации образовательных и исследовательских программ, а также повышении квалификации специалистов необходимо повышать качество образования. На рисунке 1 представлена сеть, необходимая для создания инновационной системы обучения с использованием адаптивных учебных программ, основанных на наиболее актуальных междисциплинарных вопросах. Особое внимание следует уделить компетенциям, связанным с прямоточными технологиями.

Российская задача состоит в том, чтобы к 2024 году число выпускников высших учебных заведений, связанных с информационными и телекоммуникационными технологиями, достигло 120 тысяч человек в год. В 2016-2018 годах было проведено исследование (с помощью нескольких анкет) специалистов среднего звена в области автоматизации, энергетики, механизации и экономики. Исследование проводилось для сотрудников горнодобывающих компаний России, прошедших курсы дополнительного образования в Санкт-Петербургском горном университете. Общее количество респондентов составило 645 человек из 19 компаний, занимающихся добычей и переработкой угля, руды и строительных материалов. Из них количество специалистов в области автоматизации составило 165 человек, в возрасте от 32 до 54 лет. Число энергетиков и электриков составило 170 человек в возрасте от 28 до 52 лет. Из механизации было 160 человек в возрасте от 28 до 54 лет, а из экономической отрасли – 150 человек в возрасте от 33 до 48 лет. Анкета состояла из 30 вопросов; она использовалась на этапе приема на работу для оценки уровня компетентности в целевой технологии по максимальному пятибалльному отложению. На рисунке 2 представлены усредненные данные (за 2 года) по специалистам четырех отраслей.

Исследование показало, что практически по всем направлениям компетенций специалисты не достигли среднего уровня, а по некоторым направлениям специалисты всех секторов не справились. Существует острая необходимость корректировки программ обучения, ускорения развития компетенций и стимулирования этого процесса для обеспечения развития горно-металлургической отрасли. Опрос также доказал необходимость сочетания специалистом навыков нескольких профессий. Если оценивать уровень компетенции специалистов из разных отраслей горной промышленности, то очевидно, что уровень компетенции в 8 из 14 технологий выше среднего. Это говорит о том, что будущий специалист должен обладать разносторонними знаниями и быть гибким в освоении смежных и дополнительных специальностей.

Однако в настоящее время инженеры и экономисты, как показано в исследовании, имеют самые низкие оценки по большинству направлений цифровых технологий. Учитывая, что в будущем Индустрия 4.0 будет все глубже проникать в инженерную, энергетическую и экономическую сферы, специалисты с цифровыми компетенциями для горнодобывающей промышленности будут востребованы в ближайшие 10 лет и далее. Как следствие, следует ожидать спроса на специалистов, обладающих компетенциями в этих областях, поэтому взаимодействие с образовательными партнерами для создания новых образовательных программ жизненно необходимо для минерально-сырьевых компаний.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

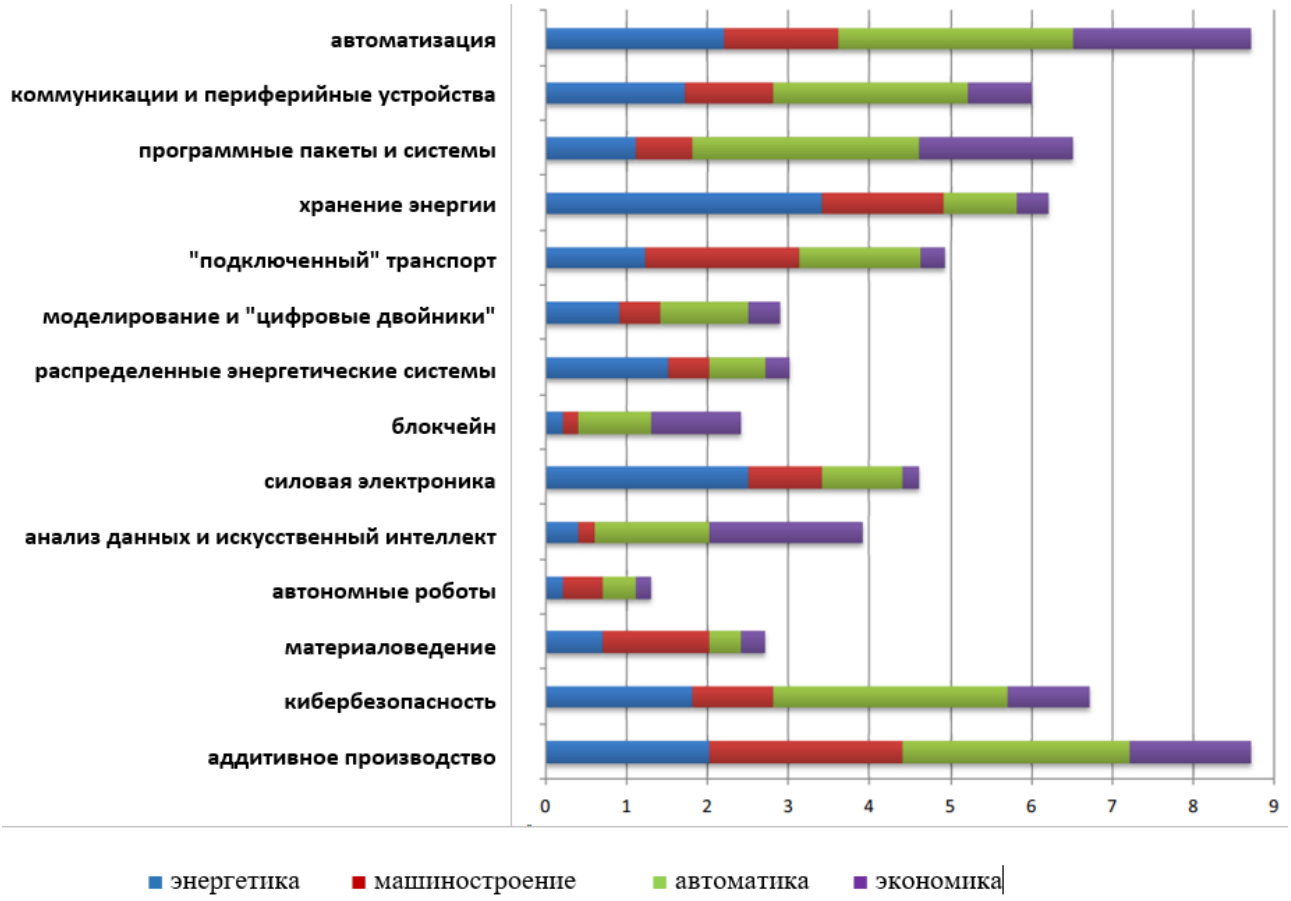


Рис. 2. Уровень «цифровой» компетентности специалистов горнодобывающих компаний

Информационная инфраструктура

Удовлетворение потребностей общества, бизнеса и государства невозможно без развития коммуникационных сетей, систем центров обработки данных, и внедрения цифровых платформ обработки данных.

Современным предприятиям для обеспечения эффективной работы необходима ИТ-инфраструктура, состоящая из интегрированного комплекса систем, программ и сервисов. С цифровыми изменениями появляются технологические инструменты, позволяющие быстро и легко измерять и тестировать решения. ИТ-инфраструктура должна быть полной, высоконадежной, хорошо спроектированной, иметь большой запас прочности и соответствовать не только текущему состоянию бизнеса, но и учитывать будущие тенденции развития (СЭИ 2018).

Вопрос развития инфраструктуры является одной из основополагающих задач Департамента устойчивого развития ООН. В нем говорится, что к 2030 году необходимо расширить международное сотрудничество, чтобы облегчить доступ к исследованиям и технологиям в области чистой энергетики, включая возобновляемые источники энергии, энергоэффективность и передовые и более чистые технологии использования ископаемого топлива, а также стимулировать инвестиции в энергетическую инфраструктуру и технологии сектора минеральных ресурсов (Гуденаф и др. 2018).

По данным Глобального инфраструктурного центра, в информационную и телекоммуникационную инфраструктуру необходимо вложить до 307 миллиардов долларов. Сегодняшние инвестиции в пяти выбранных регионах оцениваются всего в 277 миллиардов долларов (Перспективы развития глобальной инфраструктуры 2019). Наибольший инвестиционный разрыв наблюдается в странах Азии – 15 млрд долл. (рис. 3).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

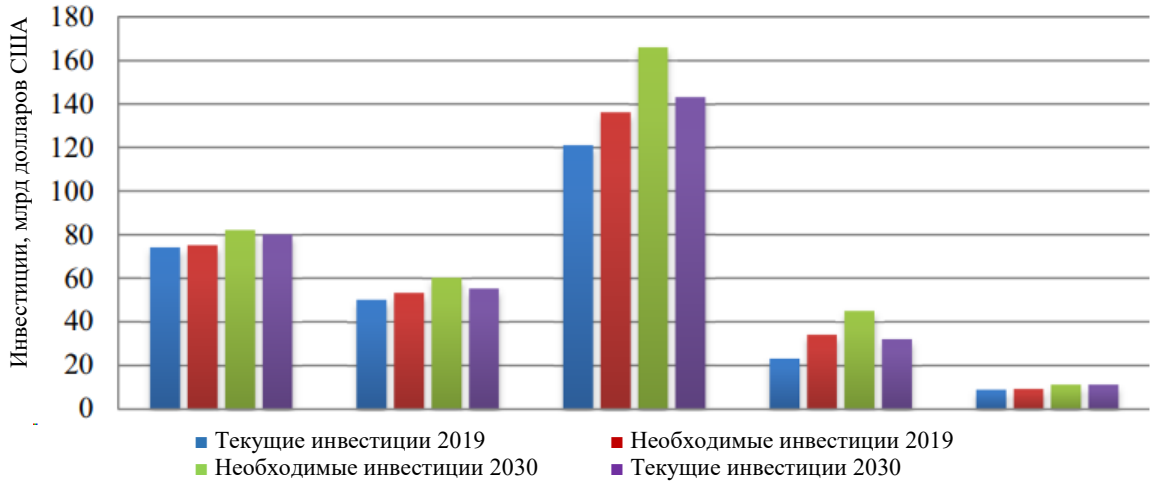


Рис. 3. Инвестиции в информационную инфраструктуру в мире 2019-2030 гг.

Информационная безопасность

По мнению отраслевых специалистов, под информационной безопасностью понимается стабильное состояние защиты информации, ее носителей и инфраструктуры, обеспечивающее целостность и устойчивость процессов, связанных с информацией, к преднамеренным или непреднамеренным естественным и искусственным воздействиям. Воздействия – это угрозы информационной безопасности, которые могут нанести вред субъектам информационных отношений. Информационная безопасность – важный аспект не только для минерально-сырьевого сектора, но и для цифровой революции в целом. Например, такие компании, как Facebook и Google, которые, на первый взгляд, уже достигли цифровой зрелости, подвергаются атакам хакеров. Это вызывает серьезную озабоченность и в горнодобывающей промышленности. По данным «Лаборатории Касперского» за 2019 год, только в США в этом году было взломано 163 миллиона пользовательских записей (по данным Ресурсного центра по краже персональных данных). Среди крупнейших компаний, подвергшихся атакам в 2018 году, – T-Mobile, Google, Orbitz и Facebook (рис. 4).

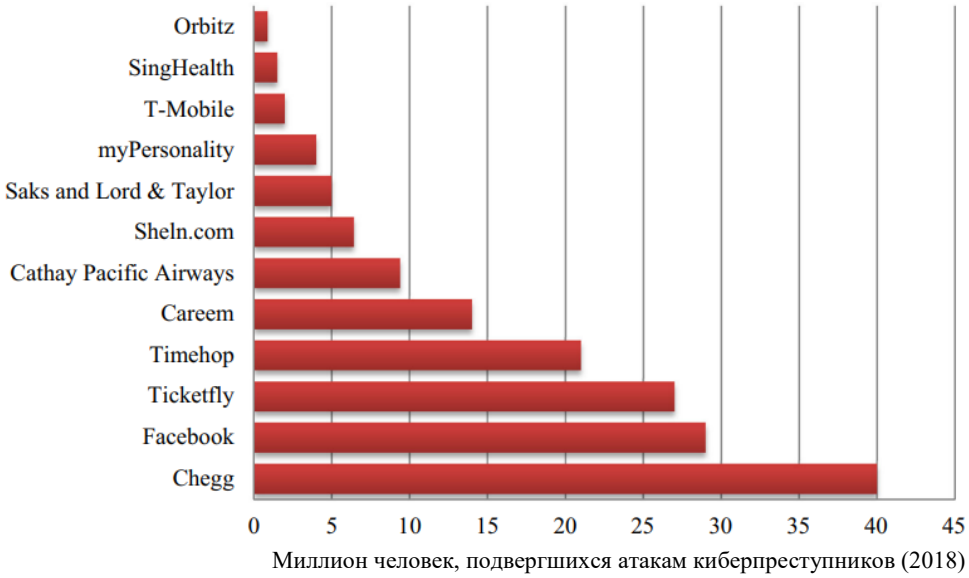


Рис. 4. 12 самых страшных утечек данных в 2018 году

Необходимо увеличить количество граждан, компетентных в области информационной безопасности, медиапотребления и использования интернет-сервисов. Это позволит защитить человека, общество и государство от внутренних и внешних утечек информации и обеспечит реализацию конституционных прав и свобод человека и гражданина, достойное качество и уровень жизни

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

граждан, суверенитет и устойчивое социально-экономическое развитие всех стран. Также необходимо уделять больше внимания изучению информационной безопасности в вузах; занятия должны включать реальные кейсы-уроки, тесты и симуляции, которые помогут сотрудникам и студентам усваивать большие объемы информации и интегрировать полученные знания в повседневную работу, создавая основу для культуры кибербезопасности.

Организационные и технологические приоритеты в минерально-сырьевом секторе россии

Использование цифровых технологий при разработке месторождений полезных ископаемых потребует не только значительных технологических, но и организационных и даже поведенческих изменений. Структуры управления будут медленно обновляться, а роль глубокого анализа в принятии и реализации сложных решений станет более значимой. Основная проблема цифровой трансформации заключается не в определении целесообразности цифровых решений, а в неразвитости цифровой культуры и нехватке специалистов по цифровым технологиям в компаниях. Крайне важно создать условия для подготовки сотрудников нового типа, владеющих новыми технологиями и способных адаптироваться к цифровым реалиям. В рамках российской программы «Цифровая экономика» десятки российских компаний создали центр компетенций. Однако, учитывая специфику горнодобывающих или нефтегазовых предприятий, необходимо использовать отраслевую специфику и познания (рис. 1) для распространения цифровых технологий с целью трансформации отрасли и повышения эффективности всего минерально-сырьевого комплекса.

В условиях глобальной межотраслевой и междисциплинарной интеграции практические цифровые технологии окажут непосредственное влияние на экономическое и технико-технологическое развитие разведки, добычи, переработки, транспортировки и использования минерального сырья. Они определят значительные географические и структурные сдвиги на мировых рынках минерального сырья и продукции, полученной в результате его переработки.

Страны, обладающие уникальным минерально-сырьевым потенциалом, имеют не только уникальный шанс повысить эффективность в этом секторе, но и широкие возможности для повышения производительности труда в отрасли. Ключевыми предпосылками для этого являются принятие и внедрение организационных и законодательных решений параллельно с цифровыми технологиями в следующих областях:

1. Меры по энергосбережению и снижению металлопотребления в масштабах всей экономики страны. Данные о потерях энергоресурсов показывают, что российская экономика ежегодно теряет около 400-420 млн тонн нефтяного эквивалента на пути от добычи до конечного потребителя. Сюда входят потери в жилищном секторе и обрабатывающей промышленности, но наибольшие потери происходят в самой топливно-энергетической отрасли (Абрамович и Сычев, 2016). Тридцать процентов этих потерь связаны с отсутствием современного организационного и законодательного механизма управления этим процессом. Создание в России единой системы управления потреблением энергоресурсов, основанной на информационно-коммуникационной инфраструктуре, может оказать огромный ежегодный эффект на экономику страны (Штайнингер 2019; Вуд и др. 2019).

2. Глубокая интеграция и интеллектуализация систем энергоснабжения. Разделенные в управленческой и законодательной сферах системы электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения с использованием цифровых решений должны образовать «систему систем» (SoS). В рамках решения проблем растущего спроса на электроэнергию и физического износа сетей рождение концепции «умных сетей» было закономерным. Однако для перехода к новому технологическому укладу недостаточно только цифровых изменений. Интеллектуальные технологии и интеграция необходимы для всех компонентов энергетической отрасли, таких как производство, преобразование, транспортировка и, что еще более важно, использование энергии. Это также позволит интегрировать системы электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения. Цифровая сеть позволит контролировать и управлять частями системы с более высоким разрешением во времени и пространстве. Одна из целей интеллектуальной сети – обмен информацией в режиме реального времени, чтобы сделать работу максимально эффективной с точки зрения удельных затрат на производство, передачу и потребление всех видов энергии.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Требования к энергии постоянно меняются, и это неизбежно потребует большей интеграции энергии в техносферу. Жесткие требования предъявляются к эффективности, энергетической безопасности, экологичности, энергосбережению и адаптивности энергетической инфраструктуры. Необходимо эффективно и внимательно следить за ростом использования энергоресурсов на этапах генерации, транспортировки и конечной трансформации (Плевния 2019).

3. Проблемы, связанные с использованием попутного нефтяного газа (ПНГ). Объем газа напрямую зависит от добычи нефти. Темпы использования нефтяного газа значительно отстают от темпов его добычи, что приводит к постоянному росту объемов горючего газа на факельных установках. Использование ПНГ, обладающего уникальными свойствами, можно разделить следующим образом: около 25 % сжигается на факелах и выбрасывается в атмосферу, около 45 % используется в промышленных целях и расходуется на технологические потери, и только около 30 % идет на переработку. Вопросы утилизации нефтяного газа носят сложный, многоотраслевой характер, и поиск оптимального решения займет не один год. Потери очень значительны: по самым оптимистичным оценкам, ежегодно сгорает более 20 млрд куб. м ПНГ. Для России полное использование попутного нефтяного газа означает ежегодную добычу 5-6 млн тонн жидких углеводородов, 3-4 млрд $м^3$ этана, 15-20 млрд $м^3$ сухого газа или 60-70 тыс. ГВт-ч электроэнергии. Необходимо внедрять цифровые технологии, которые позволят создать государственную систему мониторинга, а также установить повышенные экологические штрафы в качестве стимула для недропользователей и более жесткие лицензионные требования (Мессманн и др. 2019).

4. Всесторонность и полнота разработки разведанных запасов. Эти проблемы связаны с отсутствием единых государственных цифровых технологий мониторинга добычи и правильного функционирования добывающего оборудования на каждой скважине и объекте недропользования. Например, средний процент извлечения нефти по стране составляет 28 – 33 %, что почти в два раза ниже показателя, указанного ведущими нефтяными компаниями. Можно со сравнительно высокой степенью уверенности утверждать, что нефтяные запасы России в основном состоят из уже разработанных месторождений. Это месторождения с развитой инфраструктурой, и эффект от увеличения нефтеотдачи всего на 1 % по всей стране может составить около 5 млрд долларов США в год. Разграничение ответственности между государством и недропользователями стало размытым, что негативно сказывается на извлечении запасов и расширении минерально-сырьевой базы (Шмаль и др., 2019). В настоящее время отсутствуют законодательные механизмы и государственный надзор за цифровыми технологиями на протяжении всего процесса разработки разведанных запасов.

5. Решение вопросов по разработке новых подходов к нормативно-методической оценке запасов и ресурсов. Использование новых методов оценки запасов и ресурсов необходимо для обеспечения обоснованности разработки стратегических программ и прогнозов роста энергетического сектора, раскрытия инвестиционной привлекательности минерально-сырьевой базы российского ТЭК, стимулирования инновационного развития. Мы можем сформулировать трехмерную модель классификации ресурсов углеводородов:

- Геологические знания и точность
- Экономическая значимость запасов
- Технологическое и экономическое обоснование технологий добычи и возможностей полного извлечения углеводородов и сопутствующих компонентов из недр.

Помимо перечисленного, предлагается добавить в этот список социальные и экологические воздействия, а также меры по их снижению. В такой оценке, основанной на трехмерных цифровых моделях классификации ресурсов, крайне нуждаются, прежде всего, нефтяные компании, работающие на шельфе, поскольку это позволит им получить более объективное представление о перспективных возможностях развития своей углеводородной базы и потенциале ее добычи.

С учетом мирового опыта и перспектив решения проблемы в России, достигнутого уровня научно-технического прогресса и конъюнктуры рынка в ближайшие 10-15 лет коэффициент извлечения нефти в России может увеличиться с 30 до 60 %, что соответствует реальному потенциалу и возможностям добычи в Российской Федерации. 6. Разработка и производство оборудования, а также развитие сервисных услуг для поддержки операций по повышению нефтеотдачи и утилизации ПНГ (Литвиненко, 2019; Мукерджи и Деброй, 2019).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

7. Уникальный углеводородный потенциал арктического шельфа является предметом особого внимания со стороны государства. Деятельность национальных государственных нефтегазовых компаний в Арктике во многом сдерживается отсутствием единого государственного центра координации деятельности всех участников, работающих над созданием ледокольного флота, морских портов, аэропортов для обеспечения разведки и добычи на шельфе, объектов СПГ. Единый координационный центр, оснащенный цифровыми технологиями для определения хода реализации проекта в режиме реального времени, мог бы обеспечить эффективную организацию освоения Арктики, практическое использование имеющейся транспортной системы и полную реализацию минерально-сырьевого потенциала арктического шельфа. В настоящее время в России создается новейшая инновационная система наблюдения и связи в Арктической зоне Российской Федерации – многоцелевая космическая система (МПКС) «Арктика». Интеграция данных, получаемых системой, с уже функционирующими и современными системами наблюдения и мониторинга позволит не только повысить качество работы навигационных систем на всем протяжении Северного морского пути, но и снизить риск возникновения чрезвычайных ситуаций.

Выше перечислены лишь некоторые из актуальных вопросов, требующих как внедрения цифровых технологий, так и совершенствования государственного регулирования рабочих процессов на месторождениях и взаимоотношений между государством и недропользователями.

Вызовы и технологические возможности в минерально-сырьевом секторе на период до 2040 года

Быстро растущее население (по оценкам ООН, к 2040 году оно достигнет 9 млрд человек) и экономический рост в развивающихся странах приводят к явным географическим и структурным сдвигам на мировых рынках минерального сырья и минеральной продукции (Всемирный энергетический совет 2019; Всемирный банк 2018; ЕЭС ЕАЭС 2019). Так, за последние 25 лет быстрое экономическое развитие, особенно в Китае, привело к повышению уровня жизни сотен миллионов людей по всему миру. Прогнозы последних тенденций роста и развития показывают, что еще 3 миллиарда человек во всем мире могут достичь уровня жизни среднего класса (измеряемого по паритету покупательной способности) в период с 2009 по 2030 год (Харас и Герц 2010).

По оценкам международных энергетических агентств, рост добычи нефти сосредоточен только в девяти нефтедобывающих странах, рост добычи природного газа – в десяти странах, а рост добычи угля возможен только в четырех странах, в то время как весь остальной мир в целом прошел пик добычи этих ресурсов (табл. 2). Очевидно, что после 2030 года рынок природного газа и нефти будет практически монополизирован четырьмя-пятью странами. Задача состоит в переходе к совершенно иной энергетической парадигме, чтобы защитить мир от угрозы сценария возможного манипулирования ценами. Однако самой главной угрозой является экологическая ситуация в мире – изменение климата, глобальное потепление, одним из мощных драйверов которого является испарение метана, хранящегося в вечной мерзлоте. Сегодня он воспринимается как потенциально очень мощный фактор в использовании совершенно новых методов и подходов.

В России уголь начинает играть ключевую роль, поэтому на первый план выходит переход на экологичные и эффективные технологии переработки угля (Литвиненко и Мейер 2017; Мейер и др. 2018).

Широкие возможности для повышения производительности труда при поиске, разведке и добыче полезных ископаемых уже открываются благодаря географическим информационным технологиям. Развитие систем дистанционного зондирования и глобального позиционирования (навигации) позволяет использовать информационно-коммуникационную инфраструктуру для создания интегрированных систем управления процессами поиска, разведки, добычи и транспортировки полезных ископаемых (Шпульбер 2019).

Развитие биотехнологий влияет на структуру долгосрочного спроса на продукцию добывающих отраслей и способствует восстановлению экосистем путем биоремедиации почв и морского дна, загрязненных углеводородами. Кроме того, они предлагают решения для более эффективной переработки минерального сырья и вторичного использования металлов из городских отходов. Объем мирового рынка биотехнологий сегодня оценивается в 270 миллиардов долларов, а прогнозируемые темпы роста составляют 10-12 % в год до 2020 года. По результатам исследования Фрост

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

и Салливан 2014, ожидается, что в 2020 году объем рынка составит около 600 миллиардов долларов. Компании двух биотехнологических центров – США и Европы – в 2015 году заработали более 133 млрд долларов, а к 2017 году эта величина превысит 220 млрд долларов. Согласно прогнозу ОЭСР и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), к 2022 году объем производства биоэтанола увеличится до 168 млрд литров, а биодизеля – до 41 млрд литров. Основным драйвером роста рынка является государственная политика поощрения использования источников топлива из возобновляемого сырья (Международное агентство по возобновляемым источникам энергии 2019). Основные преследуемые цели – снижение зависимости от традиционных источников энергии и улучшение экологических характеристик транспорта (Ежегодная статистика мировой энергетики 2018). Появление новых материалов на основе нанотехнологий меняет структуру спроса на материалы. Он растет на некоторые тонкодисперсные (достаточно широко распространенные в земной коре, но редко образующие экономичные концентрации) редкоземельные элементы (Катрин и др. 2017; Гуденаф и др. 2018; Цзян и др. 2018).

По мере развития цифровой экономики мировой рынок минерального сырья ожидают вызовы, упомянутые в следующих разделах.

Глобальное снижение удельной рентабельности инвестиций в геологоразведку

Мировые инвестиции в геологоразведку ежегодно исчисляются миллиардами долларов США. В текущем десятилетии этот показатель составлял 7-21 млрд долларов США в год, согласно ежегодным обзорам, публикуемым последовательно компаниями Экономическая группа «Металлы», SNL, а теперь и S&P, по случаю ежегодной конвенции Ассоциации старателей и разработчиков Канады (АСРК). Объемы добычи, осуществляемой международными компаниями, опережают объемы прироста запасов на 5-20 % (Мейнерт и др. 2016; МакКинзи и компания 2016). Легкодоступные запасы с высоким содержанием полезных ископаемых исчерпываются особенно быстро. Направление инвестиций в геологоразведку месторождений металлов сильно варьируется и зависит от страны: Если в большинстве стран основные инвестиции направлены на золото, то в Евразии – на медь, никель, другие цветные и редкоземельные металлы. В России за 40 лет среднее содержание металлов в рудах цветных металлов снизилось более чем в два раза. Содержание металлов в рудах вновь вводимых в эксплуатацию месторождений снизилось: свинца – с 6 до 1,3 %, золота – с 15 до 1,5 %, никеля – с 4 до 0,4 %, меди – с 1,5 до 1 % (Норникель, 2017).

Таблица 2

Пиковые энергетические ресурсы в мире

	Нефть	Газ	Уголь
1. Канада	2049 (Энергетический прогноз БП 2019)	2074 (Перспективы мировой энергетики 2019)	–
2. США	2042 (Энергетический прогноз БП 2019)	2063 (Перспективы мировой энергетики 2019)	–
3. Ирак	2042 (Энергетический прогноз БП 2019)	–	–
4. Кувейт	2040 (Энергетический прогноз БП 2019)	–	–
5. Иран	2039 (Энергетический прогноз БП 2019)	2046 (Энергетический прогноз БП 2019)	–
6. ОАЭ	2037 (Энергетический прогноз БП 2019)	–	–
7. Россия	2033 (МЭА 2018 Перспективы мировой энергетики 2019)	2026 (Энергетический прогноз БП 2019)	2112 (Энергетический прогноз БП 2019)
8. Саудовская Аравия	2030 (Энергетический прогноз БП 2019)	2037 (Энергетический прогноз БП 2019)	–
9. Бразилия	2024 (Энергетический прогноз БП 2019)	–	–
10. Катар	–	2043	–
11. Алжир	–	2027 (Энергетический прогноз БП 2019)	–
12. Австралия	–	2026 (Энергетический прогноз БП 2019)	2032 (Энергетический прогноз БП 2019)
13. Норвегия	–	2023 (Перспективы мировой энергетики 2019)	–
14. Китай	–	2027 (Энергетический прогноз БП 2019)	–
15. Индия	–	–	2052 (Энергетический прогноз БП 2019)
16. Индонезия	–	–	2031 (Энергетический прогноз БП 2019)

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Совершенствование технологий, используемых в геологоразведке

Активное использование технологий дистанционного зондирования снижает трудозатраты и минимизирует воздействие на биосферу (Литвиненко, 2019). Быстрыми темпами развиваются наукоемкие технологии геофизических исследований: ядерные, геофизические, сейсмоакустические, глубинная геоэлектроразведка, геодезическая гравиметрия, геотермальная и геоэлектрическая разведка. В геологоразведке широко используются малые беспилотники (Американская ассоциация геологов-нефтяников, 2018).

Геологоразведка на уран

В целом мировая добыча урана еще не достигла своего пика; в 2017 году объемы добычи снизились по сравнению с рекордным 2016 годом, но тенденция остается положительной. В течение 40-50 лет запасы урана-235 в мире будут исчерпаны (Всемирная ядерная ассоциация, 2018; Международное агентство по атомной энергии, 2018).

Истощение традиционных запасов углеводородов

Любые изменения приводят к появлению новых потребностей в глобальном или региональном отложении и внедрению новых технологий для их удовлетворения. Это способствует увеличению объема и ускорению потребления энергии в единицу времени. В будущем рост новых энергетических систем обеспечит безопасное энергоснабжение, когда ископаемое топливо начнет становиться все более дефицитным; сегодня необходимо минимизировать его негативное воздействие на окружающую среду (Пашке 2017; П.С. Майн 2018).

Основные разведанные месторождения находятся в труднодоступных местах. Их отличают высокие затраты на источники и энергию, связанные с их разработкой, а также необходимость создания соответствующей инфраструктуры. В настоящее время добыча нефти требует значительных энергетических затрат: Если 30 лет назад энергии, приходящейся на один баррель нефти, было достаточно для добычи 100 и более баррелей, то сегодня для добычи всего десяти баррелей требуется в среднем один баррель, и количество необходимой энергии продолжает быстро расти. В ближайшие 30-50 лет это соотношение может достигнуть 1:1, что сделает отрасль нежизнеспособной. По мере обострения проблем, связанных с истощением традиционных запасов нефти, растет интерес к нетрадиционной нефти (Эрнст и Янг 2013): тяжелой сырой нефти, нефтеносным пескам, сланцам.

Потенциал Арктики

По данным Геологической службы США за 2014 год, неразведанные запасы традиционных углеводородов в Арктике составляют около 90 млрд баррелей (13 млрд тонн) нефти, 44 млрд баррелей (6,5 млрд тонн) газового конденсата и 1669 трлн кубических футов (47 трлн м^3) природного газа. Это примерно 13 % от общего объема мировых неразведанных запасов нефти, 30 % от общих неразведанных запасов природного газа и 20 % от мировых запасов газового конденсата (ЦДУ ТЭК России 2018). Масштабное освоение месторождений углеводородов в Арктической зоне потребует внедрения эффективных экологически безопасных технологий, разработка которых потребует значительных инвестиций. Также необходимо разработать комплексные меры по устранению ущерба, который может быть нанесен в результате аварий. Существуют серьезные риски, связанные с изменением климата, которые могут привести к разрушению активов добывающей промышленности в Арктике, а также к экологическим катастрофам.

Роль цифровых технологий в энергетическом секторе и развитии Арктики позволит снизить потенциальные угрозы аварий. Сокращение выбросов черного углерода, метана и тропосферного озона может сразу снизить потепление Арктики до 2/3 (Шинделл и др. 2012). Таким образом, оцифровка производства, технология чистого угля и технология улавливания CO_2 из атмосферы значительно сократят загрязнение окружающей среды и, как следствие, замедлят таяние льдов (Над Арктикой: экспедиция беспилотного разведчика, 2019). Технологии искусственного интеллекта могли бы помочь определить скорость таяния льдов, изменения климата и направления течений. Они могли бы определить влияние действий человека. Хрупкость арктических экосистем предполагает, что при разработке недр должны быть предусмотрены меры по сохранению уникальной флоры, фауны и ландшафта. В числе мер – создание эколого-логических коридоров для

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

миграции диких животных, снижение шума при судоходстве, а также поддержка местного населения, чей традиционный образ жизни неизбежно изменится в будущем. Необходимо подготовить методику мониторинга уровня загрязнения окружающей среды и изменения климата, которая позволит оценить ущерб и контролировать выполнение требований природоохранного законодательства. Цифровые технологии позволят усовершенствовать системы термостабилизации для сохранения вечной мерзлоты, а также повысить наблюдаемость динамических процессов распределения тепла. Экологическая экосистема этого региона уникальна и хрупка, поэтому освоение ресурсов с использованием лучших технологий является актуальным.

Разработка систем для глубокой и комплексной переработки минерального сырья

Современные исследования в области обогащения полезных ископаемых направлены на повышение эколого-экономической и энергетической эффективности технологических процессов, так как при измельчении горных пород и флотации очень важны затраты энергии и воды (Дагасан и др. 2019). Ведутся работы по замене экологически опасных технологий добычи и обогащения на более чистые альтернативы. Еще одна важная тенденция – переход к максимально тонкой сепарации (дисперсии), позволяющей добиться более полного извлечения полезных компонентов из руды, что становится возможным благодаря новым разработкам дробильных систем, способных перерабатывать руду до микрометрового уровня. Внедрение новых технологий переработки приводит к снижению удельного водопотребления на 15-20 %, а удельного потребления электроэнергии и реагентов – на 30-50 %. Ожидается, что производительность на предприятиях по переработке и обогащению увеличится на 10-40 % (Дагасан и др. 2019).

Рост использования отходов горнодобывающей промышленности

Извлечение полезных компонентов из отходов, образующихся при добыче полезных ископаемых, становится экономически выгодным. Ежегодно добыча и переработка полезных ископаемых приводит к накоплению 17,4 млрд тонн твердых и жидких отходов по всему миру, значительную часть которых составляют твердые отходы горнодобывающих предприятий. Многие страны рассматривают техногенные отходы как важный компонент ресурсной базы национальной экономики (Мессманн и др. 2019).

Рост использования бытовых отходов

В развитых странах, особенно европейских, данные свидетельствуют о стабильном снижении материалоемкости ВВП (более чем на 1 % в год) в течение последних двух десятилетий, поскольку внедряются эффективные промышленные технологии, менее материалоемкие машины и конструкции оборудования (ОЭСР 2018). Технологии переработки отходов (в частности, интеллектуальная сортировка, плазменное сжигание, пиролиз и биоразложение) совершенствуются, что дает экономическое обоснование для распространения практики переработки и повторного использования отходов наряду с развитием технологической базы и уникальных навыков в этой области. В долгосрочной перспективе возможно сокращение спроса стран Европейского союза на такие виды сырья, как металлы и древесно-бумажная продукция. Различные траектории технологического развития влияют на спрос на различные металлы с течением времени, а также на технологические заменители и развитие экономики. Роль переработки отходов также очень важна для удовлетворения спроса. Европейские компании, специализирующиеся на разработке техногенных месторождений полезных ископаемых, будут стремиться к экспансии, получая лицензии на разработку крупных полигонов и хвостохранилищ в других странах мира (Бенндорф и Янсен 2017).

Развитие технологий возобновляемой энергетики

Доля энергии, произведенной из возобновляемых источников, в Европейском союзе сейчас составляет более 13 % и продолжает расти (Энердата 2018). Отложение использования возобновляемых источников энергии создает потребность в дополнительных системах хранения энергии, а также в «гибкой» гидро- и газовой генерации, способной обеспечить резервное производство, когда условия, необходимые для производства энергии из возобновляемых источников, отсутствуют. В настоящее время ведется разработка решений по повышению экономической и технологической эффективности возобновляемой генерации, особое внимание уделяется снижению потребности в редкоземельных металлах при производстве генерирующего оборудования. Однако

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

металлоемкость возобновляемых источников энергии в пересчете на 1 МВт значительно выше, чем у невозобновляемых. В частности, для выработки 1 МВт электроэнергии с помощью ветра требуется в среднем 542,3 тонны стали (железа), тогда как использование природного газа для тех же нужд требует 5,3 тонны на 1 МВт (Манбергер и Стенквист 2018). Отложения в других технологических областях (например, топливные элементы, работающие на различных видах топлива, и т. д.) вряд ли произойдут раньше 2040 года (Атомный эксперт 2018).

Разработка концепции «умной шахты»

Проект «умная шахта», финансируемый Европейским союзом, направлен на развитие технологий и опыта, которые позволят строить автоматизированные подземные шахты, требующие минимального присутствия человека и оказывающие ограниченное воздействие на окружающую среду (Смартмайн 2019). Основные характеристики «умной шахты» будут включать:

- чрезвычайно высокие стандарты здоровья и безопасности;
- ограниченное воздействие на ландшафт;
- низкий удельный выброс углекислого газа;
- высокий уровень извлечения полезного компонента из руд;
- максимальное использование дистанционных процессов, что позволяет размещать значительное количество персонала не в зоне добычи, а в крупных городах с комфортными условиями проживания;
- хранение пустой породы без извлечения на поверхность или производство строительных материалов и другой полезной продукции из пустой породы; и
- высокая энергоэффективность.

Повышение коэффициента извлечения нефти

Нефтедобывающие страны, как развитые, так и развивающиеся, широко используют методы повышения нефтеотдачи пластов, то есть увеличения доли запасов месторождения, извлеченных к концу срока его разработки (Краснов и др., 2018). Наиболее широко такие методы применяются в США, России, Канаде, Венесуэле и Индонезии. Основные известные технологии повышения нефтеотдачи требуют больших затрат, высокой энерго- и материалоемкости. Как правило, они становятся экономически эффективными при стоимости нефти свыше 70 долларов США за баррель. В последнее десятилетие в мире наблюдается расширение использования третичных методов повышения нефтеотдачи, включая термические, газовые, химические и микробиологические. Термические методы включают воздействие теплового пара, инициирование внутрипластового горения, использование термогаза, а также вытеснение нефти и асфальтенов горячей водой. Газовые методы включают воздействие на пласт углеводородного газа, диоксида углерода, азота и продуктов сгорания. Химические методы предусматривают вытеснение нефти другими веществами, в том числе растворами ПАВ, полимерами, загустителями, пенными системами, растворами щелочей, кислот и композициями химических реагентов. Увеличение нефтеотдачи пластов с помощью третичных методов позволяет извлекать дополнительно 110-130 млн тонн нефтяного эквивалента в год по всему миру (2,5 % от общемировой добычи). Существующие углеводородные ресурсы и, в частности, ПНГ используются все более эффективно. Ведущими странами по добыче и переработке ПНГ являются Россия, США, Саудовская Аравия, Канада, Мексика, ОАЭ (Абу-Даби), Иран, Венесуэла и Алжир. Экономически развитые страны используют до 98 % ПНГ. В последние годы объем утилизации этого вида топлива в России увеличивается, однако его практическое использование остается неизменным и составляет в среднем по стране 73 – 78 %. В настоящее время в России ПНГ используется в основном в энергетике и нефтехимии.

Рост экологических рисков

По оценкам экспертов, 3-7 % добытой нефти остается на месторождениях, большая часть загрязняющих веществ (до 75 %) попадает в атмосферу, 20 % – в водные источники, 5 % – в почву (Мурыгина и др., 2014). В условиях глобального потепления опасность загрязнения морей нефтью возрастает из-за сокращения ледового покрова, улучшения условий дрейфа для разливов нефти и повышения вероятности загрязнения нефтью береговой линии. Углеводородоемкость российского ВВП значительно выше, чем в развитых странах. Поэтому необходимо активно распространять экологические инновации и другие технологии, чтобы снизить нагрузку на окружающую

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

среду. Прогнозируются высокие темпы роста рынка переработки отходов. Наиболее востребованными являются технологии, направленные на снижение ресурсоемкости производства, полное использование сырья и предотвращение негативного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду. Вопросы снижения нагрузки на окружающую среду и экологически ориентированного экономического развития («зеленого роста») стали приоритетами технологической политики в ведущих странах мира. Согласно докладу «Экологические индикаторы», подготовленному EEA (2018), индустрия экологических инноваций сегодня является значительным сектором экономики, годовой оборот которого оценивается в 290 млрд евро, что составляет около 2,06 % ВВП (EEA 2018). Увеличение расходов на охрану окружающей среды одновременно с ростом ВВП на душу населения является глобальной тенденцией. В настоящее время на природоохранные мероприятия расходуется от 0,1 до 2 % мирового ВВП, а в странах с развитой экономикой в ближайшем будущем этот вид расходов достигнет 3-4 % ВВП (МакКинзи 2018). Принятие более строгих экологических стандартов, например, связанных с использованием наилучших доступных технологий, приводит к росту производственных затрат в некоторых секторах. Ожидается, что в ближайшее десятилетие объем этого рынка будет исчисляться сотнями миллиардов долларов.

Цифровые платформы для минеральных ресурсов

Вышеперечисленные проблемы ограничивают текущее развитие минерально-сырьевого сектора и определяют его дальнейший прогресс. Технологические возможности могут дать новый толчок, но неопределенность, связанная с политической децентрализацией во многих частях мира, требует технологического прорыва, синергетического эффекта, достигаемого за счет цифровых преобразований (Харихаран и др. 2017; Джулиани и Эллефмо 2018; Шубенкова и др. 2018). Технологии и социальная сфера могут быть управляемы и эффективны, чтобы стать гарантом устойчивого развития (Гассемзаде и Чархи 2016; Тессема 2017). Удовлетворение современных потребностей требует поиска надежного, устойчивого баланса между потребностями всех заинтересованных сторон, как это показано на примере горнодобывающей промышленности (рис. 5). В связи с различной спецификой законодательной базы регионов, таких как США, Китай, ЕС и Африка, развитие цифровой трансформации представлено на примере Российской Федерации. Балансировка интересов должна происходить автоматически и быть прозрачной. Создание отраслевых цифровых платформ внутри стран будет способствовать этим радикальным изменениям.

Цифровая платформа «Горнодобывающая промышленность» представляет собой систему алгоритмических взаимовыгодных отношений значительного числа независимых участников горнодобывающей отрасли, осуществляемых в единой информационной среде. Технология смарт-контрактов позволит заключать и поддерживать коммерческие соглашения с помощью технологии блокчейн между тремя контурами: процессами (включая оборудование), участниками и данными (Кристидис и Деветсикиотис 2016). Смарт-контракты могут существовать только в среде цифровой платформы; исполняемый код обеспечивает свободный доступ к объектам смарт-контракта. Таким объектом может быть поиск инвестиций в геологоразведочные работы и регистрация сводных данных в более крупных отраслевых данных (Бухер и др. 2015). В этом процессе используется алгоритм, который проверяет выполнение или невыполнение определенного критерия по заданным условиям и принимает самостоятельные решения на основе запрограммированных условий. Таким образом, основной принцип смарт-контракта – полная автоматизация и надежность исполнения договора во всех его частях.

В горнодобывающих проектах участвует множество заинтересованных сторон; горные работы могут быть сопряжены со значительными рисками для людей, окружающей среды и инвестиций. Операционные данные могут стать основой для использования искусственного интеллекта в задачах прогнозирования рисков нарушения условий безопасной добычи (Акил и др. 2007; Мохтари и Бехния 2019). Это справедливо только при наличии достаточного количества исходных экологических и социальных данных для выявления изменений, вызванных деятельностью.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

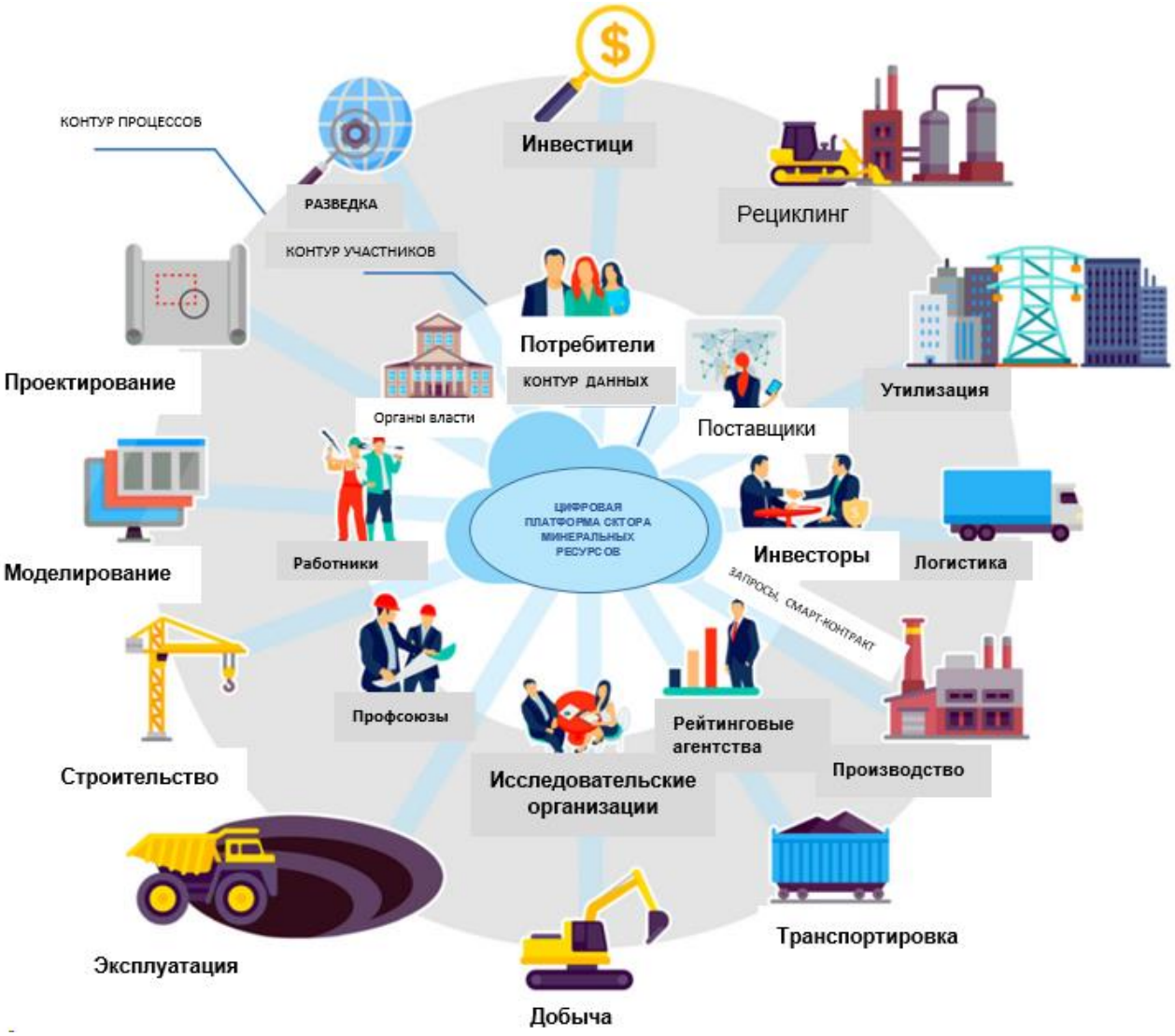


Рис. 5. Цифровая платформа «Горнодобывающая промышленность России

В случае чрезвычайной ситуации прогнозирование развития ситуации позволит определить эффективные ресурсы, необходимые для ликвидации последствий аварии, и заключить смарт-контракты с оборудованием и людьми для реализации автоматически составленного плана ликвидации последствий аварии. Это предполагает создание соответствующих 3D-моделей, например, для подземных вод, для динамической оценки воздействия и прогнозирования динамики развития событий. В этом процессе также будут использоваться выбор оптимальных маршрутов движения, визуализация и интерактивные подсказки.

Доверие, основанное на мгновенном обмене информацией со всеми участниками и заинтересованными сторонами, позволит поддерживать требования потребителей, владельцев и ответственных сторон на оптимальном уровне, чтобы защитить права будущих поколений до 2040 года и далее. В этой платформе автоматизация охватывает все этапы проекта и охватывает весь жизненный цикл горнодобывающего проекта вплоть до закрытия горнодобывающего объекта, и она должна включать в себя соответствующий мониторинг бесхозного участка до того момента, когда можно будет с уверенностью установить, что негативное воздействие не происходит или может произойти. В настоящее время это должно включать возможные последствия изменения климата. Систематический поиск путей повышения эффективности использования ресурсов и управления отходами для снижения нагрузки на окружающую среду становится управляемым (Нурани и др. 2019). Интеграция прозрачной экономики, управления, экологии и деятельности компаний, государственных мер, образования и науки будет способствовать достижению целей устойчивого развития. Цифровая платформа

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

использует документированные, измеримые и доказанные показатели, а цели и задачи устойчивого развития проникают во все процессы этой платформы. Мы можем управлять только тем, что видно, а управление спросом на энергию и металлы становится наглядным и управляемым только в цифровой среде. Срок службы, техническое обслуживание, процессы переработки и повторного использования отдельных компонентов становятся видимыми уже на этапе проектирования.

Необходимо перейти на цифровые технологии сбора, обработки, хранения и предоставления исходной и интерпретированной геологической и экологической информации, проектных, эксплуатационных, финансовых, рыночных, социальных и других данных, чтобы создать единый источник информации о минеральных ресурсах.

Необходимо подчеркнуть роль органов государственной власти. Способность накапливать «большие данные» и использовать их для создания платформ, объединяющих бизнес, граждан и государство, выходит на первый план в научно-технической конкуренции. Большие данные позволяют использовать предыдущий опыт, знание всей отрасли, чтобы быстро и эффективно принимать правильные решения и, таким образом, улучшать показатели своих бизнес-процессов с точки зрения времени, качества, эффективности и т. д. Это создает возможность обмена знаниями и передовым опытом за пределами государственных границ и политических ситуаций для всего человечества. Поэтому важна структура распространения знаний и технологий, описанная выше; ключевую роль в создании таких платформ должны играть независимые участники – отраслевые университеты и международные центры компетенций.

Выводы

Развитие минерально-сырьевого сектора требует значительного снижения себестоимости продукции, перехода на принципы «бережливого производства», повышения технологической и организационной эффективности. В условиях глобальной межотраслевой и междисциплинарной интеграции цифровые технологии оказывают все большее влияние на развитие научно-технического прогресса различных отраслей. Четвертая промышленная революция вызывает стремительный рост спроса на определенные виды технологий, которые повысят конкурентоспособность горнодобывающих предприятий.

Создание систем данных позволит:

- получать геолого-экономические оценки стоимости и операционной эффективности инвестиций в геологоразведку и добычу;
- оценивать и анализировать риски, связанные с безопасной и экологически эффективной добычей полезных ископаемых;
- управлять уровнем производительности, включая энергетические и материальные ресурсы, для оптимизации затрат;
- управлять жизненным циклом продукции от разработки до этапа переработки или повторного использования; и
- управлять компетенциями и технологическими изменениями в производстве.

Помимо необходимости внедрения цифровых технологий и разработки новых технологических решений, в условиях глобализации сырьевых рынков важно также решить задачу повышения качества рабочей силы практически во всех областях этого рынка:

- путем разработки и совершенствования системы профессиональных стандартов для отрасли;
- путем создания системы непрерывного образования для обучения новым профессиональным навыкам, необходимым для обеспечения инновационного развития отрасли сектора;
- проведением независимой оценки и сертификации навыков и квалификации сотрудников по международным стандартам;
- отслеживанием, прогнозированием и согласованием изменений в карьере на основе компетенций и знаний;
- путем предоставления равного доступа к стажировкам, краткосрочным курсам и изучению технологий в лучших отраслевых лабораториях и центрах; и
- стимулированием компаний сектора к совершенствованию программ развития сотрудников.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Открытый доступ

Данная статья распространяется на условиях лицензии Международная лицензия Creative Commons Attribution 4.0, которая разрешает использование, совместное использование, адаптацию, распространение и воспроизведение на любом носителе или в любом формате при условии, что вы отдаете должное автору(ам) и источнику, даете ссылку на лицензию Creative Commons и указываете, были ли внесены изменения. Изображения или другие материалы третьих лиц в этой статье включены в статью по лицензии Creative Commons, если иное не указано в строке кредитования материала. Если материал не включен в лицензию Creative Commons статьи, а его предполагаемое использование не разрешено законодательством или выходит за рамки допустимого, вам необходимо получить разрешение непосредственно у правообладателя. Чтобы ознакомиться с копией этой лицензии, посетите сайт http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

ЛИТЕРАТУРА

1. Above the Arctic: An intel drone expedition. (2019). Intel. Retrieved January 8, 2019 https://www.intel.com/content/www/us/en/technology-innovation/polar-bears-climate-change.html
2. Abramovich, B., & Sychev, Y. (2016). Problems of ensuring energy security for enterprises from the mineral resources sector. Zapiski Gornogo Instituta - Journal of Mining Institute, 217(1), 132–139.
3. American Association of Petroleum Geologists, Energy Minerals Division. (2018). Unconventional energy resources: 2017 review. Natural Resources Research. https://doi.org/10.1007/s11053-018-9432-1
4. Annual Statistics of World Energy. (2018). Retrieved February 27, 2019 https://yearbook.enerdata.ru
5. Aqil, M., Kita, I., Yano, A., & Nishiyama, S. (2007). Analysis & prediction of flow from local source in a river basin using a Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector 1539 Neuro-fuzzy modeling tool. Journal of Environmental Management, 85, 215–223.
6. Atlas of Emerging Jobs. (2019). Retrieved February 27, 2019 http://atlas100.ru/en/
7. Atomic Expert: Hydrogen energy-the trend of the XXI century. (2018). Retrieved February 27, 2019 http://atomicexpert.com/hydrogen_energy
8. Bahga, A., & Madisetti, V. (2016). Blockchain platform for industrial Internet of Things. Journal of Software Engineering and Applications, 9, 533–546.
9. Benndorf, J., & Jansen, J. D. (2017). Recent developments in closed-loop approaches for real-time mining and petroleum extraction. Mathematical Geosciences, 49, 277–306.
10. Berman, S. (2012). Digital transformation: Opportunities to create new business models. Strategy & Leadership, 40(2), 16–24.
11. Beucher, A., Siemssen, R., Fröjdö, S., Österholm, P., Martinkauppi, A., & Ede` n, P. (2015). Artificial neural network for mapping and characterization of acid sulfate soils: Application to Sirppujoki River catchment, southwestern Finland. Geoderma, 247, 38–50.
12. BP Energy Outlook. (2019). https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf. Accessed 1 Mar 2019.
13. Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., & Valero, A. (2016). Decreasing ore grades in global metallic mining: A theoretical issue or a global reality? Resources, 5(4), 36–50.
14. Cascio, W. F. (2019). Training trends: Macro, micro, and policy issues. Human Resource Management Review, 29(2), 284–297.
15. Central Dispatching Office of the Fuel and Energy Complex of Russia. (2018). Retrieved February 21, 2019 http://www.cdu.ru/
16. Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. IEEE Access, 4, 2292–2303.
17. Christmann, P. (2018). Towards a more equitable use of mineral resources. Natural Resources Research, 27(2), 159–177.
18. Dagasan, Y., Renard, P., & Straubhaar, J. (2019). Pilot point optimization of mining boundaries for lateritic metal deposits: Finding the trade-off between dilution and ore loss. Natural Resources Research, 28(1), 153–171.
19. Deloitte Tech Trends. (2019). Retrieved March 1, 2019 https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/br/Documents/technology/DI_TechTrends2019.pdf
20. EES EAEC-Private, Information-analytical, Energy Website. (2019). Retrieved March 3, 2019 http://www.eeseaec.org
21. EEA. (2018). Environmental indicator report 2018. Resource efficiency and low carbon economy. Environmental protection expenditure. Retrieved March 1, 2019 https://www.eea.europa.eu/downloads/4793507fc36b497dbe6422c884566591/1544193410/environmental-protection-expenditure.pdf
22. EIA. (2018). Annual Energy Outlook. (2018). Retrieved March 1, 2019 https://www.eia.gov/outlooks/AEO/pdf/AEO2018.pdf
23. Enerdata. (2018). Retrieved March 5, 2019 https://yearbook.enerdata.ru/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html
24. Ernst & Young. (2013). The use of modern methods of enhanced oil recovery in Russia: It is important not to lose time (2013). Retrieved March 2, 2019 http://npf-its.com/wp-content/uploads/2015/01/Gpbveyeybe_MEH_d_Poccbb.pdf
25. Fortier, S., Thomas, C., McCullough, E., & Amy, C. (2018). Tolcin global trends in mineral commodities for advanced technologies. Natural Resources Research. https://doi.org/10.1007/s11053-017-9340-9
26. Ghassemzadeh, S., & Charkhi, A. (2016). Optimization of integrated production system using advanced proxy based models. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 35, 89–96.
27. Global CIO Survey. (2017–2018). Retrieved January 30, 2019 https://www.logicalis-thinkhub.com/media/1051/21588_logicalis_infographic_171110.pdf

28. Global Infrastructure outlook. (2019). Retrieved January 25, 2019 https://outlook.gihub.org/

29. Goodenough, K., Wall, F., & Merriman, D. (2018). The rare earth elements: demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. Natural Resources Research, 27(2), 201–216.

30. Gruber, H. (2019). Proposals for a digital industrial policy for Europe. Telecommunications Policy, 43(2), 116–127.

31. Haines, S., Diffendorfer, J., Balistrieri, L., Berger, B., Cook, T., & DeAngelis, D. (2013). A framework for quantitative assessment of impacts related to energy and mineral resource development. Natural Resources Research, 23(1), 3–17.

32. Hariharan, S., Tirodkar, S., Porwal, A., et al. (2017). Random forestbased prospectivity modelling of greenfield terrains using sparse deposit data: An example from the Tanami Region, Western Australia. Natural Resources Research, 26(4), 489–507.

33. Höök, M., Junchen, L., Johansson, K., & Snowden, S. (2012). Growth rates of global energy systems and future outlooks. Natural Resources Research, 21(1), 23–41.

34. ICMM 2016. Making a positive contribution to the SDGs – Online interactive guidance document on how mining and metals connect with the SDGs. Retrieved January 31, 2019 http://www.icmm.com/sdg

35. International Atomic Energy Agency. IAEA Bulletin. (2018). Retrieved January 15, 2019 https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull592_june2018_corr.pdf

36. International Energy Agency (IEA). (2019). IEA 2018 World Energy Outlook. Retrieved January 23, 2019 https://www.iea.org.

37. International Renewable Rnergy Agency. (2019). Retrieved March 8, 2019 http://www.irena.org

38. Jiang, J., Wang, Y., Liu, W., et al. (2018). Multiple regression-based calculation of iron ore resource royalty rate and analytical study of its influencing factors: Example from Anhui Province of China. Natural Resources Research, 27(3), 379–404.

39. Juliani, C., & Ellefmo, S. (2018). Multi-scale quantitative risk analysis of seabed minerals: Principles and application to seafloor massive sulfide prospects. Natural Resources Research, 28(3), 909–930.

40. Kathryn, M., Wall, F., & Merriman, D. (2017). The rare earth elements: Demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. Natural Resources Research, 27(2), 201–216.

41. Katuntsov, E. V., Kultan, J., & Makhovikov, A. B. (2017). Application of electronic learning tools for training of specialists in the field of information technologies for enterprises of mineral resources sector. Journal of Mining Institute, 226, 503–508.

42. Kazanin, O. I., Sidorenko, A. A., & Sementsov, V. V. (2014). Determination of technology parameters of the thick steep gassy seams mining with sublevel caving and coal discharge mining system. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 6, 52–58.

43. Kharas, H., & Gertz, G. (2010). The new global middle class: A cross-over from West to East. In C. Li (Ed.), China_semerging middle class: Beyond economic transformation (pp. 32–54). Washington DC: Brookings Institution Press.

44. Krasnov, F., Glavnov, N., & Sitnikov, A. (2018). A machine learning approach to enhanced oil recovery prediction. In W. van der Aalst, et al. (Ed.), Analysis of images, social networks and texts. AIST 2017. Lecture notes in computer science (Vol. 10716). Cham: Springer.

45. Litvinenko, V. (2019). Russian developments of equipment and technology of deep hole drilling in ice. In Innovation-based development of the mineral resources sector: challenges and prospects - 11th conference of the Russian–German raw materials, 3.

46. Litvinenko, V., & Meyer, B. (2017). Status and potential for implementation in Russian industry in Syngas production. In V. Litvinenko & B. Meyer (Eds.), Status and potential for implementation in Russian industry (pp. 1–161). Berlin: Springer.

47. Liu, Y., Peng, Y., Wang, B., Yao, S., & Liu, Z. (2017). Review on cyber–physical systems. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 4(1), 27–40.

48. Makhovikov, A. B., Katuntsov, E. V., Kosarev, O. V., & Tsvetkov, P. S. (2019). Digital transformation in oil and gas extraction. In Innovation-based development of the mineral resources sector: Challenges and prospects - 11th conference of the Russian–German Raw Materials (pp. 531–538).

49. Månberger, A., & Stenqvist, B. (2018). Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. Energy Policy, 119, 226–241.

50. McKinsey & Company. (2016). Raw materials: Unlikely return of the 2003–2013 supercycle. Understanding the macroeconomic context and impact on raw materials. Retrieved February 1, 2019 http://www.worldmaterialsforum.com/files/Presentations/PS1/WMF%202016%20-%20PS1%20-%20Sigurd%20Mareels%20Final.pdf

51. McKinsey & Company. (2019). Behind the mining productivity upswing: Technology-enabled transformation. Retrieved February 27, 2019 https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/behind-the-mining-productivity-upswing-technology-enabled-transformation

52. McKinsey Global Institute: Innovations in Russia - an inexhaustible source of growth. (2018). Retrieved February 5, 2019 https://www.mckinsey.com/ru/_/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Innovations-in-Russia.ashx

53. Medvedev, D. A. (2018). Russia-2024: The strategy of social and economic development. Voprosy Ekonomiki, 10, 5–28.

54. Meinert, L. D., Robinson, G. R., & Nassar, N. T. (2016). Mineral resources: Reserves, peak production and the future. Resources, 5(1), 14.

55. Messmann, L., Boldoczki, S., Thorenz, A., & Tuma, A. (2019). Potentials of preparation for reuse: A case study at collection points in the German state of Bavaria. Journal of Cleaner Production, 211, 1534–1546.

56. Meyer, B., Keller, F., Wolfersdorf, C., & Lee, R. P. (2018). A concept for the circular carbon economy sector coupling of the energy waste, and chemical industry. Chemie-Ingenieur-Technik, 90(1), 241–248.

57. Mokhtari, M., & Behnia, M. (2019). Comparison of LLNF, ANN, and COA-ANN techniques in modeling the uniaxial compressive strength and static Young_s modulus of limestone of the Dalan formation. Natural Resources Research, 28(1), 223–239.

58. Mukherjee, T., & DebRoy, T. (2019). A digital twin for rapid qualification of 3D printed metallic components. Applied Materials Today, 14, 59–65.

59. Murygina, V. P., Markarova, M. U., Trofimov, S. Y., & Gaydamaka, S. N. (2014). Oil spills grow faster than production/present and future soil bioremediation. Ecology & Life. Retrieved February 9, 2019, from http://www.ecolife.ru/zhurnal/articles/27583/

 Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

60. Nornikel (2017). Annual report. Retrieved February 27, 2019 https://ar2017.nornickel.ru/download/full-reports/ar_ru_annual-report_pages.pdf

61. Nourani, V., Elkiran, G., Abdullahi, J., et al. (2019). Multi-region modeling of daily global solar radiation with artificial intelligence ensemble. Natural Resources Research, 28(3), 1217–1238.

62. OECD. (2018) Global material resources outlook to 2060—Economic drivers and environmental consequences.

63. Pashke, M. (2017). Zapiski Gornogo Instituta. Journal of Mining Institute, 226, 487–496.

64. Plewnia, F. (2019). The energy system and the sharing economy: Interfaces and overlaps and what to learn from them. Energies, 12(3), 339.

65. PwC. Mine (2018). Tempting times—analysis of the global mining sector. Retrieved February 28, 2019 https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/publications/mine.html

66. Richardson, L., & Bissell, D. (2019). Geographies of digital skill. Geoforum, 99, 278–286.

67. Shindell, D., Kuylenstierna, J., Vignati, E., & Dingenen, R. (2012). Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. Science, 335(6065), 183–189. https://doi.org/10.1126/science.1210026

68. Shmal, G. I., Grigoryev, L. I., Kershenbaum, V. Y., & Leonov, D. G. (2019). Digital economy of oil industry. Neftyanoe Khozyaystvo - Oil Industry, 28, 100–103.

67. Shubenkova, K., Valiev, A., Mukhametdinov, E., Shepelev, V., Tsiulin, S., & Reinau, K. H. (2018). Possibility of digital twins technology for improving efficiency of the branded service system. In Proceedings. Global smart industry conference 2018.

68. Smartmine. (2019). Retrieved January 8, 2019 https://www.smartmine.org/

69. Spulber, D. F. (2019). The economics of markets and platforms. Journal of Economics and Management Strategy, 28(1), 159–172.

70. Statistical Review of World Energy. (2019). BP Global. Retrieved February 5, 2019 https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf

71. Steininger, D. M. (2019). Linking information systems and entrepreneurship: A review and agenda for IT-associated and digital entrepreneurship research. Information Systems Journal, 29(2), 363–407.

72. Sverdrup, H. U., Koca, D., & Ragnarsdóttir, K. V. (2013). Peak metals, minerals, energy, wealth, food and population; urgent policy considerations for a sustainable society. Journal of Environmental Science & Engineering, B1(5), 499–533.

73. Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing System, 48(C), 157–169.

74. Tessema, A. (2017). Mineral systems analysis and artificial neural network modeling of chromite prospectivity in the Western Limb of the Bushveld Complex, South Africa. Natural Resources Research, 26(4), 465–488.

75. The changing role of people management in the digital age. (2016). Retrieved February 2, 2019 https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/xe/Documents/human-capital/dme_hc_changing_role_of_people_management_in_the_digital_era.pdf

76. Thoben, K., Wiesner, S., & Wuest, T. (2017). Industrie 4.0'' and smart manufacturing–a review of research issues and application examples. International Journal of Automotive Technology, 11(1), 4–19.

77. Toxicol, J. (2008). Global supply and demand of metals in the future. Environmental Health, 71(18), 1244–1253.

78. Wood, A. J., Graham, M., Lehdonvirta, V., & Hjorth, I. (2019). Good gig, bad gig: Autonomy and algorithmic control in the global gig economy. Employment and Society, 33(1), 56–75.

79. World Bank. (2018). World development indicators database. Retrieved February 17, 2019 http://data.worldbank.org/datacatalog/world-development-indicators

80. World Energy Council. (2019). Retrieved January 2019 29, https://www.worldenergy.org/

81. World Nuclear Accociation. (2018). Uranium Minig Overview 2018. Retrieved February 23, 2019 https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/uranium-mining-overview.aspx

82. Zhukovskiy, Y. L., Koteleva, N. I., & Kovalchuk, M. S. (2019a). Development of course feedback questionnaires of continuing professional education in the mining industry. In Innovation-based development of the mineral resources sector: Challenges and prospects (pp. 589–597).

83. Zhukovskiy, Y., & Malov, D. (2018). Concept of smart cyberspace for smart grid implementation. Journal of Physics: Conference Series, 1015(4), 042067.

84. Zhukovskiy, Y. L., Starshaia, V. V., Batueva, D. E., & Buldysko, A. D. (2019b). Analysis of technological changes in integrated intelligent power supply systems. In innovation-based development of the mineral resources sector: challenges and prospects (pp. 249–258).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0