

УДК 330.3:622

ЦИРКУЛЯРНАЯ ЭКОНОМИКА: УГРОЗА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО СЕКТОРА ИЛИ ДРАЙВЕР ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ?



В. А. КНЫШ,
главный научный сотрудник, д-р экон. наук,
knyshva@mail.ru



Л. В. ИВАНОВА,
старший научный сотрудник, канд. экон. наук

Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН,
Апатиты, Россия

Введение

В экономической системе с «линейными» цепями поставок колебание спроса на сырьевые материалы ведет к пропорциональному изменению спроса на первичные минеральные ресурсы. Это же относится и к энергетическим ресурсам для установок, работающих на твердом ископаемом топливе. «Циркулярная» экономика (круговая, циклическая экономика, экономика замкнутого цикла) стремится разорвать жесткую связь между ростом спроса на потребительские товары и необходимостью более интенсивно осваивать истощаемые природные ресурсы. Если применительно к производству энергии концепция циркулярной экономики (ЦЭ) требует замещать, где это возможно, ископаемое топливо возобновляемыми источниками энергии, то применительно к промышленному производству продукции речь идет о циклическом замещении первичного минерального сырья вторичными неорганическими материалами по принципу «любые отходы — это сырье для других процессов».

Этот известный ранее концепт в последнее десятилетие приобрел новое звучание в контексте достижения целей устойчивого развития. Необходимость поиска способов повышения устойчивости компаний, отдельных секторов, национальных и региональных экономик, связанных между собой институциональными отношениями и рынками, в том числе сырьевыми, а также более основательная теоретическая проработка концепции ЦЭ позволяют рассматривать идею многоуровневой рециркуляции материальных ресурсов в цикле «производство-потребление» как современную парадигму экономической деятельности. Одной из предпосылок

Приведен ретроспективный многофакторный анализ перспектив развития горнорудных и металлургических производств в рамках активно и поступательно формирующейся глобальной циркулярной экономики. Полученные результаты позволяют предприятиям критически оценивать свое современное состояние и разрабатывать более эффективные долгосрочные программы технологического развития и кооперации.

Ключевые слова: циркулярная экономика, горнодобывающая промышленность, устойчивое развитие, циркулярная бизнес-модель, минеральное сырье, сырьевые материалы, жизненный цикл.

DOI: 10.17580/gzh.2020.09.04

к этому являются технологические и цифровые возможности «Индустрии 4.0» при поддержке нетрадиционных бизнес-моделей, способных повысить ценность вторичных материалов и обеспечить рентабельную реализацию замкнутых цепей поставок.

Как переход к ЦЭ может отразиться на предприятиях горнодобывающей промышленности? Может ли сектор добычи твердых полезных ископаемых (ТПИ) сам стать частью ЦЭ или это маловероятно в аспекте рентабельности, поскольку переработку техногенных отходов неизмеримо сложнее включить в схему рециклинга, чем, к примеру, переработку металлолома?

В России интерес к концепции ЦЭ и возможностям перехода к ней проявляется лишь на уровне немногочисленных научных публикаций. Вопрос о ЦЭ применительно к добыче и переработке полезных ископаемых, по сути, не исследовался. За рубежом реализуются разнообразные инициативные проекты и программы, прикладные исследования, нацеленные на практическую реализацию концепции ЦЭ в отдельных секторах экономики. Безусловным лидером и интегратором в этом вопросе является Евросоюз. Сфера добычи ТПИ рассматривается зарубежными авторами как сектор, потенциально пригодный для ЦЭ, но не приоритетный, обсуждение носит дискуссионный характер. Объектом непосредственного внимания выступает, как правило, горнорудная и металлургическая отрасли промышленности, совокупность которых авторы будут, где это уместно, именовать горно-металлургическим сектором наряду с употреблением понятия «горнодобывающий сектор».

Материал статьи построен главным образом на рассмотрении зарубежных публикаций, официальных источников с применением методологии ретроспективного анализа. Такой подход позволяет оценить эволюцию концепции ЦЭ как инструмент достижения одной из целей устойчивого развития, а именно — ответственного производство и потребление.

**Содержательные аспекты концепции
циркулярной экономики**

Концепция ЦЭ начала зарождаться более 40 лет тому назад. Еще в 1970-х годах опасения по поводу истощения глобальных ресурсов привели к тому, что в рамках государственной политики некоторых западных стран были концептуализированы подходы «замкнутого цикла» (closed-loop), поощряющие повторное использование и переработку отходов в целях сокращения энергозатрат. Современная концепция ЦЭ вобрала в себя идеи и подходы различных научных школ, изучающих развитие эколого-экономических систем, таких как «эффективная экономика», «промышленная экология», «регенеративное проектирование», «биомимика» и др.

В зарубежных исследованиях термин «циркулярная экономика» (circular economy) имеет множество толкований. Можно выделить два обобщенных подхода, раскрывающих понятие ЦЭ: ресурсно-ориентированный и экономико-ориентированный [1]. Первый связывает «циркулярность» с наличием в экономике замкнутых потоков материалов, энергии и отходов, образуемых за счет повторного использования готовых продуктов (ремонт или восстановление), компонентов (повторное использование в производстве) и материала (рециклинг). Согласно второму подходу, ЦЭ представляет собой экономическую систему, основанную на повторном использовании материалов и сохранении природных ресурсов, ориентированную на создание ценностей для людей и экономических субъектов в каждой части экономической системы. Объединяет эти два подхода наиболее цитируемое в современной литературе определение ЦЭ, данное фондом Э. Макартур: циркулярной является экономика, имеющая восстановительный и замкнутый характер, предполагающая создание непрерывного цикла развития, который сохраняет природный капитал и увеличивает его стоимость, повышая отдачу от ресурсов за счет оптимизации их использования [2].

Созданный в 2010 г. фонд Э. Макартур (ФЭМ) разработал современную концепцию и модель ЦЭ и во главе с ее основателем Эллен Макартур стал признанным мировым лидером «циркулярного мышления», продвигающим идеи циркулярности в глобальную экономическую повестку. Свою миссию ФЭМ видит в том, чтобы убедить правительства, бизнес и широкие слои общества в том, что индустриальная экономика «линейного» типа, функционирующая в парадигме «take, make, waste» (добывай, производи, выбрасывай), расточительна в отношении ограниченных и исчерпаемых природных ресурсов, и ее необходимо трансформировать в экономику замкнутого цикла, т. е. ЦЭ, функционирующую в парадигме «take, make, reuse» (добывай, производи, используй повторно). Это, по мнению сторонников концепции ЦЭ, позволит сделать развитие индустриального общества в эпоху цифровизации более устойчивым к вызовам и воздействию негативных факторов. В силу своей простоты, ясности и очевидной целесообразности из принципа заботы о нынешнем и будущих поколениях идея циркулярности быстро набирает силу, а концепция и бизнес-модели ЦЭ все активнее проникают в наиболее проблемные отрасли реальной «линейной» экономики, связанные в первую очередь с накоплением отходов.

Современная концепция ЦЭ несет в себе идею постепенного отделения экономической деятельности от потребления невозобновляемых материальных и энергетических ресурсов за счет использования возобновляемых источников энергии и превращения в ресурсы отходов производства и потребления. Концепция ЦЭ опирается на три главных принципа: проектировать продукты так, чтобы впоследствии не образовывались отходы и загрязнения; максимизировать срок службы продуктов, компонентов и материалов, сохраняя их потребительскую ценность; восстанавливать природные системы и сохранять природный капитал, балансируя потоки возобновляемых и невозобновляемых ресурсов [3].

Структурная модель ЦЭ (ФЭМ) включает два главных цикла: биологический и технический. Биологический цикл восстанавливает экосистемы за счет сокращения чрезмерной добычи природных ресурсов, применения возобновляемых материалов и повторного использования энергии и органических отходов. Технический цикл (промышленное производство и связанные с ним сервисные услуги) обеспечивает продление срока службы продуктов и материалов через иерархическую систему замкнутых цепей поставок, реализующих стратегии цикличности, которые включают повторное использование, ремонт, реконструкцию, восстановление, переработку [4].

Потоки вторичных материальных ресурсов, циркулирующие в техническом цикле через систему обратной логистики, делают экономику промышленности более ресурсоэффективной относительно потребления минерального сырья и материалов на его основе. Устойчивое функционирование такой экономики требует применения бизнес-моделей, которые способны обеспечить оптимальное управление товарно-материальными потоками с учетом циклического характера их движения, экологических требований и других факторов. Поиск таких бизнес-моделей является одной из главных задач при переходе от линейной к циркулярной экономике.

В специальном отчете Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) за 2019 г. [5] описаны пять типов циркулярных бизнес-моделей, которые применимы к замкнутой структуре возвратных потоков [6]:

- *циркулярного снабжения*, заменяющие традиционные исходные материалы, которые получены из первичных ресурсов, на возобновляемые или восстановленные материалы, что снижает спрос на добычу первичных минеральных ресурсов в долгосрочной перспективе;
- *восстановления ресурсов*, которые перерабатывают отходы во вторичное сырье, тем самым предотвращая захоронение отходов и вытесняя добычу природных ресурсов;
- *продления срока службы продуктов*, позволяющие увеличить период их использования, замедлить поток материалов через экономику и снизить интенсивность добычи ресурсов и образования отходов;
- *совместного использования*, которые облегчают обмен недостаточно используемыми продуктами и, следовательно, могут снизить спрос на новые продукты и исходное сырье;
- *обслуживания продуктов (продукт как услуга)*, где продаются не сами продукты, а доступ к ним, что стимулирует

разработку экологически чистых продуктов и более эффективное их применение, способствуя щадящему использованию природных ресурсов.

Несложно увидеть, что бизнес-модели циркулярного снабжения и восстановления ресурсов принципиально применимы для вовлечения в экономический оборот отходов добычи и обогащения минерального сырья.

Циркулярная экономика в глобальной повестке

Одна из целей устойчивого развития (ЦУР), принятых государствами – членами ООН, состоит в том, чтобы обеспечить переход к рациональным моделям потребления и производства, наращивая чистую выгоду от экономической деятельности за счет сокращения объема использования ресурсов, снижения деградации и загрязнения в течение всего жизненного цикла (цель 12). В рамках достижения этой цели стоит задача к 2030 г. существенно уменьшить объем отходов путем принятия мер по предотвращению их образования, сокращению объемов, переработке и повторному использованию [7].

Устойчивость развития обеспечивается сбалансированностью экономической, социальной и экологической составляющих, что согласуется с принципами «зеленой» экономики, которая прочно закрепилась в глобальной экономической повестке. В то время как концепция «зеленой» экономики особое внимание уделяет устойчивому развитию, «зеленым» инвестициям, возобновляемым источникам энергии, снижению выбросов, концепция ЦЭ – особенностям устойчивого развития в аспекте индустриализации и урбанизации, повторному использованию, сокращению образования и переработке отходов, эффективности управления логистикой, озеленению цепочек поставок [1, 8].

Если исходить из того, что попадание темы в повестку дня такой дискуссионной площадки, как Всемирный экономический форум (ВЭФ) свидетельствует о ее глобальной значимости, то не будет ошибкой считать, что современная концепция ЦЭ начала свой путь в глобальную экономическую политику с ВЭФ-2012. После доклада «На пути к циркулярной экономике: экономическое и деловое обоснование ускоренного перехода» ФЭМ стал тесно сотрудничать с Европейской платформой ресурсоэффективности. Ежегодно на форуме в Давосе ФЭМ представлял отчет о новом исследовании по различным аспектам ЦЭ, раскрывающим ее глобальный потенциал. Результаты исследований демонстрировали экономические выгоды, которые могут получить национальные экономики и отдельные отрасли при переходе от линейной модели функционирования к циркулярной. Отчеты предоставляли «инструментарий для политиков, желающих начать переход к ЦЭ», который постепенно стал применяться в масштабных проектах [9].

Были введены в действие дорожные карты по ЦЭ в Китае (2013 г.), в ЕС (2015 г.), а также в Финляндии, Франции, Нидерландах и Шотландии (2016 г.). Некоторые страны в рамках своей национальной политики приняли законы или документы стратегического планирования с другими названиями, но аналогичными целями, например Закон о создании общества с устойчивым материальным циклом в Японии или Стратегический план

управления материальными ресурсами в США. Многие компании стали формировать стратегии, основанные на бизнес-моделях ЦЭ, о чем свидетельствует исследование, выполненное ОЭСР [6].

В ходе ВЭФ-2019 было озвучено, что:

- только 9 % материальных ресурсов используют повторно, при этом 62 % парниковых газов выбрасывают в процессе добычи, переработки и производства товаров;
- волатильность цен на сырье достигла наивысшего уровня за последние 100 лет, а риски поставок возникают по всем категориям ресурсов;
- основной причиной увеличивающейся потребности в природных ресурсах является не рост населения, а структура потребления.

Усилилось понимание необходимости принятия мер для «отделения» экономического роста от использования первичных ресурсов и вредных эмиссий, создания стоимости на основе бизнес-моделей, активно вовлекающих в экономический оборот вторичные ресурсы [10].

Проведенные ФЭМ исследования показали, что переход к ЦЭ позволит мировой экономике получить к 2030 г. дополнительно 4,5 трлн долл. добавленной стоимости.

На ВЭФ-2019 было основано глобальное партнерство SCALE 360, цель которого – создание новых рынков для «циркулярных» товаров, услуг и доходов с опорой на технологический потенциал «Индустрии 4.0». Эта инициатива дополнила возможности Платформы для ускорения ЦЭ (PACE [11]), созданной на ВЭФ-2017 в качестве инструмента коллективных действий для перехода к ЦЭ.

Дискуссии об устойчивости и рациональном использовании природных ресурсов и ЦЭ напрямую затрагивали интересы горно-металлургического сектора. Это побудило сформировать отраслевую повестку дня на ВЭФ-2015 с участием Всемирного делового совета по устойчивому развитию (WBSCD [12]) и Международного совета по горному делу и металлам (ICMM [13]). Была разработана рамочная программа как основа для руководства сектором в процессе перехода к более устойчивому миру и определено, что, находясь в начале производственно-сбытовых цепочек, сектор продолжает являться генератором торговли, занятости и экономического развития, однако он сталкивается с меняющимися правилами, растущим социальным давлением и техническим прогрессом, который действует разрушающе. Отмечено, что к 2050 г., согласно прогнозам, изменятся способы использования ресурсов, поэтому важно понимать, какие бизнес-модели и стратегические приоритеты позволят горно-металлургическому сообществу добиться успеха в будущем [13].

В рамках запущенного на ВЭФ-2015 проекта «Добыча полезных ископаемых и металлы в устойчивом мире-2050» было выполнено тематическое исследование «Циркулярное использование сырьевых товаров и металлов», сценарии для которого разрабатывали на основе доклада «Будущая доступность природных ресурсов: новая парадигма глобальной доступности ресурсов», опубликованного по итогам ВЭФ-2014. Ключевыми были вопросы о балансе между поставками первичного и вторичного сырья при переходе к ЦЭ, а также о том, какие бизнес-модели и стратегии потребуют корректировки для повышения

устойчивости горнодобывающего и металлургического бизнеса в будущем. Основные выводы исследования следующие [13]:

вероятно, будет сделан решительный шаг в сторону рециркуляции, но для поддержки этого перехода нужны фундаментальные изменения в инфраструктуре, регулировании и законодательстве, также потребуются оптимизация внутриотраслевых затрат;

первичная добыча будет продолжаться, но ее объемы вряд ли будут расти в соответствии с ростом ВВП; требования к экономической эффективности будут существовать параллельно со спросом на экологически и социально ответственные действия, ведущие к новым партнерским и операционным моделям;

технологии будут иметь ключевое значение; горнодобывающие компании имеют возможность сосредоточиться на оптимизации переработки отходов, а металлургические компании – на совершенствовании низкосортной переработки;

потребуется лучшее понимание цепочек поставок и потребительских предпочтений; заинтересованным сторонам необходимо будет больше работать сообща для предотвращения непредвиденных последствий перехода к более глубокой переработке и повторному использованию руды и металлов.

Авторы исследования пришли к заключению, что повторное использование и переработка за пределами горно-металлургического сектора потенциально могут изменить сам этот сектор, оказывая влияние на всю цепочку создания добавленной стоимости, а также на структуру спроса. Были выделены области, в которых существует потенциальная возможность «внутрисекторного» применения циркулярных подходов: переработка отходов обогащения, а также шлака; переработка металлолома; повторное использование через перепроектирование (redesign) и использование различных моделей собственности [13].

Системным интегратором, последовательно реализующим концепцию ЦЭ на практике, является Евросоюз. В конце 2015 г. Комиссия ЕС приняла План действий по ЦЭ, включивший 54 мероприятия, чтобы «придать новый импульс созданию рабочих мест, росту и инвестициям, развить экономически нейтральную, ресурсоэффективную и конкурентоспособную экономику». ЕС рассматривает переход от линейных к циркулярным цепям поставок материальных ресурсов как возможность более эффективно решать важнейшую комплексную задачу повышения устойчивости экономики и снижения вредных эмиссий за счет лучшего управления ресурсами, сокращения объемов добычи и загрязнений. Это позволит сделать европейскую экономику менее зависимой от импорта потенциально критических и редких материалов.

Пакет действий по ЦЭ внес серию изменений в законодательство ЕС по переработке отходов, исходя из того, что переход к ЦЭ – это долгосрочный процесс, требующий участия разных секторов для поддержания процесса устойчивой реиндустриализации Европы.

В отчете о выполнении Плана действий по ЦЭ указано, что он способствовал системному подходу по всей цепочке создания стоимости, и с его помощью принципы циркуляции были включены в производство и потребление пластмасс, управление водными ресурсами, систему питания и управление конкретными потоками отходов.

Аспекты цикличности в таких сферах, как потребление энергии и использование материалов, предотвращение и переработка отходов, сокращение в них опасных химических веществ, Комиссия ЕС включила в соответствии с Директивой 2010/75/EU в справочные документы по наилучшим доступным технологиям (НДТ) (BREFs [14]), сделав их нормами (эталоном) для государств – членов ЕС при выдаче разрешений промышленным предприятиям.

В отчете Еврокомиссии сделан вывод, что для ускорения перехода к ЦЭ необходимо инвестировать в инновации, оказывать поддержку промышленности в адаптации к «циркулярности». За период 2016–2020 гг. Комиссия активизировала усилия в обоих направлениях на общую сумму более 10 млрд евро в виде государственного финансирования переходного периода к ЦЭ. Действия ЕС стимулировали проведение дебатов в странах ЕС, и большинство из них приняли или находятся в процессе принятия национальных стратегий перехода к ЦЭ. Как мультипликатор лучших практик действует Платформа стейкхолдеров европейской ЦЭ [15], которая объединяет и продвигает многочисленные «циркулярные» инициативы, примеры передового опыта и стратегии.

В итоговом аналитическом документе, отражающем взгляды руководства ЕС на приоритеты и стратегическую повестку дня этой организации на период 2019–2024 гг., а также на пути устойчивого развития Европы до 2030 г. записано, что «циркулярную экономику необходимо сделать основой промышленной стратегии ЕС». К секторам экономики «с высоким потенциалом циркулярности, которые могут извлечь выгоду из того, чтобы стать циркулярными», наряду, например с электроникой, в ЕС относят и горнодобывающую промышленность. Однако сами представители сектора добычи ТПИ не высказывают по этому поводу излишнего оптимизма, предпочитая уклончиво говорить о возможном вкладе горнодобывающей промышленности в ЦЭ. Для этого имеются весьма веские причины, требующие проведения отдельных исследований с целью поиска путей для преодоления трудностей как практического, так и теоретического свойства. Одна их теоретических трудностей состоит в том, что добыча ТПИ не входит в структурную модель ЦЭ (ФЭМ, 2013), наиболее цитируемую и лежащую в основе современной концепции ЦЭ. Исследование авторов показало, что структурная модель ЦЭ непосредственно включает в себя модель жизненного цикла полезных ископаемых, которая хронологически появилась в более ранний период, что снимает вопрос о несовместимости этих двух моделей. Кроме того, в модели жизненного цикла полезных ископаемых берет свое начало концепция рационального использования материалов, играющая важную роль в оптимизации циркулярных потоков.

Горнорудная промышленность в контексте устойчивого развития – от жизненного цикла полезных ископаемых к современной модели циркулярной экономики

Потенциальные взаимосвязи между горнодобывающим сектором и современной моделью ЦЭ можно выявить на основе ретроспективного анализа подходов к восприятию циркулярности как фактора устойчивого развития применительно к добыче

металлических руд. Изменения в подходах хорошо прослеживаются при сравнении результатов трех исследований, выполненных с 2002 по 2016 г. Международным институтом окружающей среды и развития (IIED [16]) и Международным советом по горному делу и металлургии (ICMM [17]).

В 2002 г. Международный институт окружающей среды и развития при поддержке Всемирного делового совета по устойчивому развитию (WBCSD [12]) опубликовал отчет, получивший название «Проект MMSD», с результатами первого крупного исследования горнорудного сектора относительно устойчивого развития [16]. В исследовании приняли участие горнодобывающие компании, научно-исследовательские сообщества, а также широкий круг других заинтересованных лиц. Цель исследования – получить более глубокое понимание реального и потенциально возможного вклада отрасли в устойчивое развитие. Общим результатом стала Рамочная программа устойчивого развития сектора полезных ископаемых, включающая свод руководящих принципов для четырех аспектов устойчивого развития: в экономической, социальной, экологической сфере и сфере управления. В качестве одного из основных направлений устойчивой деятельности горнодобывающего сектора рассматривали комплексный подход к использованию полезных ископаемых, который нацеливал на эффективное использование руды для сокращения отходов и снижения загрязнения окружающей среды и поощрял восстановление, повторное использование и переработку отходов, а также учет рисков, связанных с определенными минералами. Было определено, что важным фактором принятия решений при оценке производственных процессов, выборе альтернативных материалов и в других случаях должна выступать категория «жизненного цикла минералов», и необходимо поощрять рациональное использование полезных ископаемых на протяжении всего их жизненного цикла. Один из выводов трехлетнего исследования состоял в том, что потребители минералов и металлов должны быть готовы отдавать предпочтение и потенциально платить больше тем горнодобывающим компаниям, которые ведут себя ответственно. Понятие ответственности связывалось с пониманием того, что при использовании невозобновляемых ресурсов нынешнее поколение недропользователей должно учитывать потребность в сырье в будущем.

В отчете проекта MMSD приводится описание круговой диаграммы «цикл минералов» (The Minerals Cycle), поэтапно иллюстрирующей жизненный цикл полезных ископаемых от проведения геологоразведки и добычи до изготовления продукции, ее использования и утилизации с возвращением отходов в окружающую среду. Круговая модель «минерального цикла» (2002 г.) является одним из ключевых прототипов современной модели ЦЭ (2013 г.).

В 2006 г. ICMM на основе проведенных исследований опубликовал Руководство горнодобывающим и металлургическим компаниям [17], которое рекомендовало в целях устойчивого развития стремиться к максимизации ценности полезных ископаемых

и металлов. Было установлено, что ценность добытых минералов и металлов для общества возрастает, если различные заинтересованные стороны в цепочке создания стоимости предпринимают действия, увеличивающие долговечность и пригодность материалов к вторичной переработке.

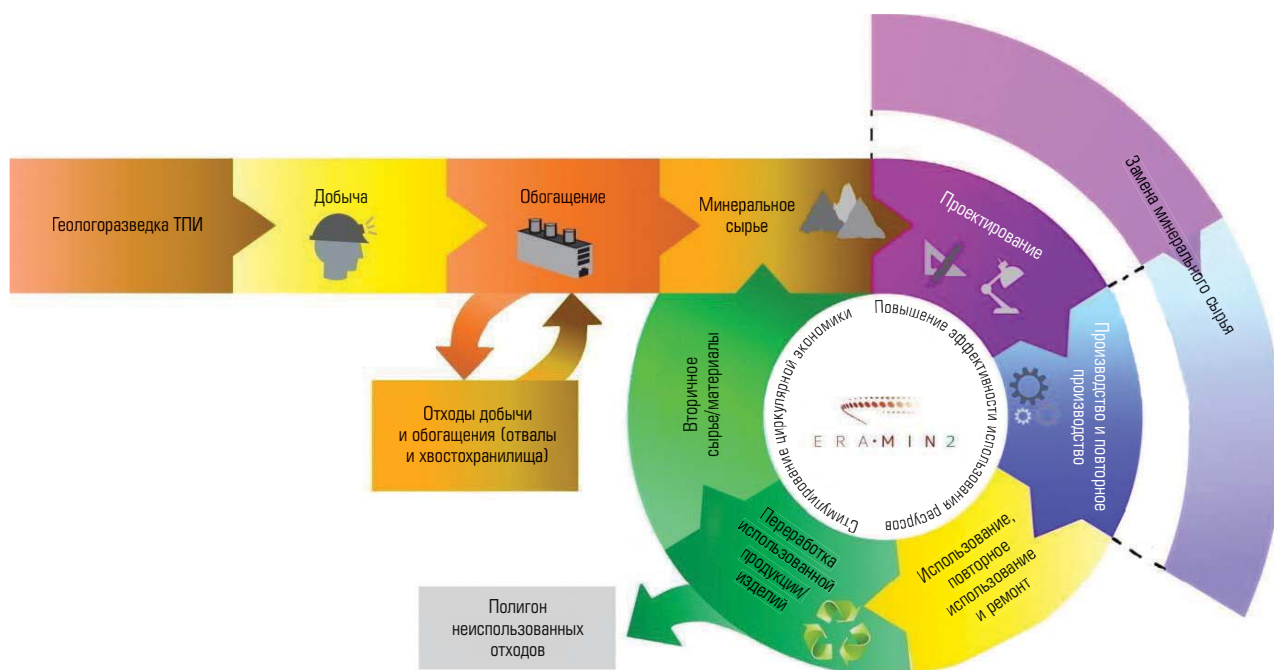
Ключом к формированию стратегий максимизации ценности добываемых полезных ископаемых и металлов стало обеспечение их оптимального и надлежащего использования на всех этапах жизненного цикла. Данная концепция использования материалов с явно выраженными элементами циркулярности получила название «materials stewardship» [18]. Примером реализации такого подхода стала, в частности, канадская инициатива «На пути к устойчивой добыче полезных ископаемых» [19]. Новый подход позволил более четко определять понятия устойчивых продуктов и технологий, устойчивого использования невозобновляемых ресурсов и устойчивого освоения добываемых ресурсов. Более отчетливые очертания приобрели элементы циклического производства и циклического использования материалов, а основой их реализации было названо внедрение новых технологий, включая добычные, работа с инженерами-проектировщиками, бережливость по отношению к первичным ресурсам и экоэффективная утилизация отходов.

В 2016 г. ICMM опубликовал результаты обзорного исследования «Горнодобывающая промышленность, металлы и циркулярная экономика» [20]. К этому времени современная концепция ЦЭ уже сформировалась, получила положительный отклик правительств ряда стран и заинтересованных сообществ и начала активное проникновение в глобальную повестку дня и отдельные сферы экономической деятельности. Авторы исследования сосредоточили внимание на анализе того, как сектор добычи и его продукция вносят свой вклад в циркулярную экономику, а также на том, какие последствия могут возникнуть для горнодобывающей и металлургической отраслей промышленности, где могут быть узкие места, и как их ликвидировать.

Сделан вывод, что горнодобывающим компаниям целесообразно включить в свои оценки долгосрочных тенденций и потенциальных сдвигов в спросе на конкретные виды полезных ископаемых и металлы концепцию ЦЭ. Сдвиги в спросе могут создать для них новые возможности, например благодаря совместному проектированию технологических схем добычи и переработки полезных ископаемых. Дан ряд практических рекомендаций по повышению циркулярности в различных аспектах деятельности горно-металлургическим компаниям. Примечательно, что в своих исследованиях ICMM не применяет, не ссылается и не адаптирует модель ЦЭ (ФЭМ) к отраслевым особенностям горнодобывающего сектора, предпочитая по-прежнему использовать для иллюстрации циркулярности модель жизненного цикла полезных ископаемых 2002 г.

Адаптированная к добыче полезных ископаемых модель ЦЭ была предложена европейским консорциумом ERA-MIN 2*, который организует конкурсы для выявления и поддержки

*ERA-MIN 2 – частно-государственное партнерство, софинансируемое Евросоюзом в рамках крупнейшей в ЕС программы исследований и инноваций «Горизонт-2020»; имеет форму консорциума, в который входит 21 финансирующая организация из 18 стран и регионов.



Модель кругооборота сырьевых материалов в циркулярной экономике

инициативных высокотехнологичных проектов в области неэнергетического несельскохозяйственного сырья.

На рисунке показана модель кругооборота сырьевых материалов в ЦЭ от ERA-MIN 2 [21]. Горизонтальная часть модели отражает этапы получения минерального сырья, а круговая часть – использование минерального сырья и вторичных материалов при производстве продуктов. В данной интерпретации горнодобывающий сектор примыкает к круговой части модели ЦЭ, но не становится ее полноценной составной частью.

В рамках частно-государственного партнерства ERA-MIN 2 софинансирует инновационные проекты, направленные на повышение эффективности геологоразведочных и горных работ, закрытия и восстановления шахт и рудников. Например, на стадии горных работ востребованы технологические проекты по «умной» и экологически эффективной отработке месторождений полезных ископаемых, извлечению нетрадиционных ресурсов, включая интеллектуальный майнинг, добыче сырья из старых хвостохранилищ и отвалов. На стадии обогащения стимулируются исследования по повышению материальной и энергетической эффективности переработки руды, разработке способов валоризации** побочных и сопутствующих продуктов. Имеется запрос на исследования по повышению эффективности использования минеральных ресурсов за счет переработки отходов добычи и обогащения. Этот аспект отражается в циркулярной модели кругооборота сырьевых материалов как малый замкнутый цикл (петля) в секторе добычи полезных ископаемых.

Несмотря на созданную в ЕС инфраструктуру поддержки инновационных проектов, направленных на внедрение элементов ЦЭ в сферу разведки, добычи, обогащения металлических руд и переработки техногенных минеральных образований, процесс

внедрения таких инноваций в Европе находится в начальной стадии. Нет ясности в отношении экономической эффективности разрабатываемых проектов.

«Циркулярное» мышление и наилучшие доступные технологии: проблема утилизации горнопромышленных отходов и технологическое обновление производств

Зарубежные авторы, пишущие на тему ЦЭ в аспекте добычи ТПИ и превращения отходов добычи в ресурсы, оптимистичны в своих взглядах и полагают, приводя соответствующие примеры, что в горнодобывающем секторе у «циркулярных» технологий есть будущее.

В публикациях поднимается вопрос о необходимости «пересмысления» управления отходами горного производства [22]. На примере рудника «Маунт-Морган» (Австралия) подтверждается возможность применения концепции ЦЭ в практике добычи полезных ископаемых. Показано, что упреждающее управление отходами позволяет снизить эмиссии в окружающую среду и увеличить ценность отходов [23]. Изучение проблемы валоризации (повышения ценности) отходов обогащения в хвостохранилищах позволило выделить технологические, экологические, институциональные и экономические драйверы, способствующие использованию хвостов в качестве источников сырья, а также выявить потребности, барьеры и узкие места, имеющие значение для валоризации отходов обогащения [24].

Проведенное ACCENTURE исследование позволяет сделать вывод, что горнодобывающие и металлургические компании все чаще могут сталкиваться с растущим давлением «циркулярного мышления» со стороны традиционных клиентов, и это потребует адекватного реагирования [25]. Горнопромышленникам

**Valorization – повышение ценности.

и металлургам необходимо быстро адаптироваться и принять изменения, чтобы защитить свою долю рынка, используя возможности такого нового источника стоимости, как рынок вторичного сырья; переход горно-металлургических компаний от традиционной линейной к более устойчивой циклической экономической модели дает шанс превратить вызовы «циркулярности» в новые возможности, чтобы идти в ногу с такими лидерами отрасли, как Rio Tinto, ArcelorMittal, Codelco и Novelis [26].

Российские авторы подчеркивают важность технологического и экологического аспектов при выборе подходов к определению циркулярных бизнес-моделей для обращения с отходами предприятий горной промышленности. Эффективной может быть признана бизнес-модель внедрения технологий переработки отходов и использования вторичных ресурсов, а организации бизнес-моделей должно способствовать использование НДТ [27]. Допускается применение принципов ЦЭ в качестве концептуального подхода при разработке стратегии минимизации влияния отходов горной промышленности на окружающую среду в условиях арктического климата [28], имея в виду, что постепенный переход к ЦЭ на арктических территориях предопределен накопленным экологическим ущербом, а основными барьерами для применения циркулярных бизнес-моделей являются технологии и отсутствие платежеспособного спроса на продукты восстановления ресурсов [29].

Представляется принципиально важным для горнодобывающих предприятий связывать в рамках единой стратегии бизнес-модели, ориентированные на рециклинг, повторное использование и сокращение образования отходов, и планы внедрения НДТ. Концепция ЦЭ поддерживает механизм НДТ, ставя в соответствие технологическим инновациям организационно-управленческие. Целью обновляемых бизнес-моделей должно стать обеспечение рентабельности внедряемых НДТ, а общей задачей для них — комплексное использование минерального сырья — извлечение ценных компонентов из первичных и из вторичных (техногенных) минеральных образований, с соблюдением экологических требований.

Таким образом, для рационального использования добытых из недр первичных минеральных ресурсов и накопленных в виде отходов добычи и обогащения вторичных минеральных источников необходимо выполнить два главных условия:

- разработать и внедрить технологические схемы с приемлемыми коэффициентами извлечения полезных компонентов и требуемым уровнем защиты окружающей среды (НДТ);
- разработать и внедрить бизнес-модели, обеспечивающие приемлемый уровень рентабельности технологических процессов, что делает эти процессы жизнеспособными, а НДТ применимыми.

Отсутствие продуманных, потенциально успешных бизнес-моделей может приводить к тому, что технологии будут созданы, но не внедрены, затраты на их эксплуатацию не окупятся, проекты новых технологий не найдут заказчиков и инвесторов.

Циркулярная экономика стимулирует вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот, в том числе вторичных минеральных ресурсов, с последующим замещением части первичных ресурсов и материалов вторичными ресурсами и материалами.

Внешнее стимулирование переработки текущих и накопившихся горнопромышленных отходов мотивирует горнопромышленные предприятия к внедрению новых технологий, способных рентабельно перерабатывать отходы по схеме рециклинга. Разработка и масштабируемое внедрение технологий, позволяющих осуществлять более глубокую переработку минеральных ресурсов, означает движение к новому технологическому уровню, а в контексте добычи — новым кондициям. Стимулируя превращение горнопромышленных отходов в ценные ресурсы, ЦЭ становится драйвером технологического обновления горнодобывающих предприятий.

Заключение

Использование концепции циркулярной экономики в ряде государств, включая страны ЕС, имеет характер устойчивой тенденции, обусловленной стремлением снизить уровень потребления первичных ресурсов по всем цепочкам добавленной стоимости. Для горнодобывающих компаний расширение использования принципов «циркулярности» при производстве материалов и продукции несет в себе угрозу частичной потери рынков и снижения спроса на товарную продукцию. Это требует изменения сложившихся подходов к ведению бизнеса и в то же время создает предпосылки для инновационного обновления горных производств.

Исследование показало, что фокусирование внимания на циркулярности не является модной темой, имеющей ограниченное прикладное значение. Концепция циркулярной экономики, разделяющая ценности ресурсосбережения и предлагающая конкретные инструменты для ее реализации, прочно вошла в глобальную экономическую повестку и в той или иной мере стала частью экономических стратегий ведущих стран. Стремление построить циклические производственные системы, имитирующие кругооборот вещества в природе, не только на микро-, но и на мезо-, макро- и даже мегауровне обусловлено четырьмя взаимосвязанными факторами, существенно отличающими нынешнюю ситуацию от условий прошлых десятилетий:

- ускоряющийся рост потребления природных ресурсов, ставящий под угрозу обеспеченность ими будущих поколений, расточительное использование добываемых из недр невозобновляемых ресурсов;
- рост неопределенности рынков и экономическая нестабильность вследствие увеличения числа факторов риска и масштаба вызываемых ими негативных последствий, включая неэкономические факторы;
- нарастание экологических проблем, связанных с накоплением отходов, увеличением масштабов загрязнения окружающей среды, нарушением природных экосистем и необходимостью их восстановления;
- появление технологий «Индустрии 4.0» на основе цифровизации и Интернета, способных во многих случаях уже сейчас рентабельно реализовывать на практике идеи циркулярности, организовывать эффективно функционирующие замкнутые цепочки поставок (в таких областях, как использование пластика, электроника, применение металлического лома, химическая продукция и др.).

Системным интегратором и лидером в продвижении и практической реализации концепции ЦЭ в ряде отраслей стал Евросоюз.

Изучение документов ЕС и других источников позволяет сделать вывод, что расширение практических приложений концепции ЦЭ носит системный характер, а проникновение «циркулярного мышления» в различные сферы экономической деятельности будет нарастать в той степени, в какой будут оставаться актуальными концепции ресурсосбережения, «зеленого роста» в контексте достижения целей устойчивого развития.

Циркулярная экономика поддерживает переход на наилучшие доступные технологии в системе нового для нашей страны экологического регулирования. Она стимулирует превращение горнопромышленных отходов во вторичные ресурсы и предлагает адаптировать циркулярные бизнес-модели под решение

конкретных задач. Однако для этого нужна сетевая кооперация производственных предприятий с потенциальными партнерами, включая разработчиков, инвесторов и государство. В перспективе такая экономика будет способна через рынки, клиентские отношения, социальные институты и конкурентоспособность оказывать усиливающееся давление на менеджмент, акционеров, регулирующие органы и других стейкхолдеров горнодобывающих компаний с тем, чтобы запустить или ускорить процесс их технологического обновления. Стратегически концепция циркулярной экономики может рассматриваться как драйвер перехода горнодобывающего сектора на более высокий технологический уровень.

Библиографический список

1. Батова Н., Сачек П., Точицкая И. На пути к зеленому росту: окно возможностей циркулярной экономики / Центр экономических исследований BEROC, 2018. URL: http://www.beroc.by/publications/policy_papers/na-puti-k-zelenomu-rostu/ (дата обращения: 20.04.2020).
2. MacArthur E., Waughray D. Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential. 2016. URL: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_080216.pdf (дата обращения: 20.04.2020).
3. MacArthur E. What Is the Circular Economy? 2020. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy> (дата обращения: 24.04.2020).
4. De Sousa Jabbour A. B. L., Chiappetta Jabbour C. J., Filho M. G., Roubaud D. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations // Annals of Operations Research. 2018. Vol. 270. Iss. 1-2. P. 273–286.
5. Организация экономического сотрудничества и развития. URL: <https://gtmarket.ru/organizations/oecd/info> (дата обращения: 17.05.2020).
6. Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy. – Paris : OECD Publishing, 2019. – 114 p.
7. Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns / United Nations. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/> (дата обращения: 21.05.2020).
8. D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K. et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 168. P. 716–734.
9. Milestones. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-story/milestones> (дата обращения: 21.05.2020).
10. The Next Frontier: Natural Resource Targets Shaping a Competitive Circular Economy within Planetary Boundaries : White Paper. 2019. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Next_Frontier_Natural_Resource_Targets_Report.pdf (дата обращения: 24.05.2020).
11. Platform for Accelerating the Circular Economy. URL: <https://pacecircular.org/> (дата обращения: 24.05.2020).
12. Circular Economy / World Business Council for Sustainable Development, 2020. URL: <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy> (дата обращения: 24.05.2020).
13. Mining & Metals in a Sustainable World 2050 : Industry Agenda. 2015. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_MM_Sustainable_World_2050_report_2015.pdf (дата обращения: 25.05.2020).
14. Reference Documents / European Commission. URL: <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/> (дата обращения: 25.05.2020).
15. Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan / European Commission, 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0190> (дата обращения: 26.05.2020).
16. Economics / International Institute for Environment and Development. URL: <https://www.iied.org/economics> (дата обращения: 26.05.2020).
17. Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development : The Report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project. – London : Earthscan Publications Ltd, 2002. – 450 p.
18. Maximizing Value: Guidance on implementing materials stewardship in the minerals and metals value chain. – London : International Council on Mining and Metals, 2006. – 40 p.
19. TSM Guiding Principles / Mining Association of Canada, 2019. URL: <https://mining.ca/towards-sustainable-mining/tsm-guiding-principles/> (дата обращения: 29.05.2020)
20. Mining and metals and the circular economy. – London : International Council on Mining and Metals, 2016. – 24 p.
21. Raw materials for sustainable development and the circular economy. 2017. URL: https://www.era-min.eu/system/files/call_text_era-min_joint_call_2017_0.pdf (дата обращения: 30.05.2020).
22. Maedeh Tayebi-Khorami, Edraki M., Corder G., Golev A. Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations // Minerals. 2019. Vol. 9. Iss. 5. DOI: 10.3390/min9050286
23. Lèbre É., Corder G., Golev A. The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level // Journal of Industrial Ecology. 2017. Vol. 21. No. 3. P. 662–672.
24. Kinnunen Päivi H.-M., Kaksonen A. H. Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 228. P. 153–160.
25. Mining new value from the circular economy / Accenture, 2019. URL: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-98/accenture-circular-economy-in-mining.pdf (дата обращения: 30.05.2020).
26. Mishra G. Circular economies in the mining sector: More than just recycling / Bizcommunity, 2020. URL: <https://www.bizcommunity.com/Article/196/608/193346.html> (дата обращения: 30.05.2020).
27. Мочалова Л. А. Разработка циркулярных бизнес-моделей для предприятий минерально-сырьевого комплекса // Стратегии и инструменты экологически устойчивого развития экономики : матер. 15-й Междунар. науч.-практ. конф. Российского общества экологической экономики. – Ставрополь – Кисловодск : АГРУС, 2019. С. 273–277.
28. Ключникова Е. М., Макаров Д. В., Маслюбов В. А. Концептуальная основа стратегии минимизации влияния отходов горной промышленности на окружающую среду в Арктике // Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения-2018 : матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Апатиты : Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018. С. 40.
29. Харитонова Г. Н. Объективные и предварительные предпосылки перехода к «циркулярной экономике» на арктических территориях // Стратегии и инструменты экологически устойчивого развития экономики : матер. 15-й Междунар. науч.-практ. конф. Российского общества экологической экономики. – Ставрополь – Кисловодск : АГРУС, 2019. С. 483–487. **ГЖ**

Circular economy: A threat or a driver of technological advance in the mining sector?

Information about authors

V. A. Knysh¹, Chief Researcher, Doctor of Economic Sciences, knyshva@mail.ru

L. V. Ivanova¹, Senior Researcher, Candidate of Economic Sciences

¹Luzin Institute for Economic Studies, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia

Abstract

The actively developing concept of a circular economy affects directly the interests of mining companies. The analysis shows that the potential impact of the circular economy on the solid mineral mining sector is contradictory, and the productive capabilities of the circular economy within the sector are not completely clear. At the same time, the question of transition from a linear model to a circular model of using material resources has been entered on the global economic agenda in the context of sustainable production and consumption.

The aim of this study is to disclose the modern concept of the circular economy, its impact on the sector of solid mineral mining and processing, and its capabilities within the sector. The analysis shows that the economy, which is based on the model of closed (circular) supply chains in the industrial production cycle, represents simultaneously a threat to mining companies and brings incentives for their technological development. Such a duality is caused by the fact that the implementation of the idea of replacing natural resources by secondary material resources by extending life cycle of materials and minimizing waste returned to the environment requires increasing manufacturability of industrial production. The decrease in the share of primary resources in production cycles does not fit well with the corporate strategies of mining companies aimed at expanding mining to meet the growing demand for the final products of mineral mining and processing. The study shows that the use of the adapted circular business models in mining and processing of mineral raw materials can become a driver of technological upgrading of mines, an incentive for involving accumulated waste in business circulation, while ignoring it threatens the mines with a loss of strategic competitiveness. The comparison of the concepts of the circular economy and the best available technologies (BAT) leads to the conclusion that the “circularity” contributes to introduction of BAT, increasing sustainability of mines and of the whole industry in the face of a growing uncertainty. Recognition of these concepts as a positive factor may trigger the mechanism of institutional support for the transition of mining companies to a next technological level against the background of decreasing quality of natural mineral raw materials and worsening conditions for their extraction.

Keywords: circular economy, mining industry, sustainable development, circular business model, minerals, raw materials, life cycle of raw materials.

References

1. Batova N., Sachek P., Tochinskaya I. On the Way to Green Growth: Window Opportunities of Circular Economy. BEROC Economic Research Center, 2018. Available at: http://www.beroc.by/publications/policy_papers/na-puti-k-zelenomu-rostu/ (accessed: 20.04.2020).
2. MacArthur E., Waughray D. Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential. 2016. Available at: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Intelligent_Assets_080216.pdf (accessed: 20.04.2020).
3. MacArthur E. What Is the Circular Economy? 2020. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy> (accessed: 24.04.2020).
4. De Sousa Jabbour A. B. L., Chiappetta Jabbour C. J., Filho M. G., Roubaud D. Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*. 2018. Vol. 270, Iss. 1-2. pp. 273–286.
5. Organization for Economic Co-operation and Development. Available at: <https://gtmarket.ru/organizations/oecd/info> (accessed: 17.05.2020).
6. Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy. Paris : OECD Publishing, 2019. 114 p.
7. Goal 12: Ensure sustainable consumption and production patterns. United Nations. Available at: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/> (accessed: 21.05.2020).

8. D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K. et al. Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 168. pp. 716–734.
9. Milestones. Available at: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-story/milestones> (accessed: 21.05.2020).
10. The Next Frontier: Natural Resource Targets Shaping a Competitive Circular Economy within Planetary Boundaries : White Paper. 2019. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Next_Frontier_Natural_Resource_Targets_Report.pdf (accessed: 24.05.2020).
11. Platform for Accelerating the Circular Economy. Available at: <https://pacecircular.org/> (accessed: 24.05.2020).
12. Circular Economy. World Business Council for Sustainable Development, 2020. Available at: <https://www.wbcsd.org/Programs/Circular-Economy> (accessed: 24.05.2020).
13. Mining & Metals in a Sustainable World 2050 : Industry Agenda. 2015. Available at: http://www3.weforum.org/docs/WEF_MM_Sustainable_World_2050_report_2015.pdf (accessed: 25.05.2020).
14. Reference Documents. European Commission. Available at: <https://eippbc.jrc.ec.europa.eu/reference/> (accessed: 25.05.2020).
15. Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on the implementation of the Circular Economy Action Plan. European Commission, 2019. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0190> (accessed: 26.05.2020).
16. Economics. International Institute for Environment and Development. Available at: <https://www.iied.org/economics> (accessed: 26.05.2020).
17. Breaking New Ground: Mining, Minerals, and Sustainable Development : The Report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project. London : Earthscan Publications Ltd, 2002. 450 p.
18. Maximizing Value: Guidance on implementing materials stewardship in the minerals and metals value chain. London : International Council on Mining and Metals, 2006. 40 p.
19. TSM Guiding Principles. Mining Association of Canada, 2019. Available at: <https://mining.ca/towards-sustainable-mining/tsm-guiding-principles/> (accessed: 29.05.2020)
20. Mining and metals and the circular economy. London : International Council on Mining and Metals, 2016. 24 p.
21. Raw materials for sustainable development and the circular economy. 2017. Available at: https://www.era-min.eu/system/files/call_text_era-min_joint_call_2017_0.pdf (accessed: 30.05.2020).
22. Maedeh Tayebi-Khorami, Edraki M., Corder G., Golev A. Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. *Minerals*. 2019. Vol. 9, Iss. 5. DOI: 10.3390/min9050286
23. Lèbre É., Corder G., Golev A. The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level. *Journal of Industrial Ecology*. 2017. Vol. 21, No. 3. pp. 662–672.
24. Kinnunen Päivi H.-M., Kaksonen A. H. Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 228. pp. 153–160.
25. Mining new value from the circular economy. Accenture, 2019. Available at: https://www.accenture.com/_acnmedia/pdf-98/accenture-circular-economy-in-mining.pdf (accessed: 30.05.2020).
26. Mishra G. Circular economies in the mining sector: More than just recycling. Bizcommunity, 2020. Available at: <https://www.bizcommunity.com/Article/196/608/193346.html> (accessed: 30.05.2020).
27. Mochalova L. A. Development of circular business models for the mineral mining sector. *Environmentally Sustainable Economic Development Strategies and Tools : The 15th Conference Proceedings of the Russian Society for Ecological Economics*. Stavropol – Kislovodsk : AGRUS, 2019. pp. 273–277.
28. Klyuchnikova E. M., Makarov D. V., Masloboev V. A. Conceptual framework for the strategy of environmental impact minimization in mining in the Arctic. *The North and the Arctic in the new global development paradigm. Luzin's Lectures-2018 : Proceedings of IX International Scientific-Practical Conference*. Apatity : Izdatelstvo FITs KNTs RAN, 2018. p. 40.
29. Kharitonova G. N. Objective and preliminary prerequisites for the transition to the circular economy in the Arctic areas. *Environmentally Sustainable Economic Development Strategies and Tools : The 15th Conference Proceedings of the Russian Society for Ecological Economics*. Stavropol – Kislovodsk : AGRUS, 2019. pp. 483–487.