

## Экономико-географическая модель пирометаллургического цикла черных металлов: направления модернизации в условиях современной НТР

Никита Юрьевич ЗАЛЯЗА<sup>1</sup>  
магистрант  
zalyaza2001@mail.ru, <https://ORCID.org/0009-0001-2121-0563>

Андрей Сергеевич ЛУЧНИКОВ<sup>2</sup>  
старший преподаватель  
aluchnikov@yandex.ru, <https://ORCID.org/0000-0003-3586-5525>

Олег Юрьевич ШЕШУКОВ<sup>3</sup>  
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник  
o.j.sheshukov@urfu.ru, <https://ORCID.org/0000-0002-2452-826X>

<sup>1</sup> ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия

<sup>3</sup> ФГАОУВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

**Аннотация.** Рассматриваются исторические аспекты использования концепции энергопроизводственных циклов (ЭПЦ) на примере пирометаллургического цикла черных металлов, отмечены ее недостатки, сокращающие возможности применения на современном этапе, указано на необходимость модернизации идеи на основе использования инновационных подходов. Приведено мнение профессора А.Т. Хрущева, одного из классиков концепции ЭПЦ, который отмечал, что пирометаллургический цикл черных металлов является одним из самых консервативных и наименее учитывает трансформации в отрасли. На основе изучения данных отраслевых журналов, публикаций трудов ученых, специалистов в области региональной экономики, контент-анализа сайтов крупнейших металлургических холдингов России авторами предложена обновленная схема цикла в соответствии с современными направлениями НТР, концепциями бережливого производства, гибкой специализации. В новой схеме представлены три ведущих звена: наряду с классическими превращениями в триаде «чугун – сталь – прокат» в ней подробнее описывается отдельное звено, раскрывающее перспективность электрометаллургических технологий, которые в последние десятилетия стали широко применяться по всему миру с целью сокращения затрат на исходное сырье. Третье звено объединяет технологии, связанные с порошковой металлургией. Особое внимание уделено эколого-утилизационным направлениям, реализуемым на предприятиях черной металлургии, которые способны связать данный вид промышленной деятельности с иными обрабатывающими отраслями, жилищно-коммунальным хозяйством, тепло- и электроэнергетикой и др. Рассмотрены также направления реализации цикла в пределах Дальнего Востока России. В заключении делается вывод, что концепция ЭПЦ может стать важным инструментом в процессе оптимизации территориально-

отраслевой структуры предприятий черной металлургии России на современном этапе, что уже происходит в тех регионах страны, которые ранее не обладали подобной специализацией, но имеют высокий потребительский и научно-исследовательский потенциал, а также развитые связи между металлургией и машиностроением.

**Ключевые слова:** черная металлургия, пирометаллургический цикл черных металлов, технологическо-отраслевая структура, рециклинг, экологичные технологии

**Для цитирования:** Заляза Н.Ю., Лучников А.С., Шешуков О.Ю. Экономико-географическая модель пирометаллургического цикла черных металлов: направления модернизации в условиях современной НТР // Тихоокеанская география. 2024. № 2. С. 64–79. [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2024\\_18\\_5](https://doi.org/10.35735/26870509_2024_18_5).

Original article

## Economic and geographical model of the pyrometallurgical cycle of ferrous metals: directions of modernization under conditions of modern scientific and technological revolution

Nikita Yu. ZALYAZA<sup>1</sup>

Master's student

[zalyaza2001@mail.ru](mailto:zalyaza2001@mail.ru), <https://ORCID.org/0009-0001-2121-0563>

Andrey S. LUCHNIKOV<sup>2</sup>

Senior Lecturer

[aluchnikov@yandex.ru](mailto:aluchnikov@yandex.ru), <https://ORCID.org/0000-0003-3586-5525>

Oleg Yu. SHESHUKOV<sup>3</sup>

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief research associate

[o.j.sheshukov@urfu.ru](mailto:o.j.sheshukov@urfu.ru), <https://ORCID.org/0000-0002-2452-826X>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Perm State University, Perm, Russia

<sup>3</sup> Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**Abstract.** The article discusses the historical aspects of the concept of energy and production cycles (EPC) by the example of the pyrometallurgical cycle of ferrous metals; notes the shortcomings of the concept that reduce the possibility of its application at present stage; indicates the need to modernize the idea based on the use of innovative approaches. Professor Anatoliy T. Khrushchev, one of the classics of the concept of EPC, noted that the pyrometallurgical cycle of ferrous metals was one of the most conservative and least takes into account modern transformations in the industry. Based on the data from the sectoral journals, publications in the field of regional economics, content analysis of the websites of the largest metallurgical holdings in Russia, the authors proposed an updated scheme for the cycle in accordance with directions of scientific and technological revolution, the concepts of lean production, flexible specialization. The new scheme includes three leading links: along with the classical transformations in the iron-steel-rolled triad, the scheme describes in more detail a separate link that reveals the prospects of electrometallurgical technologies, which in recent decades have become widely used around the world in order to reduce the cost of raw materials. The third link combines technologies related to powder metallurgy. Particular attention is paid to environmental recycling areas implemented at ferrous metallurgy enterprises, which are able to connect this type of industrial activity with other manufacturing industries, housing and communal services, heat and power, etc. The directions for implementing the cycle within the Russian Far East are also considered. It is concluded that the concept of the EPC can become an important tool for optimizing the ter-

ritorial and sectoral structure of Russian ferrous metallurgy enterprises at the present stage. Such processes take place in those regions of the country that previously did not have such specialization, but have a high consumer and research potential, as well as developed ties between metallurgy and mechanical engineering.

**Keywords:** ferrous metallurgy, pyrometallurgical cycle of ferrous metals, technological and sectoral structure, recycling, eco-intensive technologies

**For citation:** Zalyaza N.Yu., Luchnikov A.S., Sheshukov O.Yu. Economic and geographical model of pyrometallurgical cycle of ferrous metals: directions of modernization under the conditions of modern scientific and technological revolution. *Pacific Geography*. 2024;(2):64-79. (In Russ.). [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2024\\_18\\_5](https://doi.org/10.35735/26870509_2024_18_5).

## Введение

Экономико-географический анализ территориальной организации различных видов промышленной деятельности тесно связан с концепцией энергопроизводственных циклов (ЭПЦ), которая может быть использована как методологическая основа для организации научных исследований и как практическая база для проектирования и конструирования современных территориально-промышленных комплексов. Н.Н. Колосовский под ЭПЦ понимал «всю совокупность производственных процессов, последовательно развертывающихся в экономическом районе СССР на основе сочетания данного вида энергии и сырья...» [1, с. 96].

В советское время концепция ЭПЦ (особенно с середины XX в.) активно развивалась и использовалась в практике народно-хозяйственного строительства. Ее значимость была связана с рядом серьезных теоретических и конструктивных преимуществ. Прежде всего, она позволяла анализировать и проектировать территориальные структуры хозяйства (особенно на региональном и локальном уровнях), а также заниматься их оптимизацией и совершенствованием. В.Е. Шувалов отмечал, что «ЭПЦ – это пример ... концепции экономико-географического процесса, построенного на технологическом факторе» [2, с. 329].

Среди восьми ЭПЦ, выделенных в свое время Н.Н. Колосовским, для Урала и многих других регионов России особое значение имеет пирометаллургический цикл черных металлов, «связывающий» все стадии и звенья переработки черных металлов и их сплавов от добычи сырья до металлургического передела, а также имеющий ветви, определяющие рециклинг отходов соответствующих предприятий. В советской экономической географии изучаемый ЭПЦ считался наиболее разработанным, поэтому его структура особо не подвергалась критическому анализу и изменениям. Профессор А.Т. Хрущев отмечал, что «среди всех отраслей тяжелой промышленности черная металлургия оказалась, вероятно, самой консервативной» [3, с. 130]. Однако в настоящее время в результате научно-технического прогресса, применения новых способов обработки сырья и в связи с трансформацией факторов размещения предприятий, на наш взгляд, генеральная структура ЭПЦ должна и может быть модернизирована. Актуальность этого вопроса также связана с необходимостью пересмотра основных положений классических концепций экономической географии, их адаптацией к рыночным условиям.

Целью данного исследования является модернизация классической схемы пирометаллургического цикла черных металлов с целью ее адаптации к современным экономико-производственным и конъюнктурным условиям в соответствии с инновационными направлениями НТР.

Основой для трансформации схемы ЭПЦ могут быть только производственные и организационные инновации, т.е. позитивные изменения в технологиях, формах размещения и организации производственного процесса, а также в целом учет достижений современной НТР. В этой связи необходимо рассматривать конструкцию ЭПЦ в контексте развертывания современных технологических циклов [4]. Появление новых и модернизация «старых» технологических цепочек могут быть связаны только с увеличением значения ин-

теллектуальной энергии человека в схеме циклов, а также создаваемой ею информацией, которая не сможет заменить традиционные виды энергии (химическую, механическую и пр.), но будет дополнять их. В так называемой экономике знаний «удачное» использование информации ведет к накоплению капитала, созданию высокой добавленной стоимости, преобразованию различных видов сырья и энергии для повышения конкурентоспособности производств. Все это позволяет увеличить варибельность процессов производства металлов и металлургического передела, основанных на технологиях конца XX – начала XXI в., но при этом сохранить его базовую структуру. Таким образом, новые схемы ЭПЦ будут наследовать черты предыдущих, но подвергаться модернизации.

Среди основных направлений модернизации схемы пирометаллургического цикла черных металлов предварительно можно отметить следующее: 1) снижение сырьевой емкости технологий; 2) внедрение инноваций уже на стадии добычи и обогащения; 3) достижение выпуска металлов высокого качества; 4) применение технологий по производству железа прямого восстановления; 5) увеличение разнообразия технологий прокатного производства; 6) применение иных прогрессивных технологий, в т.ч. порошковой металлургии, выпуска би- и триметаллов, специальных сплавов и внепечной обработки стали, непрерывной ее разливки. Существенное развитие в новой схеме также должны получить экологоемкие технологии, в том числе связанные с утилизацией отходов всех звеньев и стадий цикла и большим использованием альтернативных видов сырья (например, лома черных металлов).

### **Материалы и методы**

Вслед за Н.Н. Колосовским значительный вклад в развитие концепции внесли его ученики и последователи: Ю.Г. Саушкин [4], А.Т. Хрущев [5], М.Н. Степанов [6], В.А. Осипов и М.Д. Шарьгин [7], И.Л. Савельева [8] и многие др. В 1960–1980-е гг. в своих работах они обобщили имевшуюся информацию, значительно расширили содержание концепции, уточнили генеральные схемы традиционных циклов, ввели (разработали) структуры новых циклов (например, атомноэнерго-промышленного, редкометалльно-химического и др.). Было окончательно определено содержание таких элементов циклов, как «стадия», «звено», «ветвь», а также предложены механизмы использования различных циклов или их сочетаний в практике развития промышленных узлов или иных территориально-производственных систем. В конце 1980-х – начале 1990-х гг. содержание работ в области совершенствования содержания концепции ЭПЦ несколько изменилось в сторону комплексности реализации природно-ресурсного потенциала территории, экологизации промышленно-производственных процессов и пр.

К сожалению, новая эпоха общественно-политического развития России значительно ограничила применение идей и технологий отечественной экономико-географической школы. С исчезновением различных механизмов государственного участия в территориально-отраслевом планировании и регулировании экономики применение таких терминов, как «энергопроизводственный цикл», значительно сократилось и сохранилось исключительно в науке. Тем не менее следует признать верными усилия современных географов-обществоведов доказать корректность достижений экономико-географической науки советского периода, проводя параллели между ними и теми моделями, которые используются сегодня для развития хозяйства. Необходимо отметить справедливость отстаиваемых идей о том, что представления об ЭПЦ весьма близки к концепции промышленного кластера [10]. Практическую важность ЭПЦ на современном этапе подчеркивает Б.М. Ишмуратов, говоря о том, что «... нельзя не видеть «повторения» логики связей ЭПЦ в логике формирования крупнейших частных и смешанных холдингов...» [11, с. 161]. А.А. Максимов отмечает, что в условиях научно-технического прогресса традиционные виды ЭПЦ «вышли» за пределы экономических районов и в значительной степени

утратили свои районообразующие функции. Метод ЭПЦ подходит не только к изучению территориально-производственных комплексов районов, но и для совокупности отраслей, базирующихся на определенном виде сырья и энергии, в целом для страны. Этот метод дает комплексный подход к изучению ресурсов, к их использованию, возможности межатраслевой интеграции производства в современных рыночных условиях, а также формирования адекватных ей управленческих структур [11]. Кроме того, по мнению В.Е. Шувалова, для социально-экономической географии знание и умение применить на практике различные технологические решения – задача первостепенной важности... Экономическая география в эпоху НТР стала наукой не столько о размещении производства, сколько о размещении технологий [12].

В связи с наметившимся возрождением интереса к классике отечественной экономической географии среди работ географов-обществоведов начали появляться исследования, посвященные модернизации генеральных схем традиционных ЭПЦ. Так, в работах Е.А. Шерина раскрывается обновленное содержание схемы углепромышленного цикла (на примере Кузнецкого мезорайона) [13], Б.А. Казакова и А.С. Лучникова [14], а также А.А. Максимова – лесопромышленного цикла [11]. Что касается пирометаллургического цикла черных металлов, то отдельные мысли о его модернизации были озвучены А.В. Гладким [15], предложившим появление цикла инновационной металлургии и блюминга. В 2005 г. В.А. Рябов [16] впервые обосновал необходимость ввода в схему цикла электрометаллургических технологий. Однако конкретных изменений в схему данные авторы не вносили.

В качестве базового «рисунка» пирометаллургического цикла черных металлов в работе использована схема, предложенная А.Т. Хрущевым [5]. С целью ее обновления нами был осуществлен контент-анализ как отраслевых, так и академических научных источников информации, а также новостных лент официальных сайтов крупнейших металлургических холдингов России (в частности, ПАО «НЛМК», Evraz Group, ПАО «Мечел» и др.) и групп компаний (например, ООО «АйЭрСи Групп»). В результате проделанной работы были учтены результаты внедрения современных технологий на отдельных промышленных площадках России. Упорядочиванию разнородной информации помогло обращение к Общему классификатору видов экономической деятельности (группа производств с кодами 07.1, 24.1, 24.2, 24.3, 24.5) (<https://оквэд-2.рф/>) и сайту <https://otlivka.info/>.

Наибольшее значение для исследования имели труды специалистов Института новых материалов и технологий УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина – В.В. Кондратьева, А.И. Карлиной, Д.А. Лобанова, Ю.И. Топорковой, О.Ю. Шешукова и др. [17–19], ученых в области региональной экономики Института экономики УрО РАН (г. Екатеринбург), прежде всего профессора О.А. Романовой и ее коллег – А.И. Татаркина, Е.Н. Селиванова, Д.В. Сиротина, С.Г. Ченчевича и др. [20–22], а также материалы диссертационных исследований по территориальной организации черной металлургии России и мира Э.Н. Абдурахимова [23] и Н.В. Мазеина [24].

## Результаты и их обсуждение

Пирометаллургический цикл черных металлов представляет собой последовательную цепочку от добычи и обогащения руд черных металлов, их технологических превращений через доменный и сталелитейный процессы к производству готового проката. Он также включает в себя ветви, связанные с утилизацией отходов производства и рециклингом металлов. Предложенная А.Т. Хрущевым схема отраслевого ЭПЦ на сегодняшний день уже не в полной мере соответствует технологическим решениям, реализуемым на большинстве отраслевых предприятий страны. Эти решения во-многом усовершенствованы в целях экологизации производства, для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду, с одной стороны, и повышения добавленной стоимости продукции, с

другой. Кроме того, для успешного функционирования черной металлургии на современном этапе активно внедряются технологии сбережения сырья, поскольку отрасль отличается высокой зависимостью от невозобновляемых минеральных ресурсов в условиях их стремительного истощения. С учетом вышеперечисленных факторов и положений нами выполнена обновленная схема пирометаллургического цикла черных металлов (рис. 1).

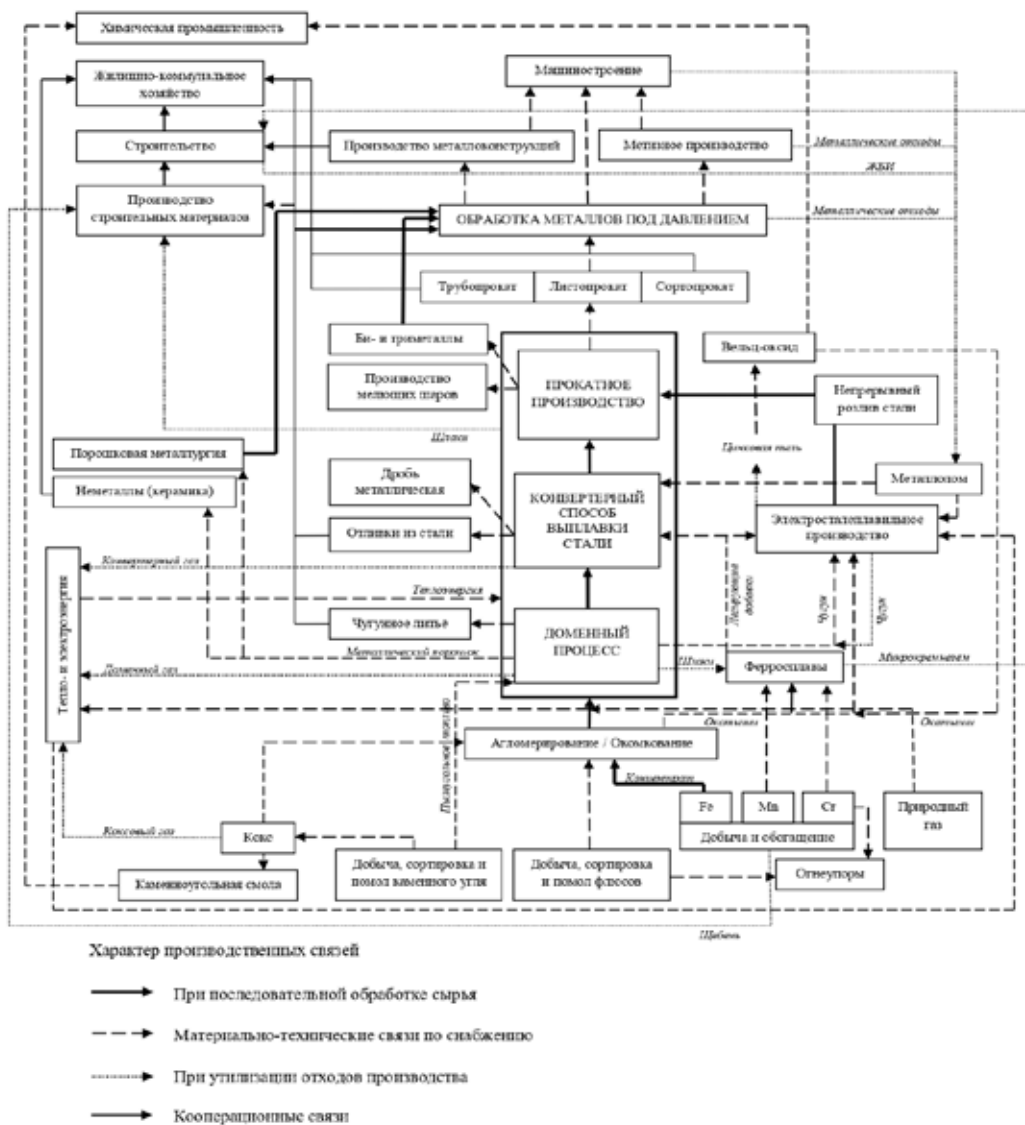


Рис. 1. Обновленная схема пирометаллургического цикла черных металлов

Fig. 1. Updated scheme of pyrometallurgical cycle of ferrous metals

Современные технологии черной металлургии применяются уже на *стадии добычи и обогащения руд*. Например, на Кимкано-Сутарском ГОКе (Еврейская автономная область) в связи с особенностями структуры добываемых железных руд применяется технология сухого магнитного обогащения. Ее суть заключается в выделении в концентрат магнитных рудных минералов. Использование сухой магнитной сепарации для предварительного обогащения сырья повышает технико-экономические показатели работы производства:

снижаются затраты на измельчение и на мокрое обогащение, увеличивается массовая доля железа в руде, улучшается однородность. Все это позволяет как снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, так и производить дополнительную продукцию из пустой породы (щебень) в количестве 2–2.3 млн т в год [25], которую можно использовать в производстве строительных материалов. Концентрат последней стадии магнитной сепарации является готовым продуктом с содержанием железа 65.8 %. Он может быть использован в технологиях производства железа прямого восстановления (или губчатого железа) в виде металлизированных окатышей DRI (Direct Reduced Iron) и горячебрикетированного железа HBI (Hot Briquetted Iron), что позволяет выпускать высококачественную сталь на основе бездоменного процесса. Данное направление развития отрасли относится к наиболее перспективным и эффективным в мировой практике черной металлургии.

Основной производственный процесс (от добычи и обогащения руд и иного вспомогательного сырья до выпуска металлопроката) сохраняет свою определяющую роль в отрасли. При этом в обновленной схеме мы более подробно раскрываем передельный процесс, в частности уделяем больше внимания разнообразию видов металлопроката, так как именно эта стадия имеет наиболее тесную связь с концепцией гибкой специализации и расширением географии черной металлургии через связь с машиностроением и иными смежными видами деятельности. Также в верхнюю часть схемы введена стадия «Обработка металлов под давлением», объединяющая совокупность физико-механических процессов, позволяющих получать заготовки и детали в результате деформации металла при помощи силового воздействия на него кузнечнопрессовыми, штамповочными или волочильными станками. Данная стадия часто осуществляется либо на специальных производственных площадках, либо на прокатных заводах, либо в соответствующих цехах машиностроительных предприятий, т.е. является пограничной между черной металлургией и машиностроением. Это отражено и в ОКВЭД, где процессы обработки металлов давлением отнесены к смежной с металлургическим производством группе 25 («Производство готовых металлических изделий»). В то же время необходимость включения ее в схему подтверждается практикой функционирования в составе крупнейших металлургических холдингов подобных предприятий. Например, ПАО «Уральская кузница» (г. Чебаркуль) находится в составе группы ПАО «Мечел» и занимается выпуском разнообразных штамповок для всех отраслей машиностроения. ООО «Уральский металлургический завод» (группа «Объединенные машиностроительные заводы») в г. Екатеринбург выпускаетковки крупно- или мелкосерийных партий.

Еще одной позицией, связанной с выпуском металлопроката и обработкой металлов давлением, является «Производство метизных изделий», которое объединяет выпуск разнообразного крепежа (болтов, винтов, гаек, шайб, шпилек, уголков, заклепок, шурупов и пр.), используемых в различных отраслях промышленности, строительстве и т.п. В классической схеме А.Т. Хрущева эта позиция отсутствует. Включение ее в общий рисунок цикла обосновано использованием для их выпуска метода штампования на станках. В ОКВЭД производство метизов отнесено также к группе 25 («Производство готовых металлических изделий»), кроме выпуска пружин. В последние годы на территории России появились новые предприятия, реализующие подобные технологии. Часть из них входит в состав крупнейших металлургических компаний России, способствуя диверсификации их деятельности и углублению переработки черных металлов внутри страны. Так, в состав ПАО «Северсталь» входит сразу несколько площадок, специализирующихся на производстве метизов (в городах Череповец, Орел и Волгоград; объединены в ОАО «Северсталь-метиз»). Среди других металлургических компаний площадками такого профиля также обладают ПАО «Мечел» (АО «Вяртсильский метизный завод»), ММК (ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод»), НЛМК (ПАО «НЛМК-метиз») и др.

Также в составе стадии металлопроката отдельно в схеме нами выделена позиция «Производство мелющих шаров», так как процесс их производства связан с использованием технологии поперечно-винтовой прокатки, а также с методами штамповки иковки

[26]. Мелющие шары (цильпесы) являются важнейшим материалом, без которого не возможна работа ни одного горно-обогатительного комбината, завода по выпуску цемента, обработке строительного камня, углеобогатительной фабрики и пр. Так как мелющие шары в процессе их эксплуатации очень быстро изнашиваются, для эффективной бесперебойной работы указанных предприятий требуется значительный объем цильпесов. В связи с этим на территории России в последние годы открыто множество различных по размеру специализированных площадок (ООО «Нортон Сталь Втормет» в г. Омск, Производственная компания «Диада» в Курской области, Высокогорский металлопрокатный завод «Сфера» в г. Нижний Тагил, «Мэйфрид» в г. Екатеринбург и др.). Это также расширяет географию присутствия отрасли в стране, способствует ее видовой диверсификации.

Кроме того, значительная часть предприятий черной металлургии занимается реализацией технологий литья изделий из чугуна и стали. Они выпускают как отливки для дальнейшей обработки на машиностроительных заводах, так и готовые изделия для жилищно-коммунального и городского хозяйства, строительной индустрии. Также к ним относятся художественно-литейные мастерские. Литейные технологии в ОКВЭД относятся к группе 24 («Производство металлургическое»), т.е. включены в состав металлургии. В схеме А.Т. Хрущева литейное производство было представлено отдельной позицией. В рамках указанной стадии мы предлагаем выделять новые межотраслевые связи между черной металлургией и иными видами экономической деятельности, а также учитывать в качестве самостоятельной технологию выпуска металлической дробы, используемой для дробеструйной очистки и упрочнения поверхности металлоизделий.

В новом рисунке пирометаллургического цикла черных металлов большой акцент сделан на усилении экологической составляющей цикла. Например, важным шагом с точки зрения внедрения альтернативных и экономически эффективных видов сырья стало включение в схему технологии использования пылеугольного топлива для осуществления доменного процесса. В доменной плавке она позволяет сэкономить примерно до 20 % кокса и 50 % природного газа [27]. Кроме того, в схеме подробно раскрыто современное направление выработки тепло- и электроэнергии на основе утилизации коксового, доменного и конвертерного газов для покрытия нужд крупнейших предприятий отрасли, а также для снабжения сопряженных территорий. Использование вторичных источников для генерации электроэнергии позволяет металлургическим комбинатам повысить энергоэффективность. Так, подобные технологии уже нашли применение на головной липецкой площадке ПАО «НЛМК», самообеспеченность электроэнергией которой на 2019 г. составила 65 %. Сегодня работа в этом направлении не завершена: металлургический холдинг в том же году приступил к строительству второй утилизационной тепловой электростанции. По прогнозам, ввод в действие УТЭЦ-2 позволит снизить выбросы CO более чем на 3 тыс. т в год и CO<sub>2</sub> на 650 тыс. т в год [28].

Важным нововведением в предлагаемой схеме является выделение в отдельное направление электросталеплавильного процесса (выплавку стали в электропечах), функционирующего на основе использования вторичного сырья (лома черных металлов, арматуры из бетонного боя) или металлизированных окатышей, получаемых в процессе прямого восстановления железа. Под влиянием этих технологий функционируют так называемые металлургические предприятия нового типа (мини-заводы), а также предприятия «малой металлургии» (работающие в составе крупных машиностроительных холдингов), прокатные и большинство передельных заводов страны, отвечающих современным производственным требованиям. Именно электрометаллургия в настоящее время способствует созданию новых промышленно-географических ареалов в неметаллургических регионах страны (Европейский Юг и Нижнее Поволжье, в том числе Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская, Волгоградская, Саратовская области; Среднее Поволжье: Республика Татарстан; Северо-Запад России: город федерального значения Санкт-Петербург) и укреплению ареалов в традиционных центрах размещения (Тульская, Свердловская, Челябинская области и др.).



Электросталеплавильный процесс на сегодняшний день можно назвать практически замкнутым с точки зрения утилизации отходов, поскольку он позволяет перерабатывать твердые, жидкостные и газообразные их компоненты, металлические частички. Так, разработана технология утилизации цинковой пыли и ее преобразование в вельц-оксид, извлечение полезных частиц из которого позволяет получать вторичное сырье для металлизированных окатышей. Актуальность реализации этого направления связана с тем, что в среднем за год на предприятиях страны образуется около 1 млн т пыли, содержащей в себе до 800 тыс. т железа [18]. Благодаря технологии безотходной переработки электропечного шлака становится возможным производство чугуна на его основе, что характеризуется увеличением глубины переработки сырья, способствует развитию и реализации современных инновационных направлений в черной металлургии. После лабораторных испытаний технология была реализована на ПАО «Северский трубный завод» с использованием кокса в качестве углеродистого восстановителя железа [19].

Отдельное внимание в пирометаллургическом цикле черных металлов уделено производству ферросплавов, использующихся как легирующие добавки для придания определенных физико-химических свойств расплавам чугуна или стали. Высокоуглеродистые ферросплавы (ферромарганец, ферросилиций и феррохром) выпускают с использованием доменных технологий. Однако с их помощью невозможно получить ферросплавы с содержанием металлов, имеющих большее химическое сродство с кислородом, чем железо, а также тугоплавкие металлы. Таким образом, для получения ферромolibдена, феррованадия, ферровольфрама, ферротитана и многих других используют электроплавильный и металлотермический способы. Как и в иных производственных процессах, при производстве ферросплавов реализуются экологичные технологии, а также процессы, связывающие черную металлургию с другими видами промышленной деятельности. Так, побочным продуктом при производстве ферросилиция и других сплавов с содержанием кремния является микрокремнезем, служащий важной добавкой при производстве бетона [17]. Например, сырьем для производства феррованадия на АО «Чусовской металлургический завод» служат доменные шлаки – отходы Нижнетагильского комбината.

Введение в схему в качестве третьего звена технологий порошковой металлургии обусловлено их высокой потенциальной эффективностью. Основные преимущества заключаются в возможности получения изделий из тугоплавких металлов и их сплавов, которые не сплавляются традиционными способами; сочетания металлов, которые не смешиваются в расплавленном виде; сочетания металлов и неметаллов, а также экономичности в отношении используемого сырья, снижении энергозатрат при осуществлении производственного процесса и др. [29]. Технологии порошковой металлургии могут быть применены для создания новых конструкционных и композитных материалов. В свою очередь это позволит расширить географию черной металлургии страны за счет создания новых производственных площадок, в т.ч. в тех регионах, для которых металлургическая специализация не является основной, а сравнительно широкое развитие получил машиностроительный комплекс. Такая закономерность характерна, например, для ряда регионов Поволжья (Нижегородская область, Республика Марий Эл), Центральной России (Московская, Рязанская, Тульская области) и Урала (Челябинская, Свердловская области), Дальнего Востока (Хабаровский край – г. Комсомольск-на-Амуре). В перспективе возможно строительство такого производства в Приморском крае – в г. Большой Камень, где формируется крупный судостроительный кластер. Так, ООО «Коломенский завод порошковой металлургии» успешно функционирует благодаря тесным технологическим связям прежде всего с АО «Коломенский завод», специализирующемся на производстве современных магистральных пассажирских локомотивов. Обладая широкой номенклатурой выпускаемой продукции, эта металлургическая площадка на основе применения современных технологий снабжает предприятия деталями, используемыми в отечественных моторах для легкового и грузового транспорта, двигателях локомотивов и морских судов, запорных устройствах и сантехническом оборудовании и др.

Меньшее внимание в схеме уделено коксохимическому подциклу, поскольку, на наш взгляд, его следует рассматривать в рамках углеэнергохимического ЭПЦ [30]. Сегодня большинство коксохимических заводов, располагающихся вне металлургических баз, ориентируются в своей деятельности не столько на выпуск кокса, сколько на производство такой продукции как электродный пек, сырье для производства технического углерода и нафталина, каменноугольной смолы и пр., т.е. не относящейся к металлургическим технологиям. Важно отметить, что это нашло отражение в официальной статистике. Согласно ОКВЭД, коксохимический подцикл относится к отдельному виду экономической деятельности (группа 19 «Производство кокса и нефтепродуктов»). Примером может служить ОАО «Губахинский кокс» (Пермский край), имеющее большую часть рыночных ниш именно в области коксохимии.

Рассмотрим реализацию различных ветвей, звеньев и стадий обновленной схемы пирометаллургического цикла в пределах Дальневосточного федерального округа (ДФО) (рис. 2).

В советское время отдельная база черной металлургии в пределах Дальнего Востока создана не была. В настоящее время отрасль в этом самом крупном федеральном округе России представлена разомкнутыми, т.е. не связанными друг с другом, составляющими ЭПЦ. Начальные стадии реализуются на Быстринском (контролируется структурами ПАО «Норникель») и Сунтаро-Кимканском (контролируется IRS Limited) ГОКах, полученный концентрат которых полностью реализуется в рамках экспортных поставок в КНР, как и продукция перезапущенного в 2023 г. Олекминского ГОКа (контролируется АО «Байкало-Амурская горнорудная корпорация»). Также с 2023 г. разработка руд ведется на Сиваглинском месторождении (контролируется группой «Мечел»), продукция с которого поступает на переработку в г. Челябинск. В настоящее время сырьевой потенциал ДФО используется в интересах других регионов России и стран мира. При этом отмечается, что регионы Дальнего Востока обладают крупными запасами железных, в основном средне- и легкообогатимых руд, особенно Республика Саха (Якутия) и Забайкальский край. Они также содержат иные полезные компоненты, что важно для комбинирования технологий черной металлургии с производством концентратов для цветной металлургии (как уже происходит на Олекминском ГОКе) [31]. Кроме того, имеются интеллектуальные, инфраструктурные и энергетические возможности для реализации проектов по добыче и обогащению сырья с привлечением инноваций. Например, для разработки сложносоставных титаномагнетитовых руд Амурской области может быть использован метод прямого восстановления железа, по одной из технологий которого в качестве восстановителя могут выступить некоксуемые угли Иркутского бассейна. Специалисты отмечают не только его актуальность в связи с особенностями сырья, но и экологичность: выбросы углекислого газа, двуокиси серы, оксидов азота снижаются на 30 % по сравнению с традиционными металлургическими технологиями [32]. Кроме того, технологические инновации на предприятиях могут решить проблему относительно небогатого содержания железа в рудах многих месторождений, где оно варьирует от 26 до 49 %.

Кроме технологий добычи и обогащения на территории ДФО также существуют предприятия, реализующие литейные технологии (например, в г. Комсомольск-на-Амуре, г. Белогорск, г. Закаменск и др.) в системе связей «металлургия – машиностроение». Однако они не являются специализированными ни для отдельных городов, ни регионов Дальнего Востока. Единственная площадка по выпуску ферросплавов в округе – АО «Жерекенский ГОК» (Забайкальский край) – в 2013 г. была законсервирована по причине снижения цен на молибден на мировом рынке. В то же время в прессе все чаще появляются материалы о возможном его открытии в связи с изменением условий мировой конъюнктуры и созданием в пгт. Жерекен территории опережающего социально-экономического развития, что снизит налоговую нагрузку для собственников предприятия.

Единственным крупным отраслевым предприятием Дальнего Востока остается ООО «Амурсталь», реализующее технологии передельной электрометаллургии на основе

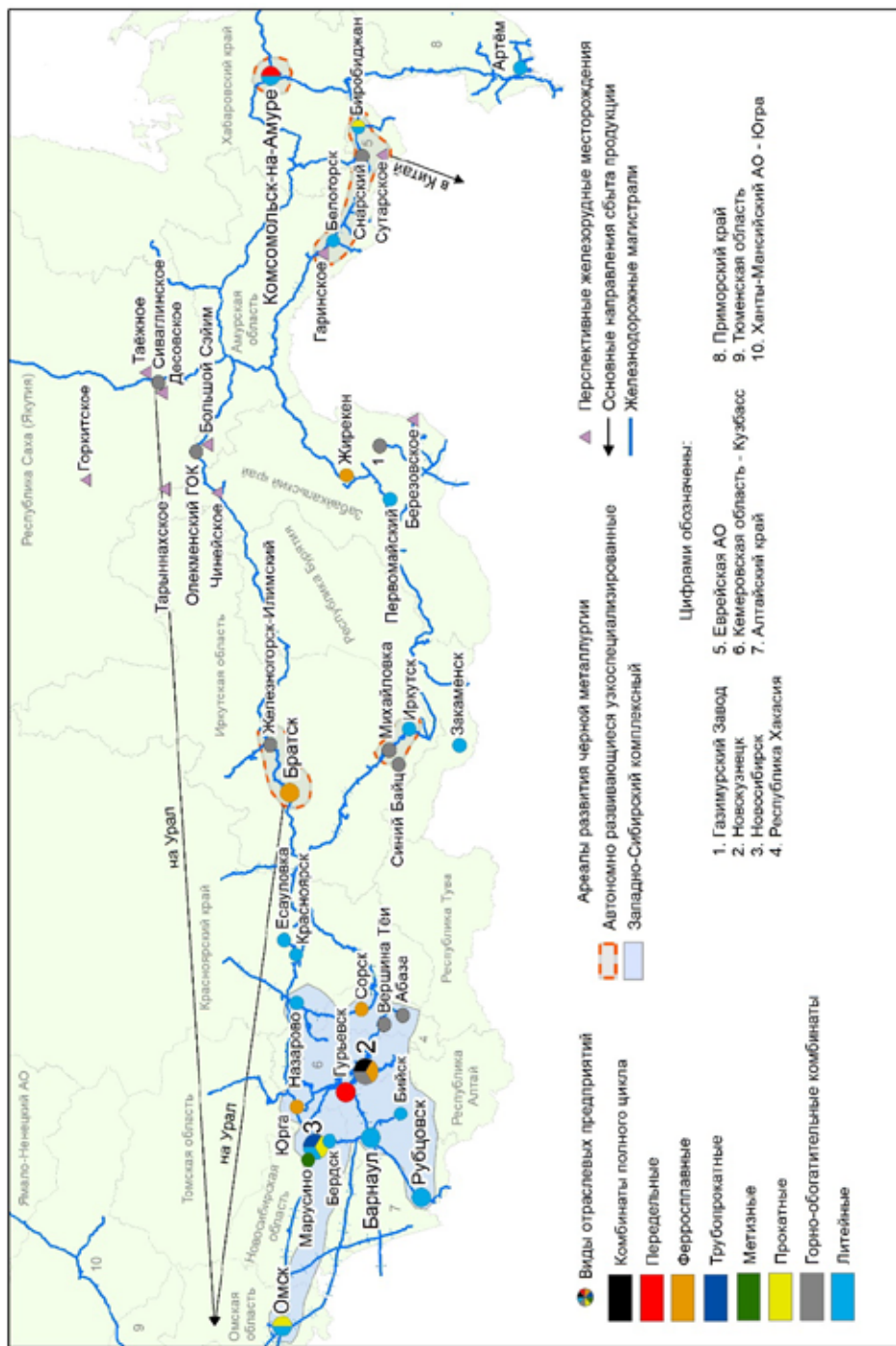


Рис. 2. Территориальная структура черной металлургии России в пределах Сибирского и Дальневосточного федеральных округов  
 Fig. 2. Territorial structure of the Russian ferrous metallurgy within the Siberian and Far Eastern federal districts

плавки металлолома. Предприятие выпускает стальную заготовку, а также сортопрокат на ее основе для строительной отрасли, машиностроения и др. В 1990–2000-х гг. завод испытывал значительные трудности в приобретении сырья, ведь металлолом массово продавался за границу [33]. В конце 2010-х гг. началась модернизация передельного процесса. В частности, в 2020 г. на заводе была выполнена серия опытных плавов с использованием горячебрикетированного железа (ГБЖ) и двух видов скрап-отходов. Для закрепления этого процесса был построен новый дробильно-сортировочный цех, позволяющий увеличить глубину переработки металлургических шлаков [34]. Продолжается модернизация сортопрокатного цеха, что позволит увеличить скорость выпуска продукции и диверсифицировать линейку готовых изделий.

В целом доля ДФО в общероссийском объеме выплавки стали и производстве готового проката в течение 1995–2020 гг. составляла от 0,3 до 1,8 %, что меньше уровня 1990 г. Таким образом, Дальний Восток следует отнести к глубокой периферии развития отрасли в стране. В то же время макрорегион имеет возможности для изменения ситуации. Способствовать этому должно усиление связей с АТР. Общее оживление традиционных отраслей экономики Дальнего Востока: железнодорожного транспорта, судостроения, рыболовства и др., кооперационно связанных с выпуском металлопродукции, должно стать стимулом для создания здесь собственной металлургической базы. В ее основе должен быть полный замкнутый цикл черно-металлургических производств с использованием богатой местной ресурсной базы, развитием широкого внутреннего потребления металлов, а также решением проблем транспортной и энергетической безопасности. При этом возможно объединение восточно-сибирского и дальневосточного отраслевых ареалов в один, о чем пишут иркутские географы [35, 36]. Они предлагают проект Байкало-Амурского (Ангарского) металлургического сверхкомбината (территориально-производственного комплекса), в котором будут объединены современные технологии черной и цветной металлургии с реализацией продукции как в пределах России, так и в странах Юго-Восточной Азии.

### **Заключение и выводы**

Метод ЭПЦ имеет ряд серьезных преимуществ, так как позволяет анализировать и совершенствовать территориальные и технолого-отраслевые структуры хозяйства на региональном и локальном уровнях; может послужить теоретико-методологической основой для установления новых экспортно-сбытовых связей между предприятиями различных отраслей промышленности, функционирующих на основе кооперационных связей с металлургией (машиностроение, химическая промышленность, строительная отрасль, энергетика, транспорт и др.), увеличения добавленной стоимости продукции, усиления рентабельности производства.

В то же время в своем классическом виде схемы ЭПЦ, предложенные Н.Н. Колосовским, его учениками и последователями, на сегодняшний день по некоторым стадиям и звеньям не соответствуют модернизациям, произошедшим в промышленных технологиях. Это требует их всесторонней ревизии и обновления с учетом современных направлений НТР, инновационного развития отраслей, в т.ч. и такой консервативной, на первый взгляд, группе производств, как черная металлургия.

Основой для трансформации традиционной схемы пирометаллургического цикла черных металлов могут быть только организационные и производственные инновации, направленные на рационализацию технолого-производственного процесса. В этой связи предложенная схема была значительно расширена и дополнена новыми ветвями, звеньями и стадиями, реализующимися на предприятиях черной металлургии России в настоящее время, начиная от комбинатов полного цикла и горно-обогатительных комбинатов и заканчивая площадками с узкой специализацией (метизные, литейные, прокатные, трубопрокатные, ферросплавные и пр.).

Среди новаций, предложенных авторами: введение в схему, кроме основного производственного процесса, еще двух звеньев – электрометаллургии и порошковой металлургии, не присутствовавших в ней ранее. Кроме того, для нового варианта схемы предложены перспективные технологии добычи и обогащения руд черных металлов, характерно более широкое раскрытие ее верхних стадий, показывающих возрастающую связь между металлургией и машиностроением, стройиндустрией, транспортными отраслями, а также все большую ориентацию узкоспециализированных предприятий на рынки сбыта продукции в рамках концепции гибкой специализации. Еще одним новшеством в схеме стало усиление утилизационных направлений и технологий рециклинга, использование нетрадиционных видов сырья (металлолома, боя бетона), позволяющих оптимизировать технологии внутри отрасли в рамках концепции бережливого производства и развивать тесные связи с иными видами производственной деятельности в рамках новых ветвей цикла. В будущем черная металлургия все более будет опираться на технологии сырье-, тепло- и энергосбережения, что также нашло отражение в обновленной схеме отраслевого цикла.

Предложенная авторами схема пирометаллургического цикла черных металлов, кроме инноваций и функциональных трансформаций в отрасли, уже сегодня отражает изменения, произошедшие в территориальной структуре черной металлургии за постсоветский период. Одними из самых важных последствий являются усиление внутриотраслевой дифференциации в регионах страны с традиционной специализацией на данных производствах и появление новых промышленно-географических ареалов с выпуском черных металлов на территории Северо-Западного, Центрального, Южного, Северо-Кавказского, Приволжского и Дальневосточного федеральных округов.

В настоящее время в пределах Дальнего Востока России реализуются только отдельные, не связанные друг с другом стадии и звенья пирометаллургического цикла черных металлов. При этом на стадиях добычи и обогащения, электрометаллургического периода крупнейшие предприятия региона внедряют технологические инновации с целью улучшения качества продукции. Формированию полного замкнутого цикла в пределах ДФО мешают следующие причины: еще не вполне достаточная развитость внутреннего спроса на металлы; отсутствие должного внимания государства к давно разработанным программам и проектам создания металлургического комплекса в регионе; отдельные преимущества, создаваемые внешней конъюнктурной средой за счет спроса на руды черных металлов; проблемы инфраструктуры и доступности электроэнергии, повышающие себестоимость добычи сырья и снижающие рентабельность предприятий, производящих готовую продукцию.

## Литература

1. Колосовский Н.Н. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2006. 336 с.
2. Шувалов В.Е. «Бэкграунд» социально-экономической географии // Социально-экономическая география: традиция и современность: сб. науч. тр. / ред. А.И. Шкирина, В.Е. Шувалова. М.-Смоленск: Ойкумена, 2009. С. 320–339.
3. Хрущев А.Т. Научно-технический прогресс и территориальная организация промышленности // Экономическая и социальная география на пороге XXI века. М.-Смоленск: Изд-во Смол. гос. ун-та, 1997. С. 125–133.
4. Лучников А.С. К вопросу обновления содержания концепции энергопроизводственных циклов в новых условиях // Территориальная организация общества и управление в регионах: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием. Воронеж: Изд.-полиграф. центр «Научная книга», 2016. С. 81–85.
5. Саушкин Ю.Г. Территориальные сочетания энергопроизводственных циклов // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. 1968. № 1. С. 18–29.
6. Степанов М.Н. О развитии концепции энергопроизводственных циклов // Вопросы географии: сб. науч. тр. М.: Мысль, 1968. Сб. 75. С. 139–154.
7. Хрущев А.Т. География промышленности СССР. М.: Высшая школа, 1990. 210 с.
8. Осипов В.А., Шарыгин М.Д. Энергопроизводственные циклы: проблемы теории и практики. Л.: Наука, 1988. 120 с.
9. Савельева И.Л. Минерально-сырьевые циклы производств Азиатской России: региональные черты становления и развития. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 274 с.

10. Бакланов П.Я. Современные теоретические проблемы экономической географии // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2004. № 4. С. 7–11.
11. Ишмурагов Б.М. Геополитические аспекты формирования энергопроизводственных циклов и территориально-производственных комплексов в Южной Сибири // Природно-ресурсный потенциал Азиатской России и сопредельных стран: геоэкологическое, геоэкономическое и геополитическое районирование: материалы Междунар. науч. конф. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2004. С. 160–163.
12. Максимов А.А. Понятие, концепция и метод энергопроизводственных циклов. Современный лесопромышленный энергопроизводственный цикл // Актуальные проблемы современной географии: сб. науч. тр. / Смоленск. гум. ун-т. Смоленск, 2004. С. 186–195.
13. Шерин Е.А. Переосмысление теории энергопроизводственных циклов на примере угольного цикла производств Кузбасса // Вестник Кемеровского гос. ун-та. 2017. № 3. С. 55–59.
14. Казаков Б.А., Лужников А.С. К вопросу использования концепции энергопроизводственных циклов для развития лесопромышленного кластера Пермского края // Вестник Тверского гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. 2019. № 2. С. 39–55.
15. Гладкий А.В. Информационно-производственные циклы как новый механизм функционирования постиндустриальных территориально-производственных систем // Псковский регионологический журнал. 2016. № 2. С. 3–8.
16. Рябов В.А. Социально-экономические и экологические основания модернизации промышленного комплекса Кузбасса: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск, 2005. 23 с.
17. Кондратьев В.В., Карлина А.И., Немаров А.А., Иванов Н.Н. Результаты теоретических и практических исследований флотации наноразмерных кремнийсодержащих структур // Журнал Сиб. фед. ун-та. Техника и технологии. 2016. № 9. С. 657–670.
18. Топоркова Ю.И. Комплексная переработка цинкосодержащей пыли сталеплавильного производства в аммиачно-хлоридных средах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2021. 137 с.
19. Шешуков О.Ю., Егизарьян Д.К., Лобанов Д.А. Безотходная переработка ковшевого и электропечного шлака // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64, № 3. С. 192–199.
20. Романова О.А., Селиванов Е.Н., Ченчевич С.Г. Возможности и ограничения модернизации регионально-металлургического комплекса // Экономика региона. 2012. № 4 (32). С. 92–99.
21. Романова О.А., Сиротин Д.В. Металлургический комплекс среднего Урала в условиях развития индустрии 4.0: дорожная карта перепозиционирования комплекса // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2. С. 37–50.
22. Татаркин А.И., Романова О.А., Дюбанов В.Г., Душин А.В., Брянцев О.С. Тенденции и перспективы развития рециклинга металлов // Экология и промышленность России. 2013. № 5. С. 4–10.
23. Абдурахимов Э.Н. Сдвиги в территориально-производственной структуре черной металлургии России (конец XX – начало XXI в.): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2012. 22 с.
24. Мазеин Н.В. Принятие решений о размещении новых предприятий черной металлургии мира: методология и методика анализа // Известия РАН. Сер. геогр. 2009. № 1. С. 36–47.
25. ООО «АйЭрСи Групп». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.petrovavlovsk-io.ru/> (дата обращения: 29.10.2023).
26. Чиж Е.В., Абенюва М.Б. Выбор и анализ технологии изготовления мелющих тел // Теория и технология металлургического производства. 2016. № 2. С. 42–44.
27. Группа НЛМК: эффективная замена. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nlmk.com/ru/media-center/interviews-and-speeches/gruppa-nlmk-effektivnaya-zamena/> (дата обращения: 28.05.2023).
28. «Зеленые» технологии генерации электроэнергии на Липецкой производственной площадке. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lipetsk.nlmk.com/ru/sustainable-development/ecology/green-power-generation-at-the-lipetsk-site1/> (дата обращения: 28.05.2023).
29. Белоусова В.П., Белоусова А.Л. Экономико-технологические предпосылки организации производства изделий из порошковых материалов в условиях неспециализированных машиностроительных предприятий // Региональная экономика: теория и практика. 2008. № 15. С. 67–70.
30. Залая Н.Ю. К вопросу модернизации схемы пирометаллургического цикла черных металлов // Сборник материалов участников XVIII Большого географического фестиваля. СПб.: Изд-во С-Петерб. гос. ун-та, 2022. С. 829–833.
31. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году. М., 2022. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Книга\\_ГД-2021web\\_2023.01.18\\_8.pdf](https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Книга_ГД-2021web_2023.01.18_8.pdf) (дата обращения: 01.03.2024)
32. Панишев Н.В., Бигеев В.А. Лабораторные исследования и полупромышленные испытания глубокой металлизации титаномagnetитов // Теория и технология металлургического производства. 2017. № 4 (23). С. 4–8.
33. Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX–XXI веков / колл. авторов; под общ. ред. акад. П.Я. Бакланова. Владивосток: Дальнаука, 2012. Т. 3. Территориальные социально-экономические структуры. 362 с.
34. Цвенгер Т. Комсомольская «Амурсталь» перерабатывает отходы, накопившиеся за 80 лет. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.hab.kp.ru/online/news/4549685/> (дата обращения: 01.03.2024).
35. Никольский А.Ф. «Новый Ангарстрой» как ключевой проект будущей индустриализации России // География и природные ресурсы. 2017. № 4. С. 143–153.

36. Никольский А.Ф., Безруков Л.А., Шуплецов А.Ф. «Новый Ангарстрой» как проект несырьевой интеграции экономики России и Китая // Изв. Байкальского гос. ун-та. 2018. Т. 28, № 3. С. 470–480. DOI: 10.17150/2500–2759

## References

1. Kolosovsky, N.N. Selected works. Oikumena: Smolensk, Russia, 2006; 336 p. (In Russian)
2. Shuvalov, V.E. «Background» of socio-economic geography. In *Socio-economic geography: tradition and modernity*. Ed. by A.I. Shkirina; V.E. Shuvalov. Oikumena: Moscow, Smolensk, Russia, 2009, 320-339. (In Russian)
3. Khrushchev, A.T. Scientific and technical progress and territorial organization of industry. In *Economic and social geography on the threshold of the XXI century*. Publishing House of Smolensk State University. Moscow, Smolensk, Russia, 1997, 125-133. (In Russian)
4. Luchnikov, A.S. On the issue of updating the content of the concept of energy production cycles in the new conditions. In *Territorial organization of society and management in the regions: materials of the XI All-Russian conf.* Publishing House “Scientific Book”: Voronezh, Russia, 2016, 81-85. (In Russian)
5. Saushkin, Yu.G. Territorial combinations of energy production cycles. *Vestnik of Moscow State University. Ser. 5. Geography*. 1968, 1, 18-29. (In Russian)
6. Khrushchev, A.T. Geography of industry in the USSR. Publishing House “High School”: Moscow, USSR, 1990; 210 p. (In Russian)
7. Stepanov, M.N. On the development of the concept of energy production cycles. In *Questions of Geography*. Mysl: Moscow, USSR, 1968. Issue 75, 139-154. (In Russian)
8. Osipov, V.A.; Sharygin, M.D. Energy production cycles: problems of theory and practice. Nauka: Leningrad, USSR, 1988; 120 p. (In Russian)
9. Savelyeva, I.L. Mineral raw materials production cycles in Asian Russia: regional features of formation and development. Publishing House of Siberian branch of the Russian Academy of Science: Novosibirsk, Russia, 2007; 274 p. (In Russian)
10. Baklanov, P.Ya. Modern theoretical problems of economic geography. *Vestnik of Moscow State University. Ser. 5. Geography*. 2004, 4, 7-11. (In Russian)
11. Ishmuratov, B.M. Geopolitical aspects of the formation of energy production cycles and territorial production complexes in Southern Siberia. In *Natural resource potential of Asian Russia and neighboring countries: geoeconomic, geoeconomic and geopolitical zoning: materials of the international scientific conference*. Publishing House of the Institute of Geography, Siberian branch of the Russian Academy of Science: Irkutsk, Russia, 2004, 160-163. (In Russian)
12. Maksimov, A.A. The concept, concept and method of energy production cycles. Modern timber industry energy and production cycle. In *Actual problems of modern geography*. Publishing House of Smolensk Humanitarian University: Smolensk, Russia. 2004, 186-195. (In Russian)
13. Sherin, E.A. Rethinking the theory of energy production cycles on the example of the coal production cycle of Kuzbass. *Bulletin of the Kemerovo State University*. 2017, 3, 55-59. (In Russian)
14. Kazakov, B.A.; Luchnikov, A.S. On the issue of using the concept of energy and production cycles for the development of the timber cluster of Perm Krai. *Bulletin of Tver State University. Ser. Geography and Geoecology*. 2019, 2, 39-55. (In Russian)
15. Gladkiy, A.V. Information and production cycles as a new mechanism for the functioning of post-industrial territorial production systems. *Pskov regional journal*. 2016, 2, 3-8. (In Russian)
16. Ryabov, V.A. Socio-economic and environmental foundations for the modernization of the industrial complex of Kuzbass. Abstract of the dissertation of the candidate of the geographical sciences. Irkutsk State University: Irkutsk, Russia, 2005; 23 p. (In Russian)
17. Kondratiev, V.V.; Karlina, A.I.; Nemarov, A.A.; Ivanov, N.N. Results of theoretical and practical studies of flotation of nanosizedsilicon-containing structures. *Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies*. 2016, 9, 657-670. (In Russian)
18. Toporkova, Yu.I. Complex processing of zinc-containing steelmaking dust in ammonia-chloride environments. Abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences. The Urals Federal University: Yekaterinburg, Russia, 2021; 137 p. (In Russian)
19. Sheshukov, O.Yu.; Egiazaryan, D.K.; Lobanov, D.A. Waste-free processing of ladle and electric furnace slag. *Izvestiya of the institutions of Higher Education. Ferrous metallurgy*. 2021, 3, 192-199. (In Russian)
20. Romanova, O.A.; Selivanov, E.N.; Chenchevich, S.G. Opportunities and limitations of the modernization of the regional metallurgical complex. *Economics of the region*. 2012, 4 (32), 92-99. (In Russian)
21. Romanova, O.A.; Sirotin, D.V. Metallurgical complex of the Middle Urals in the context of the development of industry 4.0: a roadmap for the repositioning of the complex. *Problems of Forecasting*. 2019, 2, 37-50. (In Russian)
22. Tatarkin, A.I.; Romanova, O.A.; Dyubarov, V.G.; Dushin, A.V.; Bryantsev, O.S. Trends and prospects for the development of metal recycling. *Ecology and Industry of Russia*. 2013, 5, 4-10. (In Russian)
23. Abdurahimov E.N. Shifts in the territorial and production structure of the ferrous metallurgy of Russia (late XX - early XXI). Abstract of the dissertation of the candidate of the geographical sciences. Moscow State University: Moscow, Russia, 2012; 22 p. (In Russian)

24. Mazein, N.V. Making decisions on the location of new enterprises of the ferrous metallurgy of the world: methodology and methods of analysis. *Izvestiya of the Russian Academy of Science. Ser. Geographic*. 2009, 1, 36-47. (In Russian)
25. LLC "IRC Group". Available online: <https://www.petrovskio.ru> (accessed on 29 October 2023). (In Russian)
26. Chizh, E.V.; Abenova, M.B. Choice and analysis of technology for manufacturing grinding bodies. *Theory and technology of metallurgical production*. 2016, 2, 42-44. (In Russian)
27. NLMK Group: an effective replacement. Available online: <https://nlmk.com/ru/media-center/interviews-and-speeches/gruppa-nlkm-effektivnaya-zamena/> (accessed on 28 May 2023). (In Russian)
28. Green technologies for generating electricity at the Lipetsk production site. Available online: <https://lipetsk.nlkm.com/ru/sustainable-development/ecology/green-power-generation-at-the-lipetsk-site1/> (accessed on 28 May 2023). (In Russian)
29. Belousova, V.P.; Belousova, A.L. Economic and technological prerequisites for organizing the production of products from powder materials in the conditions of non-specialized machine-building enterprises. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2008, 15, 67-70. (In Russian)
30. Zalyaza, N.Yu. On the issue of modernization of the scheme of the pyrometallurgical cycle of ferrous metals. In *Collection of materials of the participants of the XVIII Great Geographical Festival*. Publishing House of Saint-Petersburg State University: St. Petersburg, Russia. 2022, 829-833. (In Russian)
31. State report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021". Moscow, Russia, 2022. Available online: [https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Book\\_GD-2021\\_web\\_2023.01.18\\_8.pdf](https://vims-geo.ru/ru/documents/714/Book_GD-2021_web_2023.01.18_8.pdf) (accessed on 03 March 2024). (In Russian)
32. Panishev, N.V.; Bigeev, V.A. Laboratory research and semi-industrial testing of deep metallization of titanomagnetites. *Theory and technology of metallurgical production*. 2017, 4(23), 4-8. (In Russian)
33. Geosystems of the Far East at the turn of the 20th-21st centuries / coll. of authors; under general ed. by acad. P.Ya. Baklanova. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2012. Vol. 3. Territorial socio-economic structures; 362 p. (In Russian)
34. Zwenger, T. Komsomolskaya "Amurstal" will process waste accumulated over 80 years. Available online: <https://www.hab.kp.ru/online/news/4549685/> (accessed on 03 March 2024). (In Russian)
35. Nikolskiy, A.F. "New Angarstroy" as a key project for the future industrialization of Russia. *Geography and natural resources*. 2017, 4, 143-153. (In Russian)
36. Nikolskiy, A.F.; Bezrukov, L.A.; Shupletsov, A.F. "New Angarstroy" as a project of non-resource integration of the economies of Russia and China. *Izvestiya of Baikal State University*. 2018, vol. 28, 3, 470-480. DOI: 10.17150/2500-2759. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 22.07.2023; одобрена после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 16.02.2024.

The article was submitted 22.07.2023; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for publication 16.02.2024.

