

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ



<https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-1-14>

УДК 330.332:553

JEL Q32

А. И. Семячков , В. В. Балашенко 

Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Оценка экономических и экологических условий для эффективного освоения силикатных никелевых руд месторождений Среднего Урала¹

Аннотация. Освоение никелевых месторождений в Уральском регионе принесет экономическую выгоду для народного хозяйства России и для региона. Никель является важным стратегическим сырьем, используемым в атомной, военной, фармацевтической, нефтехимической отраслях, а также при производстве портативных электронных устройств, электромобилей и многого другого. В сложившейся политической ситуации в мире необходимо развитие сырьевой базы с ориентацией на отечественные месторождения, тем более находящиеся в давно освоенном регионе. Методом исследования является анализ технико-экономических показателей, при проведении которого оценивается эффективность бизнеса: ожидаемый доход, инвестиционная привлекательность, перспективы ускорения ввода в разработку. Результатом исследования являются экономическое обоснование вовлечения в отработку месторождений никеля Среднего Урала и оценка технической возможности и экономической целесообразности добычи относительно бедных силикатных никелевых руд. Включение в отработку данных месторождений предполагает повышенные экологические затраты на охрану недр и окружающей среды, улучшение социальных условий для населения (повышение уровня занятости, регулярная экологическая и медико-биологическая экспертиза и др.). Для рассматриваемых месторождений предложены меры рационального комплексного использования добываемого минерального сырья, в частности производство стройматериалов из минеральных отходов при полном учете экологических и социальных факторов. Экономические расчеты проводились для Кунгурского месторождения (при годовой производственной мощности по руде в 396 тыс. т), для Парушинского (273 тыс. т) и Серовского (600 тыс. т). Расчеты показали высокую рентабельность отработки месторождений, в том числе при вовлечении в отработку минеральных отходов.

Ключевые слова: месторождения никеля, региональная специализация, эколого-экономическая оценка месторождений, технико-экономические показатели, капитальные затраты, ожидаемые доходы, минеральные отходы, экологический фактор оценки, социальный фактор оценки

Для цитирования: Семячков, А. И., Балашенко, В. В. (2024). Оценка экономических и экологических условий для эффективного освоения силикатных никелевых руд месторождений Среднего Урала. *Экономика региона*, 20(1), 205-217 <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-1-14>

¹ © Семячков А. И., Балашенко В. В. Текст. 2024.

Aleksandr I. Semyachkov  , Valery V. Balashenko 

Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

Assessment of Economic and Environmental Conditions for Effective Development of Silicate Nickel Ores from Deposits in the Middle Urals

Abstract. Development of nickel deposits in the Ural will be economically beneficial for both Russia and the region. As an important strategic raw material, nickel is used in the nuclear, military, pharmaceutical, petrochemical industries, as well as in the production of portable electronic devices, electric vehicles, etc. Given the current global political situation, Russia has to develop the resource base focusing on domestic deposits, especially those located in industrially developed regions. In order to assess business performance, the paper analyses technical and economic indicators, such as expected income, investment attractiveness, prospects for accelerating development. As a result, the study presents an economic justification for the development of nickel deposits in the Middle Urals and an assessment of the technical and economic feasibility of mining relatively low-grade silicate nickel ores. The development of these deposits implies an increase in expenditures on subsoil management and environmental protection and an improvement of social conditions for the population (increased employment, regular environmental and medical-biological expertise, etc.). The article proposes measures for the rational integrated use of extracted raw materials in the considered deposits, particularly, production of building materials from mineral waste considering environmental and social factors. Economic calculations performed for the Kungur deposit (annual ore production capacity of 396 thousand tonnes), the Parushinsky deposit (273 thousand tonnes) and the Serov deposit (600 thousand tonnes) showed a high profitability of mining operations, including the processing of mineral waste.

Keywords: nickel deposits, regional specialisation, environmental and economic assessment of deposits, technical and economic indicators, capital expenditures, expected income, mineral waste, environmental factor, social factor

For citation: Semyachkov, A. I., & Balashenko, V. V. (2024). Assessment of Economic and Environmental Conditions for Effective Development of Silicate Nickel Ores from Deposits in the Middle Urals. *Ekonomika regiona / Economy of regions*, 20(1), 205-217. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2024-1-14>

Введение

Никель — нередкий в природе элемент, существующий в виде различных оксидов, сульфидов, силикатов. В периодической системе Менделеева обозначается символом Ni и имеет порядковый номер 28¹. В немецком языке Nickel означает «демон» или «дьявол», как сокращение от Kupfernickel — «медь дьявола». При высокой концентрации металл токсичен для живых организмов и растений (Tsadilas et. al., 2019).

Добавка никеля в сплавы увеличивает их прочность, износостойкость, коррозионную стойкость, повышает тепло- и электропроводность, улучшает магнитные и каталитические свойства². В современном мире никель является важным стратегическим сырьем, его роль и потребление будут только возрастать (как «металла будущего») (Arndt et. al, 2015).

¹ Кривцов А. И., Клименко Н. Г. Минеральное сырье. Никель и кобальт: Справочник. Науч. ред. Ручкин Г. В., Остапенко П. Е. Москва: ЗАО «Геинформмарк», 1997. 56 с.

² Пешкова В. М., Савостина В. М. Аналитическая химия никеля. Москва: Наука, 1966. 190 с.

Никель — один из материалов, являющийся основой создания инновационных производств. Основными потребителями никеля являются производители нержавеющей стали. В последние годы растет спрос на никелево-кадмиевые гидридные батареи, используемые в портативных электронных устройствах — радиоприемниках, видеокамерах мобильных телефонах и т. д., а также в производстве электромобилей. Уже идет разработка электрического летающего автомобиля Lilium Jet (Трескова, 2016). В последнее время получен наноструктурированный никель, который используется в медицине для лечения различных болезней, а также как высокоэффективный окислитель при добавках в твердое ракетное топливо, для изготовления электропроводящих паст при миниатюризации микроэлектронных устройств, изготовления магнитной жидкости с добавлением железного и кобальтового порошка, создания каталитического эффекта при гидрогенизации органических соединений, используется как катализатор в автомобилях и т. д. При высоком энергетическом уровне поверх-

ности никелевый нанопорошок при низкой температуре обладает способностью к спеканию, что позволяет снизить температуру спекания керамической продукции, продукции порошковой металлургии, электродов с большой площадью поверхности. Обзор по разнообразной нанопродукции с использованием никеля, ее применения в различных отраслях техники приведен в многочисленной на сегодняшний день научной литературе (Цзэюй & Цзыхун, 2017; Суздаев, 2009).

Никелевые покрытия, легированные висмутом, индием и лантаном, имеют большую площадь контакта с подложкой и высокую адгезионную прочность пленок (Бирюкова и др., 2011). Ведутся работы по безэлектродному никелированию (Delaunois et. al, 2019) и по различным интеллектуальным материалам (Thomas et. al., 2022; Kaur, 2022). Поддержание и укрепление военной мощи РФ, освоение космоса, устойчивая энергетика и многое другое будут достижимы с использованием новых сплавов на основе никеля. Проводя исследования по никелю, выдающийся ученый-металловед И. И. Корнилов отмечал, что «среди главных в современной технике металлов никелю принадлежит одно из первых мест» (Корнилов, 1958). Таким образом, несомненно актуальность добычи, получения и использования никеля как одного из главных стратегически важных металлов.

Технико-экономическое обоснование необходимости использования никелевых месторождений Среднего Урала

Минеральные ресурсы на территории региона являются важным условием размещения соответствующих производительных сил. Например, наличие железорудных месторождений определило формирование крупных городов Урала, таких как Нижний Тагил, Алапаевск, Кушва, Качканар, а с ними и других сопутствующих хозяйственных комплексов. Природно-ресурсный комплекс территории с его характерными особенностями и в настоящее время влияет на условия и темпы регионального развития. В последние десятилетия, после нескольких веков разработки месторождений, сырьевая база минерального комплекса исчерпывается, многие месторождения добываются, и их отработка становится нерентабельной¹. Регионы Урала специализи-

руются на выпуске продукции предприятий горной промышленности, т. е. производстве тех товаров, которые могут выпускаться с более низкими затратами, чем в других регионах. При присутствии в регионе квалифицированных кадров, проектной, научной базы и производственных возможностей важнейшими направлениями социально-экономической политики региона будут являться поддержание и развитие добычи и переработки минерально-сырьевых ресурсов, в т. ч. отработки никелевых месторождений.

Основные типы никелевых месторождений: медно-никелевые сульфидные и никелевые силикатные и кобальт-никелевые силикатные. Остальные типы — второстепенные (Боришанская et. al, 1981). Наиболее крупными доказанными запасами никеля, по данным U. S. Geological Survey (геологическая служба США), обладают Индонезия (21 млн т), Австралия (21 млн т), Бразилия (16 млн т), Россия (7,5 млн т) и Филиппины (4,8 млн т).

Россия добывает 22 % от мировой добычи никелевой руды и получает почти 25 % выплавленного металла, являясь третьей страной по его производству. Основной объем добычи никеля в стране осуществляет компания ПАО ГМК «Норильский никель» — один из крупнейших в мире вертикально интегрированных горнодобывающих холдингов. Кроме никеля, производятся такие металлы, как медь, платина, золото, серебро, палладий. Компания реализует долгосрочную инвестиционную программу до 2030 г. по строительству новых производственных мощностей и обновлению производственных фондов стоимостью в 2 трлн руб. Программа позволит увеличить производство металлов на 30–40 % в никелевом эквиваленте. На территории Кольского полуострова работают два филиала «Норильский никель» — комбинаты «Печенганикель» и «Североникель». Эти комбинаты производят, кроме никеля, медь, кобальт, драгоценные металлы. Мощности комбината рассчитаны на переработку не только Кольской руды, но и норильские концентраты. В Печенгском горнодобывающем районе открыто порядка 14 месторождений медноникелевых руд. «Норникель» известен и как одно из самых проблемных с точки зрения экологии предприятий России².

¹ Стратегия промышленного и инновационного развития Свердловской области на период до 2035 года. <https://docs.cntd.ru/document/561427349> (дата обращения: 05.12.2022).

² Что творится с «Норникелем»: экологическая катастрофа или борьба акционеров? <https://polit.ru/article/2020/07/17/nornikwhaat/> (дата обращения: 16.12.2022).

Имеются перспективы развития никелевой промышленности и в других регионах России, хотя поставки металла на рынок с этих объектов будут во много раз меньших объемах, чем с норильских предприятий (Игревская, 2006; Столбов et. al, 2016). На Урале действовало несколько крупных производств, выпускающих никель, которые в настоящее время не функционируют. В Оренбургской области имеется Буруктальское месторождение, в пределах которого залегают 1377 тыс. т силикатного никеля. В Челябинской области добывали никель на Сахаринском месторождении, запасы которого превышают 190 тыс. т никеля. Разработкой этих месторождений занимался комбинат «Южуралникель» (основан в 1935 г.). На Буруктальском и Сахаринском рудниках добывали относительно крупные объемы руды. Комбинат «Южуралникеля» производил около 6 % от российского производства никеля. В 2007 г. комбинат получил рекордные 17 тыс. т металла, причем значительная его часть (до 80 %) сбывалась на внешнем рынке. В 2012 г. новый собственник комбината ПАО «Мечел» закрыл «Южуралникель» из-за больших убытков, отсталых технологий, относительно небольших содержаний металла в рудах и неблагоприятной рыночной конъюнктуры (в 2017 г. мировые цены на никель снизились до 15 тыс. долл. США / т, а себестоимость производства составляла 19 тыс. долл. США / т). Комбинат законсервирован и в настоящее время.

Никель на Урале также производили еще два комбината — ОАО «Уфалейникель», основанный в 1933 г., и ЗАО «ПО „Режникель”», основанный в 1936 г., который производил промежуточный продукт — штейн. Содержание никеля в штейне составляла 12–13 %. При металлургическом переделе руд шахтной плавкой на ОАО «Уфалейникель» получали никелевый штейн, содержащий 15–18 % никеля, затем штейн конвертированием перерабатывался на фاینштейн, содержащий до 80 % никеля. Последний переводился в обжиговом цехе в закись, которая в электропечах доводилась до металлического (чистого) никеля двух марок Н-3 и Н-4. Кобальт извлекался из обогащенных конверторных шлаков на комбинате «Североникель» (г. Мончегорск). Извлечение никеля из руды при металлургическом переделе составляло в среднем 75,22 %, сквозное извлечение кобальта до товарного продукта (окиси или металла) — равным 5 %. Экономические показатели извлечения кобальта всегда были отрицательными, причем при переработке кобальтовых шлаков были потери никеля. Но перевод

кобальта (с его средним содержанием 0,038 %) в забалансовые запасы не допускался (в плане охраны недр и ключевого значения кобальта для любой страны) (Angus, 2022; Blechman, 2020).

Режевское, Уфалейское предприятия и рудник в Серове образовывали компанию «Русникель». При своем основании никелевая руда добывалась на мелких месторождениях (Старо-Черемшанском, Рогожинском и др.), а с 1980-х гг. началась разработка Серовского месторождения (Свердловская область) с запасами около 250 тыс. т «Уфалейникель» в последний год существования (2016 г.) выпустил 10,2 тыс. т металла. В 2017 г. его закрыли, в том же году законсервировали и «Режникель». Причины закрытия — те же, что и у комбината «Южуралникель». Со временем имущество комбинатов было выкуплено различными организациями.

Серовское месторождение силикатных никелевых руд, являвшееся в последние десятилетия единственной сырьевой базой «Русникеля», расположено на восточном склоне Северного Урала, в 15 км от г. Серова. Площадь месторождения охватывает Серовский, восточную часть Краснотурьинского и северную часть Ново-Лялинского районов Свердловской области (Семячков и др., 2023). Месторождение открыто в 1959 г., в его состав входят шесть участков: № 2, 3, 4, 6, 7 (Еловский), 8. Балансовая принадлежность запасов была подтверждена технико-экономическими расчетами лишь по 3 участкам: № 7, (Еловскому) — протокол ГКЗ № 496-к от 11.09.1970 и № 3, 4 — протокол ГКЗ № 740-к от 21.09.1973.

Месторождения силикатных никелевых руд — более крупные по запасам, превышают запасы никеля в сульфидных никелевых месторождениях в разы и, как правило, связаны с тем или иным типом коры выветривания серпентинитов. При выветривании происходит разложение минералов, и с помощью воды происходит перенос подвижных элементов из верхних частей коры выветривания в нижние. При больших запасах таких месторождений, достигающих миллионов тонн никеля, среднее содержание никеля в них небольшое — равное 1,0 % и менее. Большие запасы силикатных руд имеются в Австралии, Индонезии, Новой Каледонии и других странах.

Химический состав руд Серовского месторождения в целом и 7-го участка в частности имеет ряд особенностей. Главными из них являются наличие в рудах значительного количества железа и высокая глинистость части руд, обра-

зованных за счет жильных пород. Повышенное содержание закисного железа связано с повсеместным развитием в коре выветривания железистых лептохлоритов. В зависимости от степени лептохлоритизации содержания закисного и общего железа колеблются по природным типам руд в широких пределах. В силикатных никелевых рудах повсеместно содержится кобальт, что осложняет извлечение никеля.

Отработка Серовского месторождения ведется с 1988 г. открытым способом Серовским рудником только на одном участке — №7, карьером № 1. Основная масса пород вскрыши и рудной толщи месторождения представлена рыхлыми породами с коэффициентом крепости по шкале Протоdjяконова от 1 до 3. Небольшая часть вскрыши — оценочно около 10 % объема и руды до 20–30 % — представлена плотными и скальными разновидностями, крепостью от 4 до 10 по шкале Протоdjяконова. По данным многолетних определений, естественная влажность сырой руды равна 27,1 %, плотность сырой руды вследствие этого составляет 1,98 т/м³.

В 2021–2022 гг. авторы выполнили исследования по последовательному вовлечению в отработку месторождений силикатного никеля Среднего Урала. Цель исследования — обоснование рационального освоения относительно бедных силикатных никелевых руд. Кроме Серовского месторождения, исследовалось Кунгурское месторождение силикатных никелевых руд с запасами 21,2 тыс. т никеля и Парушинское месторождение силикатных никелевых руд с запасами 7,7 тыс. т никеля. Кунгурское месторождение расположено на территории МО «Ревдинский район» Свердловской области, в 10 км южнее г. Дегтярска на реке Кунгурка, Парушинское находится в 15 км от г. Полевского (Семячков и др., 2023). Районы месторождений экономически развиты, находятся вблизи железных и шоссейных дорог, ЛЭП, рабочая сила достаточная. Основные технико-экономические показатели исследуемых месторождений представлены в таблице 1.

Уральский регион — горнопромышленный регион, со своей определенной спецификой, заключающейся в том, что в результате трехсотлетней отработки месторождений накопилось огромное количество отходов, в том числе от никелевой промышленности, требующих вовлечения в переработку. Переработка отходов позволит снизить себестоимость основной продукции, наряду с сопутствующим улучшением качества окружающей среды.

Технико-экономическая оценка месторождений никеля Среднего Урала

Проблема обеспеченности страны никелем приобретает важное значение в связи с ухудшением характеристик запасов на основных сырьевых базах. Запасы Кольской сырьевой базы все еще большие, но сосредоточены на глубоких горизонтах. Содержание никеля в этих рудах невысокое — в среднем 0,6 % и менее. Одновременно с усложнением условий добычи уменьшилось среднее содержание никеля и в таймырских рудах. При отсутствии богатых по содержанию источников сырья будут вовлекаться в эксплуатацию месторождения со средним и низким содержанием металла, с малыми и средними запасами, такие как месторождения Среднего Урала. Эта тенденция наблюдается во всем мире (Calas, 2017; Земсков & Прасолов, 2021).

Для определения технической возможности и целесообразности добычи и переработки полезных ископаемых на рассматриваемых месторождениях проведена технико-экономическая оценка разработки (горный передел), т. е. оценка на уровне добычи руды. Экономическая оценка, определяющая основные показатели при производстве продуктов обогащения и конечных товарных продуктов (металлургический передел), будет осуществляться после проводимых в настоящее время опытно-промышленных работ (отработка новейших технологий) по получению таких продуктов. Оценка добычи сырья выполнена с учетом ряда специфических особенностей разработки. Экономическое и технологическое развитие горнодобывающего предприятия определяется его производственной мощностью, сроком отработки, зависящим от геологических запасов полезного ископаемого и наличия вскрышных пород. По этим основным показателям принимаются технологические решения и составляется проект отработки. Специфической особенностью горных предприятий, разрабатывающих руды на цветные металлы, является характер ценообразования на готовую продукцию. Управляющим элементом в последовательности создания добавленной стоимости на товарную продукцию является металлургический передел (т. е. цена металла). В остальных переделах (горный, обогащительный) цена соответствующей продукции передела распределяется, исходя из конечной цены (по контрактам, внутрикорпоративным ценообразованием и т. д.). Цена цветных металлов в основном определяется, исходя из биржевых цен международной торговли

Основные технико-экономические показатели месторождений. Разведанные запасы

Main technical and economic indicators of deposits: proven reserves

Показатели	Ед. изм.	Кат. запасов	Месторождения		
			Кунгурское	Парушинское	Серовское
Руда	тыс. т	A + B + C1	796	515	20564
Руда	тыс. т	C2	1456	257	
Никель	тыс. т	A + B + C1	7,5	5,2	145,9
Никель	тыс. т	C2	13,7	2,5	
Кобальт	т	A + B + C1			6469
Среднее содержание никеля	%		0,94	1,01	0,9
кобальта	%				0,038
Проектные потери	%		7	7	5
Разубоживание	%		5	5	3
Эксплуатационные запасы руды	тыс. т	A + B + C1 + C2	1980	682	19000
Извлечение никеля	%		80	80	80
Извлечение кобальта	%				50
Эксплуатационные запасы никеля	тыс. т	A + B + C1 + C2	18,7	6,78	107,4
Эксплуатационные запасы кобальта	т				3000
Производственная мощность предприятия по руде	тыс. т/год		396	273	600
То же по никелю	тыс. т/год		2,99	2,17	3,68
То же по кобальту	т/год				94,7
То же по щебню, песку	тыс. м ³ /год		130	95	160
Срок обеспеченности предприятия запасами	лет		5	2,5	31,65
Средняя цена щебня, песка	руб/м ³		480		
Цена никеля LME.Nickel, USD/т			24330		
Цена кобальта LME. Cobalt, USD/т			51955		
Годовая стоимость стройматериалов из отходов	млн руб		62,4	45,6	76,8
Годовая стоимость реализации товарной продукции	тыс. долл. США/ млрд руб.		72800/4,360	52786/3,167	82278/5,031

Примечание Стоимость металлов принята по аналитическим материалам международного рынка металлов — средняя за 2021–2022 гг.

Источник: составлено авторами.

цветными металлами. Поэтому маркетинговые стратегии, управление жизненным циклом товара и т. п. целесообразны только в промежуточных переделах. Оценка потребности мирового хозяйства в никеле показала постоянно растущий спрос на него. В долгосрочной перспективе, вплоть до 2030 г., ожидается рост цен на металл ввиду развития рынка электромобилей и аккумуляторов энергии в различных отраслях, кроме традиционных. Среднегодовой темп прироста спроса к 2030 г., по ожиданиям ПАО «Норникель», составит 7 % против прироста предложения в 6 %¹.

Оценка деятельности горнодобывающего производства проведена с позиции его эффективности, определения влияния отдельных показателей, факторов на конечные результаты деятельности. К числу основных показателей при технико-экономической оценке относятся ожидаемая себестоимость продукции, капитальные затраты на освоение месторождений, уровень рентабельности к себестоимости, срок окупаемости капитальных вложений. Анализ основных показателей связан с оценкой будущего дохода (Gomes et. al., 2014). При эксплуатации минеральных ресурсов учитываются

¹ «Норникель» прогнозирует увеличение спроса на свою продукцию. <https://dprom.online/metallurgy/nornikel-prognozi>

ruet-uvlichenie-sprosa-na-svoyu-produktsiyu/ (дата обращения: 24.12.2022).

экологические ограничения, которые всегда вступают в противоречие с экономическими интересами (Fizaine & Galieue, 2021).

Окружающая природная среда в старопромышленном регионе, каким является Свердловская область, при сохранении объемов добычи, ослаблении ее ассимиляционных способностей деградирует, является источником заболеваний человека. При пользовании недрами в таких условиях первоочередными задачами являются их рациональное использование с многосторонним учетом экономических, экологических и социальных факторов. Необходима разработка новой стратегии, основывающейся на экономически эффективном рациональном использовании потенциала месторождения, минимальной экологической нагрузке на природную среду, учете социальных интересов населения (вокруг предприятия) (Семячков et al., 2023).

Горные предприятия при исчислении своей прибыли от отработки месторождения пользуются обычной формулой: выручка минус затраты, при этом учитываются затраты напрямую, связанные с производственной деятельностью (добычные, вскрышные, буровзрывные работы, переработка, транспортировка, будущая рекультивация и др.), и косвенные — не связанные с основной деятельностью. Модернизированная формула простого укрупненного расчета прибыли с учетом социальных и экологических показателей примет вид:

$$\Pi = B - (Z_{\text{п.н.}} + Z_a + Z_{\text{пл}} + Z_t + Z_z + Z_{\text{от}}), \quad (1)$$

где B — выручка валовая; $Z_{\text{п.н.}}$ — производственные и непроизводственные затраты, согласно требованиям по подготовке технических проектов¹; Z_a — затраты на арендную плату отчуждаемых земель; $Z_{\text{пл}}$ — затраты на компенсации владельцам земель на упущенные доходы и потерю плодородия земель; Z_t — затраты на расчеты по разработке забалансовых запасов, бед-

ных руд и техногенных отходов; Z_z — затраты на экологическую и медико-биологическую экспертизы на добровольной основе; $Z_{\text{от}}$ — затраты на углубленные обследования объектов повышенной экологической опасности.

Перечисленные затраты рассчитаны и учтены в основных показателях экономической оценки (табл. 2).

Понятно, что у предприятий слабая мотивация к выполнению своих природоохранных и социальных обязательств, да еще и предлагаемых авторами дополнительных. Но запросы и потребности населения (благоприятная среда обитания) вокруг предприятия возрастают, и в какой-то степени их нужно удовлетворять. Путем вовлечения попутных продуктов, включения забалансовых запасов, бедных руд и минеральных отходов (в отвалах) после детальных исследований можно повысить экономические показатели отработки, реально пополнить свои финансовые резервы для выполнения обязательств.

Результаты и их обсуждение

При расчетах по оценке горных работ приняты следующие условия и показатели.

Капитальные затраты. При освоении вновь разрабатываемых месторождений (Кунгурское и Парушинское) капитальные вложения будут направлены на подготовку территории строительства, вскрышные и транспортные траншеи. На Кунгурском месторождении будет отведена небольшая речка (Кунгурка). На Серовском месторождении предусмотрено осушение карьера на участке № 7. Объем затопления при временной консервации карьера в 2017 г. составил 33 млн м³. Горные выработки в период консервации будут не нарушены. При разработке Кунгурского и Парушинского месторождений будет задействовано следующее горнотранспортное оборудование: экскаватор ЕК-400 с емкостью ковша 1,9 м³, бульдозер Б10М-0101-1Е (180 л. с.), автосамосвал КамАЗ грузоподъемностью 20 т (2 ед.), фронтальный погрузчик ПК-30 с емкостью ковша 1,8 м³. Буровзрывные работы на всех карьерах подрядные. При разработке Серовского месторождения будут эксплуатироваться 2 экскаватора ЕК-400 с емкостью ковша — 1,5 м³ на добычных и вскрышных работах и 1 экскаватор — на складе некондиционных руд, 3 бульдозера Б10М-0101-1Е (180 л. с.), 3 автосамосвала КамАЗ (или БелАЗ) грузоподъемностью 20 т, фронтальный погрузчик ПК-30 с емкостью ковша 1,8 м³. На всех месторождениях будут применяться дробильно-сортировочные

¹ Об утверждении требований к структуре и оформлению проектной документации на разработку месторождений твердых полезных ископаемых, ликвидацию и консервацию горных выработок, и первичную переработку минерального сырья. Приказ Минприроды России от 25 июня 2010 г. № 218 https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/D_ne dro/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8%20%D0%BE%D1%82%2025%20%D0%B8%D1%8E%D0%BD%D1%8F%202010%C2%A0%D0%B3.%20N%C2%A0218.pdf (дата обращения: 13.12.2022).

комплексы для производства стройматериалов из крепких горных пород и отходов обогащения. Предусмотрены компенсация за нарушенные горными работами земли (освоение новых земель) и капитальные вложения в природоохранные мероприятия. Учтены непредвиденные затраты (15 % от учтенных), оборотные средства составляют 25 % от себестоимости.

Текущие расходы. Годовой расход материалов на технологические цели рассчитан по нормам расхода на расчетную единицу (чистое время работы оборудования, 1000 км пробега, 1000 м³ горной массы). Цены единицы нормы расхода ГСМ, шин и аккумуляторов приняты по прейскурантам с учетом транспортных расходов. Прочие расходные материалы учтены коэффициентом 1,15. Среднегодовой фонд

оплаты труда одного среднеспособного работающего принят по среднестатистическим ставкам аналогичных объектов уральского региона: ИТР по 80000 руб./мес., основные рабочие по 60000 руб./мес., вспомогательные по 30000 руб./мес. Средняя норма амортизационных отчислений — 7 %. Затраты на буровзрывные работы — по данным предприятий-аналогов уральского региона — 47 руб./м³.

Результаты расчетов основных показателей горно-экономической оценки представлены в таблице 2.

За счет комплексной отработки месторождения получен дополнительный доход в 62, 45 и 77 млн руб. (продажа товарных стройматериалов, данные, представленные в таблице 1, соответственно по месторождениям). Вложения

Таблица 2

Основные показатели горно-экономической оценки

Table 2

Main indicators of mining-economic assessment

Показатели	Ед. изм.	Месторождения		
		Кунгурское	Парушинское	Серовское
<i>Капитальные затраты</i>				
Подготовка территории строительства, горно-капитальные работы	млн руб.	37,0	34,0	89,0
Затраты на основное горнотранспортное оборудование	млн руб.	82,0	60,0	126
Затраты на объекты энергохозяйства, АБК	млн руб.	20,0	12	34
Затраты на природоохранные мероприятия	млн руб.	8,0	6,0	15
Затраты на арендную плату отчуждаемых земель	млн руб.	1,07	0,88	1,47
Затраты на компенсации владельцам земель на выпавшие доходы и потерю плодородия земель	млн руб.	1,32	1,08	1,81
Затраты на ТЭО целесообразности разработки забалансовых запасов, бедных руд и техногенных отходов	млн руб.	0,90	0,72	1,20
Затраты на экологическую и медико-биологическую экспертизы на добровольной основе	млн руб.	0,49	0,40	0,67
Затраты на углубленные обследования отвалов	млн руб.	1,13	0,92	1,54
Непредвиденные затраты	млн руб.	21,0	16,8	29,2
Итого:	млн руб.	162,8	134,8	224,2
<i>Текущие затраты</i>				
Материалы и энергия	млн руб.	80,0	45,0	92,0
Оплата труда (ФОТ)	млн руб.	22,4	18,4	25,8
Отчисления от ФОТ	млн руб.	6,7	5,5	7,7
Амортизация	млн руб.	11,4	9,4	21,2
Затраты на БВР	млн руб.	90,0	60,0	31,0
Налог на добычу	млн руб.	19,0	13,8	29,3
Текущие природоохранные платежи	млн руб.	3,1	2,5	2,5
Прочие затраты	млн руб.	36,0	24,0	33,4
Всего:	млн руб.	279	183	256,3
Стоимость руды годовая	млн руб.	475,2	344	732
Рентабельность себестоимости	%	70	88	185
Срок окупаемости капвложений	лет	0,83	0,84	0,47

Примечание: Цена руды с содержанием никеля 0,94 % — 20 долл. США/т = 1220 руб. (по данным продаж руды Серовского месторождения для ПО «Режникель»). Курс доллара — средний за 3–4 кв. 2022 г. — 61 руб.

Источник: составлено авторами.

в дополнительные социальные и экологические мероприятия осуществляются без прямой экономической выгоды, что позволяет горнодобывающим компаниям стать более привлекательными для инвесторов, соблюдать интересы работающих и населения вокруг предприятия.

Анализ чувствительности расчетов к цене на никель и никелевую руду (кобальт не оказывает существенного влияния на финансовые результаты) демонстрирует, что отработка месторождений перестанет быть рентабельной, если цена снизится относительно принятого значения более чем на 20 %. Снижение мировой цены ниже критического для расчетов уровня маловероятно и по прогнозам «Норникеля», о чем сказано выше.

В отношении рисков удорожания инвестиционных затрат и увеличения эксплуатационных затрат на добычу и переработку руды проект достаточно устойчив, показатель *NPV* сохраняет положительное значение, даже если инвестиционные и текущие затраты вырастут более чем на 20 %. Запас прочности расчетов достаточный, а вероятность наступления неблагоприятных ценовых изменений невелика.

Задачей предварительной оценки стоимости запасов является, кроме повышения уровня рациональной эксплуатации месторождения, учет его инвестиционной привлекательности (по западным методикам такой учет был и есть всегда (Нуман, 1984; Badiru, 2007)), ускорение ввода в разработку. К оценке исследуемых месторождений применен доходный подход, основанный на определении ожидаемых доходов от объекта оценки (по обязательным стандартам оценки¹ и другим методам (Abreu et al., 2018; Афанасьева, 2022)).

В качестве основного направления повышения рациональной и комплексной отработки месторождения является использование вскрышных пород и отходов обогащения. Использование отходов переработки и вскрышных пород является еще и частью государственной политики по охране недр и окружающей среды (Ларичкин, 2004). Такие отходы (с нулевым содержанием металлов) при соответствующем качестве могут использоваться и обычно используются для производства строительных материалов, а также для рекультивации нарушенных земель, поставки бутового камня для строительства дорог и т. д.

¹ Об утверждении стандартов оценки. Постановление Правительства РФ от 06.07.2001 № 519. Ред. от 14.12.2006. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_32407/ (дата обращения: 16.12.2022).

Состав отходов и технологические показатели техногенных образований определяются геолого-промышленным типом месторождения, способом добычи исходного минерального сырья и условиями отвалообразования (отвалы вскрышных и вмещающих пород, неиспользуемых забалансовых руд). Минеральные отходы, поступающие в отвалы, подвергаются только дроблению в результате буровзрывных работ. При обогащении и металлургическом переделе в результате дальнейшей переработки сырья образуются отходы в виде шламов и хвостов, которые поступают в соответствующие хранилища.

Техногенные образования в отвалах, шламо- и хвостохранилищах служат значительным источником загрязнения окружающей природной среды. Кроме того, из хозяйственного оборота изымаются земельные ресурсы, тратятся денежные средства предприятий на природоохранные мероприятия, обслуживание хранения отходов и экологические платежи. При необходимости перед разработкой месторождения и в период разработки могут быть проведены дополнительные исследования по масштабам, характеру воздействия и оценке ущерба от техногенных объектов на окружающую природную среду (Бусырев, 2019). При геологоразведочных работах породы вскрыши, вмещающие породы (то есть техногенный материал частично уже изучен) имеются и средние показатели его качества. Для уточнения показателей служат полупромышленные технологические пробы.

Скальные вскрышные породы на рассматриваемых месторождениях по пределу прочности в водонасыщенном состоянии классифицируются как прочные: $R_c = 70,8-85,4$ Мпа (ГОСТ 25100-2011). По коэффициенту размягчаемости вскрышные породы относятся к неразмягчаемым ($K_p > 0,75$). Согласно результатам выполненных лабораторных исследований, а также номенклатуре ГОСТ 8267-93² щебень из вскрышных пород относится по дробимости: фракция 10-20 мм — к маркам 800-1200; фракция 20-40 мм — к маркам 1000-1200; по истираемости — к марке И2; по морозостойкости — к маркам F50 и F25. Щебень марки М1200 может быть использован при изготовлении бетона марки М400 и выше, М1000 — марки М300, М800 — марки М200. На Парушинском и Кунгурском месторождениях пригодными

² ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

для производства щебня являются 70 % скальных пород ниже границы коры выветривания. В качестве аналога исследований и применения материалов из переработанных вскрышных пород принято золоторудное месторождение Шиловское¹. На Серовском месторождении пригодными для щебня являются 20 %, ввиду того, что часть вскрыши и рудной толщи представлена слабыми породами. Всего возможный выход готовой продукции 7 млн т. Потребность в щебне, отсеве, песке в Свердловской и соседних областях высокая.² Таким образом, учет всех условий и факторов при эколого-социально-экономической оценке месторождений определяет ее качество. Вложение средств в комплексность отработки и социальный фактор обычно не превышают первых процентов от годовой стоимости продукции, а в экологический фактор — не более первых десятков процентов.

Заключение

Тенденция увеличения спроса, роста цен на никель и в то же время сокращения его запасов сильная и устойчивая. Поэтому будут разрабатываться месторождения, содержащие медь, никель, металлы платиновой группы даже с содержанием 0,5 % и менее. Изучаемые разведанные месторождения имеют удовлетворительное содержание металла и достаточные для разработки запасы, хотя богатыми минеральными ресурсами их не назовешь. Поэтому для определения целесообразности освоения месторождений и их промышленного и экономического значения проведена геолого-промышленная оценка. По количеству и качеству минерального сырья и по условиям отработки исследуемые месторождения пригодны для рентабельной эксплуатации и привлекательны для потенциальных инвесторов. Кроме

¹ Соколов А. С. Методический инструментарий оценки конкурентоспособности горнодобывающих предприятий. Дисс. ... канд. экон. наук. Екатеринбург, 2022.

² Нацпроектам не хватает песка и щебня. <https://www.kommersant.ru/doc/3962486> (дата обращения: 16.12.2022).

того, разработка горных объектов в относительной близости друг от друга уменьшит расходы на технические решения при их последовательном освоении. В части комплексного и рационального использования минерального сырья предложено использование вскрышных пород и отходов обогащения для производства стройматериалов. Минерально-сырьевая база является естественным конкурентным преимуществом народного хозяйства и промышленного сектора России, донором российской экономики, обеспечивающим ее развитие и переход на новый технологический уклад (Беляев и др., 2012).

Развитие сырьевой базы региона при освоении запасов уральских никелевых месторождений будет осуществляться во взаимодействии с развитием смежных отраслей (металлургия, металлообработка, военная промышленность и т. д.), которые будут создавать прямые и косвенные эффекты, связанные с приростом налоговых поступлений, поддержанием уровня занятости. Полная отработка запасов, ресурсов и минеральных отходов показывает эффективность эксплуатации месторождений. Горнодобывающие предприятия в силу специфики своей деятельности обязаны выполнять обязательства по сохранению окружающей среды и поддержанию благоприятной среды обитания человека.

На горнопромышленных предприятиях социально-экологические проблемы не всегда были приоритетными, но в настоящее время выбор управленческих решений на горных предприятиях Среднего Урала должен учитывать экологические и социальные критерии (в отличие от менеджмента с системой «максимум прибыли»). Поэтому при технико-экономических расчетах предложены показатели по затратам экологического и социального назначения.

Результаты исследования могут быть использованы для прямого инвестирования в добычу и переработку стратегического металла на Среднем Урале.

Список источников

- Афанасьева, А. Б. (2022). Оценка эффективности деятельности предприятия. *Молодой ученый*, 37(432), 27-29.
- Беляев, В. Н., Шеломенцев, А. Г., Дорошенко, С. В. (2012). Влияние освоения минерально-сырьевой базы на социально-экономическое развитие уральского региона. *Вестник Челябинского государственного университета, Сер. Экономика*, 24(278), 39-42.
- Бирюкова, Н. М., Липай, М. С., Соколов, В. Г. (2011). Исследование сплавов на основе никеля, применяемых в электронном приборостроении. В: *Мат-лы I междунар. науч. конф. «Технические науки: проблемы и перспективы»* (с. 89-92). Санкт-Петербург. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/246/>
- Боришанская, С. С., Виноградова, Р. А., Крутов, Г. А. (1981). *Минералы никеля и кобальта (Систематика, описание и диагностика)*. Москва: МГУ, 224.

- Бусырев, В. М. (2019). Экономические основы рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов недр. *Вестник Кольского научного центра РАН*, 2, 75-82.
- Земсков, В. В., Прасолов, В. И. (2021). Истощение минеральных ресурсов как угроза экономической безопасности России. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 11(10А), 195-205.
- Игрёвская, Л. В. (2006). Тенденции развития никелевой промышленности мира и место России в ней. *Экономика и производство*, 2, 38-41.
- Корнилов, И. И. (1958). *Никель и его сплавы*. Москва: АН СССР, 339.
- Семячков, А. И., Балашенко, В. В., Камаев, Ю. В. (2023). Оценка условий для эффективного освоения уральских силикатных никелевых руд с учетом комплексности, экологического и социального факторов. В: *Региональное сотрудничество БРИКС. Мат-лы межд. научно-практической конференции. Петрозаводск, 14-15 сентября 2023 г.* Петрозаводск: Карельский НЦ РАН.
- Столбов, А. Г., Савельева, С. Б., Гринь, Ю. А. (2016). Перспективы устойчивого развития никелевой промышленности России в условиях перехода мировой экономики к новому технологическому укладу. *Вестник Мурманского государственного технического университета*, 19(2), 528-535.
- Суздаев, И. П. (2009). *Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов*. Москва: Либроком, 592.
- Трескова, Ю. В. (2016). Электромобили и экология. Перспективы использования электромобилей. *Молодой ученый*, 12, 563-565. <https://moluch.ru/archive/116/31697/>
- Цзэюй, Ю., Цзыхун, Ч (2017). Свойства никеля в нано- и микроструктурах. *Международный студенческий научный вестник*, 3. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17255>
- Abreu, A. C. A., Booth, R., Prange, M., Bailey, W. L., Bertolini, A., Teixeira, G., Romeu, R. K., Emerick, A. A., Pacheco, M. A. C., & Wilkinson, D. (2018). A decision support approach to value flexibility considering uncertainty and future information. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 167, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.077>
- Angus, C. (2022). *Cobalt: The Making of a Mining Superpower*. House of Anansi Press, 336.
- Arndt, N. T., Fontboté, L., Hedenquist, J. W., Kesler, S. E., Thompson, J. F. H., & Wood, D. G. (2017). Future Global Mineral Resources. *Geochemical Perspective*, 6(1), 1-171. <https://doi.org/10.7185/geochempersp.6.1>
- Arndt, N., Kesler, S., & Ganino, C. (2015). *Metals and Society: an Introduction to Economic Geology*. Cham: Springer, 160.
- Badiru, A. B. (2007). *Industrial projects management. Concept, tools and techniques*. Abingdon-on-Thames: Taylor and Francis Group an informa business, 322. <https://doi.org/10.1201/9780849387722>
- Blechman, B. M. (2020). *National Security and Strategic Minerals: an Analysis of U.S. Dependence on Foreign Sources of Cobalt*. Routledge, 96. <https://doi.org/10.4324/9780429037894>
- Calas, G. (2017). Mineral Resources and Sustainable Development. *Elements*, 13(5), 301-306. <https://doi.org/10.2138/gselements.13.5.301>
- Delaunoy, F., Vitry, V., & Bonin, L. (2019). *Electroless Nickel Plating: Fundamentals to Applications*. CRC Press, 446.
- Fizaine, F., & Galieue, X. (2021). *Mineral Resource Economics 1: Context and Issues*. Wiley-ISTE, 272.
- Gomes, C., Kneipp, J., Kruglianskas, I., Barbieri da Rosa, L. A. (2014). Management for sustainability in companies of the mining sector: an analysis of the main factors related with the business performance. *Journal of Cleaner Production*, 84, 84-93.
- Hyman, E. L. (1984). Natural resource economics: Relevance in planning and management. *Resources Policy*, 10-3, 163-176. [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(84\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0301-4207(84)90031-X)
- Kaur, N. (2022). *Raney Nickel-Assisted Synthesis of Heterocycles*. Elsevier, 230. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-01794-6>
- Sensuke, O. (Ed.). (2020). *Nickel catalysis in organic synthesis: methods and reactions*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 352.
- Thomas, S., Behera, A., & Nguyen, T. A. (2022). *Nickel-Titanium Smart Hybrid Materials: From Micro- to Nano-structured Alloys for Emerging Applications (Micro and Nano Technologies)*. Elsevier, 460. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-04498-1>
- Tsadilas, C., Rinklebe, J., & Selim, M. (Eds.). (2019). *Nickel in Soils and Plants. Series: Advances in trace elements in the environment*. CRC Press, 414.
- Yoon, H. (2020). *Palladium and Nickel Catalyzed Transformations Forming Functionalized Heterocycles*. Springer International Publishing, 241.

References

- Abreu, A. C. A., Booth, R., Prange, M., Bailey, W. L., Bertolini, A., Teixeira, G., Romeu, R. K., Emerick, A. A., Pacheco, M. A. C., & Wilkinson, D. (2018). A decision support approach to value flexibility considering uncertainty and future information. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 167, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.077>
- Afanaseva, A. B. (2022). Evaluation of the effectiveness of the enterprise. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 37(432), 27-29. (In Russ.)
- Angus, C. (2022). *Cobalt: The Making of a Mining Superpower*. House of Anansi Press, 336.

- Arndt, N. T., Fontboté, L., Hedenquist, J. W., Kesler, S. E., Thompson, J. F. H., & Wood, D. G. (2017). Future Global Mineral Resources. *Geochemical Perspective*, 6(1), 1-171. <https://doi.org/10.7185/geochempersp.6.1>
- Arndt, N., Kesler, S., & Ganino, C. (2015). *Metals and Society: an Introduction to Economic Geology*. Cham: Springer, 160.
- Badiru, A. B. (2007). *Industrial projects management. Concept, tools and techniques*. Abingdon-on-Thames: Taylor and Francis Group an informa business, 322. <https://doi.org/10.1201/9780849387722>
- Belyaev, V. N., Shelomentsev, A. G., & Doroshenko, S. V. (2012). The impact of the development of the mineral resource base on the socio-economic development of the Ural region. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta, Ser. Ekonomika [Bulletin of Chelyabinsk State University. Economic Sciences]*, 24(278), 39, 39-42. (In Russ.)
- Biryukova, N. M., Lipai, M. S., & Sokolov, V. G. (2011). Investigation of nickel-based alloys used in electronic instrumentation. In: *Mat-ly I mezhdunar. nauch. konf. «Tekhnicheskie nauki: problemy i perspektivy» [Materials of the I International Scientific Conference "Technical sciences: problems and prospects"]* (pp. 89-92). Saint Petersburg. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/2/246/> (In Russ.)
- Blechman, B. M. (2020). *National Security and Strategic Minerals: an Analysis of U.S. Dependence on Foreign Sources of Cobalt*. Routledge, 96. <https://doi.org/10.4324/9780429037894>
- Borishanskaya, S. S., Vinogradova, R. A., & Krutov, G. A. (1981). *Mineraly nikelya i kobalta (Sistematika, opisanie i diagnostika) [Nickel and cobalt minerals (Systematics, description and diagnostics)]*. Moscow: Moscow State University, 224. (In Russ.)
- Busyrev, V. M. (2019). Economic bases of efficient use of subsoil mineral resources. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN [Herald of the Kola Science Centre of RAS]*, 2, 75-82. (In Russ.)
- Calas, G. (2017). Mineral Resources and Sustainable Development. *Elements*, 13(5), 301-306. <https://doi.org/10.2138/gselements.13.5.301>
- Delaunoy, F., Vitry, V., & Bonin, L. (2019). *Electroless Nickel Plating: Fundamentals to Applications*. CRC Press, 446.
- Fizaine, F., & Galieue, X. (2021). *Mineral Resource Economics 1: Context and Issues*. Wiley-ISTE, 272.
- Gomes, C., Kneipp, J., Kruglianskas, I., Barbieri da Rosa, L. A. (2014). Management for sustainability in companies of the mining sector: an analysis of the main factors related with the business performance. *Journal of Cleaner Production*, 84, 84-93.
- Hyman, E. L. (1984). Natural resource economics: Relevance in planning and management. *Resources Policy*, 10-3, 163-176. [https://doi.org/10.1016/0301-4207\(84\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0301-4207(84)90031-X)
- Igrevsckaya, L. V. (2006). Trends in the development of the nickel industry of the world and Russia's place in it. *Ekonomika i proizvodstvo [Economics and Production]*, 2, 38-41. (In Russ.)
- Kaur, N. (2022). *Raney Nickel-Assisted Synthesis of Heterocycles*. Elsevier, 230. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-01794-6>
- Kornilov, I. I. (1958). *Nikel i ego splavy [Nickel and its alloys]*. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 339. (In Russ.)
- Semyachkov, A. I., Balashenko, V. V., & Kamaev, Yu. V. (2023). Assessment of conditions for the effective development of Ural silicate nickel ores, taking into account complexity, environmental and social factors. In: *Regionalnoe sotrudnichestvo BRIKS. Mat-ly mezhd. nauchno-prakticheskoy konferentsii. Petrozavodsk, 14-15 sentyabrya 2023 g. [BRICS regional cooperation. The materials of the international scientific and practical conference. Petrozavodsk, September 14-15, 2023]*. Petrozavodsk. (In Russ.)
- Sensuke, O. (Ed.). (2020). *Nickel catalysis in organic synthesis: methods and reactions*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 352.
- Stolbov, A. G., Savel'eva, S. B., & Grin, Yu. A. (2016). Prospects for sustainable development of the nickel industry of Russia in conditions of transition in the world economy to the new technological mode. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of the Murmansk State Technical University]*, 19(2), 528-535. (In Russ.)
- Suzdalev, I. P. (2009). *Nanotekhnologiya: Fiziko-khimiya nanoklastero, nanostruktur i nanomaterialov [Nanotechnology: Physical chemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials]*. Moscow: "Librocom", 592. (In Russ.)
- Thomas, S., Behera, A., & Nguyen, T. A. (2022). *Nickel-Titanium Smart Hybrid Materials: From Micro- to Nano-structured Alloys for Emerging Applications (Micro and Nano Technologies)*. Elsevier, 460. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-04498-1>
- Treskova, Yu. V. (2016). Electric vehicles and ecology. Prospects for the use of electric vehicles. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 12(116), 563-565. <https://moluch.ru/archive/116/31697/> (In Russ.)
- Tsadiras, C., Rinklebe, J., & Selim, M. (Eds.). (2019). *Nickel in Soils and Plants. Series: Advances in trace elements in the environment*. CRC Press, 414.
- Yoon, H. (2020). *Palladium and Nickel Catalyzed Transformations Forming Functionalized Heterocycles*. Springer International Publishing, 241.
- Zemskov, V. V., & Prasolov, V. I. (2021). Mineral resources depletion as a threat to the economic security of Russia. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra [Economics: yesterday, today, tomorrow]*, 11(10A), 195-205. (In Russ.)

Zeyu, Yu, & Zihong, Ch. (2017). Nickel properties in nano- and microstructures. *Mezhdunarodnyy studentcheskiy nauchnyy vestnik [International Student Scientific Bulletin]*, 3. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=17255> (In Russ.)

Информация об авторах

Семячков Александр Иванович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель Центра природопользования и геоэкологии, Институт экономики УрО РАН; <https://orcid.org/0000-0002-3352-2863> (Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29; e-mail: a.semyachkov@mail.ru).

Балашенко Валерий Васильевич — кандидат экономических наук, научный сотрудник Центра природопользования и геоэкологии, Институт экономики УрО РАН; <https://orcid.org/0000-0003-0124-0885> (Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29; e-mail: bala10@mail.ru).

About the authors

Aleksandr I. Semyachkov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Head of the Nature Management and Geocology Center, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS; <https://orcid.org/0000-0002-3352-2863> (29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: a.semyachkov@mail.ru).

Valery V. Balashenko — Cand. Sci. (Econ.), Research Associate, Nature Management and Geocology Center, Institute of Economics of the Ural Branch of RAS; <https://orcid.org/0000-0003-0124-0885> (29, Moskovskaya St., Ekaterinburg, 620014, Russian Federation; e-mail: bala10@mail.ru).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Дата поступления рукописи: 26.01.2023.

Прошла рецензирование: 21.03.2023.

Принято решение о публикации: 21.12.2023.

Received: 26 Jan 2023.

Reviewed: 21 Mar 2023.

Accepted: 21 Dec 2023.