

УДК 330.15

Э. Ц. Садыкова

ФГБУН Байкальский институт природопользования Сибирского отделения
Российской академии наук, Улан-Удэ, e-mail: ersadykova@binm.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИЙ СЕВЕРНОЙ АЗИИ

Ключевые слова: прогнозирование, недропользователи, нейронные сети.

В статье рассмотрены вопросы перспективного развития добывающей промышленности с учетом принципов устойчивого развития. Цель исследования заключалась в построении прогноза развития горнодобывающей промышленности на примере компаний Северной Азии. Для достижения поставленной цели был построен прогноз с применением методов интеллектуального анализа данных. С использованием метода структурирования была выполнена классификация факторов, влияющих на устойчивое развитие компаний. В рамках проведенного исследования, прогноз, основанный на современных методах интеллектуального анализа данных, позволил выявить потенциальные риски и возможности для устойчивого развития отрасли на перспективу. Результаты прогнозирования развития ведущих недропользователей в Северной Азии продемонстрировали положительную динамику их развития в будущем. Высокий уровень обеспеченности полезными ископаемыми указывает на возможность дальнейшего роста производства и потребления минеральных ресурсов за счет дополнительной геологоразведки перспективных структур в пределах месторождений. Полученные результаты исследования могут оказать важную информационную поддержку для решения задач дальнейшего развития компаний-недропользователей и обоснования программных мероприятий на мезо- и микроуровнях, направленных на реализацию ключевых стратегических приоритетов развития минерально-сырьевого сектора в будущем.

E. Ts. Sadykova

Baikal Institute of Nature Management Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, e-mail: ersadykova@binm.ru

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE MINING INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF COMPANIES IN NORTHERN ASIA

Keywords: forecasting, mineral resource users, neural networks.

The article examines the issues of prospective development of the mining industry taking into account the principles of sustainable development. The aim of the research was to build a forecast for the development of the mining industry on the example of companies in Northern Asia. To achieve this goal, a forecast was built using intelligent data analysis methods. Using the structuring method, a classification of factors influencing the sustainable development of companies was performed. Within the framework of the conducted research, the forecast based on modern methods of intelligent data analysis allowed identifying potential risks and opportunities for the sustainable development of the industry in the future. The results of forecasting the development of leading mineral resource users in Northern Asia demonstrated a positive dynamics of their development in the future. The high level of provision with mineral resources indicates the possibility of further growth in production and consumption of mineral resources through additional geological exploration of promising structures within deposits. The obtained research results can provide important informational support for solving the tasks of further development of mineral resource user companies and substantiating program measures at meso- and micro-levels aimed at implementing key strategic priorities for the development of the mineral resource sector in the future.

Введение

Прогнозирование деятельности добывающей промышленности с учетом принципов устойчивого развития представляет собой предвидение будущих экологических, социальных и экономических изменений. Это важная часть государственного управления минерально-сырьевыми ресурсами и опре-

деляет направления использования природных ресурсов и их структурных компонентов с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду [1, 2]. Результаты прогнозных исследований необходимы для обоснования целей и задач дальнейшего развития отрасли, формирования политики устойчивого развития [3, 4, 5], а также для

разработки методов рационального использования ограниченных природных ресурсов [6]. На основе достоверных прогнозов уточняются стратегии, программы и приоритеты долгосрочного развития.

Методологическое единство подходов к прогнозированию предполагает следующую последовательность этапов:

- анализ развития отрасли за предшествующий период;
- определение целей для решения ключевых задач развития отрасли;
- постановка задач для разработки прогноза;
- сам процесс прогнозирования, включающий анализ объекта и выбор метода прогнозирования.

Точность прогноза во многом зависит от уровня детализации прогнозируемых итоговых показателей. Ключевым элементом при построении прогноза являются факторы, влияющие на развитие добывающей промышленности. Эти факторы могут оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие, способствовать ускорению или замедлению развития прогнозируемого объекта. Для достижения достоверности прогноза в условиях объективной неопределенности следует выявить тенденции, обладающие закономерным характером [7, 8].

Цель исследования заключалась в построении прогноза развития горнодобывающей промышленности на примере компаний Северной Азии. Для достижения поставленной цели прогнозирование было осуществлено с применением методов интеллектуального анализа данных.

Материалы и методы исследования

В результате анализа хозяйственной деятельности компаний-недропользователей добывающей промышленности Северной Азии с использованием метода структурирования была выполнена классификация факторов, влияющих на устойчивое развитие этих компаний. Таким образом, к приоритетным факторам развития минерально-сырьевого сектора в регионах Северной Азии отнесены следующие:

- экономическое развитие: выручка, чистая прибыль, валовая добыча сырья, выработка, в натуральных единицах, выработка, в стоимостном выражении, инвестиции в основной капитал;
- экологическое развитие: потребление электроэнергии, энергоёмкость, рекульти-

вация, водоемкость, удельная утилизация отходов, удельное водопотребление на ед. добытого сырья, удельные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу на ед. добытого сырья, удельные выбросы парниковых газов;

- социальное развитие: повышение квалификации кадров, уровень оплаты труда, соотношение заработной платы работников предприятия и прожиточного минимума региона, коэффициент стабильности кадров, численность работников.

Прогнозирование развития минерально-сырьевого сектора было выполнено с помощью программного обеспечения [9], разработанного на основе применения нейроэволюционного метода NEAT (NeuroEvolution of Augmented Topologies) [10], который относится к методам эволюции топологии и весов нейронной сети. Выбор данного метода основан на сравнительном анализе методов нейроэволюции, проведенном в работе [11]. Отличительной особенностью метода является то, что он начинает работу с минимальной топологии нейронной сети (многослойного персептрона), когда все входы напрямую соединены с выходами. Затем производится эволюция весов и постепенно усложняется топология нейронной сети, при этом создается наиболее близкое к минимальному размеру решение. Минимальность дает преимущество в производительности по сравнению с другими нейроэволюционными методами. Метод NEAT кроме высокой эффективности поиска решения имеет высокую скорость вычислений за счет эволюции топологии сети, а также позволяет снизить затраты на вычисления в силу минимальной топологии сети. Обучение нейронной сети выполняется с помощью генетического алгоритма.

В архитектуре многослойного персептрона применяли такие сигмоидальные функции активации [12]:

Для выходного слоя – униполярная функция:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

Для скрытых слоев – биполярная функция:

$$f(x) = \tanh(\beta x) \quad (2)$$

где β определяет наклон сигмоиды (устанавливается на 1,0 на основе перекрестной проверки).

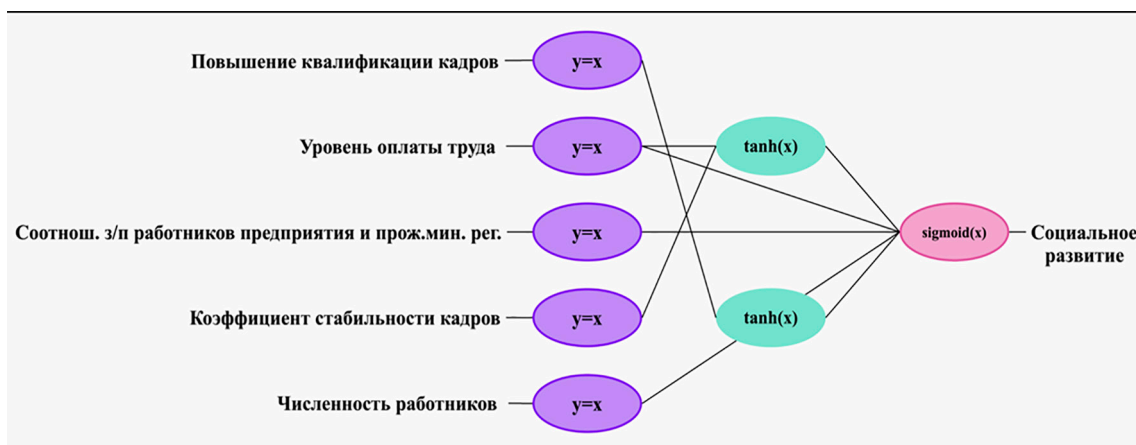


Рис. 1. Структура сети персептрона подблока «Социальное развитие» АО «СУЭК»

Точность прогноза оценивалась с помощью среднеквадратической ошибки:

$$MSE = (1/n) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

где n – количество наблюдений, y_i – истинное значение, а $\hat{y}_i$ – прогнозируемое значение.

Предложенная методика прогнозирования состоит из трех этапов: обучения нейронной сети, валидации и собственно прогнозирования. На этапе обучения используется 70% исходной выборки, а остальные 30% используются для валидации. Если ошибка не более 2-3%, то следует этап прогнозирования. Для прогнозирования факторных признаков и целевых показателей используется метод окон, размер которого равен периоду прогноза. Таким образом, были получены результаты прогноза развития ведущих компаний-недропользователей добывающей промышленности Северной Азии.

На рисунке 1 показан пример структуры сети персептрона подблока «Социальное развитие» АО «СУЭК».

В целом процесс прогнозирования с помощью нейронной сети состоял из следующих этапов: подготовка исходных данных, обучение нейронной сети с использованием генетического алгоритма, прогнозирование факторных характеристик, прогнозирование комплексных индексов компаний-недропользователей по направлениям развития.

Результаты исследования и их обсуждение

Развитие добывающей промышленности в Северной Азии тесно связано с ее

будущим состоянием. Прогнозные данные необходимы для обоснования целей и задач дальнейшего перспективного развития отрасли, а также для разработки и обоснования программных мероприятий на мезо- и микроуровнях, а также для принятия превентивных мер.

В проведенном исследовании был разработан прогноз развития добывающей промышленности Северной Азии на примере таких компаний-недропользователей, как ОАО «Севернефтегазпром», АК «АЛРОСА» (ПАО), АО «СУЭК», ПАО «ГМК «Норильский никель» и АО «Полус» [13-17].

На рисунках 2-6 (факт 2023 г., оценка 2024 г. и прогноз на 2025-2035 гг.) представлены полученные результаты прогноза комплексных индексов компаний-недропользователей по направлениям развития.

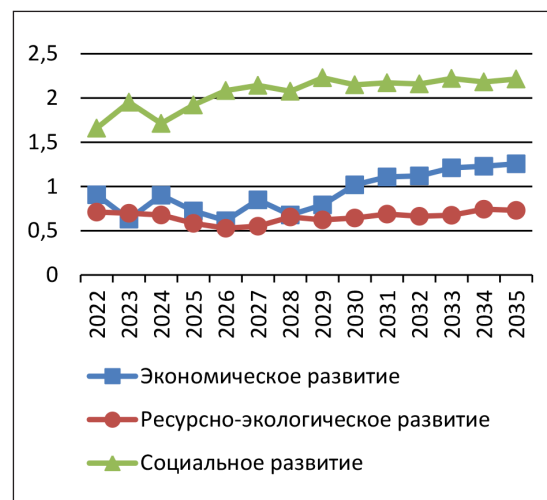


Рис. 2. ОАО «Севернефтегазпром»

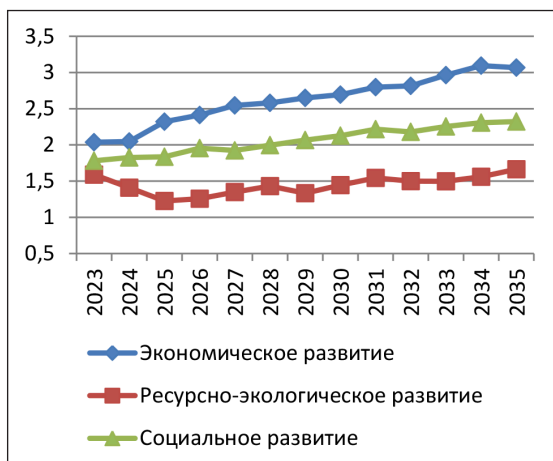


Рис. 3. АО «СУЭК»

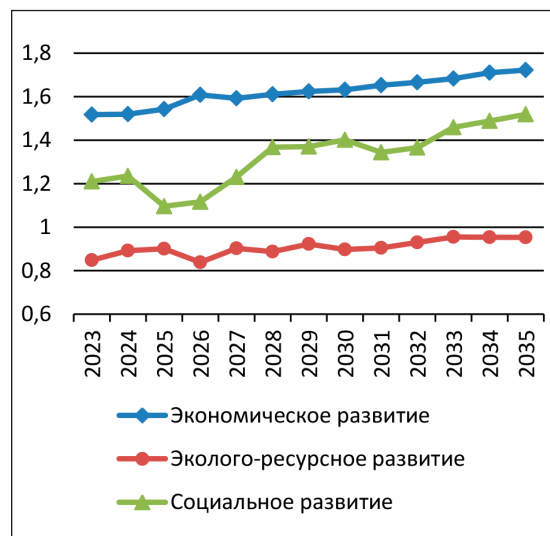


Рис. 6. АК «АЛРОСА»

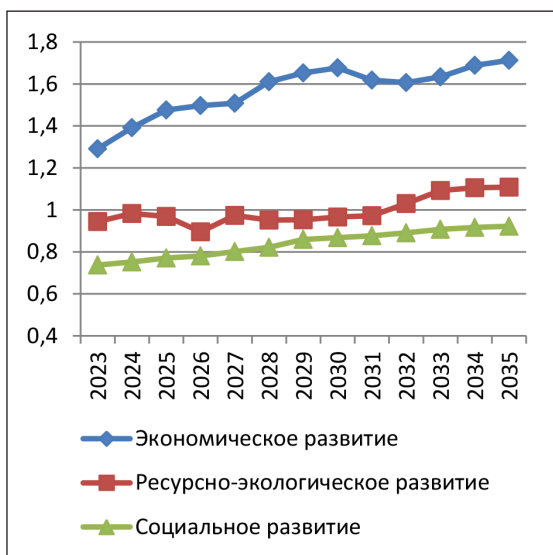


Рис. 4. ПАО «Полюс»

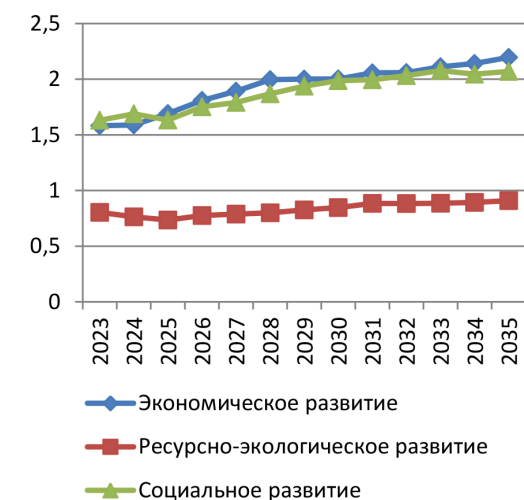


Рис. 5. ПАО «ГМК «Норильский никель»

В рамках проведенного исследования, прогнозы, основанные на современных методах интеллектуального анализа данных, позволили выявить потенциальные риски и возможности для устойчивого развития отрасли.

Результаты прогноза развития ОАО «Севернефтегазпром», одного из значимых игроков в нефтегазовой отрасли региона показали, что уровень экономического развития компании демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. К 2030 году этот показатель ожидается на уровне 112,5% по сравнению с базовым периодом, а к 2035 году – уже 138,8%. Это обусловлено оптимизацией производственных процессов и повышением эффективности добычи углеводородов. Прогноз по уровню экологического развития указывает на незначительное увеличение: к 2030 году – 100,5%, а к 2035 году – 102,9%, т.е. необходимы дальнейшие меры, направленные на сохранение чистоты и качества окружающей природной среды, включая снижение выбросов и минимизацию воздействия на экосистемы региона. В сфере социального развития прогнозируется более умеренный, но стабильный рост: к 2030 году – 129,5%, а к 2035 году – 133,4%. Следующая компания – АО «СУЭК». Прогноз развития АО «СУЭК» показал, что с учетом глобальных трендов прогноз достаточно оптимистичный. В перспективе темп роста экономического развития ожидается на уровне 132,1% к 2030 году и 150,5% к 2035 году. Это возможно в случае увеличения спро-

са на энергетические ресурсы в азиатских рынках и диверсификации продукции. Экологическое развитие прогнозируется с темпами 102,5% к 2030 году и 104,7% к 2035 году. В компании необходимы меры, направленные на снижение углеродного следа и переход к более чистым технологиям сжигания угля. Социальный аспект также показывает позитивные тенденции: 120,4% к 2030 году и 130,4% к 2035 году.

Далее, рассмотрим полученные результаты прогноза развития ПАО «Полус», лидера в золотодобывающей промышленности. В период с 2025 по 2035 гг. уровень экономического развития будет расти: к 2030 году он достигнет 163,7% по сравнению с уровнем 2023 года, а к 2035 году – 132,6%. Экологическое развитие прогнозируется на уровне 120,7% к 2030 году и 117,3% к 2035 году, что свидетельствует о внедрении современных экологических практик, таких как рекультивация земель и снижение водопотребления. Социальный рост ожидается 130,4% к 2030 году и 125,1% к 2035 году и говорит о том, что в области корпоративной социальной ответственности будет наблюдаться положительный тренд, включая программы для местных сообществ и повышение квалификации персонала. Следует отметить, что реализация прогноза в первую очередь зависит от темпов вовлечения запасов, подготовленных из прогнозных ресурсов высоких категорий по результатам геологоразведочных работ.

Прогнозы ПАО «ГМК «Норильский никель» указывают на значительный потенциал роста за счет увеличения добычи руды, роста выручки от реализации продукции и повышения чистой прибыли. Уровень экономического развития компании к 2030 году вырастет в 1,27 раза, а к 2035 году – в 1,39 раза по сравнению с базовым уровнем. Это отражает стратегию расширения производства и диверсификации рынков сбыта. Темп роста экологического развития составит 105,2% к 2030 году и 113,1% к 2035 году, что может быть достигнуто через внедрение инновационных технологий очистки стоков и снижение выбросов вредных веществ. Социальное развитие также показывает положительную динамику: 121,8% к 2030 году и 126,8% к 2035 году, включая инициативы по улучшению условий труда и поддержке коренных народов в регионах добычи.

Анализ перспектив развития АК «АЛРОСА» раскрывает достаточно сложную ситуацию на мировом рынке природных алмазов, обусловленную системными трансформациями, такими как изменения в спросе и предложении. В обозримом будущем эти факторы будут влиять на всю цепочку создания стоимости, что, в свою очередь, отразится на развитии компании. Несмотря на вызовы, в условиях санкционного давления АЛРОСА активно укрепляет связи с дружественными странами и планирует выход на новые развивающиеся рынки, что открывает возможности для диверсификации экспорта. Результаты прогноза демонстрируют умеренный рост: темп экономического развития к 2030 году составит 107,5% по сравнению с 2023 годом, а к 2035 году – 113,5%. Экологическое развитие прогнозируется на уровне 105,8% и 112,3% соответственно. Социальный рост ожидается на 115,8% к 2030 году и 125,5% к 2035 году, включая программы по поддержке персонала и местных сообществ. Реализация данного прогноза возможна при сохранении положительной внешней конъюнктуры и стабильности трендов алмазного рынка, без значительных изменений, которые могли бы нарушить текущие планы.

Заключение

Будущее развитие добывающей отрасли, являющейся важнейшей для российской экономики, напрямую связано с поддержанием факторов, которые способствовали ее устойчивому росту в последние годы. К таким факторам относятся стабильный внутренний спрос и сохранение макроэкономической стабильности.

Одним из ключевых факторов улучшения качества окружающей среды являются инвестиции. Это особенно важно на микроуровне, поскольку собственных средств предприятий часто недостаточно для реализации природоохранных мероприятий. Все признают необходимость активизации инвестиционной деятельности в области экологизации производства, однако из-за отсутствия нормативно-правовой базы эти меры остаются лишь на уровне деклараций. В связи с этим требуется внедрение регулирующих механизмов, способствующих росту инвестиций в основной капитал, параллельно с увеличением капитальных вложений на охрану окружающей среды.

В то же время особенно важно осознать, что успешное развитие компаний минерально-сырьевого сектора должно служить инструментом для решения социально-экономических задач регионов, где расположены основные добывающие предприятия. Это необходимо для создания более совершенной экономической модели, основанной на принципах устойчивого развития хозяйственной деятельности.

Результаты прогнозирования развития ведущих недропользователей в Северной Азии продемонстрировали положительную динамику их развития в перспективе. Высокий уровень обеспеченности минеральными ресурсами указывает на возможность даль-

нейшего роста производства и потребления минеральных ресурсов за счет проведения дополнительной геологоразведки перспективных структур в пределах месторождений. Несмотря на экономические санкции со стороны ЕС и США, ожидается дальнейшее увеличение использования минерально-ресурсного потенциала. Построенный прогноз способен предоставить важную информационную поддержку для решения задач дальнейшего развития компаний-недропользователей и обоснования программных мероприятий на мезо- и микроуровнях, направленных на реализацию ключевых стратегических приоритетов развития минерально-сырьевого сектора в будущем.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН № АААА-А21-121011590039-6 (мнемо-код 0273-2021-0003).

Библиографический список

1. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 июля 2024 г. № 1838-р [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/TNB3oQkPRJmDE3AMaxuTn2KRSHG9X0S.pdf> (дата обращения: 12.07.2025).
2. Громов А.И. Генеральная схема развития нефтяной отрасли на период до 2035 года: основные вызовы и решения [Электронный ресурс]. URL: https://fief.ru/files/presentations/Gromov_nnf.pdf?ysclid=m35kmuudn9184629870 (дата обращения: 14.03.2025).
3. Григорьева Е. Перспективы алмазодобывающих регионов России в контексте возможных изменений алмазно-бриллиантового комплекса // ЕКО. 2024. № 54(4). С. 47-73. [Электронный ресурс]. URL: <https://ecotrends.ru/index.php/eco/article/view/4759> (дата обращения: 16.02.2025).
4. Гутман С.С., Остапенко А.В. Оценка влияния деятельности АК «АЛРОСА» на устойчивое развитие Республики Саха (Якутия) // Научный вестник Южного института управления. 2018. № 4. С. 12-18. DOI: 10.31775/2305-3100-2018-4-12-18.
5. Корчагина С.А. Проблемы устойчивого развития в нефтегазовой отрасли: актуальность, перспективы // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <https://esj.today/PDF/21ECVN322.pdf> (дата обращения: 11.06.2025).
6. Логинов В.Г., Игнатьева М.Н., Балашенко В.В. Предприятия-недропользователи в роли загрязнителей и защитников окружающей среды // Известия УГГУ. 2019. Вып. 3(55). С. 150-156. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-3-150-156.
7. Минерально-сырьевой комплекс Азиатской России: как обеспечить социально-экономическую отдачу / Под ред. акад. В.В. Кулешов. Новосибирск: ИЭПП СО РАН, 2015. 352 с.
8. Ресурсные регионы России в «новой реальности» / Под ред. акад. В.В. Кулешов. Новосибирск: ИЭПП СО РАН, 2017. 308 с.
9. Бильгаева Л.П., Садыкова Э.Ц., Филиппов В.А. «Автоматическое построение топологии нейронной сети с использованием мутации функции активации для решения задачи прогнозирования». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663738. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ 22 ноября 2019 г.
10. Stanley K., Miikkulainen R. Evolving neural networks through augmenting topologies // J. Evolutionary Computation. 2002. Vol. 10. P. 99-127.
11. Bilgaeva L., Sadykova E., Filippov V. Automatic Generation of Neural Network Topology to Forecast the International Integration Processes. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern

Technologies (FarEastCon). 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8934135/metrics#metrics> (дата обращения: 10.04.2025).

12. Розенблатт Франк. Принципы нейродинамики: перцептроны и теория механизмов мозга. Спартанские книги, 1962. 616 с.

13. Экологический отчет ОАО «Севернефтегазпром» [Электронный ресурс]. URL: <https://severneftegazprom.com/development/ohrana-okruzhajuwej-sredy/> (дата обращения: 10.04.2025).

14. АЛРОСА. Отчет об устойчивом развитии. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.alrosa.ru/investors/results-reports/esg-reports/2022/> (дата обращения: 17.04.2025).

15. Отчет устойчивого развития компании СУЭК [Электронный ресурс]. URL: <https://reportcollection.inion.ru/reports/?OrganizationId=24> (дата обращения: 17.04.2025).

16. Godovoi_-otchet-PAO-GMK-Norilskii_-nikel-za-2023-god.pdf [Электронный ресурс]. URL: <https://nornickel.ru/upload/iblock/32f/4uef5112nd22hizu7dkae8y56ph0972d/> (дата обращения: 12.03.2025).

17. Polus-sustainability-report_2023.pdf [Электронный ресурс]. URL: <https://www.akm.ru/upload/akmrating/> (дата обращения: 12.03.2025).