

# УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ЕЕ СЕКТОРОВ

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE NATIONAL ECONOMY AND ITS SECTORS

---

УДК 338.012

**А. А. Быков, М. П. Цвиль**

Белорусский государственный экономический университет

### **ФОРМИРОВАНИЕ «ОЦИФРОВАННОЙ ЛЕСТНИЦЫ ЛАНСИНКА» НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕЙТИНГОВ**

Исследование проведено в рамках концепции «лестница Лансинка», которая представляет собой общепринятый метод ранжирования способов утилизации отходов. С учетом того, что эта концепция делает акцент лишь на градацию, в данном исследовании было предложено расширить ее функционал, применив методику оценочного подхода и предложив целевую функцию для выбора мер по обращению с отходами, составленную с учетом весовых коэффициентов каждого из способов обращения – сжигания, захоронения отходов, предотвращения их образования и т. д.

Подход «оцифрованная лестница Лансинка» позволяет рассчитать весовые коэффициенты для принятия решений относительно выбора метода по обращению с отходами с ориентацией не на отдельную страну, а на обобщенную мировую практику обращения с ТКО. Источником данных для ее построения стал Глобальный индекс отходов от компании Sensoneo.

Предложенный подход может также использоваться в разработке моделей, позволяющих «прощупать» пути увеличения позиций страны в любых международных рейтингах, при отсутствии четкого описания методик их составления и неполноте исходных данных. На основе оптимизации можно подбирать наиболее значимые параметры для увеличения рейтинга и оценивать их весовые коэффициенты.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, Индекс устойчивого развития, Индекс экологической эффективности, Глобальный индекс отходов, оптимизация.

**Для цитирования:** Быков А. А., Цвиль М. П. Формирование «оцифрованной лестницы Лансинка» на основе анализа международных экологических рейтингов // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2024. № 1 (280). С. 39–50.

DOI: 10.52065/2520-6877-2024-280-5.

**A. A. Bykau, M. P. Tsvil**

Belarusian State Economic University

### **FORMATION OF THE “DIGITIZED LANSINK’S LADDER” BASED ON THE ANALYSIS OF INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL RATINGS**

The study was conducted within the framework of the “Lansink’s ladder” concept, which is a generally accepted method for ranking waste disposal methods. Considering that this concept mainly focuses on the gradation, it was proposed herein to expand its functionality by applying the evaluation approach and proposing the objective function for selecting waste management treatment, which has been developed taking into account the weighting coefficients of each treatment method – incineration, disposal waste, its prevention and etc.

The “digitized Lansink’s Ladder” approach allows to calculate weighting coefficients to make decisions regarding the choice of the waste management treatment method, focusing not on a single country, but on the generalized world practice of MSW management; the data source for its development is the Global waste index by Sensoneo.

Also, the proposed approach can be used in the development of models that allow us to “test” ways to increase a country’s position in any international rankings, in case of the absence of a clear description of the methods and their compilation as well as incompleteness of the benchmark data. Based on optimization, one can select the most significant parameters to increase the rating and evaluate their weighting coefficients.

**Keywords:** municipal solid waste, Sustainable Development Index, Environmental Performance Index, Global Waste Index, optimization.

**For citation:** Bykau A. A., Tsvil M. P. Formation of the “digitized Lansink’s ladder” based on the analysis of international environmental ratings. *Proceedings of BSTU, issue 5, Economics and Management*, 2024, no. 1 (280), pp. 39–50 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-6877-2024-280-5.

**Введение.** «Лестница Лансинка» представляет собой концепцию управления твердыми коммунальными отходами (ТКО). Ее обычно изображают в форме пирамиды, визуальнo систематизирующей и устанавливающей приоритеты в способах обращения с отходами. В Национальной стратегии по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь иерархия предпочтительности мер по обращению с отходами выглядит следующим образом: предотвращение, повторное использование, рециклинг, энергетическое использование, захоронение (в порядке приоритетности) [1].

Данная концепция названа в честь нидерландского политика Ада Лансинка, который в 1979 г. внес в парламент предложение относительно выбора приоритетов в способах утилизации отходов. Наиболее предпочтительным среди обозначенных способов переработки является предотвращение образования отходов, а также их повторное использование, например повторное использование стеклянной тары. Выбор обоснован минимально негативным воздействием перечисленных способов на окружающую среду. Наряду с этим наименее предпочтительным способом выступило захоронение. Промежуточное положение в иерархии занимают сжигание отходов с выработкой электрической или тепловой энергии, а также их переработка во вторичные материалы. Предполагается, что по мере развития системы обращения с отходами происходит постепенное движение вверх по «лестнице», которое демонстрирует постепенное внедрение все более экологически безопасных способов обращения с отходами [2].

Несмотря на простоту и удобство данной концепции для визуализации, ее использование в качестве целевого ориентира при формировании Национальной стратегии по обращению с отходами ограничено рядом сложностей. В Беларуси на момент подготовки стратегии доля отходов под захоронение составляла 84,4%, а доля переработанных отходов – 15,6%. Много это или мало? Вероятно, получить ответ можно лишь сопоставив отечественные данные с зарубежными. По сравнению со Швецией это мало, так как доля рециклирования в Швеции выше, а по сравнению с Нигерией – много, потому что доля захоронения в Нигерии ниже. Захоронение отходов на полигонах по мировым меркам – еще не самый худший способ их утилизации, по-

скольку во многих странах Азии и Африки основная доля отходов сбрасывается на открытых свалках либо вообще не собирается. Оценка прогресса Беларуси в сфере обращения с отходами зависит от выбранной базы для сравнения, а универсальной базы нет – у каждой страны свои собственные результаты.

Если энергетическое использование отходов лучше, чем захоронение, но хуже рециклирования, имеет ли смысл строить мусоросжигающие заводы? Может лучше сразу инвестировать в предотвращение образования отходов, которое имеет наивысший приоритет в иерархии? Не возникнет ли на фоне стремления к предотвращению отходов при установлении определенных материальных стимулов соблазнов к сокрытию отходов, искажениям в статистике, нелегальной утилизации отходов? По своей сути «лестница Лансинка» – это «линейка без шкалы», которой можно измерять, но нельзя оценивать.

Поставленные вопросы будут сняты, если удастся предложить «оцифрованную лестницу Лансинка» – целевую функцию для выбора мер по обращению с отходами, составленную с учетом весовых коэффициентов, которые устанавливают количественные приоритеты для каждого из способов обращения – сжигания, захоронения отходов, предотвращения их образования и т. д.

«Оцифрованная лестница Лансинка» должна ориентироваться не на отдельную страну, а на общепринятую мировую практику обращения с ТКО, и источником данных для ее построения предположительно могли бы стать международные рейтинги, в которых отражаются показатели сферы обращения с отходами.

**Основная часть. Обзор международных экологических рейтингов.** Для ранжирования экономик мира по степени достижения определенных или конкурентных преимуществ все большую популярность приобретают глобальные индексы, которые формируются на основе системы статистических показателей и экспертных оценок. Наиболее общими, известными и часто используемыми являются Индекс человеческого развития ООН, Глобальный индекс конкурентоспособности, Глобальный инновационный индекс, Индекс устойчивости от компании FM Global и многие др. С усилением внимания мирового сообщества к вопросам экологии и устойчивого развития появились соответствующие рейтинги стран мира, которые формируются на основе индексов достижения

экологических и социальных целей. Рассмотрим самые популярные из них.

*Индекс устойчивого развития* ранжирует страны мира по уровню достижения экологических и социальных показателей и представлен в Отчете об устойчивом развитии (Sustainable Development Report – SDR). Данный индекс на основе совокупности критериев оценивает степень достижения Целей устойчивого развития (ЦУР) Парижского соглашения по климату, которое было принято 12 декабря 2015 г. и подписано 22 апреля 2016 г. 193 государствами-членами ООН.

Отчет об устойчивом развитии 2023 г. [3] был подготовлен недавно созданным Центром трансформации ЦУР (The SDG Transformation Center) со штаб-квартирой в Париже. Этот отчет является второй версией аналогичного документа, впервые опубликованного в 2022 г. В первом варианте Отчета 163 страны мира были ранжированы по уровню достижения ЦУР, и Республика Беларусь в итоговом рейтинге заняла 34-е место. За год положение нашей страны в данном рейтинге не изменилось, мы остались на 34-й позиции, а количество проранжированных стран выросло до 166. Представители Центра трансформации ЦУР обещают, что рейтинг и отчет будут составляться и публиковаться ежегодно.

Основные целевые показатели Парижского соглашения по климату устанавливались до 2030 г., поэтому 2023 г. можно считать промежуточной точкой для оценки уровня выполнения ЦУР, находящейся на середине прогнозного интервала. В Отчете об устойчивом развитии констатируется, что на данный момент все ЦУР серьезно отстают от запланированных показателей. С 2015 по 2019 г. мир добился определенного прогресса в достижении ЦУР, хотя и этого

уже было совершенно недостаточно для достижения целей. После вспышки пандемии в 2020 г. и других кризисных событий прогресс в достижении ЦУР застопорился во всем мире. Сбои, вызванные многочисленными кризисами, усугубили проблемы с финансированием достижения ЦУР в странах с низкими доходами и странах с доходами ниже среднего, что привело к обращению вспять прогресса по ряду целей и показателей. Несмотря на такое развитие событий, ЦУР по-прежнему считаются достижимыми [3].

Итоговый Индекс устойчивого развития измеряет общий прогресс в достижении всех 17 ЦУР, для оценки степени достижения каждой цели используется группа метрик – специальных показателей. Итоговый индекс можно интерпретировать как общий процент достижения всех ЦУР. Оценка 100 означает, что все ЦУР достигнуты данной страной [3].

В качестве субиндекса рассчитывается также Индекс побочных эффектов, принимающий во внимание экологические и социальные последствия для других стран, которые могут быть вызваны действиями исследуемой страны в международной торговле, экономике и финансах, а также безопасности. Более высокий балл означает, что страна вызывает больше положительных и меньше отрицательных побочных эффектов для других стран [3].

В десятку лидеров в общем рейтинге 2023 г. входят только европейские страны, в тройке лидеров – Финляндия, Швеция, Дания. Беларусь занимает 34-е место, между Люксембургом и Румынией, опережая Литву, США, Австралию и некоторые другие страны ОЭСР. Среди 27 стран региона Восточной Европы и Центральной Азии Беларусь занимает 3-ю позицию. В табл. 1 показано место Беларуси в общем рейтинге по каждой из ЦУР.

Таблица 1

Место Беларуси в Индексе устойчивого развития в разрезе каждой ЦУР

ЦУР	Название ЦУР	Место Беларуси
1	Ликвидация нищеты	36
2	Ликвидация голода	66
3	Хорошее здоровье и благополучие	49
4	Качественное образование	45
5	Гендерное равенство	27
6	Чистая вода и санитария	26
7	Недорогостоящая и чистая энергия	73
8	Достойная работа и экономический рост	122
9	Индустриализация, инновация и инфраструктура	69
10	Уменьшение неравенства	3
11	Устойчивые города и населенные пункты	50
12	Ответственное потребление и производство	121
13	Борьба с изменением климата	136
14	Сохранение морских экосистем	160
15	Сохранение экосистем суши	4
16	Мир, правосудие и эффективные институты	82
17	Партнерство в интересах устойчивого развития	21

Источник. Составлено по данным [3].

Как видно, по некоторым ЦУР Беларусь находится на лидирующих позициях в мире. Например, по Цели № 15 «Сохранение экосистем суши» индекс Беларуси равен максимальному значению в 100%, по этому критерию мы делим 1-е место с восемью другими странами. По Цели № 10 «Уменьшение неравенства» Беларусь занимает 3-ю в мире позицию благодаря низкому индексу Джини. Наоборот, по некоторым ЦУР Беларусь занимает довольно низкие позиции. В частности, по Цели № 14 «Сохранение морских экосистем» мы находимся на 160-м месте только потому, что в нашей стране нет морских экосистем. 136-е место по Цели № 13 «Борьба с изменением климата» обусловлено отрицательным индексом побочных эффектов. Беларусь экспортирует много минерального топлива – нефтепродуктов, которые в дальнейшем при сжигании создают выбросы CO<sub>2</sub>.

Оценка сферы обращения с ТКО проводится в рамках Цели № 12 «Ответственное производство и потребление» на основании 4 метрик: Объем ТКО на душу населения в день (по этому показателю Беларусь в середине рейтинга с уровнем показателя 1,24 кг/чел. в день; объем отходов электроники, кг на душу населения в год (9,33 для Беларуси). По двум другим критериям (экспорт пластиковых отходов и доля не переработанных ТКО) Беларусь не ранжируется. Среди показателей уровня развития сферы ТКО нет объема сжигаемых отходов.

В целом Индекс устойчивого развития представляет полезную информацию для сопоставления Республики Беларусь с другими странами мира по уровню достижения ЦУР и может использоваться в разработке Национальной стратегии устойчивого развития. Для оценки исключительно сферы обращения с ТКО следует провести обзор других рейтингов, в которых использовалось бы больше специфических показателей и данных.

Следует отметить, что на официальном сайте ООН опубликован документ, который называется Глобальным отчетом по устойчивому развитию 2023 (Global Sustainable Development Report – GSDR 2023 [4]). Этот документ не имеет прямого отношения к рассмотренному выше Отчету об устойчивом развитии. Основное отличие SDR от GSDR заключается в том, что в последнем не составляется рейтинг стран по вкладу в достижение ЦУР, а преимущественно обобщаются результаты исследований в области устойчивого развития за последние 5 лет.

*Индекс экологической эффективности* (Environmental Performance Index – EPI) составляется Йельским и Колумбийским университетами США при поддержке одного из частных амери-

канских фондов [5]. Ранжирование стран осуществляется по трем направлениям, характеризующим политику в отношении окружающей среды: состояние окружающей среды; жизнеспособность экосистемы и вклад в изменение климата. К каждому из указанных направлений экологической политики привязано 40 критериев, агрегированных в 11 групп. Например, большинство критериев, характеризующих политику в сфере изменений климата, оценивают выбросы парниковых газов в расчете на душу населения или на доллар ВВП. Политика в сфере состояния окружающей среды оценивается показателями уровня загрязненности воздуха, качества питьевой воды, содержания тяжелых металлов в почве, уровня переработки мусора. Критериями жизнеспособности экосистем являются трендовые данные относительно использования и восстановления лесов, сельхозугодий, пресноводных и океанических экосистем, загрязненности почв пестицидами и неорганическими удобрениями, сохранения флоры и фауны [5].

Все ранжируемые 180 стран разделены на 8 регионов, которые существенно отличаются уровнем дохода: «Глобальный Запад», Восточная Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Бывший Советский Союз, Латинская Америка, большой Ближний Восток, Южная Азия, Южная Африка.

Чем большее значение получает каждый критерий, тем больше баллов набирает страна и выше поднимается в рейтинге. В целом показана положительная корреляция между уровнем дохода на душу населения в экономиках и числом баллов по общему рейтингу экологической эффективности. То же подтверждается по отдельным группам стран: «Глобальный Запад» опережает остальные регионы по большинству критериев, а самые бедные регионы, такие как Южная Азия и Южная Африка, показывают наихудшие результаты.

В общем рейтинге EPI 2022 г. Беларусь заняла 55-ю позицию, в группе из 12 стран «Бывшего Советского Союза» – вторую строчку (табл. 2).

Таблица 2  
Позиции Беларуси в рейтинге EPI

Направление экологической политики	Ранг в мире (из 180)	Ранг в группе (из 12)
Состояние окружающей среды	52	1
Жизнеспособность экосистемы	41	3
Изменение климата	94	6
Общий ранг EPI	55	2

Источник. Составлено по данным [5].

Причиной более низкого рейтинга Беларуси по Индексу ЕРІ, по сравнению с Индексом устойчивого развития, является разница методик ранжирования. При расчете Индекса ЕРІ используется множество относительных показателей с ВВП в знаменателе, например объемы вредных выбросов на доллар ВВП. Поэтому для стран с одинаковым уровнем загрязнения положение в рейтинге окажется выше у страны с более высоким уровнем дохода.

При расчете Индекса ЕРІ используется три критерия, характеризующих сферу обращения с отходами. Первый показатель оценивает долю контролируемых отходов в общем объеме твердых отходов. Под контролируемыми твердыми отходами понимаются бытовые и коммерческие отходы, образующиеся в стране, которые собираются и обрабатываются таким образом, чтобы снизить экологические риски. Отходы считаются «контролируемыми», если они утилизируются путем рециклирования, компостирования, анаэробного сбраживания, сжигания или захоронения на полигонах. Оценка 100 указывает на то, что страна обеспечивает эколого-ориентированное управление 100% своих отходов, а оценка 0 свидетельствует, что страна не может ни управлять своими твердыми отходами, ни вести статистический учет их образования и использования. По данным ЕРІ, Беларусь контролирует 64,2% отходов и занимает 59-е место по данному показателю [5].

Вторым показателем сферы обращения с отходами выступает уровень их переработки, который определяется как доля перерабатываемых материалов (металла, пластика, бумаги и стекла) в общей массе твердых отходов в каждой стране. Оценка 100 указывает на то, что страна перерабатывает все пригодные для вторичной переработки бытовые материалы, а оценка 0 говорит о том, что страна не перерабатывает вторичные материальные ресурсы. Беларусь заняла 75-е место со значением показателя в 19% [5].

По третьему критерию «загрязнение океана пластиком» Беларусь не ранжируется.

В целом количества показателей, используемых при расчете Индекса ЕРІ в части обращения

с ТКО, недостаточно для того, чтобы сформировать надлежащую систему ранжирования способов утилизации отходов. Кроме того, определенные используемые критерии не согласуются с общепринятой статистикой в сфере обращения с ТКО. Вероятно, при расчете данного индекса показатели контролируемых отходов и уровня переработки отходов характеризуют именно ТКО, а не все твердые отходы.

В 2018 г. Всемирным банком опубликован «Глобальный обзор управления твердыми отходами: *What a Waste 2.0*» [6]. Данный аналитический отчет подготовлен по результатам исследований систем управления отходами на выборке из 217 стран, включая Беларусь и 367 городов, включая Минск и Гродно. Целью подготовки отчета является обмен объективными данными и тенденциями в области управления отходами, а также распространение уникальной практики сокращения и утилизации отходов.

В Отчете приводится статистика в разрезе принятой Всемирным банком классификации стран по уровню дохода относительно объема образующихся ТКО и способов их утилизации (табл. 3).

Как видно из таблицы, для стран с низким уровнем дохода выбор между переработкой, сжиганием или захоронением ТКО пока что не актуален. Для них основная проблема в том, что далеко не вся масса ТКО вообще подлежит сбору, а те отходы, которые собираются, по большей части остаются на открытых свалках. Беларусь в этой части сопоставима со странами с высоким доходом, за исключением того факта, что вместо сжигания в Беларуси в большей степени прибегают к захоронению отходов на полигонах.

Отчет *What a Waste 2.0* не является рейтингом, но служит источником статистической информации для других рейтингов, в которых используются показатели отходов.

*Глобальный индекс отходов* (Global waste index) [7] от компании Sensoneo представляет собой частный, узкоспециализированный рейтинг, в котором страны ранжируются исключительно по уровню организации системы обращения с ТКО.

Таблица 3

**Объем сбора и способы утилизации отходов в странах с разным уровнем дохода [6, с. 34–35]**

Способ утилизации	Высокий доход	В среднем в мире	Низкий доход	Беларусь
Доля отходов, подлежащих сбору, %	96	66	39	90–100
Способы утилизации, % от объема сбора				
Открытые свалки	2	33	93	7
Захоронение	39	36	3	77
Переработка	29	5	4	16
Сжигание	22	5	0	0
Компостирование	6	6	0	0

Компания Sensoneo была организована в Словакии как стартап в 2017 г., а сегодня представляет глобальную компанию мирового уровня, специализирующуюся на разработке интеллектуальных систем по управлению отходами.

Разрабатываемые компанией Sensoneo интеллектуальные системы комбинируют интеллектуальные датчики собственного производства, отслеживающие отходы в режиме реального времени, со сложным программным обеспечением и приложениями. Данные системы автоматизируют принятие решений на основе оптимизации маршрутов сбора и транспортировки отходов, формирования календарных графиков для транспортного парка, контроля уровня загрузки транспортных средств.

Глобальный индекс отходов можно назвать «имиджевым продуктом» деятельности компании, который придает ей статус глобального игрока на мировом рынке и агрегатора передовой практики в сфере обращения с отходами. Индекс обеспечивает всесторонний анализ наиболее экологически чистых методов управления отходами. Он ранжирует 36 стран Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и некоторые другие страны в зависимости от того, насколько эффективно они управляют своими отходами, которые учитываются в расчете на душу населения. Целью составления Индекса является определение наиболее экологически чистых стран в области управления отходами.

Источниками данных для расчета Индекса являются: Глобальная база данных What a waste Всемирного банка (данные на уровне стран ОЭСР в основном доступны начиная с 2016 г.); «База данных по муниципальным отходам» Европейского Союза; данные Министерства окружающей среды и энергетики Австралии [7].

При расчете Индекса применяется методика, довольно подробно описанная на сайте компании [7].

На первом этапе определяется количество отходов, в килограммах на душу населения, которые в данной стране перерабатываются, сжигаются, подвергаются захоронению или собираются на открытых свалках либо остаются неучтенными.

Далее каждому из способов обращения с отходами присваивается определенное количество положительных или отрицательных баллов в зависимости от вклада в загрязнение окружающей среды, которое сопутствует использованию данного способа.

Общее количество отходов на душу населения считается отрицательным фактором – страна может потерять до 3 баллов при увеличении количества производимых отходов на душу населения. Переработка (рециклирование) считается прогрессивным способом обращения с ТКО – страна может получить до 4 баллов за рост количества переработанных отходов. Сжигание также прогрессивный способ, и в случае роста количества отходов,

утилизируемых посредством сжигания, стране начисляется до 1 балла. Захоронение отходов негативно влияет на общую оценку – страна может потерять до 3 баллов за количество отходов, утилизируемых через захоронение. Хранение отходов на открытых свалках считается крайне негативным способом обращения с ТКО – страна может потерять до 6 баллов за количество незаконно сброшенных отходов. Наличие неучтенных отходов считается крайне негативным фактором – страна может потерять до 6 баллов за количество неучтенных отходов [7].

Затем факторы с установленными весовыми коэффициентами нормализуются по шкале от 0 до 10, чтобы стать сопоставимыми.

Окончательные оценки стандартизируются от 0 до 100, где 0 – самый низкий балл, обозначающий страну с худшими показателями управления отходами; 100 – самый высокий показатель, свидетельствующий о том, что страна лучше всего справляется с управлением отходами [7].

**Адаптация и корректировка методики расчета Глобального индекса отходов.** Несмотря на достаточно подробное описание методики расчета, его оказалось недостаточно для составления точной формулы, по которой каждой стране может быть присвоено значение Глобального индекса отходов. Между тем данный рейтинг представляется наиболее полным по составу показателей для формирования «оцифрованной лестницы Лансинка». Тем более что все исходные данные для этого приведены на официальном сайте Sensoneo (табл. 4).

Зная итоговые значения общего уровня обращения с ТКО  $Y$ , а также перечисленные в табл. 4 значения входных переменных, можно подобрать соответствующие весовые коэффициенты для каждой переменной, обеспечивающие наиболее точные расчетные значения  $Y'$ . Подбор весовых коэффициентов должен осуществляться с условием максимального приближения расчетных значений  $Y'$  к фактическим значениям  $Y$  для каждой страны.

При подборе весовых коэффициентов было использовано несколько подходов и разработано несколько моделей. Первая модель описана формулой (1):

$$Y'_m = w \cdot Wast_m + r \cdot Rec_m + i \cdot Inc_m + l \cdot Land_m + d \cdot Dump_m + u \cdot Unac_m + p \cdot Rper_m + y, \quad (1)$$

где  $Y'_m$  – расчетное значение итогового рейтинга для страны  $m$ , баллов;  $Wast_m$  – общий объем отходов для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Rec_m$  – объем переработанных отходов для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Inc_m$  – объем отходов, подвергнутых сжиганию, для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Land_m$  – объем захоронения отходов на

специальных полигонах для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Dump_m$  – объем отходов, складываемых на открытых свалках, для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Unac_m$  – объем неучтенных отходов для страны  $m$ , килограмм на душу населения в год;  $Rper_m$  – доля отходов, подвергнутых переработке, в процентах от общего объема отходов в стране  $m$ ;  $w, r, i, l, d, u, p$  – коэффициенты, отражающие вклад каждого фактора в общее значение  $Y$ ;  $y$  – константа.

Для расчета весовых коэффициентов  $w, r, i, l, d, u, p, y$  на основе данных табл. 4 использовано два метода. Первый заключается в построении уравнения регрессии с помощью пакета «Анализ данных» для Excel.

В полученном уравнении регрессии вида (1) коэффициент детерминации  $R^2$  оказался близок к 1. Значения весовых коэффициентов занесены в колонку 3 табл. 5. Значения  $p$ -уровней данных коэффициентов, характеризующих уровень их статистической значимости, занесены в колонку 4 той же таблицы.

Для коэффициента  $p$ , характеризующего долю переработанных отходов, уровень значимости неприемлемый, так как превышает 0,05. Тем более что его значение в модели оказалось отрицательным – чем выше доля переработанных отходов, тем ниже итоговый индекс, что логически неправильно. Все остальные коэффициенты уравнения регрессии имеют приемлемый уровень значимости.

Таблица 4

**Глобальный индекс отходов – 2022, включая промежуточные показатели, килограмм на душу населения в год [7]**

Ранг	Страна	Всего отходов	Переработка	Сжигание	Захоронение	Открытые свалки	Неучтенные отходы	Переработка	Итоговый счет
1	Южная Корея	400	243	88	46	0	0	60,80%	100
2	Дания	845	300	382	7	0	0,2	35,60%	94,9
3	Германия	632	302	204	5	0	13	47,80%	90,4
4	Швейцария	706	210	333	0	0	0	29,80%	89,3
5	Финляндия	596	168	345	3	0	0,1	28,20%	89,3
6	Норвегия	726	256	337	17	0	6	35,30%	88,5
7	Япония	336	66	268	3	0	0	19,60%	86,9
8	Нидерланды	535	148	224	7	0	0	27,70%	86,5
9	Швеция	431	87	259	3	0	0	20,20%	84,8
10	Люксембург	790	232	257	31	0	2	29,40%	83,5
11	Бельгия	416	147	179	5	0	9	35,30%	83,1
12	Ирландия	598	175	255	86	0	6	29,30%	79,7
13	Польша	346	92	74	138	0	0	26,60%	79,5
14	Франция	537	121	204	97	0	0,1	22,50%	78,9
15	Венгрия	364	81	62	182	0	0,2	22,30%	75,1
16	Литва	472	130	70	102	0	6	27,50%	74,5
17	Австрия	588	154	226	12	0	12	26,20%	74,2
18	Великобритания	463	126	190	69	0	13	27,20%	73,4
19	Австралия	559	150	152	288	0	0	26,80%	72,9
20	Чехия	499	110	76	231	0	0	22,00%	71
21	Словения	487	219	64	33	0	28	45,00%	69,7
22	Колумбия	243	39	0	214	10	0	16,00%	69,6
23	Испания	455	86	53	236	0	0	18,90%	69,3
24	Португалия	513	65	93	243	0	0	12,70%	64,6
25	США	811	190	95	402	0	0	23,40%	60,2
26	Коста Рика	266	8	0	227	23	0	3,00%	60
27	Словакия	433	124	34	219	0	19	28,60%	59,8
28	Греция	524	84	7	407	0	0	16,00%	57,9
29	Новая Зеландия	781	255	0	727	0	0	32,70%	54,8
30	Исландия	702	117	33	418	0	0	16,70%	54,0
31	Канада	706	183	34	643	0	0	25,90%	53,3
32	Эстония	369	104	167	64	0	46	28,20%	46,3
33	Израиль	680	43	10	481	0	0	6,30%	42,6
34	Италия	503	151	99	105	0	54	30,00%	36,6
35	Мексика	359	13	0	219	89	0	3,60%	35,4
36	Чили	437	2	1	417	33	21	0,50%	23,3
37	Латвия	478	155	13	253	0	68	32,40%	18,5
38	Турция	424	47	0	347	176	4	11,00%	0

Второй метод расчета весовых коэффициентов в уравнении (1) заключается в решении оптимизационной задачи через подбор параметров  $w, r, i, l, d, u, p, y$  при установлении целевой функции  $Dif$  в виде минимальной суммы квадрата отклонений расчетных значений  $Y'_m$  от фактических значений  $Y_m$ :

$$Dif = \sum_m (Y_m - Y'_m)^2 \rightarrow \min.$$

Такой подход является простейшим вариантом нейросетевого моделирования и в общем виде описан в работе Э. М. Аксены [8]. Для подбора параметров использована надстройка Excel «Поиск решения». Результаты приведены в колонке 5 табл. 5.

Погрешность  $Dif / \sum Y_m$  составила менее 0,05%. В данном случае коэффициент  $p$  имеет положительное значение. Значения других коэффициентов близки к тем значениям, которые были получены в уравнении регрессии.

Недостатком модели (1) представляется двойной учет фактора уровня переработки отходов. Сначала он учитывается по абсолютной величине как  $Rec_m$ , затем – в процентах к общему уровню отходов как  $Rper_m$ , поэтому данную модель можно усовершенствовать.

Модель (2) также характеризует расчетный итоговый рейтинг в баллах  $Y''$  только для его расчета используются преимущественно относительные показатели – доля отходов на переработку, доля неучтенных отходов и т. д. Единственный абсолютный показатель характеризует общее количество отходов на душу населения в год:

$$Y'' = w \cdot Wast_m + r \cdot \frac{Rec_m}{Wast_m} + i \cdot \frac{Inc_m}{Wast_m} + l \cdot \frac{Land_m}{Wast_m} + d \cdot \frac{Dump_m}{Wast_m} + u \cdot \frac{Unac_m}{Wast_m} + y. \quad (2)$$

Коэффициенты  $w, r, i, l, d, u, y$  найдены на основе оптимизации с помощью надстройки «Поиск решения», их значения занесены в колонку 6 табл. 5.

Вновь посчитана погрешность как сумма квадратов разниц расчетных и фактических значений итогового показателя. Погрешность  $Dif / \sum Y_m$  составила 5%. При этом рейтинг обновился, коэффициенты изменились.

Недостаток данной модели заключается в невозможности ранжирования всех способов управления отходами, поскольку в уравнении коэффициенты измеряются в различных единицах. Чтобы привести к единым единицам измерения, нужно фактор  $Wast_m$  также сделать относительной величиной. Это возможно, но только для одной страны, например для Беларуси – если разделить количество образующихся в каждой стране отходов на душу населения в год на такое же количество, характерное для Беларуси.

Тогда модель (3) примет вид

$$Y''' = w \cdot \frac{Wast_m}{Wast_{BLR}} + r \cdot \frac{Rec_m}{Wast_m} + i \cdot \frac{Inc_m}{Wast_m} + l \cdot \frac{Land_m}{Wast_m} + d \cdot \frac{Dump_m}{Wast_m} + u \cdot \frac{Unac_m}{Wast_m} + y, \quad (3)$$

где  $Wast_{BLR}$  – общий объем отходов для Беларуси, килограмм на душу населения в год.

Таблица 5

Коэффициенты в уравнениях итогового счета рейтинга

Показатель	Весовой коэффициент	Модель 1 регрессия	$p$ -уровни	Модель 1 оптимизация	Модель 2 оптимизация	Модель 3 оптимизация	Приведение коэффициентов к кг/чел. в год	Показатели для Беларуси
Образование отходов на душу населения в год	$w$	-0,047	<0,0001	-0,047	-0,03	-11,62	-1,00	400
Доля переработанных отходов	$r$	0,129	<0,0001	0,126	51,44	51,44	4,43	0,3
Доля отходов на сжигание	$i$	0,024	<0,0001	0,024	11,48	11,48	0,99	0
Доля отходов на захоронение	$l$	-0,039	<0,0001	-0,039	-23,99	-23,99	-2,06	0,63
Доля отходов на открытых свалках	$d$	-0,323	<0,0001	-0,322	-117,44	-117,44	-10,11	0,07
Доля неучтенных отходов	$u$	-0,835	<0,0001	-0,835	-388,15	-388,15	-33,40	0
Доля переработанных отходов	$p$	-1,363	0,197	0,010	Нет	Нет	Нет	0,3
Константа	$y$	88,094	<0,0001	87,758	84,46	84,46	-7,27	Нет



Для Беларуси первый фактор  $\frac{Wast_m}{Wast_{BLR}}$  равен 1.

Теперь коэффициенты уравнения  $w, r, i, l, u$  измеряются в одинаковых единицах и являются сопоставимыми. Их значения помещены в колонку 7 табл. 5.

Показатели для Беларуси, используемые для расчета по формуле (3), взяты из открытых источников. Общий объем отходов на душу населения в год определен как среднее за 2020–2022 гг. и равен 400 [9, 10]. Доля переработанных отходов в 2021 г. была равна 0,3 [6, с. 4]. Доля отходов на открытых свалках 0,07 [6, с. 234]. Доля отходов, подлежащих захоронению, определена как разность  $1 - 0,3 - 0,07 = 0,63$  от общей ве-

личины образующихся отходов. Доля неучтенных отходов принята за 0.

Приведенные показатели помещены в колонку 9 табл. 5. Теперь можно с помощью формул (1), (2) и (3) оценить, какое место заняла бы Республика Беларусь в данном рейтинге.

По формуле (1) общий расчетный итоговый рейтинг для Беларуси  $Y' = 65,25$ , что соответствует уровню между Испанией и Португалией. Расчетное место в рейтинге 24. Это выше, чем США, Канада, Латвия, Эстония, Италия, но при одном условии – отсутствии неучтенных отходов.

По формуле (3) итоговый рейтинг Беларуси  $Y''' = 65,60$ . Беларусь при этом займет 24-е место между Португалией и США. Обновленный рейтинг стран, рассчитанный по формуле (3), приведен в табл. 6.

Таблица 6

Обновленный Глобальный индекс отходов, с учетом Беларуси

Ранг	$Y'''$	Страна	$Wast$	$Rec$	$Inc$	$Land$	$Dump$	$Unac$
1	104,52	Южная Корея	1,000	0,608	0,220	0,115	0,000	0,000
2	94,31	Япония	0,840	0,196	0,798	0,009	0,000	0,000
3	89,77	Швеция	1,078	0,202	0,601	0,007	0,000	0,000
4	89,09	Финляндия	1,490	0,282	0,579	0,005	0,000	0,000
5	88,53	Нидерланды	1,338	0,277	0,419	0,013	0,000	0,000
6	87,50	Бельгия	1,040	0,353	0,430	0,012	0,000	0,022
7	87,26	Германия	1,580	0,478	0,323	0,008	0,000	0,021
8	85,83	Швейцария	1,765	0,297	0,472	0,000	0,000	0,000
9	84,47	Дания	2,113	0,355	0,452	0,008	0,000	0,000
10	84,27	Норвегия	1,815	0,353	0,464	0,023	0,000	0,008
11	81,55	Польша	0,865	0,266	0,214	0,399	0,000	0,000
12	81,29	Франция	1,343	0,225	0,380	0,181	0,000	0,000
13	80,68	Ирландия	1,495	0,293	0,426	0,144	0,000	0,010
14	79,73	Люксембург	1,975	0,294	0,325	0,039	0,000	0,003
15	77,82	Австрия	1,470	0,262	0,384	0,020	0,000	0,020
16	77,28	Литва	1,180	0,275	0,148	0,216	0,000	0,013
17	76,01	Великобритания	1,158	0,272	0,410	0,149	0,000	0,028
18	75,68	Венгрия	0,910	0,223	0,170	0,500	0,000	0,001
19	73,71	Австралия	1,398	0,268	0,272	0,515	0,000	0,000
20	72,77	Чехия	1,248	0,220	0,152	0,463	0,000	0,000
21	71,82	Словения	1,218	0,450	0,131	0,068	0,000	0,057
22	70,61	Испания	1,138	0,189	0,116	0,519	0,000	0,000
23	67,64	Португалия	1,283	0,127	0,181	0,474	0,000	0,000
24	65,60	Беларусь	1,000	0,300	0,000	0,630	0,070	0,000
25	63,74	США	2,028	0,234	0,117	0,496	0,000	0,000
26	60,10	Колумбия	0,608	0,160	0,000	0,881	0,041	0,000
27	59,87	Греция	1,310	0,160	0,013	0,777	0,000	0,000
28	60,05	Исландия	1,755	0,167	0,047	0,595	0,000	0,000
29	59,06	Словакия	1,083	0,286	0,079	0,506	0,000	0,044
30	57,52	Новая Зеландия	1,953	0,327	0,000	0,931	0,000	0,000
31	57,15	Канада	1,765	0,259	0,048	0,911	0,000	0,000
32	52,28	Израиль	1,700	0,063	0,015	0,707	0,000	0,000
33	48,09	Коста Рика	0,665	0,030	0,000	0,853	0,086	0,000
34	41,50	Эстония	0,923	0,282	0,453	0,173	0,000	0,125
35	41,70	Италия	1,258	0,300	0,197	0,209	0,000	0,107
36	32,74	Мексика	0,898	0,036	0,000	0,610	0,248	0,000
37	22,33	Чили	1,093	0,005	0,002	0,954	0,076	0,048
38	20,44	Латвия	1,195	0,324	0,027	0,529	0,000	0,142
39	6,50	Турция	1,060	0,111	0,000	0,818	0,415	0,009

Источник. Собственная разработка.

## Иерархия приоритетов при выборе способа обращения с ТКО

Уровень предпочтительности	Способ обращения с ТКО	Коэффициент предпочтительности, килограмм на душу населения в год
1	Переработка	4,43
2	Предотвращение образования	1,00
3	Сжигание	0,99
4	Захоронение	-2,06
5	Хранение на открытых свалках	-10,11
6	Наличие неучтенных отходов	-33,40

«Оцифрованная лестница Лансинка». Мы можем использовать коэффициенты  $w, r, i, l, d, u$ , у уравнения (3) напрямую для оценки уровня иерархии каждого способа обращения с ТКО как безразмерные величины, но лучше сделать еще один расчет для приведения всех коэффициентов к понятным единицам измерения, в данном случае – к кг/чел. в год. Для этого разделим каждый из коэффициентов из колонки 7 табл. 5 на абсолютную величину фактического значения  $w = 11,62$ . Полученные значения занесены в колонку 8 табл. 5.

Они представляют собой численные характеристики приоритетов в «оцифрованной лестнице Лансинка», которая показана в табл. 7.

Чем выше коэффициент предпочтительности, тем лучше указанный способ переработки отходов, что подтверждено статистикой стран ОЭСР. Примечательно, что коэффициент  $w$  в колонке 8 табл. 5 имел отрицательное значение, а в табл. 7 имеет положительное значение. Все остальные коэффициенты не изменились. Объяснение тому следующее: в табл. 5 коэффициент  $w$  характеризует общий объем отходов, чем эта величина ниже, тем лучше. Предотвращение образования отходов означает их уменьшение, поэтому коэффициент меняет знак.

Интерпретацию табл. 7 можно проиллюстрировать на примерах. Так, 1 кг переработанных отходов эквивалентен по значимости 4,43 кг предотвращенных или 4,48 кг отправленных на сжигание. Лучше переработать 1 кг мусора, чем сжечь 4,4 кг. Один килограмм предотвращенных отходов эквивалентен 2,06 кг подвергнутых захоронению. Лучше предотвратить образование 1 кг мусора, чем содрать, вывезти и захоронить 2 кг. Каждый килограмм мусора на открытых свалках эквивалентен 10,11 кг собранного мусора, а каждый килограмм неучтенного мусора эквивалентен 33,4 кг собранного мусора.

**Заключение.** Глобальный индекс отходов от компании Sensoneo предоставляет все необходимые данные для создания «Оцифрованной лестницы Лансинка». Другие рассмотренные рейтинги ни по методике составления, ни по набору данных для этого не пригодны.

Приведенные в табл. 7 весовые коэффициенты могут использоваться в принятии решений. Например, с их помощью легко обосновать, что лучше строить завод по сортировке и сжиганию мусора, а не просто установку по сжиганию отходов.

Казалось бы, захоронение отходов уменьшает общий рейтинг. Но и этот способ не так плох в условиях отсутствия инвестиций в мощности по сжиганию и переработке, поскольку в данном случае альтернативой захоронению становятся еще более худшие способы – нелегальные свалки, которые оцениваются штрафными баллами. «Расстояние» в баллах от переработки до захоронения меньше, чем «расстояние» от захоронения до хранения на открытых свалках.

Почему предотвращение образования отходов оказалось не на первом месте, как принято на рис. 1? Прежде всего задача полного предотвращения образования отходов физически невыполнима. Согласно прогнозам Всемирного банка, уровень отходов на душу населения будет только расти, этот показатель находится в прямой зависимости от уровня ВВП на душу населения, а также от уровня урбанизации. Уровень переработки отходов будет и далее повышаться с развитием технологий.

Предложенный подход может использоваться в разработке моделей, позволяющих «прощупать» пути увеличения позиций страны в любых международных рейтингах при отсутствии четкого описания методик их составления и неполноте исходных данных. На основе оптимизации можно подбирать наиболее значимые параметры для увеличения рейтинга и оценивать их весовые коэффициенты.

## Список литературы

1. Национальная стратегия обращения с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года: постановление Совета

Министров Респ. Беларусь. 28 июля 2017 г. № 567 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 05.08.2017, 5/44015.

2. Савина Т. Н. К вопросу о роли и значимости системы организованного рециклинга // Российская экономика: взгляд в будущее: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. Тамбов, Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, 2018. Ч. 3. С. 389–394.

3. Sachs J. D., Lafortune G., Fuller G., Drumm E. Implementing the SDG Stimulus. Sustainable Development Report 2023. Paris: SDSN, Dublin: Dublin University Press, 2023. 546 p. URL: <https://sdgtransformationcenter.org/reports/sustainable-development-report-2023> (date of accessed: 30.12.2023).

4. Global Sustainable Development Report 2023: Times of crisis, times of change: Science for accelerating transformations to sustainable development. United Nations, New York, 2023. 191 p. URL: [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923\\_1.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923_1.pdf) (date of accessed: 10.12.2023).

5. Environmental Performance Index / M. J. Wolf [et al.]. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2022. 206 p.

6. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 (Urban Development Series). Wash. DC, World Bank Group, 2018. 295 p.

7. Global waste index. URL: <https://sensoneo.com/global-waste-index/> (date of accessed: 19.12.2023).

8. Aksen E. Direct Use of Neural Networks for Decision Making // ScienceOpen Preprints, 2020. 8 p. URL: <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14293/S2199-1006.1.SOR-PPDOPZQ.v1> (date of accessed: 20.12.2023).

9. Индикаторы Совместной системы экологической информации / I. Отходы / I.1. Образование отходов / Нац. стат. комитет Республики Беларусь. URL: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-excel/Ekolog\\_sistema/I1-2005-2022.xlsx](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-excel/Ekolog_sistema/I1-2005-2022.xlsx) (дата обращения: 01.02.2024).

10. Статистический обзор ко Дню охраны окружающей среды. Статистический обзор. 02.06.2022 г. / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2022. URL: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/statobzor-okr\\_sreda-2022.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/statobzor-okr_sreda-2022.pdf) (дата обращения: 17.01.2024).

## References

1. National strategy for the management of municipal solid waste and secondary material resources in the Republic of Belarus for the period until 2035: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, 2017, no. 567 (In Russian).

2. Savina T. N. On the issue of the role and significance of the organized recycling system. *Rossiyskaya ekonomika: vzglyad v budushcheye: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Russian economy: a look into the future: materials of the International Scientific and Practical conference]. Tambov, 2018, pp. 389–394 (In Russian).

3. Sachs J. D., Lafortune G., Fuller G., Drumm E. Implementing the SDG Stimulus. Sustainable Development Report 2023. Paris: SDSN, Dublin: Dublin University Press, 2023. 546 p. Available at: <https://sdgtransformationcenter.org/reports/sustainable-development-report-2023> (accessed 30.12.2023).

4. Global Sustainable Development Report 2023: Times of crisis, times of change: Science for accelerating transformations to sustainable development. United Nations, New York, 2023. 191 p. Available at: [https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923\\_1.pdf](https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-09/FINAL%20GSDR%202023-Digital%20-110923_1.pdf) (accessed 10.12.2023).

5. Wolf M. J., Emerson J. W., Esty D. C., de Sherbinin A., Wendling Z. A. Environmental Performance Index. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2022. 206 p.

6. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 (Urban Development Series). Wash. DC, World Bank Group, 2018. 295 p.

7. Global waste index. Available at: <https://sensoneo.com/global-waste-index/> (accessed 19.12.2023).

8. Aksen E. Direct Use of Neural Networks for Decision Making / ScienceOpen Preprints, 2020. 8 p. Available at: <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14293/S2199-1006.1.SOR-PPDOPZQ.v1> (accessed: 20.12.2023).

9. Indicators of the Joint Environmental Information System / I. Waste / I.1 Waste Generation. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Available at: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-excel/Ekolog\\_sistema/I1-2005-2022.xlsx](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-excel/Ekolog_sistema/I1-2005-2022.xlsx) (accessed 01.02.2024) (In Russian).

10. Statistical review devoted to the Environmental Day. Statistical review. 06.02.2022. Available at: [https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial\\_statistika/statobzor-okr\\_sreda-2022.pdf](https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/statobzor-okr_sreda-2022.pdf) (accessed 17.01.2024) (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Быков Алексей Александрович** – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики и управления. Белорусский государственный экономический университет (220070, г. Минск, пр. Партизанский, 26, Республика Беларусь). E-mail: [aliaksei.bykau@yandex.ru](mailto:aliaksei.bykau@yandex.ru)

**Цвиль Мария Павловна** – магистр делового администрирования, соискатель кафедры экономики и управления. Белорусский государственный экономический университет (220070, г. Минск, пр. Партизанский, 26, Республика Беларусь). E-mail: [maria.tsvil@gmail.com](mailto:maria.tsvil@gmail.com)

#### **Information about the authors**

**Bykau Aliaksei Alyaksandravich** – DSc (Economics), Professor, Head of the Department of Economics and Management. Belarusian State Economic University (26, Partizanskiy Ave., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [aliaksei.bykau@yandex.ru](mailto:aliaksei.bykau@yandex.ru)

**Tsvil' Maria Pavlovna** – Master of Business Administration, External doctorate student, the Department of Economics and Management. Belarusian State Economic University (26, Partizanskiy Ave., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [maria.tsvil@gmail.com](mailto:maria.tsvil@gmail.com)

*Поступила 16.02.2024*