УДК 628.54

ПЕРЕРАБОТКА И ВТОРИЧНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Турчин М.В.

студент,

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина,

Москва, Россия

Аннотация

Актуальность. В 2022 г. в Российской Федерации образовано 9017,3 млн т отходов, утилизировано и обезврежено 45,7 %, причем 92,9 % массы дала добыча полезных ископаемых. С 2023–2025 гг. действуют режим побочных продуктов и обязательные доли вторичного сырья. *Цель.* Определить условия, при которых переработка промышленных отходов снижает экологический риск производства, и обосновать показатели, дополняющие массовый коэффициент утилизации. *Материалы и методы.* Структурный анализ данных Росстата, анализ норм, сопоставление девяти технологических решений 2022–2026 гг. по наличию измерений выщелачивания и токсичности продукта. *Результаты.* Национальный коэффициент определяется вскрышными породами V класса (98,8 % массы) и не отражает судьбы 104,7 млн т отходов I–IV классов. В четырех решениях из девяти продукт сохраняет измеренный остаточный риск (pH вытяжки выше 12, мышьяк 31 мг/кг при ПДК 10 мг/кг, гибель 42–48 % *Daphnia magna* при пороге 50 %). *Заключение.* Нормы регулируют массу и географию вовлечения отходов, свойства продукта ими не нормируются. Предложено увязать обязательную долю вторичного сырья с испытанием продукта на выщелачивание и биотестированием.

Ключевые слова: вторичные ресурсы, побочные продукты производства, вскрышные породы, класс опасности, коэффициент утилизации, выщелачивание, биотестирование

RECYCLING AND REUSE OF INDUSTRIAL WASTE AS A WAY TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF PRODUCTION

Turchin M.V.

student,

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

Abstract

Aim. To identify the conditions under which the recycling of industrial waste reduces the environmental risk of production and to substantiate indicators that supplement the mass-based recycling ratio. *Materials and Methods.* Rosstat data by economic activity and hazard class and the relevant legislation were analysed, and nine recycling technologies described in Russian studies of 2022–2026 were compared by whether leaching and toxicity of the product were measured. *Results.* In 2022, Russia generated 9017.3 Mt of waste, of which 45.7% was recycled or neutralised. Mining accounted for 92.9% of the mass and class V waste for 98.8%, so the national ratio reflects the management of overburden and says nothing about the 104.7 Mt of class I–IV waste. For class II and III waste the ratio exceeds 100%, indicating the use of waste accumulated earlier. In four of the nine technologies the product retains a measured residual risk (extract pH above 12, arsenic of 31 mg/kg against the limit of 10 mg/kg, 42–48% mortality of *Daphnia magna* against the 50% threshold). *Conclusions.* Regulations govern the mass and geography of waste use, while product properties remain unregulated. Secondary raw materials should count towards the mandatory share only after leaching tests and bioassays of the product.

Keywords: secondary resources, by-products, overburden, hazard class, recycling ratio, leaching, bioassay

Введение

В 2022 г. в Российской Федерации образовано 9017 млн т отходов производства и потребления, на 29,6 % больше, чем в 2020 г., объем их утилизации и обезвреживания вырос на 20,3 %, до 4125 млн т, и доля утилизированных и обезвреженных отходов снизилась с 49,3 до 45,7 % [7, 7]. Федеральный закон № 268-ФЗ с 1 марта 2023 г. ввел понятие вторичных ресурсов, запрет их захоронения с 2030 г. и режим побочных продуктов производства [4]. Распоряжение Правительства РФ № 2330-р с 1 января 2025 г. установило обязательную долю вторичного сырья для 12 видов продукции, от 3 % для древесностружечных плит до 100 % для химических мелиорантов [5], отраслевая программа предусматривает рост доли вторичного сырья в промышленности до 34 % к 2030 г. [14].

Эколого-экономические работы оценивают переработку отходов через рентабельность и государственную поддержку [2, 65], горно-геоэкологические рассматривают вскрышные породы как материал для рекультивации [3], технологические описывают продукты из восьми видов промышленных отходов, от золошлаковых до гальванических шламов [1; 8–13; 15]. Нерешенным остается соотношение массового показателя утилизации, на котором построены статистика и нормы, и экологического риска, который технологические работы оценивают по свойствам продукта.

Цель исследования

Цель исследования – определить условия, при которых переработка промышленных отходов снижает экологический риск производства, и обосновать показатели, дополняющие массовый коэффициент утилизации.

Материалы и методы

Использованы данные Росстата за 2022 г. по видам деятельности и классам опасности (без ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей) [7, 2]. Коэффициент утилизации рассчитан как отношение суммы утилизированных и обезвреженных отходов к образованным, в процентах. Нормативная база включает Федеральный закон № 268-ФЗ в редакции от 08.08.2024 и распоряжения № 2330-р и № 4249-р [4–6].

Результаты

Структура массы отходов и коэффициент утилизации

Добыча полезных ископаемых дала в 2022 г. 8380,1 млн т отходов (92,9 %), в том числе угледобыча – 5681,1 млн т (63,0 %) [7, 35]. На отходы V класса опасности пришлось 98,8 % массы [7, 13] (таблица 1).

Таблица 1 – Образование, утилизация и обезвреживание отходов в Российской Федерации в 2022 г.

Вид деятельности, класс опасности	Образовано, млн т	Утилизировано и обезврежено, млн т	Коэффициент утилизации, %
Всего	9017,3	4125,2	45,7
Добыча угля	5681,1	2659,5	46,8
Добыча металлических руд	2403,8	1020,8	42,5
Металлургическое производство	182,8	101,2	55,3
Производство химических веществ и химических продуктов	157,0	53,2	33,9
Обеспечение электрической энергией, газом и паром	17,9	2,5	14,0
Сбор, обработка и утилизация отходов, обработка вторичного сырья	4,9	75,4	1548,3
Отходы I–IV классов опасности	104,7	98,4	94,0
Отходы V класса опасности	8912,5	4026,8	45,2

Источник: рассчитано автором по данным [7, 13, 35, 36].

Тонна вскрыши, перемещенная в выработанное пространство, и тонна обезвреженного гальванического шлама входят в числитель одинаково, поэтому показатель воспроизводит судьбу вскрышных пород и ничего не сообщает об изменении опасности.

Значения выше 100 % для отходов II и III классов (134,9 и 103,7 %) [7, 13] возможны лишь при вовлечении отходов прошлых лет или полученных от других лиц. Здесь возникает парадокс учета. Сумма утилизированных и обезвреженных отходов V класса (4026,8 млн т) и размещенных на собственных объектах (6191,9 млн т) на 14,7 % превышает их образование [7, 13, 14].

М.К. Куманеева, О.Б. Шевелева и О.В. Зонова трактуют снижение уровня полезного использования отходов крупнейших предприятий Кузбасса со 135 % в 2016 г. до 67 % в 2022 г. как ухудшение практики [2, 63]. Довод уязвим дважды.

Значение выше 100 % возникает лишь при переработке накопленных отходов, и падение коэффициента допускает объяснение через исчерпание их запаса. Размещение в их таблице не превышает 87,6 тыс. т в год [2, 62] при годовой вскрыше разрезов региона до 2 млрд $м^3$ [3, 7], и такая выборка регион не описывает.

Энергетика вернула в оборот (таблица 1) 14,0 % отходов, а ежегодный прирост золошлаковых отходов, оцененный в 80 млн т [15, 97], более чем вчетверо превышает всю массу отходов отрасли по данным Росстата.

Свойства продуктов переработки

Цепочку «отход – продукт – остаточный риск» полнее других прослеживает работа М.А. Пашкевич и Ю.А. Куликовой о литификации фильтрата полигона ТКО доменным шлаком [9]. Фильтрат имел ХПК 17 200 мгO_2/л при нормативе 15 мгO_2/л и ионы аммония 1894 мг/$дм^3$ при ПДК 1,5 мг/$дм^3$ [9, 482–483].

При массовом соотношении фильтрата, коагулянта и шлака 1 к 0,03 к 1,25 материал затвердел за 14 сут, ХПК вытяжки снизилось до 687 мгO_2/л, вымываемая доля оценена в 3 %, и литификат IV класса предложено укладывать на полигоне ежедневно слоем 0,15–0,25 м [9, 484–485].

pH солевой вытяжки превысил 12, валовое содержание мышьяка составило 31 мг/кг при ПДК 10 мг/кг, рост *Chlorella vulgaris* вытяжка подавляла на 76,1 %

[9, 484–485]. Опыт поставлен на единичных пробах без измерения долговременного выщелачивания [9, 486].

После нейтрализации вытяжек из обожженного при 950 °С бурового шлама гибель *Daphnia magna* за 96 ч составила 42–48 % при пороге 50 % [8, 190, 193]. Шлам содового производства с pH до 12,4 предложено засыпать в противопожарные полосы, где торможение роста овса достигает 83 %, миграция щелочи за пределы полосы не изучалась [11, 456–457]. Гальванический шлам снизил водоустойчивость асфальтобетона с 0,81 до 0,69 при нормативе 0,6 [13, 334], выщелачивание хрома не определялось.

В грунте из нефтешламов не взошло ни одно из 35 семян льна [12, 360]. Золошлаковые отходы с превышением ОДК по мышьяку и кадмию направлены в топливные суспензии [15, 101–102], компостирование барды и стабилизация грунтов металлургическими отходами описаны без данных о выщелачивании [1; 10].

Обсуждение

Статья 51.1 Федерального закона № 7-ФЗ разрешает предприятию самостоятельно отнести вещество к побочным продуктам, и отходом оно становится только при размещении на объекте размещения отходов или через 3 года [4], распоряжение № 4249-р исключает из режима 11 позиций [6]. Распоряжение № 2330-р увязывает обязательную долю с расстоянием (100 км для цемента, 30 км для дорог) и ценой [5].

Ю.И. Кутепов с соавторами считают вскрышные породы Кузбасса пригодным плодородным субстратом при диапазоне подвижного фосфора 3,53–255,0 мг/кг [3, 15]. Разброс в 72 раза при неуказанном числе проб оставляет неизвестной долю пород, непригодных без мелиорации.

И все же направление обосновано лучше остальных, поскольку работает с 98,8 % массы без термической обработки, которая при сжигании суспензий из золошлаковых отходов переводит загрязнители в газы, не измеренные авторами [15, 102–103]. Из сопоставления вытекают три меры:

1) Росстату публиковать коэффициент утилизации раздельно для I–IV и V классов с выделением отходов прошлых лет.

2) Минпромторгу России при актуализации перечней распоряжения № 2330-р засчитывать вторичное сырье для почвогрунтов, мелиорантов и дорожных работ только при протоколах испытаний продукта на подвижные формы металлов и биотестирования на двух тест-объектах.

3) Предприятиям включать pH и подвижные формы металлов в побочном продукте в программу производственного экологического контроля.

Выводы ограничены данными 2022 г. и единичными пробами исходных работ, экономическая оценка мер не проводилась.

Заключение

1) Коэффициент утилизации и обезвреживания отходов в Российской Федерации (45,7 % в 2022 г.) описывает обращение со вскрышными породами, для отходов I–IV классов он равен 94,0 %.

2) Коэффициенты выше 100 % для отходов II и III классов и расхождение баланса отходов V класса на 14,7 % ограничивают пригодность данных для оценки динамики.

3) В четырех технологических решениях из девяти продукт сохраняет измеренный остаточный риск.

4) Нормы регулируют массу, расстояние и цену вовлечения отходов, снижение риска требует увязки засчитываемой доли с испытанием продукта.

Продолжение исследования требует расчета коэффициента по классам опасности на региональных данных за 2023–2025 гг. и лизиметрического мониторинга выщелачивания из продуктов на основе отходов.

Библиографический список:

1. Изменение микробного консорциума в процессе утилизации застарелой послеспиртовой барды методом аэробного компостирования / Я.М. Русских, Д.Н. Шерстобитов, З.Е. Мащенко, В.В. Ермаков, О.В. Тупицына //

Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2025. – Т. 33, № 3. – С. 342–351. – DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-342-351.

2. Куманеева М.К. Комплексная переработка промышленных отходов как перспективное направление решения эколого-экономических проблем индустриального региона / М.К. Куманеева, О.Б. Шевелева, О.В. Зонова // Экономика и управление инновациями. – 2023. – № 4 (27). – С. 60–67. – DOI: 10.26730/2587-5574-2023-4-60-67.

3. Кутепов Ю.И. Проблемы и перспективы использования отходов производств для рекультивации горнотехнических сооружений / Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, А.С. Мухина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 12-1. – С. 5–21. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_121_0_5.

4. О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» и отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 14.07.2022 № 268-ФЗ (ред. от 08.08.2024) // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_421836/ (дата обращения: 08.10.2026).

5. Об утверждении перечней видов продукции (товаров), работ, услуг, производство, выполнение и оказание которых осуществляются с обязательным использованием определенной доли вторичного сырья в их составе [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 28.08.2024 № 2330-р // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_484973/ (дата обращения: 09.10.2026).

6. Об утверждении перечня веществ и (или) предметов, образуемых в результате хозяйственной и (или) иной деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и не являющихся продукцией производства,

которые не могут быть отнесены к побочным продуктам производства [Электронный ресурс] : распоряжение Правительства РФ от 27.12.2022 № 4249-р // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_435904/ (дата обращения: 15.10.2026).

7. Основные показатели охраны окружающей среды [Электронный ресурс] : стат. бюл. / Росстат. – М., 2023. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2023.pdf (дата обращения: 06.10.2026).

8. Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения / О.С. Выродов, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубанов, Е.А. Пендюрин, Г.Р. Федюк // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2026. – Т. 34, № 1. – С. 184–198. – DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198.

9. Пашкевич М.А. Литификация доменным шлаком фильтрата полигонов ТКО / М.А. Пашкевич, Ю.А. Куликова // Записки Горного института. – 2024. – Т. 267. – С. 477–487. – EDN: CSHCSM.

10. Печенцов И.М. Переработка отходов металлургической промышленности для стабилизации и укрепления проблемных грунтов / И.М. Печенцов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20, вып. 4. – С. 811–819. – DOI: 10.20295/1815-588X-2023-4-811-819.

11. Пугин К.Г. Использование ресурсного потенциала шлама содового производства / К.Г. Пугин, Р.Р. Салахов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2025. – Т. 33, № 4. – С. 452–460. – DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-4-452-460.

12. Семянцева П.К. Анализ потенциала применения искусственного торфяного грунта на основе нефтешламов / П.К. Семянцева, А.А. Ильченко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и

безопасность жизнедеятельности. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 347–364. – DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-347-364.

13. Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов / Е.С. Сергеев, А.М. Геннадьева, Д.В. Богачук, С.З. Калаева, О.П. Филиппова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2025. – Т. 33, № 3. – С. 328–341. – DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341.

14. Утверждена отраслевая программа по применению вторсырья в промышленности: его доля к 2030 году достигнет 34% [Электронный ресурс] // Российский экологический оператор. – 2022. – 23 нояб. – URL: https://reo.ru/tpost/nyzof0yzg1-utverzhdena-otraslevaya-programma-po-pri (дата обращения: 13.10.2026).

15. Чукаева М.А. Комплексная переработка высокоуглеродистых золошлаковых отходов / М.А. Чукаева, В.А. Матвеева, И.П. Сверчков // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 97–104. – DOI: 10.31897/PMI.2022.5.