

УДК 504.064.2.001.18

ТЕХНОЛОГИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ

Цыганков Д.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет НЭТИ»,
Новосибирск, e-mail: worldwidemail@yandex.ru

В работе рассматривается актуальная проблема сокращения экологической опасности хозяйственной деятельности человека, связанной со складированием отходов обогащения каменного угля в отвал. Цель работы – разработка рекомендаций по минимизации воздействия отвала отходов обогащения каменного угля на окружающую среду после его технического перевооружения. Для этого оценено состояние окружающей среды в районе ведения горных работ, разработана технология ведения отвальных работ, снижающая загрязнение воздушной среды, внесены предложения по безопасному обращению с отходами, образующимися в периоды технического перевооружения и последующей эксплуатации данного производственного объекта. Для решения задач использовались такие методы, как аналоговый, списка, матриц, причинно-следственных связей, оценки рисков и вычислительный. Расчеты программным комплексом «Эра» подтвердили, что при ведении отвальных работ концентрации всех загрязняющих веществ в контрольных точках (за исключением азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической) не превышают допустимых пределов. Предлагаемая технология ведения отвальных работ предусматривает укладку отходов обогащения каменного угля слоями толщиной 0,5 м и их последующее уплотнение бульдозерами в два-четыре прохода. Покрытие каждого пятого слоя отходов обогащения каменного угля с целью профилактики возгорания его остатков осуществляется негорючими материалами слоями мощностью 0,3 м. Рекультивация нерасклеванных отходов отвала предусматривает укладку на них изолирующих слоев мощностью 0,5 м, состоящих из суглинков или золошлаковых отходов котельных установок. Внедрение предлагаемой технологии снизит загрязнение атмосферного воздуха в среднем на 18,41 %, а платежи за загрязнение воздушной среды – на 7,09 % ежегодно. Воздействие отвальных работ, проводимых по предлагаемой технологии, не окажет сверхнормативного воздействия на водные и земельные ресурсы, а образующиеся отходы будут передаваться специализированным организациям для дальнейшего обращения.

Ключевые слова: технология, экологическая безопасность, отходы, обогащение, загрязнение, окружающая среда

TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTALLY SAFE STORAGE OF COAL BENEFICIATION WASTE

Tsygankov D.A.

Novosibirsk State Technical University NETI, Novosibirsk, e-mail: worldwidemail@yandex.ru

The work relates to the urgent problem of reducing the environmental hazard of human economic activity associated with the storage of coal enrichment waste in a dump. The objective of the work is to develop recommendations for minimizing the impact of a coal enrichment waste dump on the environment after its technical re-equipment. For this purpose, the state of the environment in the area of mining operations was assessed, a technology for dumping operations was developed that reduces air pollution, proposals were made for safe handling of waste generated during technical re-equipment and subsequent operation of this production facility. To solve the problems, such methods as analog, list, matrix, cause-and-effect relationships, risk assessment and computational were used. Calculations using the Era software package confirmed that when dumping operations are carried out, the concentrations of all pollutants at control points except for nitrogen dioxide, carbon monoxide and inorganic dust do not exceed permissible limits. The proposed technology for waste disposal operations involves laying coal enrichment waste in 0.5 m thick layers and then compacting it with bulldozers in two to four passes. Every fifth layer of coal enrichment waste is covered with non-combustible materials in 0.3 m thick layers to prevent combustion of its residues. Reclamation of inactive waste slopes involves laying 0.5 m thick insulating layers consisting of loam or ash and slag waste from boiler plants. Implementation of the proposed technology will reduce air pollution by an average of 18.41% and air pollution charges by 7.09% annually. The impact of waste disposal operations carried out using the proposed technology will not have an excessive impact on water and land resources, and the waste generated will be transferred to specialized organizations for further handling.

Keywords: technology, environmental safety, waste, enrichment, pollution, environment

Введение

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) исходит из принципа потенциальной экологической опасности любой хозяйственной деятельности человека [1, с. 12; 2, с. 14; 3, с. 18]. В России ежегодно добывается 365 млн т угля. В результате этого на земной поверхности оказывается большое количество пустых горных пород.

Большинство из них складывается в отвалы, содержащие уголь как примесь, присутствующую в них в результате несовершенства применяемых технологий его разработки и первичного передела на обогатительных фабриках, склонную к самовозгоранию в естественных условиях [4; 5, с. 48–50]. В Кемеровской области отвалы угледобывающих и углеперерабатывающих пред-

приятий занимают 40 тыс. га, что равняется 0,5 % ее площади. В этой связи разработка технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал обогатительной фабрики является актуальной задачей.

Цель исследования – разработка рекомендаций по минимизации воздействия отвала отходов обогащения каменного угля на окружающую среду после его технического перевооружения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведена оценка состояния окружающей среды в районе размещения предприятия, включающая атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы (почвы).
2. Разработана технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля, снижающая концентрации выделяющихся токсичных веществ в воздушную среду до нормативного уровня.
3. Определены пути безопасного обращения с отходами для периодов технического перевооружения и последующей эксплуатации отвала.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на примере технического перевооружения действующего отвала обогатительной фабрики ООО «ММК-уголь» (г. Белово Кемеровской области) и связаны с увеличением объемов поступающего на переработку каменного угля, применением новой горной техники, необходимостью корректировки планов отвальных и рекультивационных работ, а также изменением экономических показателей работы предприятия [6, с. 23–25].

ОВОС отвала отходов обогащения каменного угля выполнена на основе нормативно-правовых документов, регламентированных действующим законодательством в области природопользования [7, с. 22–24; 8, с. 15]. Для выполнения ОВОС и решения сопутствующих ей задач использовались такие методы, как аналоговый, списка, матриц, причинно-следственных связей, оценки рисков и расчетный [9; 10, с. 28–34].

Расчет приземных концентраций загрязняющих веществ выполнен программным комплексом «Эра» 3.0 (ООО НПП «Логос-Плюс», г. Новосибирск) с учетом их фоновых значений.

Результаты исследования и их обсуждение

Основой загрязнения атмосферы в период технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля будет являться пыление, образующееся при раз-

работке и транспортировании горных пород, а также выбросы от автотранспорта и строительной техники [11, с. 36].

Для расчета выбросов использовались технические характеристики применяемого оборудования, а также объемы погрузочно-разгрузочных и транспортно-планировочных работ. В настоящее время высота действующего отвала составляет 15–65 м, а реконструированного – от 45 до 75 м. Результаты расчета выбросов токсичных веществ и их приземных концентраций для периода технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля приведены в табл. 1.

Из анализа табл. 1 следует, что приземные концентрации всех загрязняющих веществ не превышают ПДК на границе СЗЗ и ЖЗ (за исключением азота диоксида, углерода оксида, углеводородов предельных и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$). Это является следствием применения автотранспорта повышенной мощности и пыления горной массы, транспортируемой от обогатительной фабрики в отвал.

В настоящее время при выполнении отвальных работ предприятием используется технология, которая не предусматривает совмещение многоярусной отсыпки горной массы, проведения профилактики самовозгорания остатков угля и рекультивации нерабочих бортов отвала аналогично [12].

Основой загрязнения атмосферы в период технического перевооружения отвала является пыление, производимое при разработке и транспортировании горных пород, а также выбросы от автотранспорта и другой техники. Результаты расчета выбросов токсичных веществ и их приземных концентраций для периода эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля приведены в табл. 2.

Расчетные концентрации всех загрязняющих веществ с учетом фоновых значений не превышают ПДК на границах СЗЗ и ЖЗ за исключением азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$. Это является следствием выброса загрязняющих веществ автотранспортом и строительной техникой повышенной мощности, а также пыления отвальной горной массы.

С целью снижения воздействия на воздушную среду при выполнении отвальных работ предлагается технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля. Она предусматривает совмещение формирования многоярусных плоских поверхностей, проведения работ по профилактике самовозгорания остатков угля в складываемых отходах обогатительной фабрики и рекультивации нерабочих бортов отвала.

Таблица 1

Выбросы и приземные концентрации токсичных веществ
для периода технического перевооружения отвала

№	Наименование	Класс опасности	Выброс, т/г	СЗЗ, доли ПДК	ЖЗ, доли ПДК
1	Марганец и его соединения	2	0,000035	0,011	0,001
2	Азота диоксид	3	9,581816	1,902	1,241
3	Азота оксид	3	1,557233	0,371	0,321
4	Углерод (сажа)	3	0,826427	0,196	0,042
5	Серы диоксид	3	2,160434	0,175	0,136
6	Сероводород	2	0,000049	0,001	0,001
7	Углерода оксид	4	12,721532	1,136	1,099
8	Метилбензол (толуол)	3	0,130215	0,002	0,001
9	Бенз- α -пирен	1	0,000005	0,001	0,001
10	Бутилацетат	4	0,008982	0,011	0,003
11	Формальдегид	2	0,035286	0,001	0,001
12	Ацетон	4	0,009645	0,001	0,001
13	Керосин	3	3,135199	0,093	0,034
14	Углеводороды предельные	4	0,981953	1,562	1,199
15	Взвешенные вещества	3	0,004741	0,001	0,001
16	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 > 70-20\%$	3	20,595562	2,498	0,706
17	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 < 70-20\%$	3	0,388745	0,108	0,021

Примечание. СЗЗ – санитарная защитная зона; ЖЗ – жилая зона; ПДК – предельная допустимая концентрация.

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Таблица 2

Выбросы и приземные концентрации токсичных веществ
для периода эксплуатации отвала

№	Наименование	Класс опасности	Выброс, т/г	СЗЗ, доли ПДК	ЖЗ, доли ПДК
1	Азота диоксид	3	6,639622	1,274	1,234
2	Азота оксид	3	1,071912	0,397	0,394
3	Углерод	3	0,370726	0,005	0,004
4	Серы диоксид	3	7,415924	0,171	0,144
5	Углерода оксид	4	51,609762	1,646	1,634
6	Керосин	3	3,308035	0,011	0,005
7	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 > 70-20\%$	3	182,717624	1,937	1,403
8	Пыль неорганическая, $\text{SiO}_2 < 70-20\%$	3	3,582698	0,084	0,064

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Предлагаемая технология включает в себя процесс укладки отходов обогащения угля при толщине отсыпаемого слоя 0,5 м при их уплотнении бульдозерами, покрытия поверхности каждого пятого слоя негорючими материалами при мощности отсыпаемого слоя 0,3 м, а также укладки изолирующих

слоев мощностью 0,5 м по поверхности откосов каждого из ярусов.

Планирование поверхности отвала осуществляется бульдозерами и предусматривает наличие трех отдельных участков при ширине каждого не менее 50 м. Первый участок служит для разгрузки автосамосва-

лов, второй – для проведения работ по формированию отвала, планированию поверхности и отсыпке ограждающего вала, а третий держится в резерве.

Целью применения бульдозеров в предлагаемой технологии является формирование противопожарного барьера, состоящего из глинистого или скального грунта шириной 5 м. Планировочные работы проводятся в местах контактов каждого отсыпаемого слоя с откосом действующего породного отвала. При их ведении осуществляется укладка отходов обогащения угля в направлении от краев к центру от-

вала, а толщина отсыпаемого слоя выдерживается на уровне 0,5 м. В качестве дополнительных видов работ выступают бульдозерное уплотнение отвальной массы с двух-четырёхкратным проходом по отсыпаемому участку отвала и покрытие каждого пятого слоя инертными природными материалами (рис. 1).

По программному комплексу «Эра» выполнен расчет концентраций азота диоксида, углерода оксида и пыли неорганической с содержанием $\text{SiO}_2 > 70\text{--}20\%$ в контрольных точках (КТ) для предлагаемой технологии ведения отвальных работ (рис. 2, табл. 3).

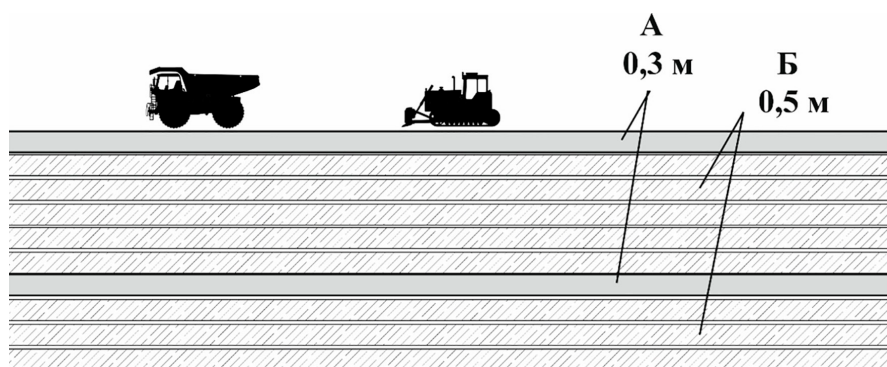


Рис. 1. Технология экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля:
А – слои из негорючих материалов (глинистые грунты и золы котельных установок);
Б – слои из отходов обогащения каменного угля
Источник: составлено автором по результатам разработки технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля

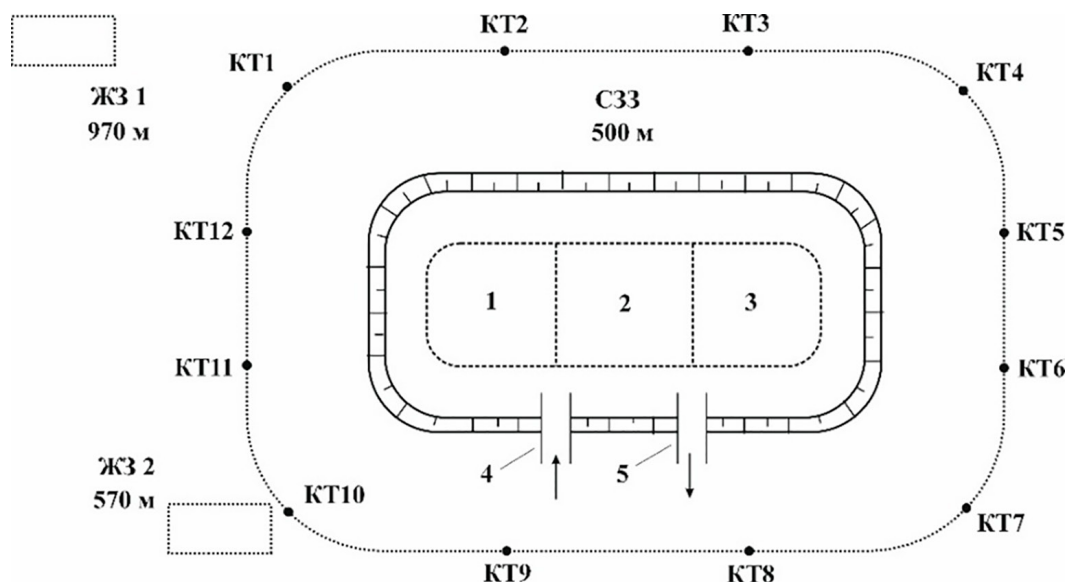


Рис. 2. Контрольные точки для периода эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля по предлагаемой технологии: 1 – разгрузочный участок; 2 – резервный участок; 3 – планировочный участок; 4 – въездная траншея; 5 – выездная траншея
Источник: составлено автором по результатам разработки технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля

Таблица 3

Приземные концентрации токсичных веществ
для периода эксплуатации отвала по предлагаемой технологии

Наименование	КТ, доли ПДК											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Азота диоксид	0,864	0,888	0,842	0,841	0,836	0,856	0,886	0,912	0,846	0,842	0,832	0,834
Углерода оксид	0,782	0,788	0,754	0,743	0,734	0,766	0,778	0,786	0,768	0,764	0,754	0,762
Пыль неорганическая, SiO ₂ > 70–20 %	0,844	0,865	0,852	0,846	0,842	0,862	0,864	0,834	0,845	0,822	0,812	0,806

Источник: составлено автором по результатам расчетов программным комплексом «Эра».

Таблица 4

Отходы, образующиеся в период технического перевооружения отвала

Класс опасности	Наименование	Количество, т
2	Аккумуляторы свинцовые	0,817
3	Отходы минеральных масел	2,338
	Песок, загрязненный нефтепродуктами	3,682
	Фильтры очистки масла и топлива	0,364
4	Спецодежда и спецобувь	0,075
	Мусор офисный	1,168
	Мусор строительный	16,681
	Обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами	0,018
	Шины пневматические	4,003
	Фильтры воздушные	0,073
5	Металлические отходы	0,084
	Респираторы фильтрующие	0,243
	Остатки и огарки сварочных электродов	0,075
Всего		29,621

Источник: составлено автором по результатам расчета образования отходов по удельным нормам.

Из анализа рис. 2 и табл. 3 следует, что предлагаемая технология ведения горных работ после технического перевооружения отвала обеспечит требуемый уровень загрязнения воздушной среды в пределах установленной для него СЗЗ.

Расчет платы за загрязнение воздушной среды для периода эксплуатации отвала по принятой технологии составляет 12858,56 руб./г, а по предлагаемой – 11947,46 руб./г¹.

¹ Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/aed3a10937b9f8c79b9b9b5bdc08a8a31296c43d/ (дата обращения: 09.07.2025).

Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» (с изм. и доп. от 24.01.2020) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

Ближайшим природным водным объектом по отношению к отвалу отходов обогащения каменного угля является р. Черта. Установленный для этой реки размер водоохранной зоны составляет 50 м, а минимальное расстояние до мест проведения отвальных работ – 800 м.

Всевозможные отходы, образующиеся в результате реализации процессов хозяйственной деятельности человека, в наибольшем количестве образуются в горной и горно-перерабатывающей промышленности [13, с. 6]. Отходы, образующиеся в период технического перевооружения отвала отходов обогащения каменного угля, представлены в табл. 4 [14, с. 34–36; 15, с. 28].

Отходы, образующиеся в период эксплуатации отвала отходов обогащения каменного угля по предлагаемой технологии, представлены в табл. 5 [14, с. 34–36; 15, с. 28].

Таблица 5

Отходы, образующиеся в период эксплуатации отвала по предлагаемой технологии

Класс опасности	Наименование	Количество, т
2	Аккумуляторы свинцовые	0,547
3	Отходы минеральных масел	3,804
	Песок, загрязненный нефтепродуктами	3,682
	Фильтры очистки масла и топлива	0,318
4	Спецодежда и спецобувь	0,314
	Фильтры из полимерных материалов	13,638
	Светодиодные лампы	0,008
	Мусор офисный	3,922
	Обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами	0,064
	Шины пневматические	39,958
	Фильтры воздушные	0,059
5	Отходы полиэтиленовой тары	0,006
	Респираторы фильтрующие	1,971
Всего		68,291

Источник: составлено автором по результатам расчета образования отходов по удельным нормам.

Расчет платы за обращение с отходами составляет для периода технического перевооружения отвала 11947,57 руб./г, а его эксплуатации – 2911,71 руб./г².

Выводы

1. Внедрение предлагаемой технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал позволит снизить загрязнение атмосферного воздуха в среднем на 18,41 % и довести его до уровня не выше ПДК.

2. Внедрение предлагаемой технологии экологически безопасного складирования отходов обогащения каменного угля в отвал позволит снизить ежегодные платежи за загрязнение воздушной среды на 7,08 %.

3. Воздействие отвала отходов обогащения каменного угля на поверхностные и подземные водные объекты, а также земельные ресурсы (почвы) является допустимым.

4. Отходы, образующиеся при техническом перевооружении и последующей эксплуатации отвала отходов обогащения

каменного угля, не окажут значимого воздействия на окружающую среду в пределах земельного отвала предприятия, поскольку будут передаваться для дальнейшего обращения специализированным организациям на хозяйственно-договорных основаниях.

Список литературы

1. Колесников Е.Ю. Оценка воздействия на окружающую среду. М.: Юрайт, 2023. 471 с. ISBN 978-5-534-15905-9.
2. Константинов В.М. Экологические основы природопользования. М.: Высшая школа, 2023. 240 с. ISBN 978-5-4468-0008-7.
3. Астафьева О.Е., Авраменко А.А., Питрюк А.В. Экологические основы природопользования. М.: Юрайт, 2023. 377 с. ISBN 978-5-534-15994-3.
4. Гендлер С.Г., Братских А.С. Актуальные проблемы возгорания угольных скоплений в породных отвалах // Горная промышленность. 2024. С. 71–77. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-5S-71-77.
5. Семенова И.В. Промышленная экология. М.: Академия, 2023. 528 с. ISBN: 978-5-7695-4903-8.
6. Мкртчян Г.М., Пляскина Н.И. Экономические и правовые вопросы регулирования охраны окружающей среды. Новосибирск: НГУ, 2000. 153 с. ISBN 5-89665-078-7.
7. Опекунов А.Ю., Ганул А.Г. Теория и практика экологического нормирования в России. М.: СПбГУ, 2024. 332 с. ISBN 978-5-288-05512-6.
8. Боголюбов С.А., Позднякова Е.А. Правовые основы природопользования и охраны окружающей среды. М.: Юрайт, 2024. 480 с. ISBN 978-5-534-17928-6.
9. Приказ № 999 от 01.12.2020 «Об утверждении требований к материалам по оценке воздействия на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

² Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_213744/aed3a10937b9f8c79b9b9b5bdc08a8a31296c43d/ (дата обращения: 09.07.2025).

Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» (с изм. и доп. от 24.01.2020) [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/ (дата обращения: 09.07.2025).

consultant.ru/document/cons_doc_LAW_382699/ (дата обращения: 09.07.2025).

10. Самсонов В.Т. Обеспыливание воздуха в промышленности. М.: ИНФРА-М, 2021. 232 с. ISBN 978-5-16-011283-1.

11. Стрельников В.В., Чернышева Н.В. Анализ и прогноз загрязнений окружающей среды. М.: ИНФРА-М, 2021. 338 с. ISBN 978-5-16-015389-6.

12. Цыганков Д.А. Экологические проблемы рекультивации карьерной выемки // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022.

№ 9. С. 52–56. URL: <https://applied-research.ru/ru/issue/view?id=630/> (дата обращения: 04.07.2025).

13. Цыганков Д.А. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Новосибирск: НГТУ, 2024. 99 с. ISBN 978-5-7782-5146-5.

14. Бобович Б.Б. Обращение с отходами производства и потребления. М.: ИНФРА-М, 2022. 434 с. ISBN 978-5-16-013696-7.

15. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Лань, 2021. 303 с. ISBN 978-5-8114-8144-6.