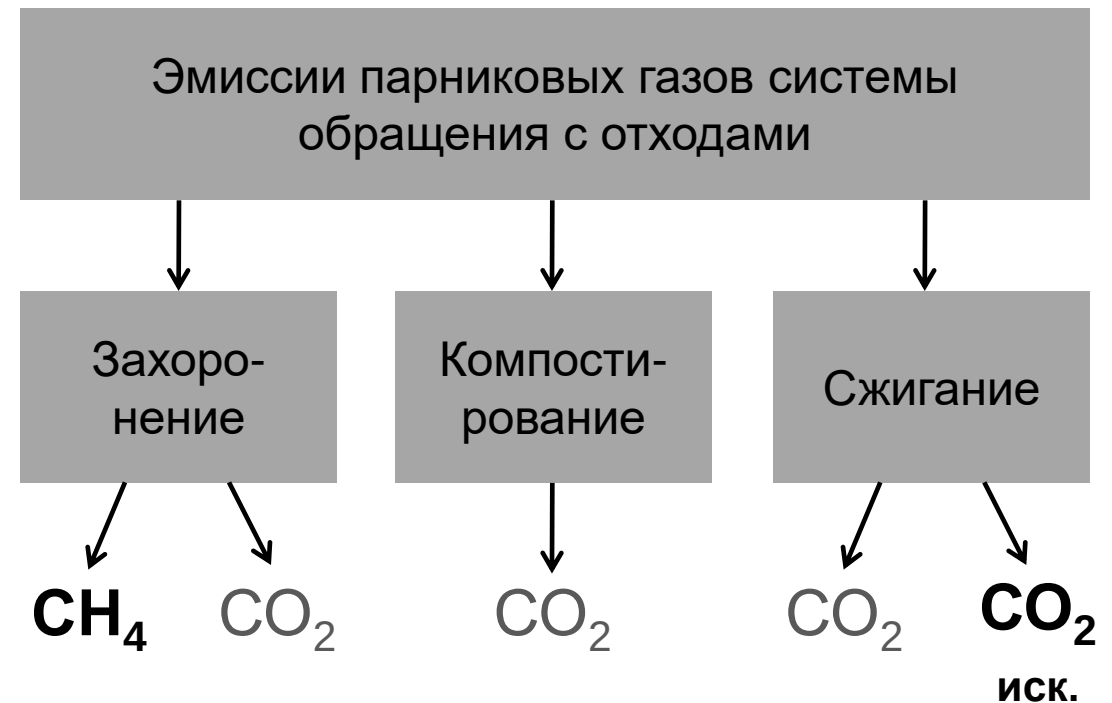
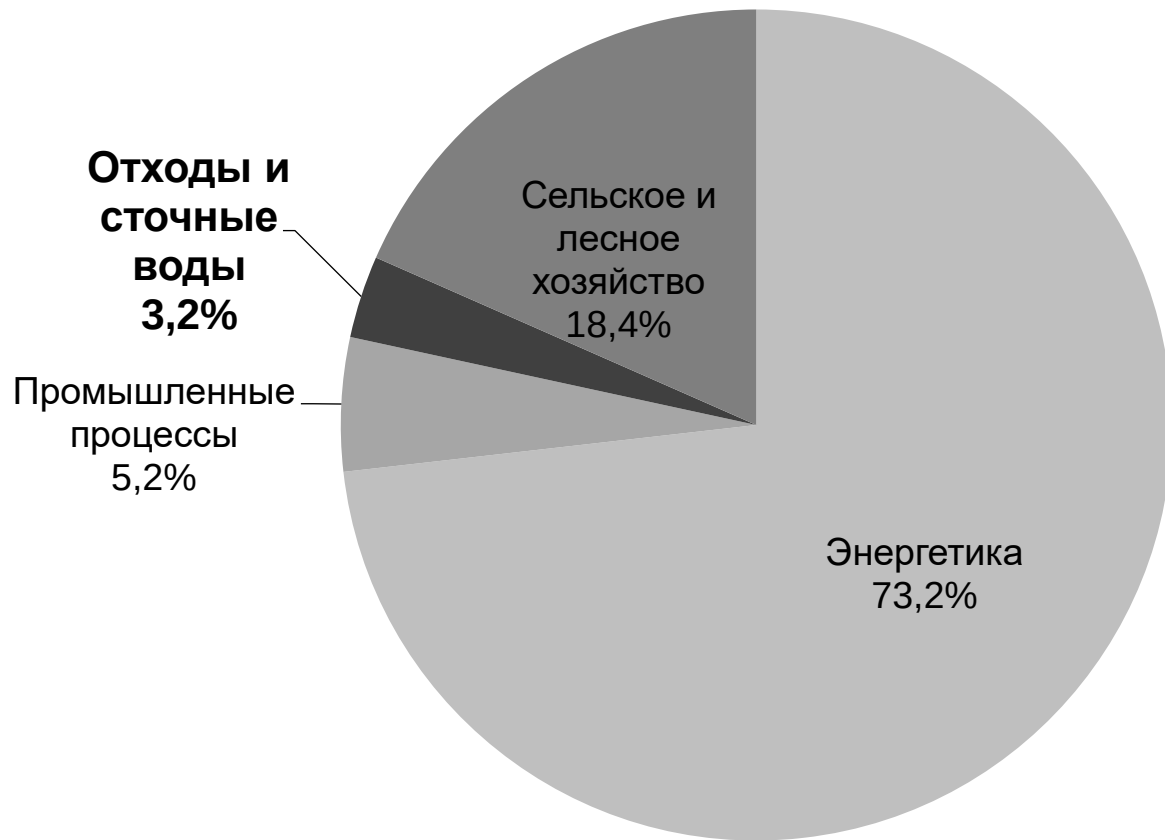


Климатически нейтральное обращение с отходами

Ильиных Галина Викторовна

кандидат технических наук, доцент
кафедра «Охрана окружающей среды»
ПНИПУ



Эмиссии парниковых газов		Секвестрация углерода
Прямые	Предотвращенные	
• выбросы метана при захоронении биоразлагаемых отходов (главным образом бумаги, пищевых и садовых отходов) • выбросы углекислого газа ископаемого происхождения при сжигании пластмасс и некоторых текстильных изделий • выбросы закиси азота при сжигании отходов • выбросы углекислого газа ископаемого происхождения в результате сбора, транспортировки и переработки отходов, а также топлива, используемого в этих операциях • выбросы галогенированных соединений от отходов электрического оборудования (хладагентов из холодильников)	• энергия, получаемая в результате сжигания, позволяет избежать использования ископаемого топлива в других частях энергетической системы • переработка позволяет избежать выбросов, связанных с производством материалов • использование компоста позволяет избежать выбросов, связанных с использованием торфа или удобрений, которые он заменяет	• медленно разлагающийся углерод, хранящийся на свалках, получающих необработанные биоразлагаемые отходы • биоразлагаемые отходы, стабилизированные перед захоронением • углерод в компосте, который входит в состав стабильного гумуса в почве

Сбор отходов от 1000 жителей Испании при следующих данных:

- удельное образование отходов – 1,47 кг/(чел.*день)
- плотность отходов – 106 кг/куб.м
- ежедневное удаление отходов
- учитывались этапы производства, обслуживания и утилизации контейнеров
- срок службы, форма и габариты контейнеров



Тип контейнера	Масса, кг	Потребность в контейнерах, кг/год	Углеродный след, кг CO ₂ -экв.	
			на 1000 жителей в год	на 1 т отходов
ПЭНД 60 л	7,6	251,1	776,5	1,45
ПЭНД 120 л	9,6	158,6	490,4	0,91
ПЭНД 240 л	14,5	119,8	370,3	0,69
ПЭНД 360 л	24,0	132,2	408,7	0,76
ПЭНД 660 л	43,0	129,2	399,4	0,74
ПЭНД 1100 л	65,0	117,1	362,2	0,68
ПЭНД 1700 л	90,0	108,3	335,0	0,62
Сталь 660 л	89,0	187,1	259,6	0,48
Сталь 1100 л	101,0	127,4	179,3	0,33
Сталь 1700 л	150,0	122,4	168,6	0,31
Сталь 2400 л	200,0	115,6	157,6	0,29

[Rives J. et al. LCA comparison of container systems in municipal solid waste management. Waste Management 30 (2010) 949–957]



объем кузова – 8 куб.м
уплотнение – до 4 раз (**1,5**)
расход топлива – 13-19 л/100 км (**18**)

330 г CO₂-экв./((Т*км)
46 кг CO₂-экв./т



углеродный след дизельного топлива – 2,68 кг CO₂-экв./л
плотность отходов – 90-200 кг/куб.м (**120**)
длина маршрута – 100-220 км (**140**)

объем кузова – 16 куб.м
уплотнение – до 7 раз (**2,5**)
расход топлива – 24-33 л/100 км (**30**)

165 г CO₂-экв./((Т*км)
23 кг CO₂-экв./т

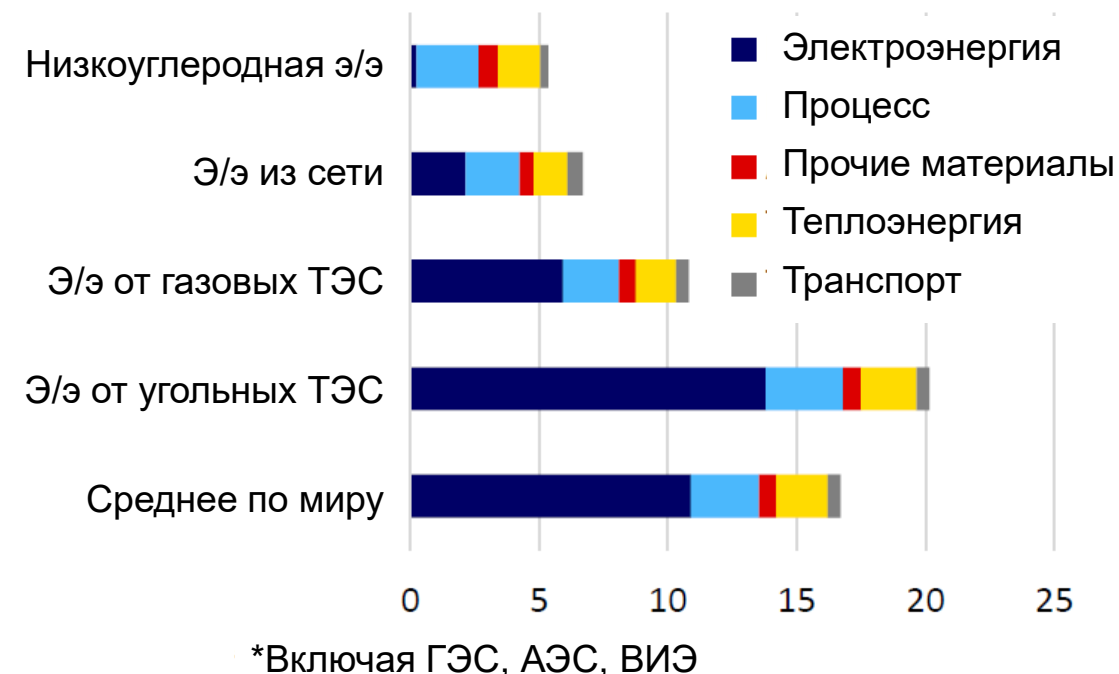
Только топливные эмиссии!

Эмиссии парниковых газов		
Косвенные с входящими потоками	Прямые	Косвенные с выходящими потоками
Выбросы CO ₂ , CH ₄ и N ₂ O в результате производства топлива, используемого на объектах (т.е. на объектах по переработке материалов и на заводах по переработке), потребления тепла и электроэнергии и создание инфраструктуры	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, следовые выбросы CO и НМЛОС при сжигании топлива в оборудовании	Извлечение материалов, заменяющих первичное сырье – предотвращенные выбросы парниковых газов в результате производства материалов Переработка бумаги позволяет избежать заготовки новой древесины – древесная биомасса заменяет ископаемое топливо в качестве источника энергии (биогенные выбросы CO ₂ заменяют выбросы ископаемого CO ₂), а оставленная на корню древесина поглощает углерод

Выбросы парниковых газов, т CO₂-экв./т материала



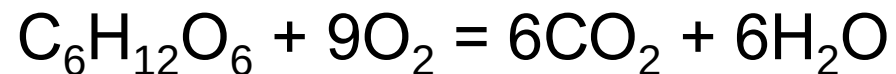
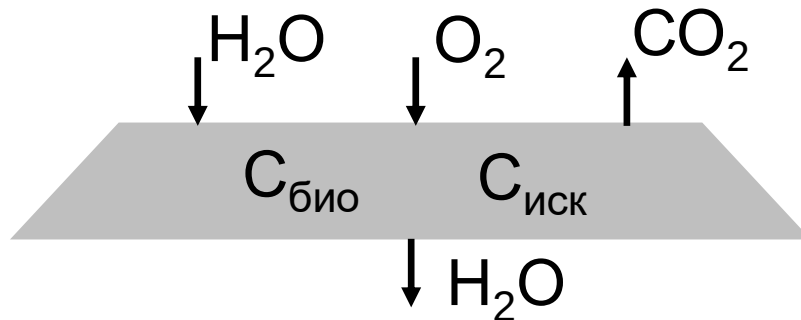
Выбросы парниковых газов, т CO₂-экв./т алюминия



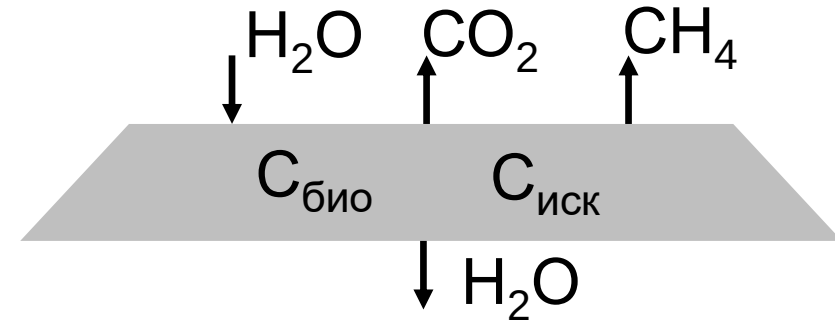
Материал	Предотвращенные выбросы парниковых газов за счет переработки вторичного сырья, кг CO ₂ -экв./т		
	Северная Европа	Австралия	США
Бумага	600 – 2500	670 – 740	838 – 937
Алюминий	10000	17720	4079
Сталь	2000	400 – 440	540
Стекло	500	560 – 620	88
Пластик	0 – 1000	0 – 1180	0 – 507

1 т ТКО → 2-15 кг Al → 10-250 кг CO₂-экв.

Аэробное разложение
(компостирование, верхние слои отходов на полигоне)



Анаэробное разложение
(сбраживание, толща отходов на полигоне)



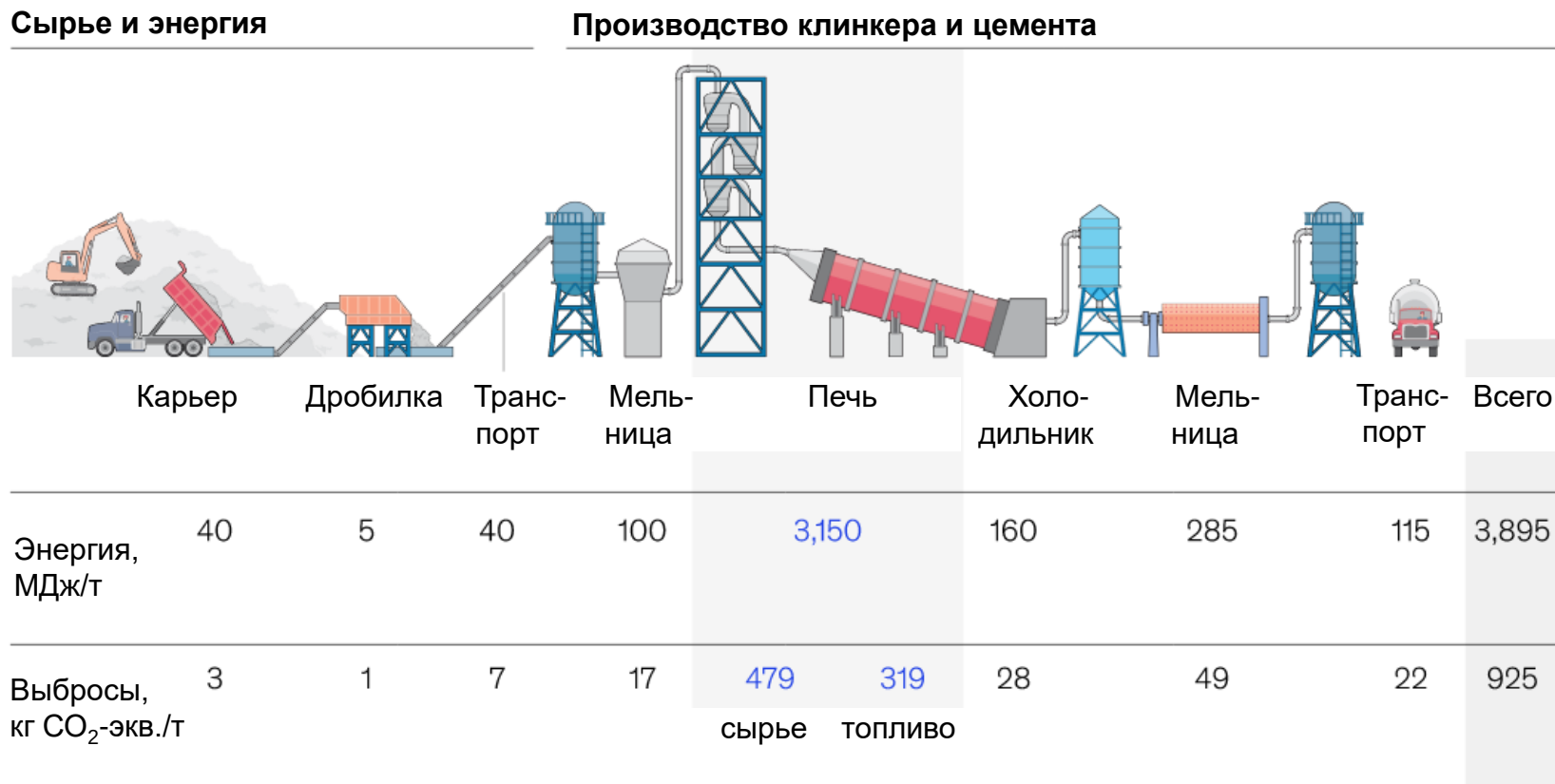
Разлагается только часть биоразлагаемого углерода
(при расчетах принимают обычно 50%, остальное переходит в грунтоподобный метариал)

Эмиссии парниковых газов		
Косвенные с входящими потоками	Прямые	Косвенные с выходящими потоками
Выбросы CO ₂ , CH ₄ и N ₂ O в результате производства топлива, используемого на объектах, потребления тепла и электроэнергии и создания инфраструктуры	Выбросы CO₂, CH₄, N₂O, следовые выбросы CO и НМЛОС от сжигания топлива в оборудовании Выбросы биогенного CO₂, CH₄ и N₂O при открытом компостировании в буртах Выбросы биогенного CO₂, CH₄ и N₂O из реакторов и биофильтров при анаэробном сбраживании	Тепло и/или электроэнергия, получаемые в результате сжигания биогаза, которые заменяют энергию от сжигания ископаемых источников энергии (при анаэробных процессах) – предотвращенные выбросы CO₂ Использование органического компоста для замены почв – предотвращенные выбросы парниковых газов от выбросы от производства плодородного грунта

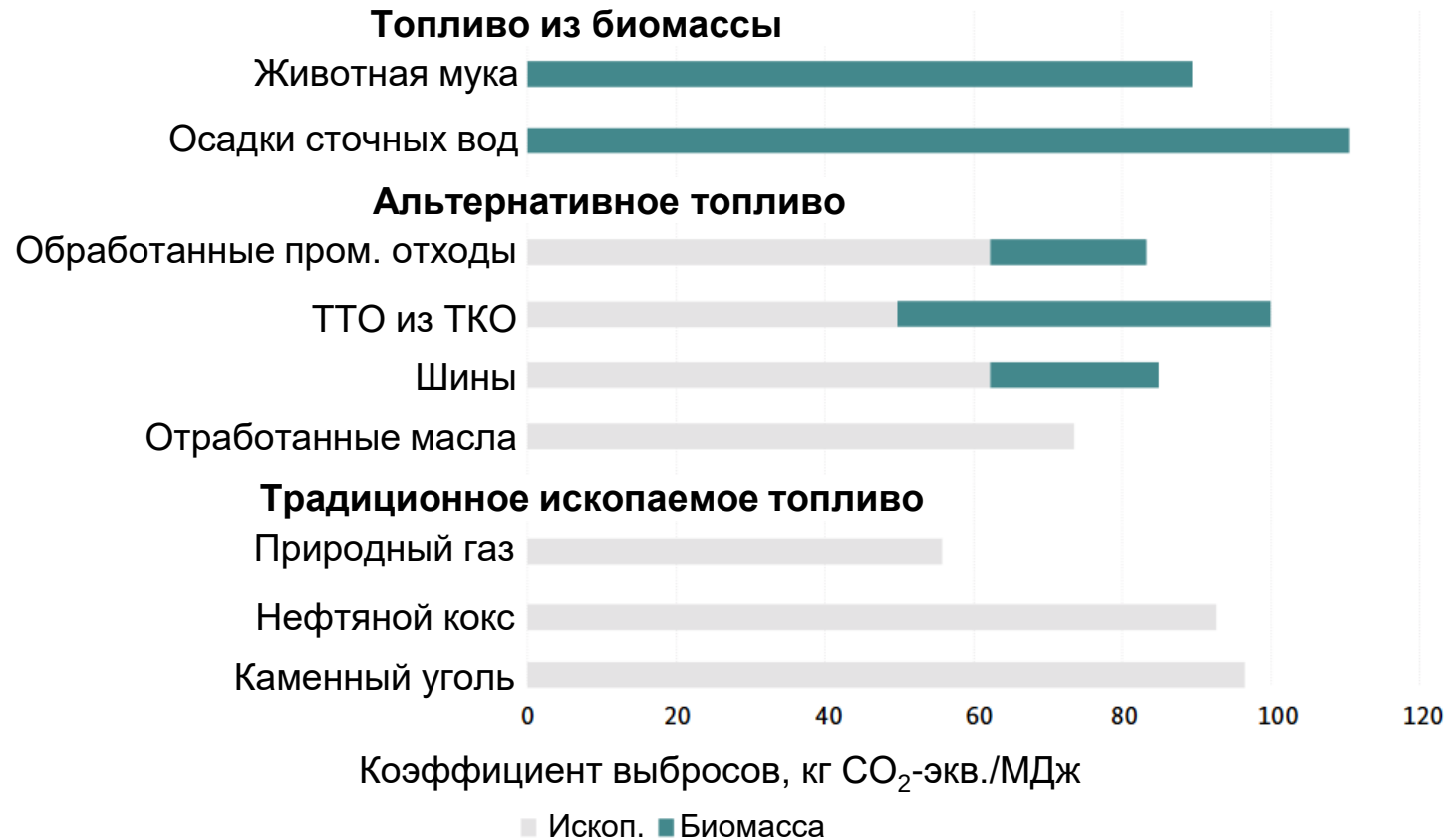
Тип биологической обработки	Удельные выбросы метана, г CH ₄ / кг отходов		Удельные выбросы оксида азота (I), г N ₂ O/ кг отходов		Примечание
	на сухую массу	на рабочую массу	на сухую массу	на рабочую массу	
Компостирование	10 (0,08 – 20)	4 (0,03 – 8)	0,6 (0,2 – 1,6)	0,3 (0,06 – 0,6)	Допущения: 25-50 % биоразлагаемого углерода в сухом веществе, 2 % N в сухом веществе, содержание влаги 60 %
Анаэробное сбраживание	2 (0 – 20)	1 (1 – 8)	пренебрежимо мало	пренебрежимо мало	Допущения: содержание влаги во влажных отходах составляет 60 %

[Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8648/Waste&ClimateChange.pdf?sequence=3>]

- Только на цементную промышленность приходится около четверти всех выбросов CO₂ в промышленности
- Кроме того, цемент имеет самое высокое удельное значение выбросов CO₂ на доллар дохода
- Около двух третей этих общих выбросов образуется в результате кальцинации – химической реакции, которая происходит, когда сырье (известняк) подвергается воздействию высоких температур
- Однако «топливные» выбросы цементной промышленности тоже огромны



[Laying the foundation for zero-carbon cement. <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/laying-the-foundation-for-zero-carbon-cement>]

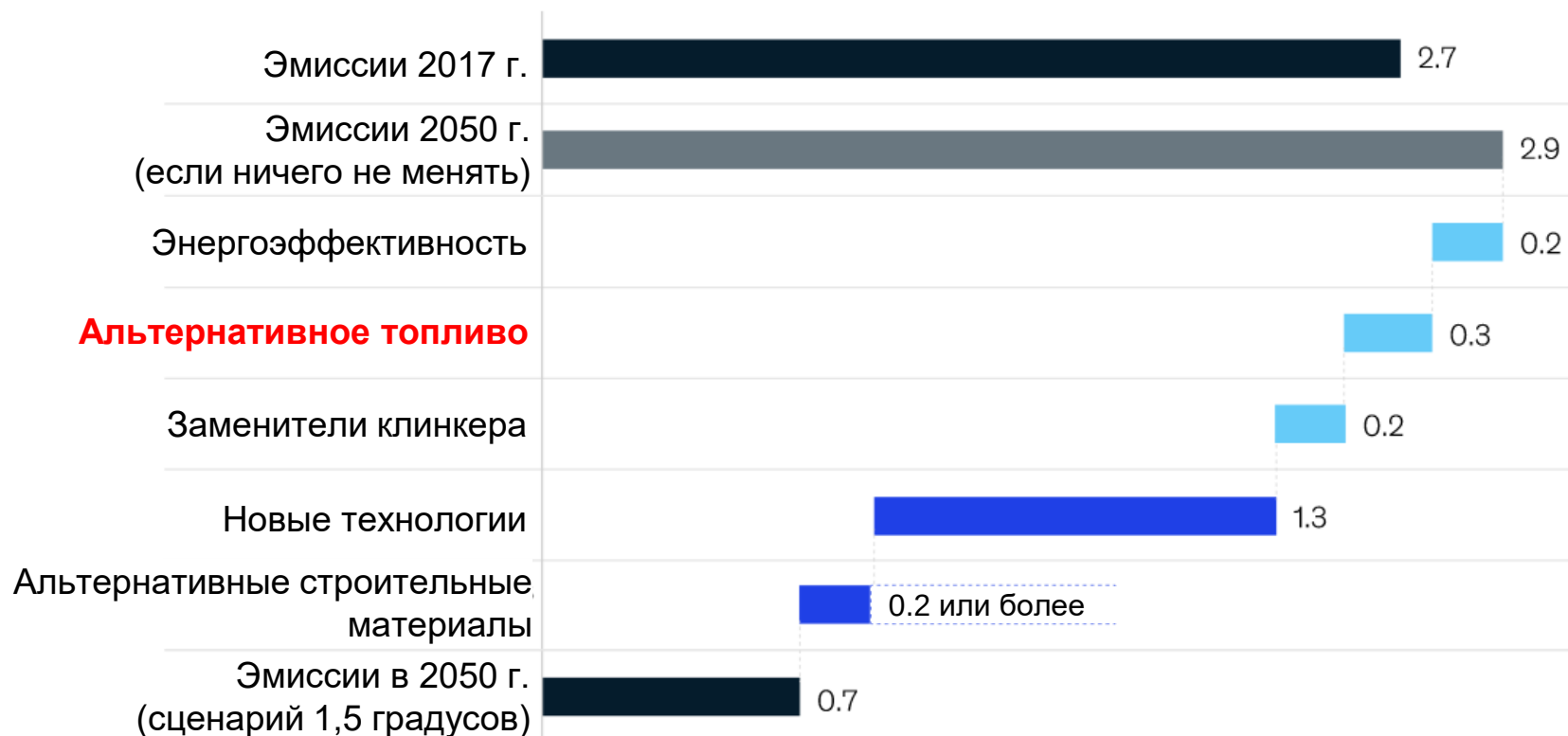


Коэффициенты выбросов и типичное содержание биомассы в различных видах топлива для цементной промышленности

Регион	Доля энергии, возмещенная за счет альтернативного топлива, %			
	1990	2000	2010	2016
Мир	2,0	5,2	12,1	16,7
Европа	2,7	9,3	30,4	44,2
Северная Америка	3,9	7,3	12,7	15,8
Латинская Америка	2,1	4,8	11,8	14,2
Азия и Океания	0,7	3,6	4,3	9,0
Африка и Средний Восток	0,0	0,0	2,1	6,3
Страны СНГ	0,0	0,0	0,6	1,8

[Guidelines on Pre- and Co-processing of Waste in Cement Production. https://www.giz.de/en/downloads/giz-2020_en_guidelines-pre-coprocessing.pdf]

Потенциал сокращения выбросов парниковых газов цементной промышленностью к 2050 г., гигатонн CO₂-экв./год



[Laying the foundation for zero-carbon cement. <https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/laying-the-foundation-for-zero-carbon-cement>]

Термическое обезвреживание

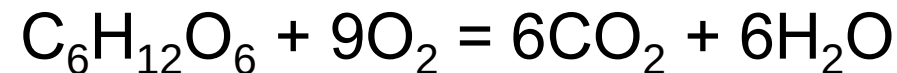
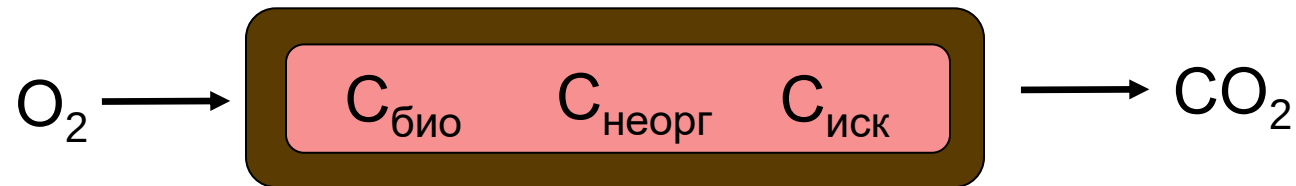
(без полезного использования энергии, иногда с расходом дополнительного топлива)

Энергетическая утилизация

Генерация – получение электрической энергии

Когенерация – получение электрической и тепловой энергии

Тригенерация – получение электрической и тепловой энергии и холода



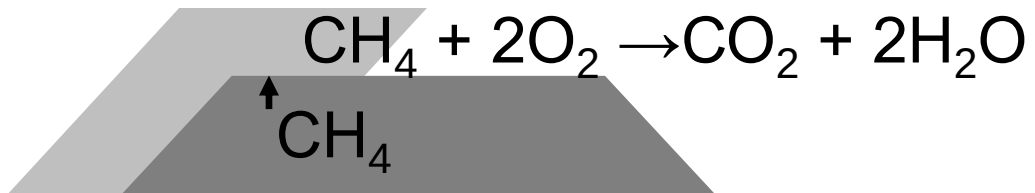
+ выбросы от сжигания
дополнительного топлива

+ предотвращенные выбросы из-за
экономии традиционного топлива

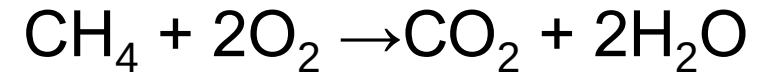
Эмиссии парниковых газов		
Косвенные с входящими потоками	Прямые	Косвенные с выходящими потоками
Выбросы CO ₂ , CH ₄ и N ₂ O в результате производства используемого топлива, потребления тепла и электроэнергии, производства материалов и создания инфраструктуры	CO ₂ и биогенный CO ₂ от сжигания отходов Следовые количества CH ₄ , N ₂ O, CO и НМЛОС в выбросах	Тепло и/или электроэнергия, получаемые в результате сжигания отходов, которые заменяют энергию от сжигания ископаемого топлива – предотвращенные выбросы CO ₂ Извлечение металлов из зольных остатков для замены первичного сырья – предотвращенные выбросы парниковых газов в результате производства материалов Использование зольных остатков в качестве заполнителя – предотвращение выбросов парниковых газов при производстве первичного заполнителя CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O и следовые выбросы CO и НМЛОС при транспортировке отходов газоочистки и летучей золы

- По мере перехода Германии к безъядерной и низкоуглеродной экономике доля энергии, получаемой из отходов, будет постепенно сокращаться
- Что касается электричества, то это произойдет уже в ближайшем будущем. Что касается обеспечения теплом зимой, сжигание отходов может временно заменить тепло угольных электростанций, которые будут закрыты. Однако, поскольку вклад угля в отопление уже снизился всего до 3,5 %, он может быть легко заменен улучшением теплоизоляции и увеличением доли возобновляемых источников энергии
- Выбросы CO₂, образующиеся при сжигании отходов, сегодня сравнимы с выбросами от сжигания природного газа, на долю которого приходится подавляющее большинство тепла, вырабатываемого в Германии
- Сжигание отходов часто ошибочно описывается как углеродно-нейтральное, обладающее теми же преимуществами, что и энергия из возобновляемых источников, что не верно. Эта точка зрения полностью игнорирует количество ископаемого углерода, содержащегося в муниципальных отходах. Более того, сжигание пластмасс на основе ископаемых в настоящее время не облагается налогом, что равносильно субсидированию практики, наносящей вред окружающей среде
- Для создания экономических стимулов, способствующих отдельному сбору отходов и, косвенно, экодизайну продукции, необходимо ввести налог на энергию из сжигаемых пластиковых отходов

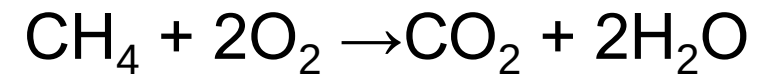
Окисляющее верхнее покрытие
(окисление части метана)



Сбор и сжигание биогаза на факеле
(без полезного использования с целью снижения
вредного воздействия)



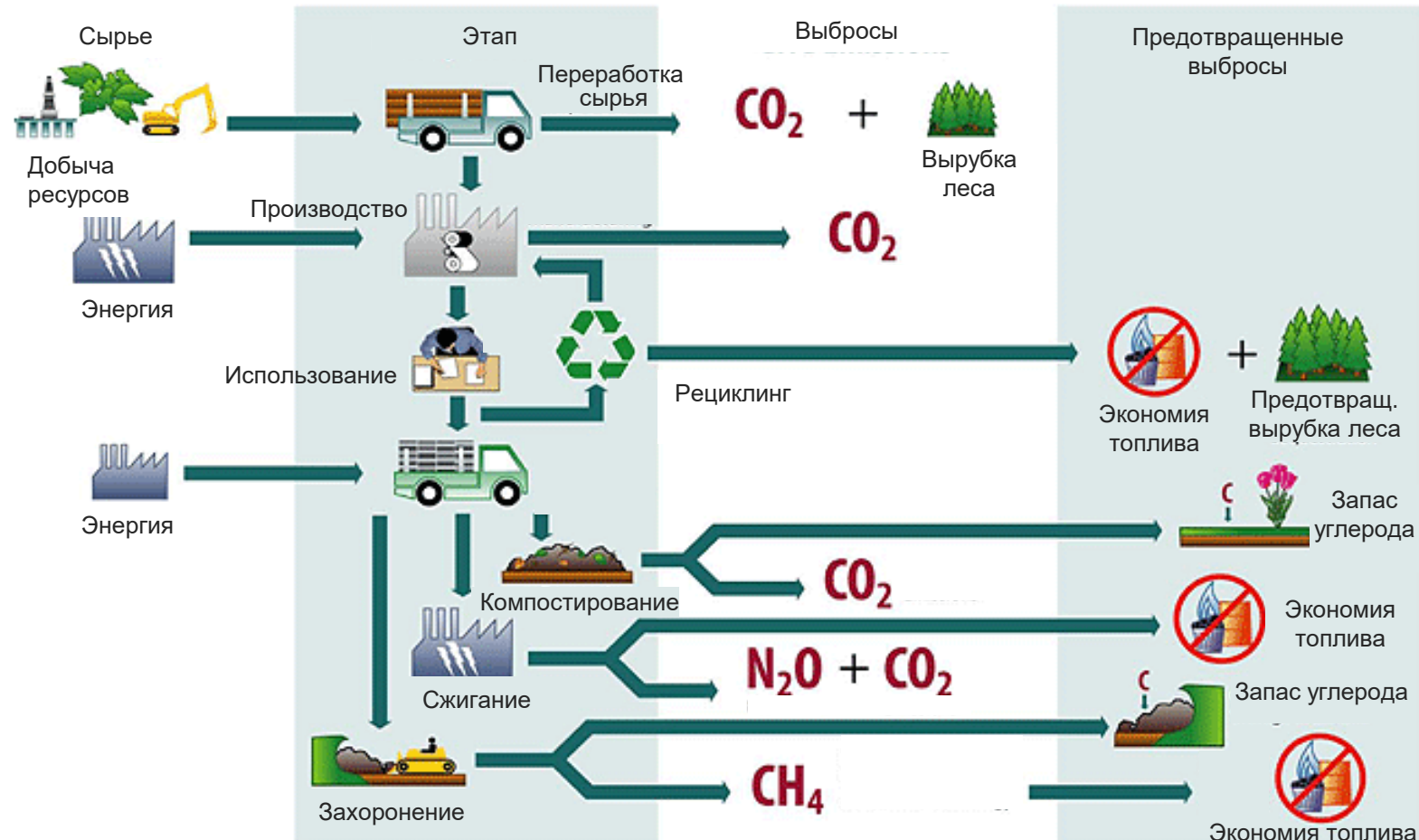
Сбор и утилизация биогаза
(получение топлива, электрической или
тепловой энергии)



+ предотвращенные выбросы из-за
экономии традиционного топлива

Эмиссии парниковых газов		
Косвенные с входящими потоками	Прямые	Косвенные с выходящими потоками
Выбросы CO ₂ , CH ₄ и N ₂ O в результате производства используемого техникой топлива, потребления электроэнергии, производства материалов (противо-фильтрационного экрана, дренажных труб и т.п.), разработки грунтовых материалов	Летучие выбросы CH ₄ , НМЛОС, N ₂ O и галогенсодержащих газов Выбросы биогенного CO ₂ в результате разложения отходов Выбросы CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO и НМЛОС от сжигания топлива в оборудовании Выбросы биогенного CO ₂ , CH ₄ и N ₂ O в результате обработки фильтрата	Получение энергии за счет утилизации свалочного газа (сжигание CH ₄ заменяет сжигание ископаемых источников энергии) Долгосрочное хранение углерода (органические материалы стабильны в анаэробных условиях), в результате предотвращаются выбросы CH ₄ и биогенного CO ₂

Суммарные выбросы парниковых газов системы обращения с отходами



[The Impact of Municipal Solid Waste on Greenhouse Gas Emissions. American Hospital Association.
<http://www.sustainabilityroadmap.org/topics/wastepea.shtml>]

Суммарные выбросы парниковых газов системы обращения с отходами



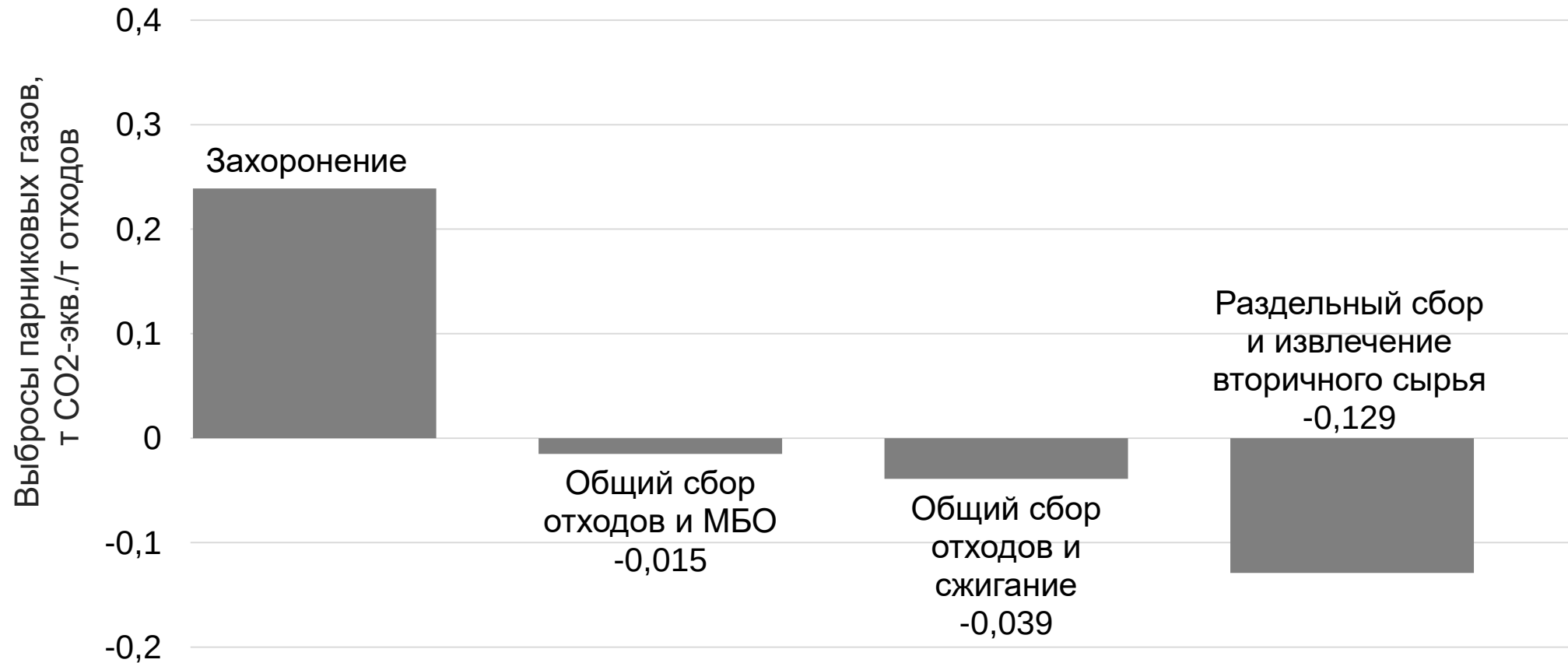
[Contribution from waste to climate change. <https://www.grida.no/resources/5665>]

Суммарные выбросы парниковых газов системы обращения с отходами

Операция по обращению с отходами	Выбросы парниковых газов, кг CO ₂ / т входящих отходов		
	Косвенные с входящими потоками	Прямые	Косвенные с выходящими потоками
Рециклинг бумаги	от 1,3 до 29	от 2,7 до 9,4	от -4392 до 1464
Рециклинг стекла	от 1 до 19	от 0 до 10	от -506 до -445
Рециклинг пластмасс	от 2,5 до 548	от 0 до 60	от -1574 до -58
Рециклинг алюминия	от 6 до 45,8	6,8	от -19340 до -5040
Рециклинг стали	от 6 до 45,8	6,8	от -2360 до -560
Сжигание (МСЗ) с получением энергии	от 7 до 158	от 347 до 371	от -1373 до -480
Открытое компостирование	от 0,2 до 20	от 3 до 242	от -880 до 44
Закрытое компостирование	от 1 до 60	от 5 до 81	от -880 до 44
Анаэробное сбраживание	от 3 до 46	от 20 до 76	от -414 до -49
Свалки (неуправляемые полигоны)	0	от 561 до 786	0
Полигоны со сжиганием свалочного газа	от 2 до 12	от -71 до 150	0
Полигоны с улавливанием и утилизацией свалочного газа	от 2 до 16	от -71 до 150	от -5 до -140
Низкоуглеродные полигоны	от 2 до 10	от -50 до -13	0

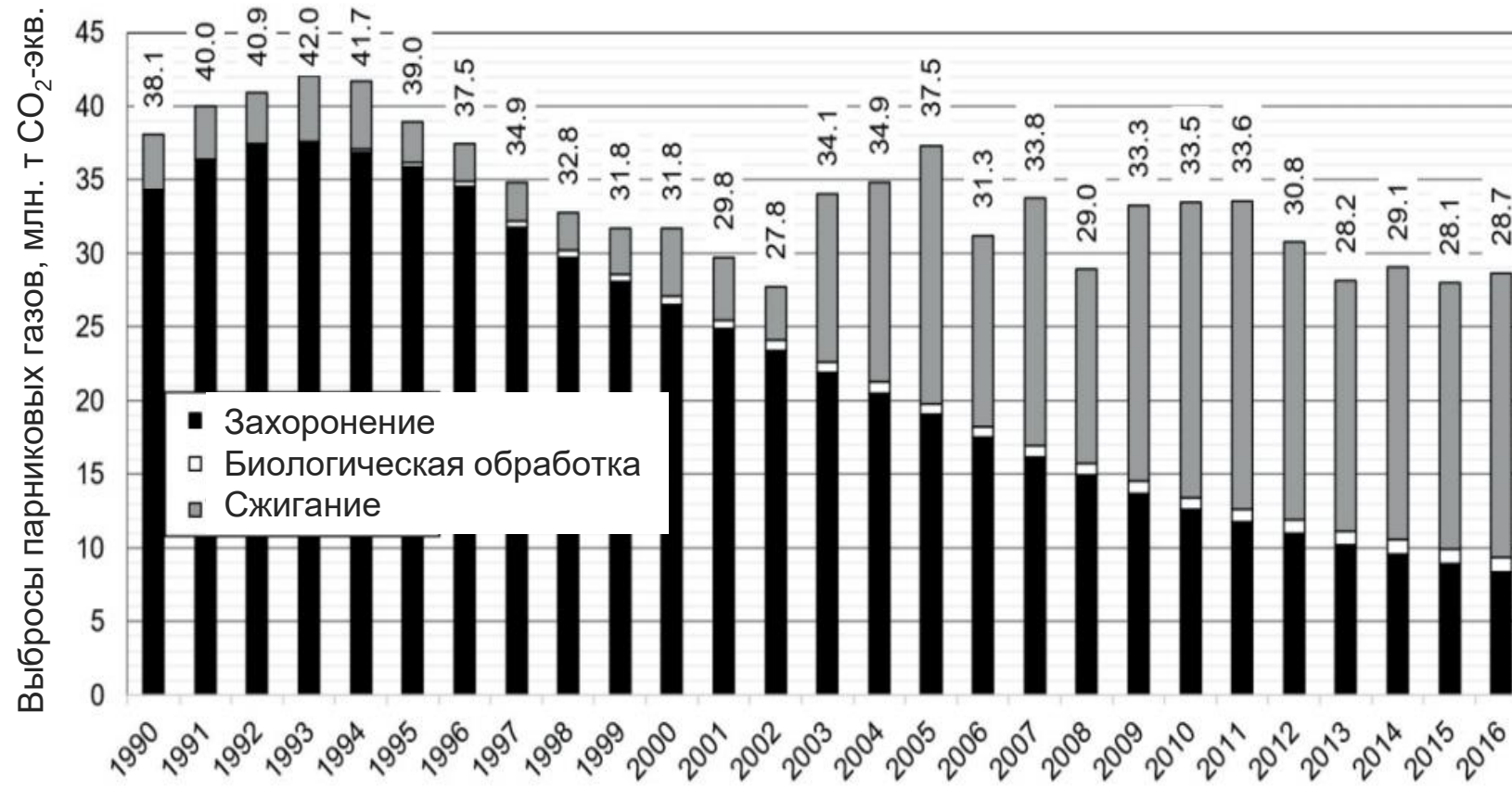
[Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8648/Waste&ClimateChange.pdf?sequence=3>]

Суммарные выбросы парниковых газов системы обращения с отходами



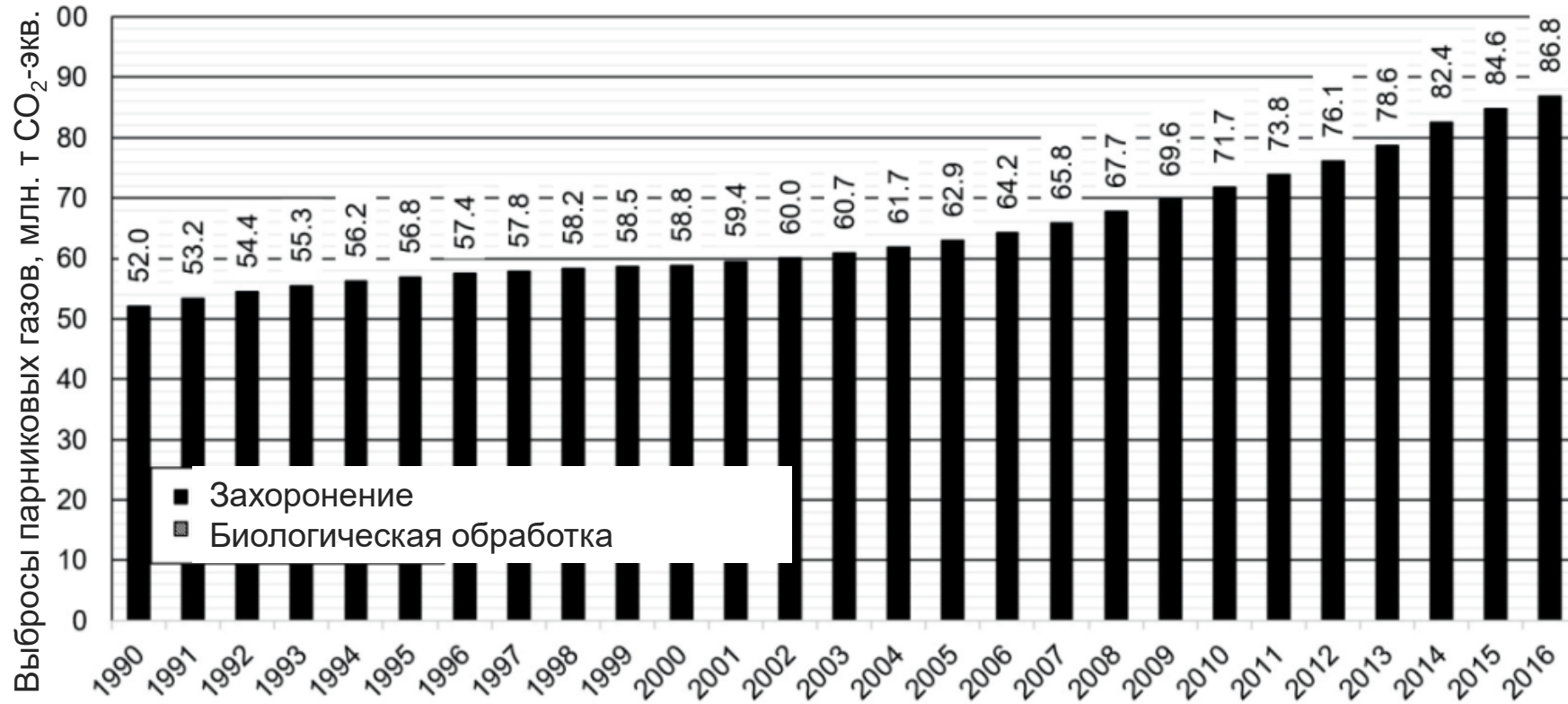
[Wuensch C. Greenhouse Gases – an Introduction. Lectures at the Environmental Protection Department of the National Research Polytechnic University in Perm 22nd to 25th of May 2016]

Выбросы парниковых газов системы обращения с отходами в Германии



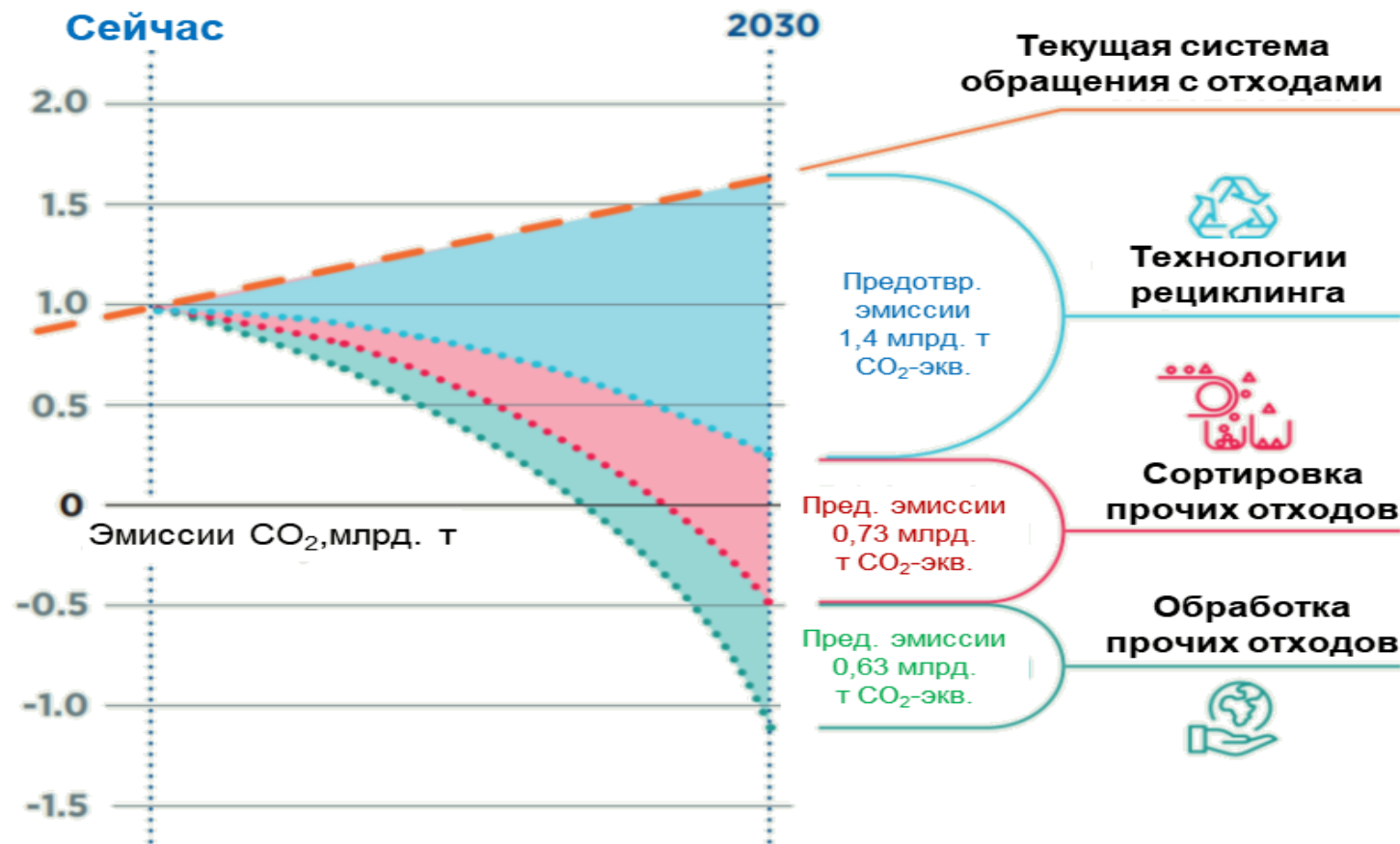
[Wuensch C., Kocina R. Global development of greenhouse gas emissions in the waste management sector. Detritus / Volume 07 - 2019 / pages 104-118]

Выбросы парниковых газов системы обращения с отходами в России



[Wuensch C., Kocina R. Global development of greenhouse gas emissions in the waste management sector. Detritus / Volume 07 - 2019 / pages 104-118]

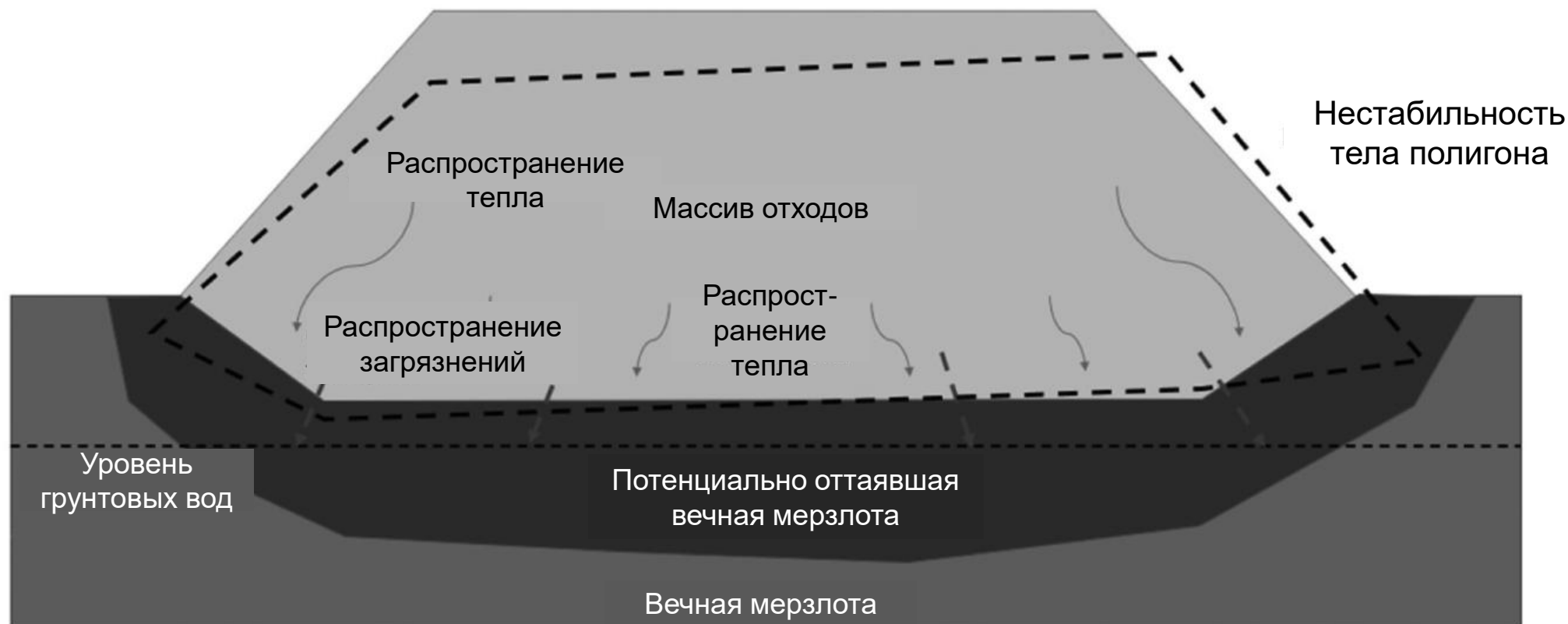
Суммарные выбросы парниковых газов системы обращения с отходами



[Tomra: Holistic Resource Systems (2021). <https://solutions.tomra.com/hrs-whitepaper-download>]

- Разрушение инфраструктуры, в частности подъездных дорог, весовых, систем сбора биогаза и дренажных систем, в результате стихийных бедствия, вызванных изменениями климата, например, в результате наводнений, бурь
- Нарушения в периодичности удаления отходов из-за плохих погодных условий
- Изменения влажностных и температурных условий может отразиться на скорости разложения отходов, изменить объемы образования фильтрата и биогаза
- Ухудшение условий труда и увеличение рисков для персонала в результате увеличения инсоляции и уровня ультрафиолетового излучения, а также повышения активности патогенных организмов, усиления запахов и пыления
- Увеличение неустойчивости массива захороненных отходов в результате излишнего пересыхания верхнего слоя, а затем резкого намокания в результате обильного выпадения атмосферных осадков

Влияние климатических изменений на систему обращения с отходами



[Akhtar S., Hollaender H., Yuan Q. Impact of heat and contaminants transfer from landfills to permafrost subgrade in arctic climate: A review. Cold Regions Science and Technology 206 (2023) 103737]

Климатически нейтральное обращение с отходами

Ильиных Галина Викторовна

кандидат технических наук, доцент
кафедра «Охрана окружающей среды»
ПНИПУ