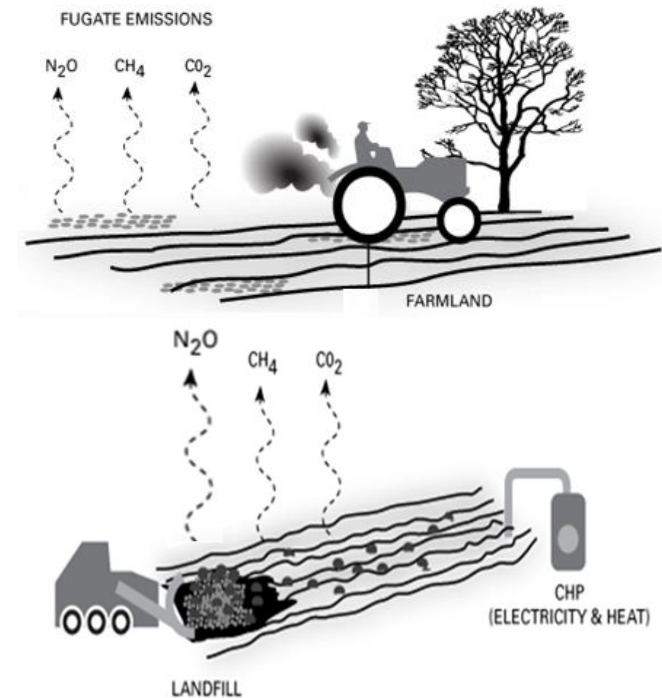
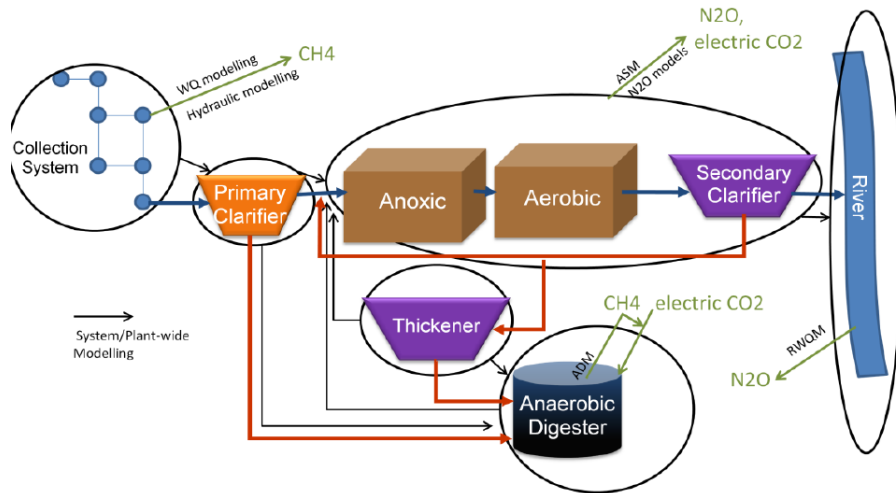


ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД



Мониторинг и сокращение углеродного
следа российских водоканалов
Санкт-Петербург, 11.12.2012 г.
Дом Учёных
Сеппо Киискинен
ООО «Эковод»

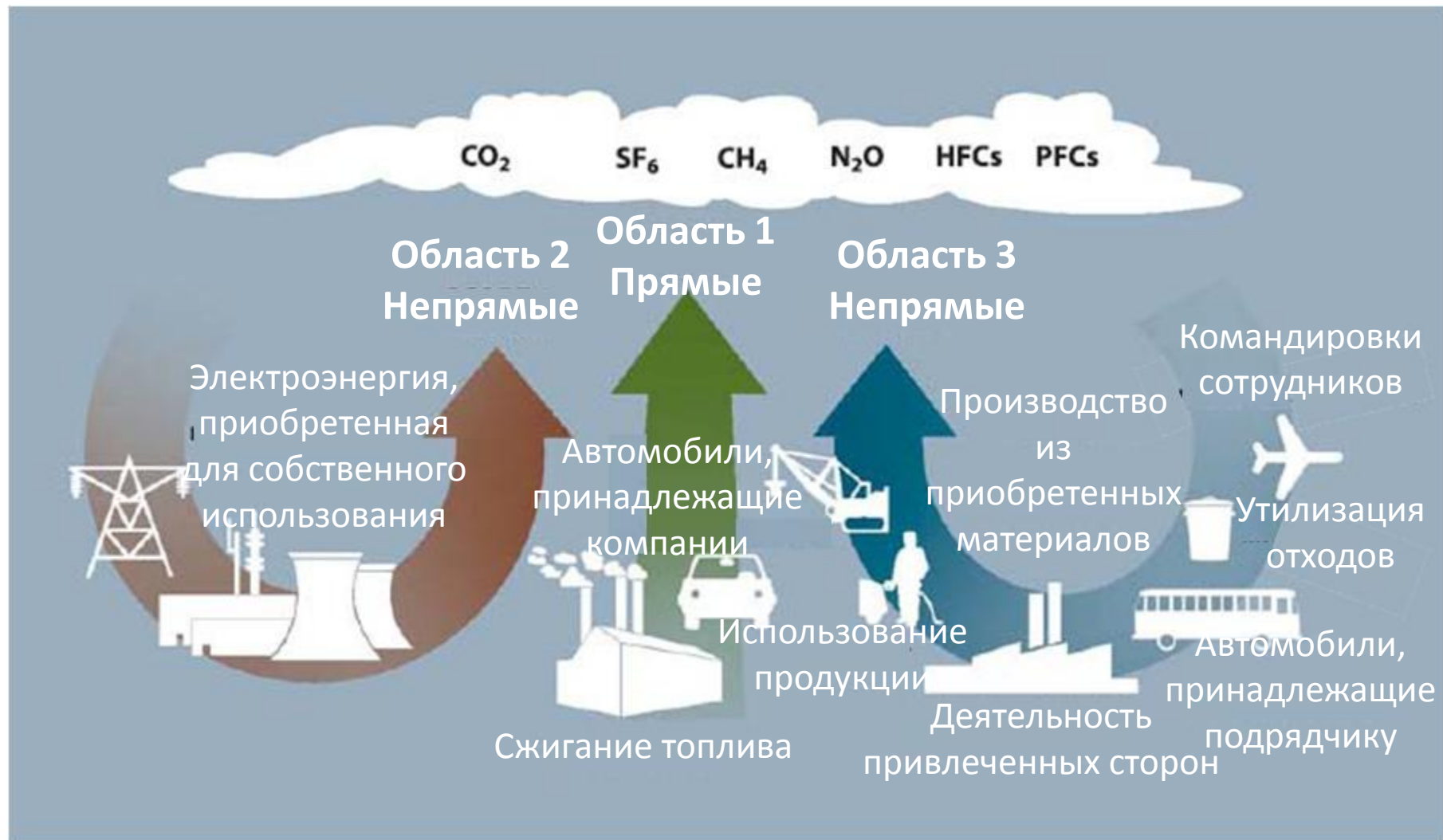
ПГП парниковых газов, образовавшихся на сооружениях очистки сточных вод

ПГ	Коэффициент ПГП
Углекислый газ (CO_2)	1
Метан (CH_4)	25
Закись азота (N_2O)	296

ПГП = потенциал глобального потепления

ПГ = парниковый газ

Эмиссия парниковых газов



Очистка сточных вод и изменение климата

Удаление осадка и очистка сточных вод являются источниками эмиссии парниковых газов. Хотя основное внимание в дискуссиях и при расчетах изменения климата уделялось углекислому газу (CO_2) и метану (CH_4), потенциальное воздействие закиси азота (N_2O), также образующейся на канализационных очистных сооружениях (КОС), приобретает в настоящее время все большую важность. N_2O является одним из относительно значимых газов, рассматриваемых Межправительственным комитетом по вопросам изменения климата (IPCC) в своих прогнозах по эмиссии парниковых газов. И это понятно, поскольку парниковый эффект N_2O примерно в триста раз сильнее эффекта CO_2 .

Терминология учета выбросов углекислого газа

- Область 1 → прямые выбросы
 - Метан от метантенков или полигонов, закись азота от внесения в почву или сжигания
 - Требуется отчетность по протоколам учета выбросов углекислого газа
- Область 2 → не прямые выбросы, приобретение тепловой и электроэнергии
 - Природный газ для термической сушки, сжигания
 - Топливо для перевозок
 - Требуется отчетность
- Область 3 → не прямые выбросы – система поставок
 - Производство полимера и извести
 - Отчетность обычно необязательна

Источники выброса парниковых газов из процессов очистки сточных вод

Область 1 – Прямые антропогенные выбросы

- Разложение органики дает CO_2 , CH_4 и N_2O
- Прямые выбросы биогенного CO_2 не считаются, но считается CO_2 от CH_4 и N_2O
- Каждый участок технологического процесса образует ПГ в различных пропорциях и количествах
- Стационарные и мобильные источники горения

Область 2 – Непрямые выбросы

- Электроэнергия, приобретаемая для работы насосов и очистки сточных вод

Область 3 – ПГ, образовавшиеся при производстве химикатов

- Строительство инфраструктуры (связанный углерод)
- Передвижения персонала на транспорте

Терминология учета выбросов углекислого газа

- Класс А (климатический регистр) → прямые измерения, местные данные
- Класс В → комбинация прямых измерений и стандартных региональных значений
- Класс С → национальные или региональные стандартные значения
- Биогенный углерод, преобразованный обратно в CO_2 , не относят на дебет в учете выбросов
 - Например, CO_2 полученный от органики в ходе анаэробного сбраживания или сжигания

Использование биогаза может снизить углеродный след

3 “класса” кадастров ПГ

- Область 1: прямые выбросы (ЕРА), биогенные / антропогенные
- Область 2: не прямые выбросы (приобретение электроэнергии)
- Область 3: сверх-не прямые выбросы (“цена” материалов, услуг)

Когенерация относится к Области 1

Углерод пришел = Углерод ушел ! – все технологии
одинаковы

Смотрите на кг CO_2 /кВтч (относится к Области 2)

Процедура расчета ПГ

Для оценки эмиссии ПГ канализационными очистными сооружениями (КОС) адекватным образом следует перечислить рассматриваемые выбросы. Выбранные границы взяты для Области 3 и представлены ниже.

1. Эмиссия CO_2 и N_2O на этапе биологической очистки, эндогенное дыхание, окисление БПК, кредит по CO_2 от нитрификации и удаления азота. Денитрификация проходит следующие четыре этапа: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Как видно, в этом процессе N_2O является промежуточным звеном. Таким образом, N_2O может образоваться и поступить в атмосферу из-за неполной денитрификации.
2. Использование сооружениями электроэнергии (аэрация, перемешивание, перекачка и т.д.), что приводит к выбросу CO_2
3. Сбраживание осадка, CH_4 и CO_2 биогаза
4. Размещение осадка, выбросы от грузового транспорта при перевозке к месту использования/размещения, выбросы CO_2 минерализации
5. Кредит от электроэнергии при использовании биогаза
6. Эмиссия ПГ от применения химикатов

Упрощенные расчеты

Область 1 Выбросы

- $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$ от очистки сточных вод = $(\# \text{ кг CH}_4 / \text{кг снятого БПК}_5 / \text{год}) \cdot (\text{ккм}) = A \text{ кг CO}_{2\text{ЭКВ}}$
- $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$ от использования дизельного топлива = $(\# \text{ л дизтоплива/год}) \cdot (\text{коэффициент выделения метана}) \cdot 21 \cdot (\text{CO}_{2\text{ЭКВ}} / \text{CH}_4) = B \text{ кг CO}_{2\text{ЭКВ}}$

Область 2 Выбросы

- $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$ от использования электроэнергии = $(\# \text{ МВтч})(\text{кг CH}_4 / \text{МВтч}) \cdot (21 \cdot \text{CO}_{2\text{ЭКВ}} / \text{CH}_4) = C \text{ кг CO}_{2\text{ЭКВ}}$

Общая эмиссия $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$ от метана = $(A + B + C) \text{ CO}_{2\text{ЭКВ}}$

Общая эмиссия $\text{CO}_{2\text{ЭКВ}}$ (все газы) =
эмиссии $(\text{CH}_4 + \text{CO}_{2\text{ЭКВ}} + \text{N}_2\text{O})$

Методология составления отчетности

Выбросы = углекислый газ + метан + закись азота

$$\text{Мт CO}_{2\text{экв}} = \text{Мт CO}_2 + \text{Мт CH}_4 + \text{Мт N}_2\text{O}$$

Область 1: Прямые антропогенные выбросы

- Метан и закись азота от очистных сооружений
- Стационарные и мобильные источники горения
- Отсутствие биогенной эмиссии CO₂
- $\text{Мт CH}_4 = \text{Мт БПК}_5 \times \text{ккм}$ (коэффициент конверсии в метан)
- $\text{Мт N}_2\text{O} = \text{Мт аммиака} \times \text{коэффициент конверсии в N}_2\text{O}$

Область 2 : Непрямые выбросы

- кВтч электроэнергии $\times$ (коэффициент CO₂, коэффициент N₂O, коэффициент CH₄)

Область 3: Прочие непрямые выбросы

- Добровольная отчетность
- Связанный углерод

Углеродный след очистки сточных вод

- Оценки имеют неточности в методах от 10% до > 100%
- В углеродном следе очистки сточных вод доминирует импортируемая электроэнергия, за ней идут неорганизованные выбросы N_2O
- N_2O и CH_4 от размещения биологических твердых веществ могут давать аналогичный объем или до 5 раз превышать выделение N_2O из процесса нитрификации-денитрификации.

Данные WERF

Неточность увеличивается

- 1. При одной и той же точности измерения ($\pm 2\%$) коэффициент потенциала глобального потепления (ПГП) имеет значительное влияние на неточности:*
 - $100 \text{ Мг CO}_2 \pm 2\% = \text{диапазон от } 98 \text{ до } 102 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}}$ (диапазон 4 Мг)
 - $100 \text{ Мг N}_2\text{O} \pm 2\% = \text{диапазон от } 30380 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}} \text{ до } 31620 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}}$ (разброс 1240 Мг)
- 2. Для типично более низкой точности измерения или оценки выделения N_2O ($\pm 10\%$):*
 - $100 \text{ Мг N}_2\text{O} \pm 2\% = \text{диапазон от } 30380 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}} \text{ до } 31620 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}}$ (разброс 1240 Мг)
 - $100 \text{ Мг N}_2\text{O} \pm 10\% = \text{диапазон от } 27900 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}} \text{ до } 34100 \text{ Мг CO}_{2\text{ЭКВ}}$ (разброс 6200 Мг)

Прогнозируемая прямая эмиссия ПГ от процессов очистки сточных вод

Первичная очистка	Нет
Вторичная очистка	CH ₄ , от анаэробных процессов очистки (напр., накопители)
Углубленная очистка	N ₂ O, от процесса нитрификации-денитрификации
Обработка твердых веществ	CH ₄ , от обработки осадка, напр., сбраживания (можно считать минимальными) или от неполного сгорания биогаза, а также выделения от внеплощадочной деятельности
Выпуск очищенных стоков	N ₂ O, от денитрификации азотных соединений, поступающих с очищенным стоком в принимающий водный объект

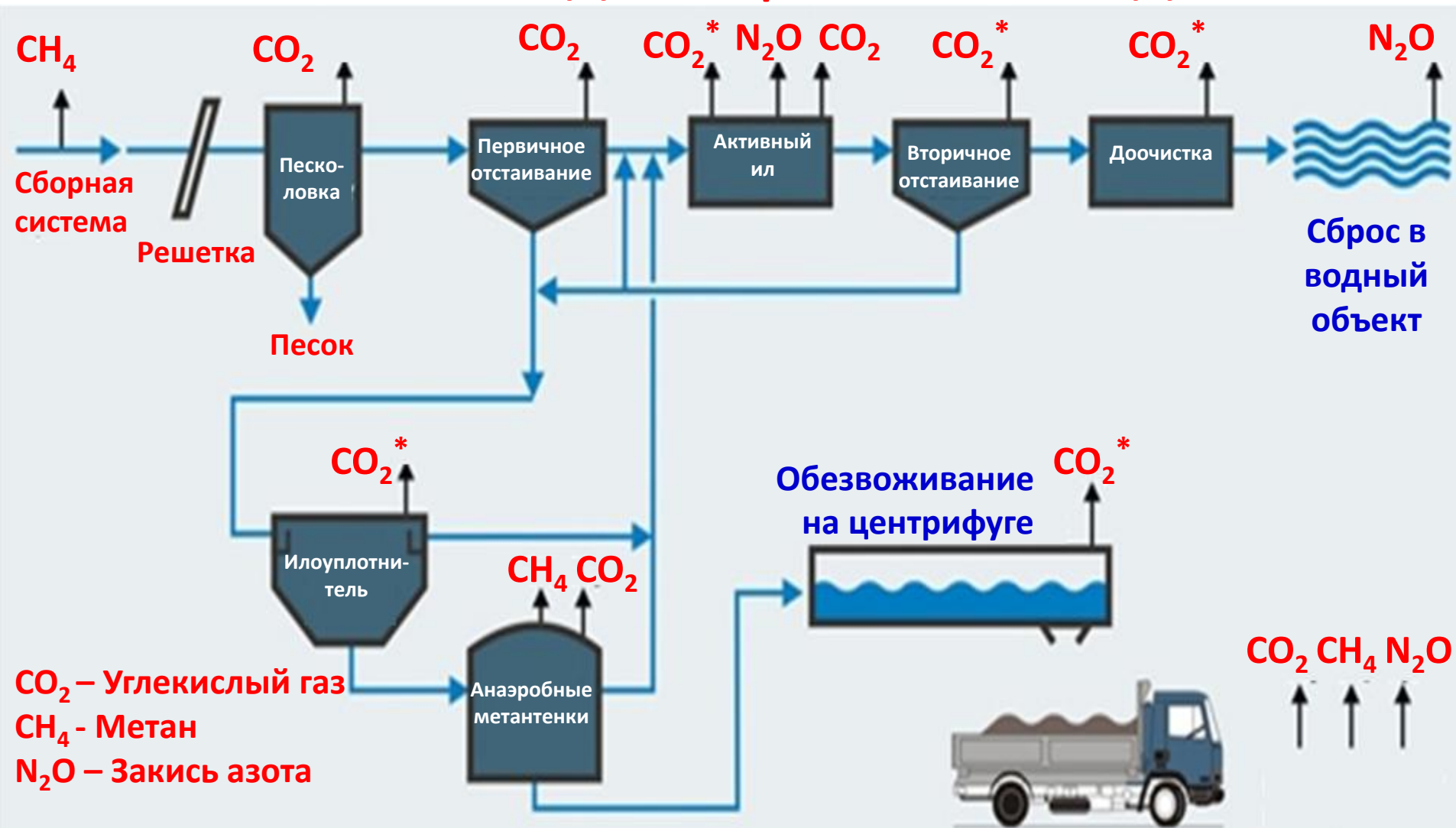


Эмиссии от процессов водоподготовки или водоочистки

Три типа эмиссий, связанных с процессом очистки сточных вод

Тип эмиссии	Описание
Технологическая (количественная)	Эмиссия в результате работы различных систем в технологическом процессе (электроэнергия)
Транспортная (количественная)	Эмиссия в результате перевозки необходимых химикатов/компонентов от места их производства до места применения (транспорт)
Внутренняя (качественная)	Эмиссия, связанная с выработкой различных компонентов в процессе очистки сточных вод (выработка химикатов)

Эмиссия парниковых газов от очистки сточных вод и обработки осадка



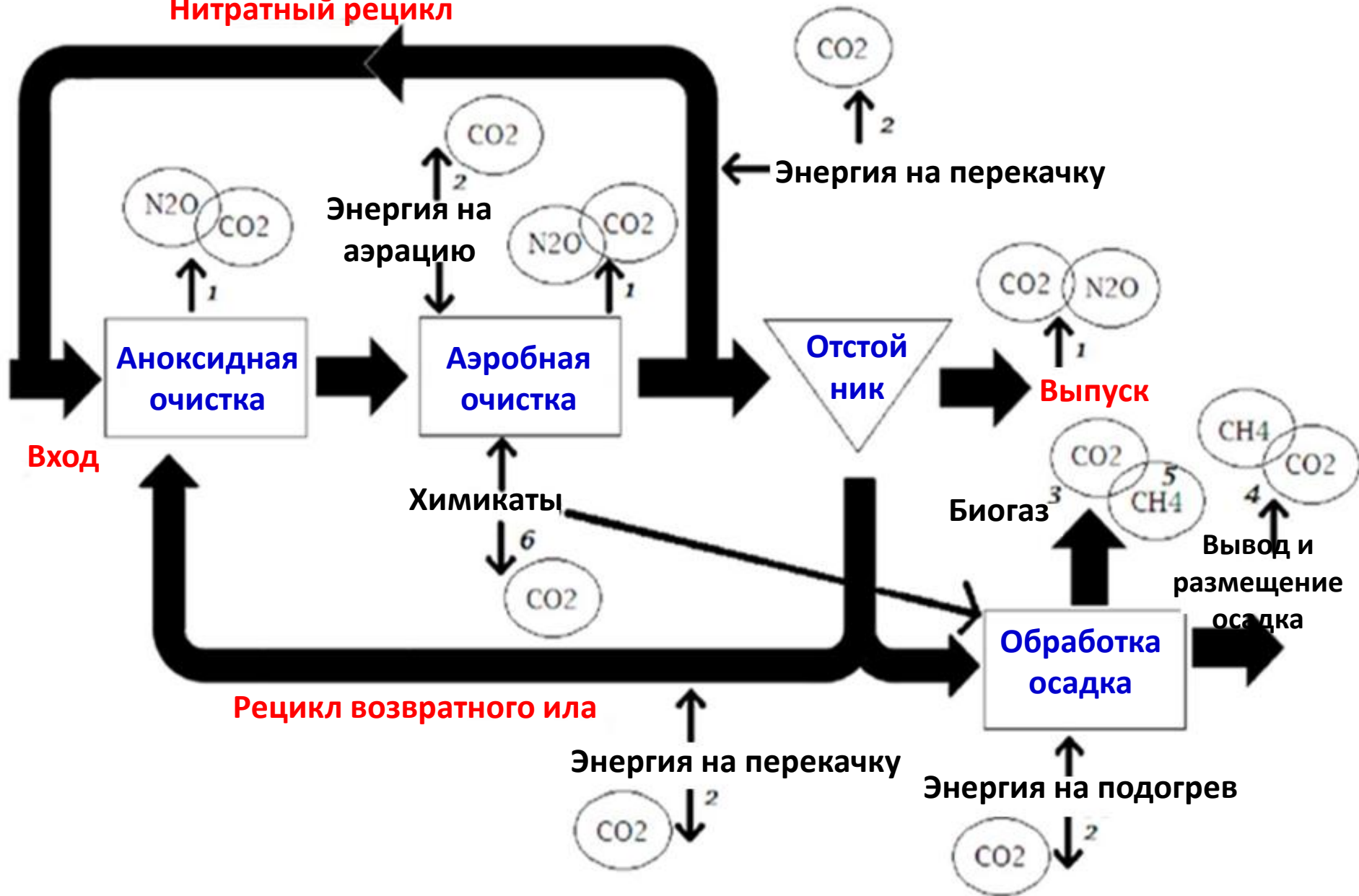
Неконтролируемые выбросы возможны на разных стадиях процесса

* Эмиссия от выработки электроэнергии

Размещение на полигоне/
внесение в почву

Эмиссия ПГ с КОС

Нитратный рецикл



Технологические эмиссии

Электроэнергия, приобретаемая для использования на КОС

- Электроэнергия
 - Место, место, место
 - Объединенная База Данных по Эмиссиям и Источникам (eGRID)
Управления по охране окружающей среды США (US EPA)

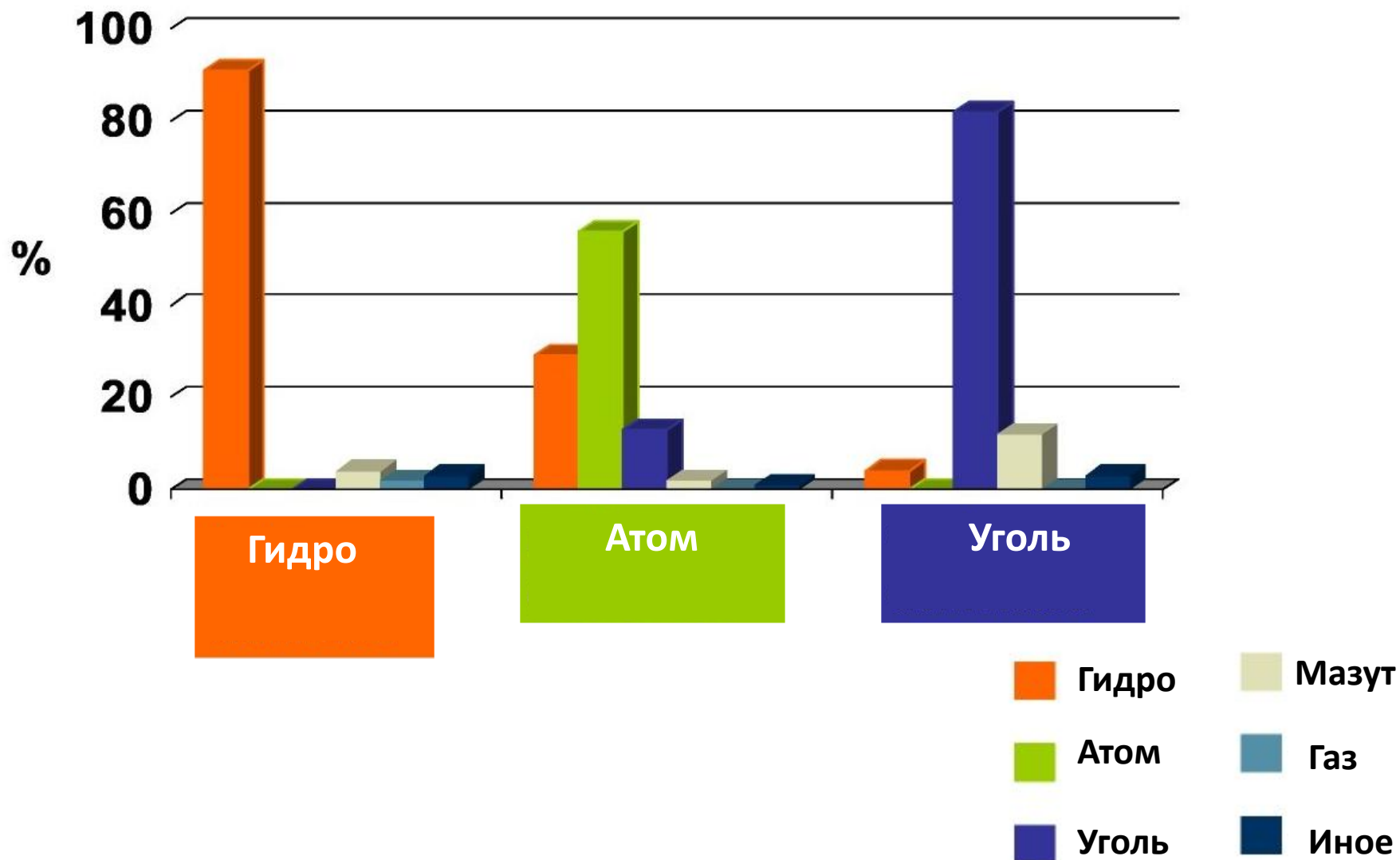
Расчет эмиссии от производства электроэнергии в эквиваленте по CO₂

ПГ	Коэффициент эмиссии eGRID (кг/МВтч)	ПГП (IPCC AR4)	Эквивалент коэффициента эмиссии ПГ (кг CO ₂ /МВтч)
Углекислый газ (CO ₂)	698	1	698
Метан (CH ₄)	0.008276	25	0.2069
Заись азота (N ₂ O)	0.01167	298	3.4777
		Итого	702

**Нижняя строка => 0.702 т ПГ в виде CO₂
выбрасывается на каждый использованный МВтч!**

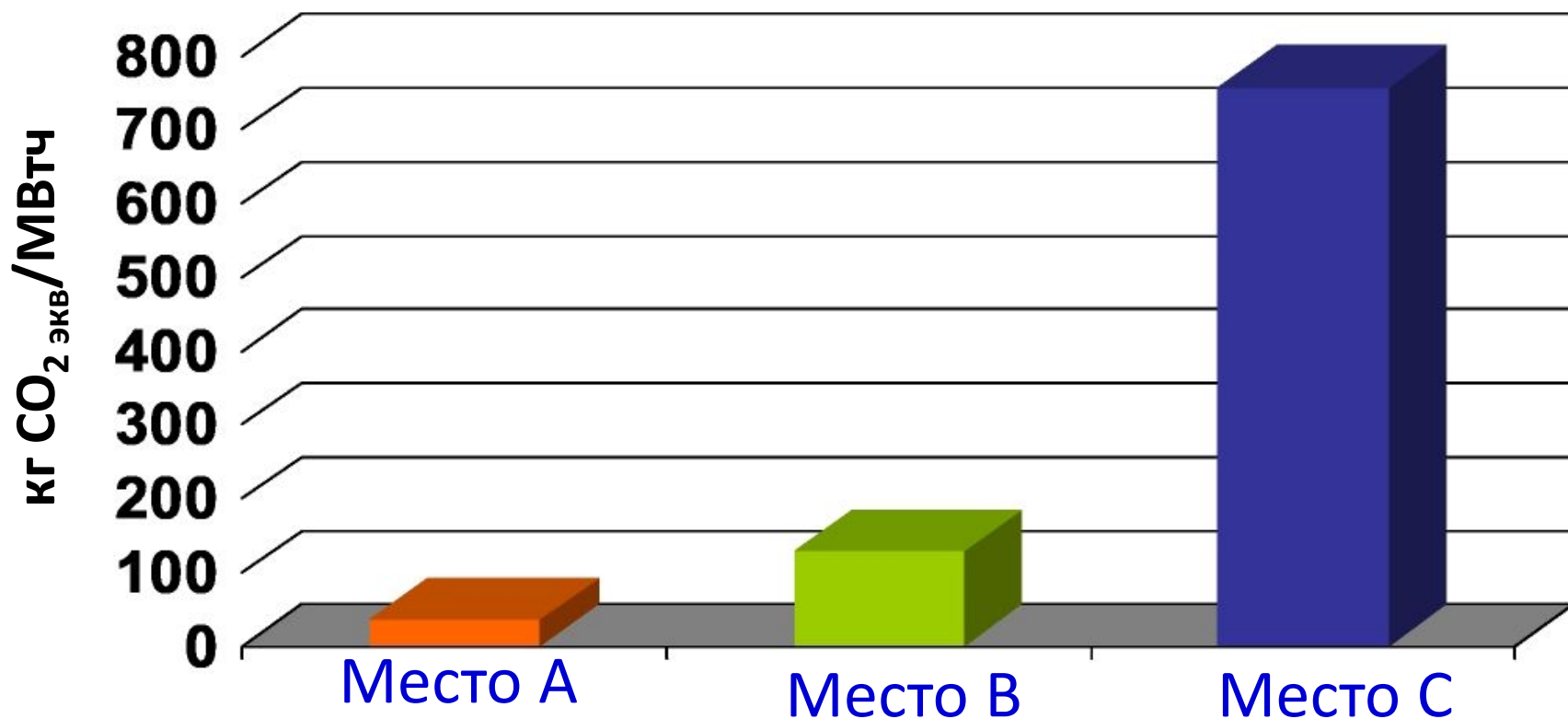
Источники энергии

Географические различия



Источники энергии

Географические различия



Гидро

=

37 кг CO₂ экв./МВтч

Атом

=

128 кг CO₂ экв./МВтч

Уголь

=

757 кг CO₂ экв./МВтч

Эквивалент в ПГ от использования ресурсов

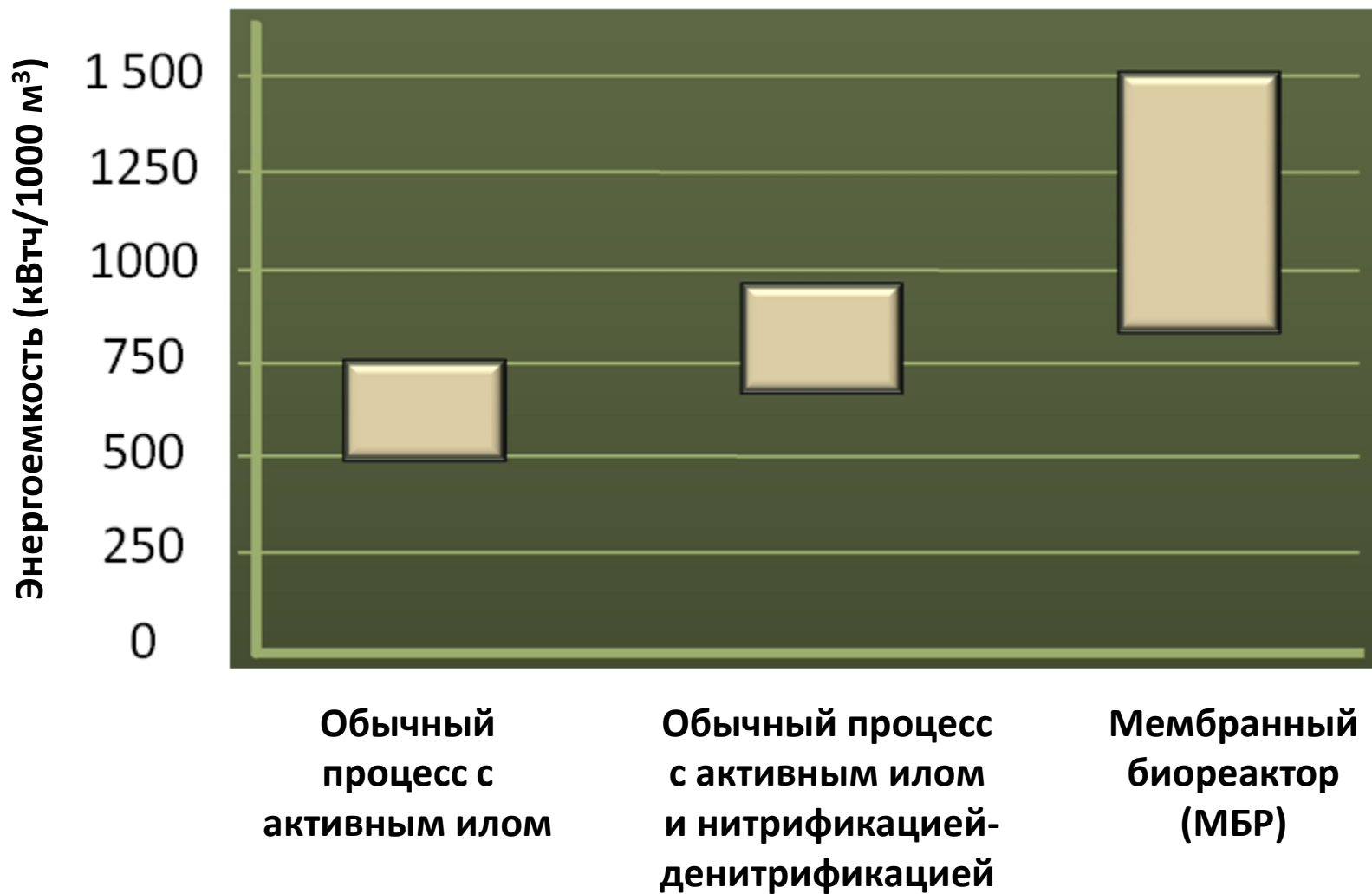
Ресурс	Единица	Единицы эквивалента ПГ (выброшенных т CO ₂ на единицу ресурса)
Электроэнергия	Мегаватт-час (МВтч)	Диапазон для США: 0.379 - 0.983 среднее для США и стандарт для моделирования: 0.635
Дизельное топливо	Литр	0.003144
Природный газ	1 000 м ³ или 1 МВтч (3)	2.1295 0.20575
Полимер (1)	Тонна	1.69
Известь (2)	Тонна	0.364
Хлорид железа (1)	Тонна	0.48
Щепа на компостирование	Тонна	0.026 (энергия отходов деревообработки)

(1) (Sydney Water Board 1993)

(2) (Carmeuse Corp.)

(3) (Gloria 2001)

Выбор процесса очистки оказывает сильное влияние на энергопотребление и выброс ПГ



Энергоемкость очистки сточных вод в зависимости от размера и уровня очистки

Размер очистных сооружений (1000 м³/сут)	Потребление электроэнергии (кВтч/1000 м³)			
	Капельный био-фильтр	Активный ил	Углубленная очистка сточных вод	Углубленная очистка сточных вод с нитрификацией
3 785	478.5	590.8	685.9	779.7
18 925	258.4	361.7	415.6	509.9
37 850	225.1	317.8	372.0	473.2
75 700	198.2	294.3	344.3	442.8
189 250	181.5	277.7	321.3	419.6
378 500	177.8	271.6	313.9	411.6

Профиль энергопотребления типичных очистных сооружений

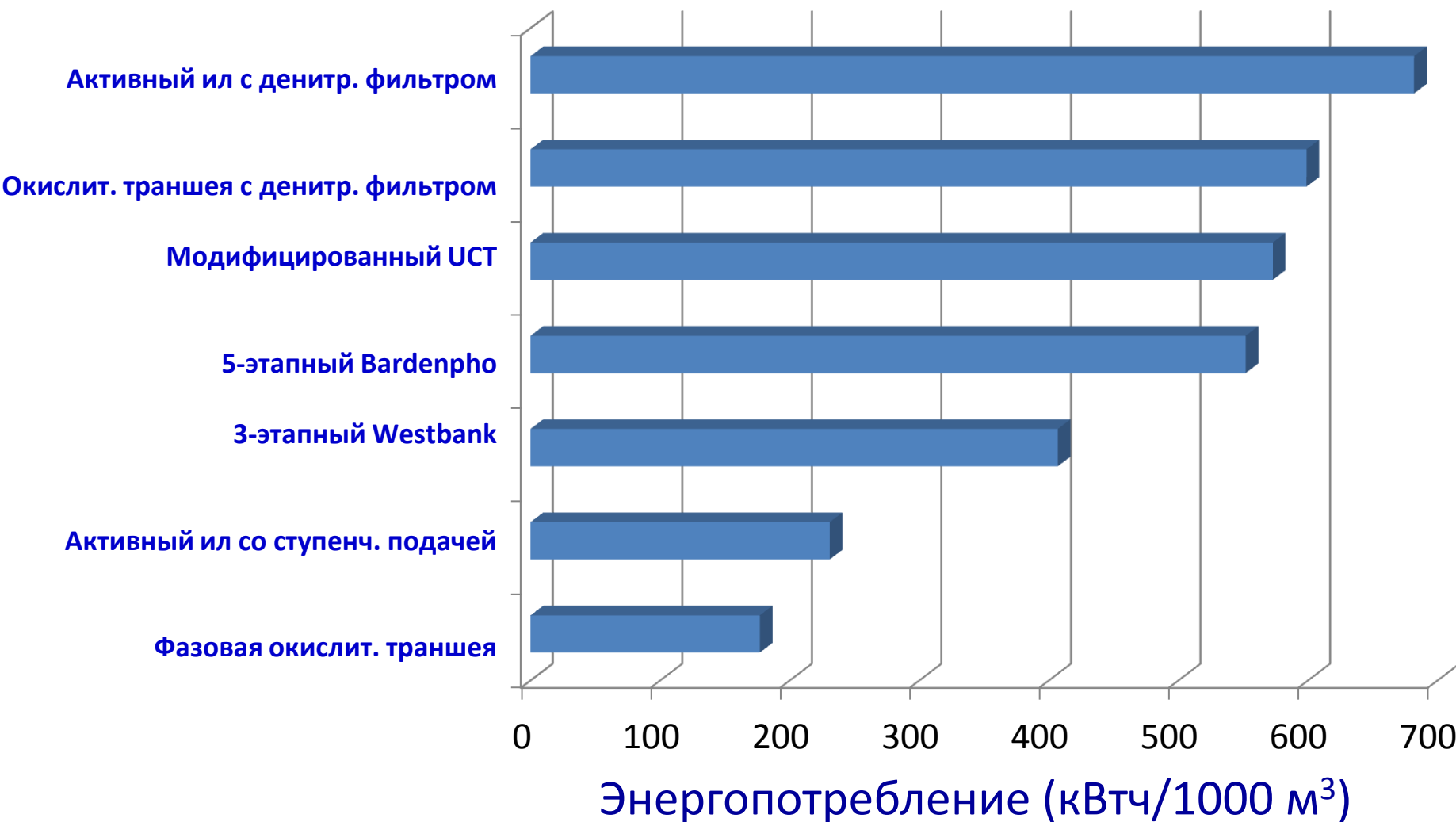


Типичное потребление электроэнергии КОС

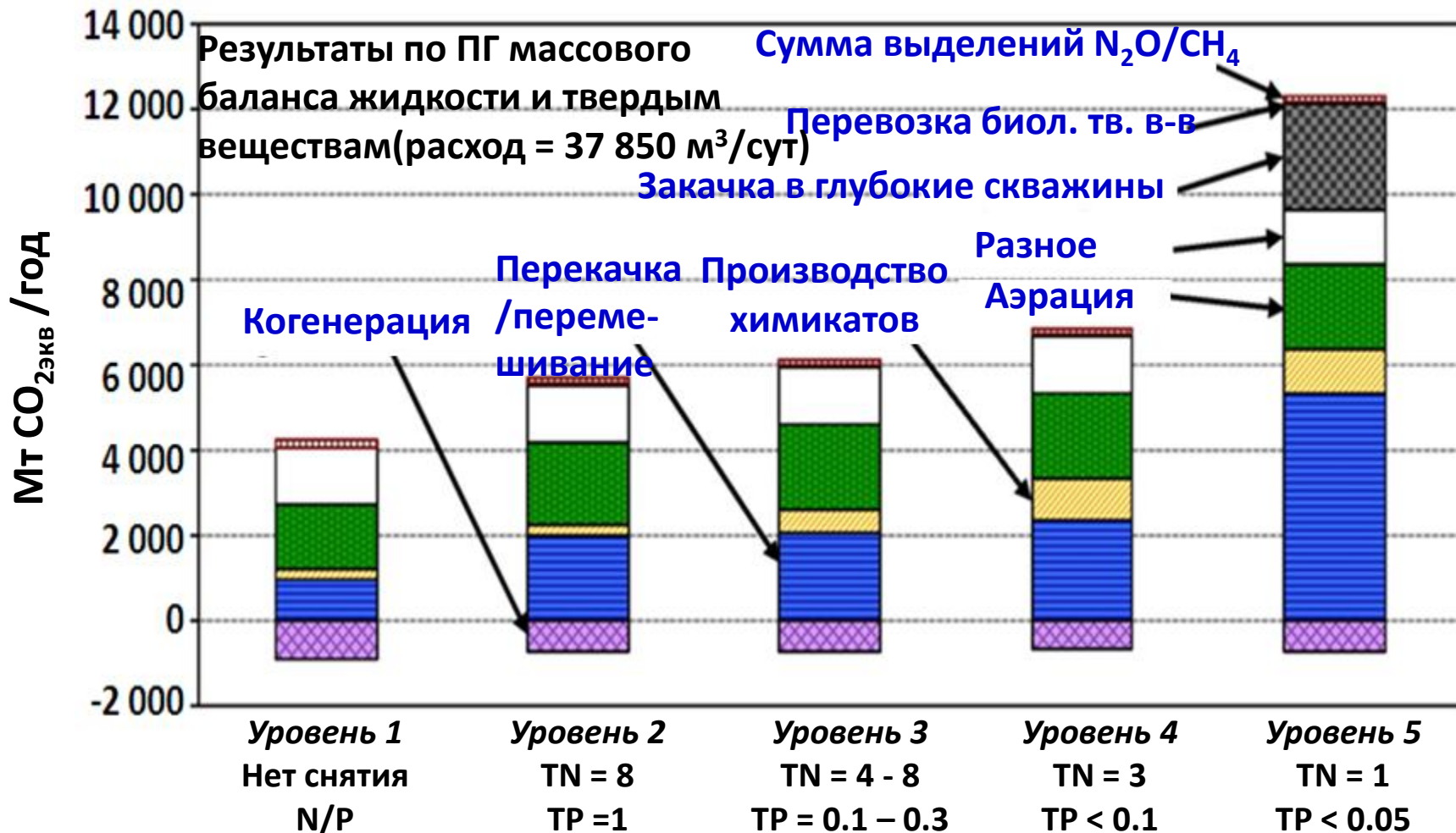
(Metcalf and Eddy 3rd Edition)

Этап очистки	Потребность в электроэнергии (%)	Ранг/Комментарии
Перекачка входящего расхода и водозабор	4.9	
Первичный отстойник и насосы осадка	10.3	2
Аэрация активного ила	55.6	1/Основной потребитель
Вторичный отстойник и возвратный ил	3.7	
Уплотнитель и насос осадка	1.6	
Фильтры доочистки и тех. вода	4.5	
Обезвоживание твердых веществ	7.0	4
Доочистка	3.1	
Отопление	7.1	3
Освещение	2.2	

Энергопотребление различных процессов биологического удаления биогенных элементов (кВтч/1000 м³)



Распределение ПГ



■ Перекачка/перемешивание

■ Аэрация

■ Закачка в глубокие скважины

■ Перевозка биол. тв. в-в

■ Производство/доставка химикатов

■ Разное

■ Когенерация

■ Сумма выделений N₂O/CH₄

TN = общий азот
TP = общий фосфор

Образование газообразного азота в процессе очистки сточных вод

- Не очищать – такой вариант не рассматривается
- Нитрификация – значительный поставщик N_2O
- Биологическое удаление биогенов (БУБ) образует больше N_2O , чем небиологические процессы
- Образование газообразного азота в ходе денитрификации
- И N_2O , и NO являются промежуточными элементами денитрификации
- Денитрификация это единственный процесс, связанный с выделением N_2O в ходе БУБ
- Не окончательно прояснены специфичные ферментные переходы, дающие N_2O и NO_x
- N_2O может быть добавлен в эмиссии ПГ
- Динамические модели все еще полностью игнорируются

Оценка эмиссии N_2O бытовыми стоками

$$N_2O_{TOTAL} = N_2O_{PLANT} + N_2O_{EFFLUENT}$$

$$N_2O_{PLANT} = N_2O_{NIT/DENIT} + N_2O_{WOUT NIT/DENIT}$$

$$N_2O_{NIT/DENIT} = [(US_{POPND}) \times EF_2 \times F_{IND-COM}] \times 1/10^9$$

$$N_2O_{WOUT NIT/DENIT} = \{[(US_{POP} \times WWTP) - US_{POPND} \times F_{IND-COM}] \times EF_1\} \times 1/10^9$$

$$N_2O_{EFFLUENT} = \{[(US_{POP} \times Protein \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{SLUDGE}] \times EF_3 \times 44/28\} \times 1/10^6$$

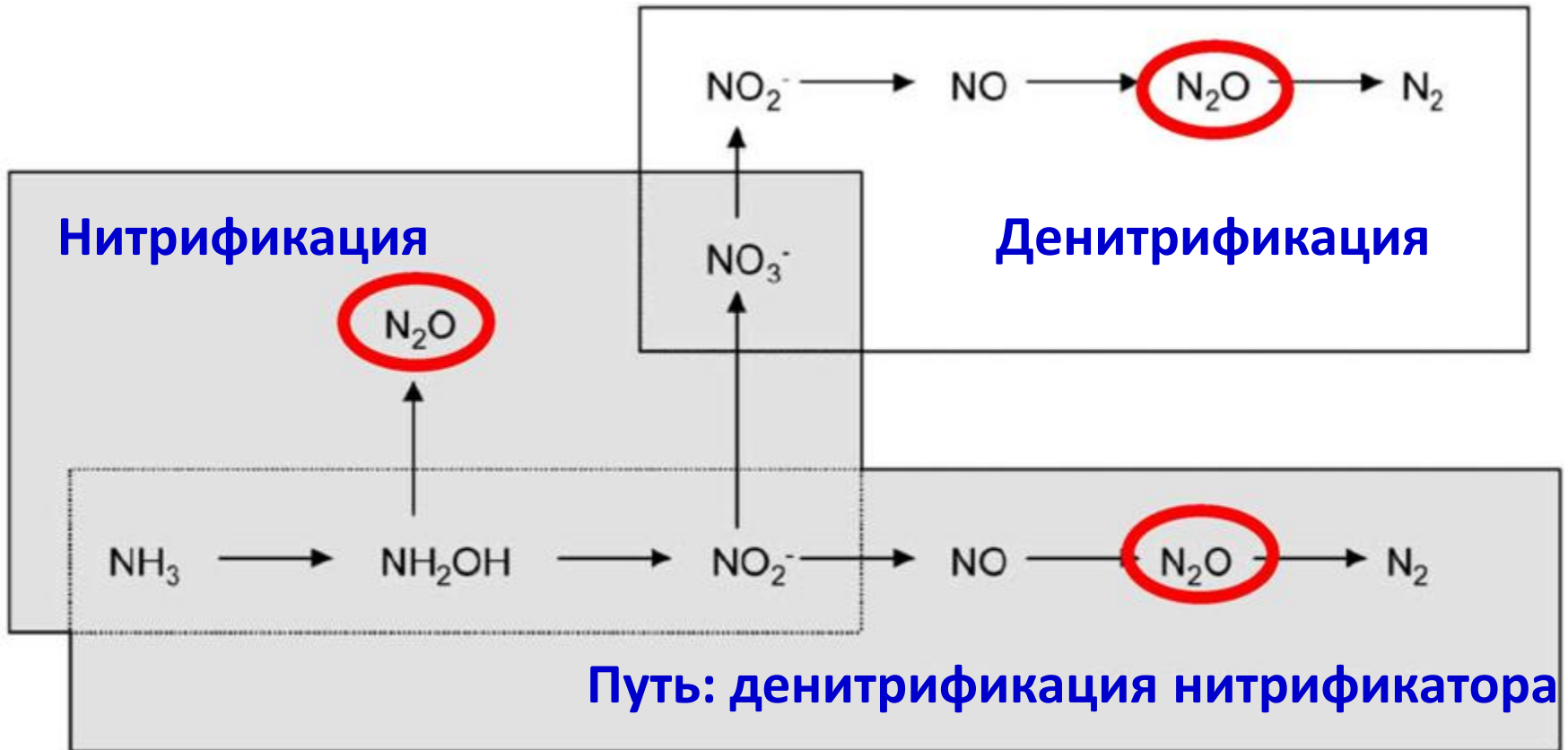
$$EF1 = 3.2 \text{ г } N_2O/\text{эkv. нас.}/\text{год}$$

$$EF2 = 7.0 \text{ г } N_2O/\text{эkv. нас.}/\text{год}$$

$$EF3 = 0.005 \text{ г } N_2O-N/\text{кг N стоков}$$

Источник: USEPA GHG Sources and Sinks Inventory, 2008

Выработка N_2O



Выработка N_2O

Процесс	Масштаб	$N_2O/N_{\text{снят.}}$ (%)	Ссылка
Капельный б/фильтр, частичная НДН	Полномасштаб.	0.10-0.12	Townsend-Small et al. (2009)
Нитрификация/денитрификация, МБР	Полномасштаб.	0.05	Townsend-Small et al. (2009)
Нитрификация/денитрификация, модиф. «Ludzack-Ettinger»	Полномасштаб.	0.4	Shaw (2008)
Одновременная нитрификация/денитрификация	Полномасштаб.	5.0	Shaw (2008)
Траншея	Полномасштаб.	1.0 - 5.0	de Haas (2008)
Процесс «Bardenpho»	Полномасштаб.	1.0 - 5.0	de Haas (2008)
Н-резервуар (процесс НДН)	Полномасштаб.	0.001	Colliver and Stephenson (2000)
ДН-резервуар (НДН)			Stephenson (2000)
Н-резервуар (НДН)			96)
ДН-резервуар (НДН)			96)
Диапазон=0.001 – 6.73% !			
Нитрификация (РК=0.1 мг/л)	Лабораторный	5.17	Zheng et al. (1994)
Нитрификация (РК=0.2 мг/л)	Лабораторный	6.73	Zheng et al. (1994)
Нитрификация (РК=0.5 мг/л)	Лабораторный	5.29	Zheng et al. (1994)
Нитрификация (РК=1.7 мг/л)	Лабораторный	2.50	Zheng et al. (1994)
Нитрификация (РК=6.8 мг/л)	Лабораторный	2.25	Zheng et al. (1994)
Нитрификация	Лабораторный	0.01	Poth and Focht (1985)
Денитрификация	Лабораторный	0.01	Poth and Focht (1985)
Аэробно-аноксидный период. реактор	Лабораторный	3.12	Xiuhong et al. (2008)
Фаза аэробной реакции, период. реактор	Лабораторный	3.08	Xiuhong et al. (2008)
Нитрифицирующий период. реактор	Лабораторный	0.002	Kampschreur et al. (2008)

Конфигурация сооружений и факторы выброса N₂O

Конфигурация сооружений	Температура воды (°C)	% поступающего общего азота по Кьельдалю (ОАК), выделенного как N ₂ O	Коэффициент выброса (г N ₂ O/экв. нас./год)
Нитрификация на отдельном этапе	14.7	0.05	1.3
4-этапный процесс «Bardenpho»	13.6	0.18	9.8
Ступенч. подача, БУБ	29.4	3.2	290
Ступенч. подача	17.4	0.26	18
Прерыв. поток	11.0	0.10	8.5
Прерыв. поток	11.4	0.6	26

Выделение N₂O на полномасштабных КОС

(Ahn et al. 2010)

Конфигурация сооружений	Температура (°C)	Расход (м ³)	% поступающего ОАК, выделенного как N ₂ O	Низк., %	Высок., %
Ступ. подача, не БУБ А	26 ± 0.81	352 000	1.8 ± 0.79	1.10	2.59
Ступ. подача, не БУБ В	30 ± 2.3	7 570	0.24 ± 0.02	0.22	0.26
Прерыв. поток 1А	23 ± 0.46	56 775	0.41 ± 0.14	0.27	0.55
Прерыв. поток 1В	11 ± 0.41	32 930	0.62 ± 0.15	0.47	0.77
Прерыв. поток 2	22 ± 0.58	24 980	0.09 ± 0.03	0.06	0.12
Окислит. траншея	19 ± 0.58	5 300	0.03 ± 0.01	0.02	0.04
Среднее				0.356	0.721

Моделирование образования CH_4 в сборной системе

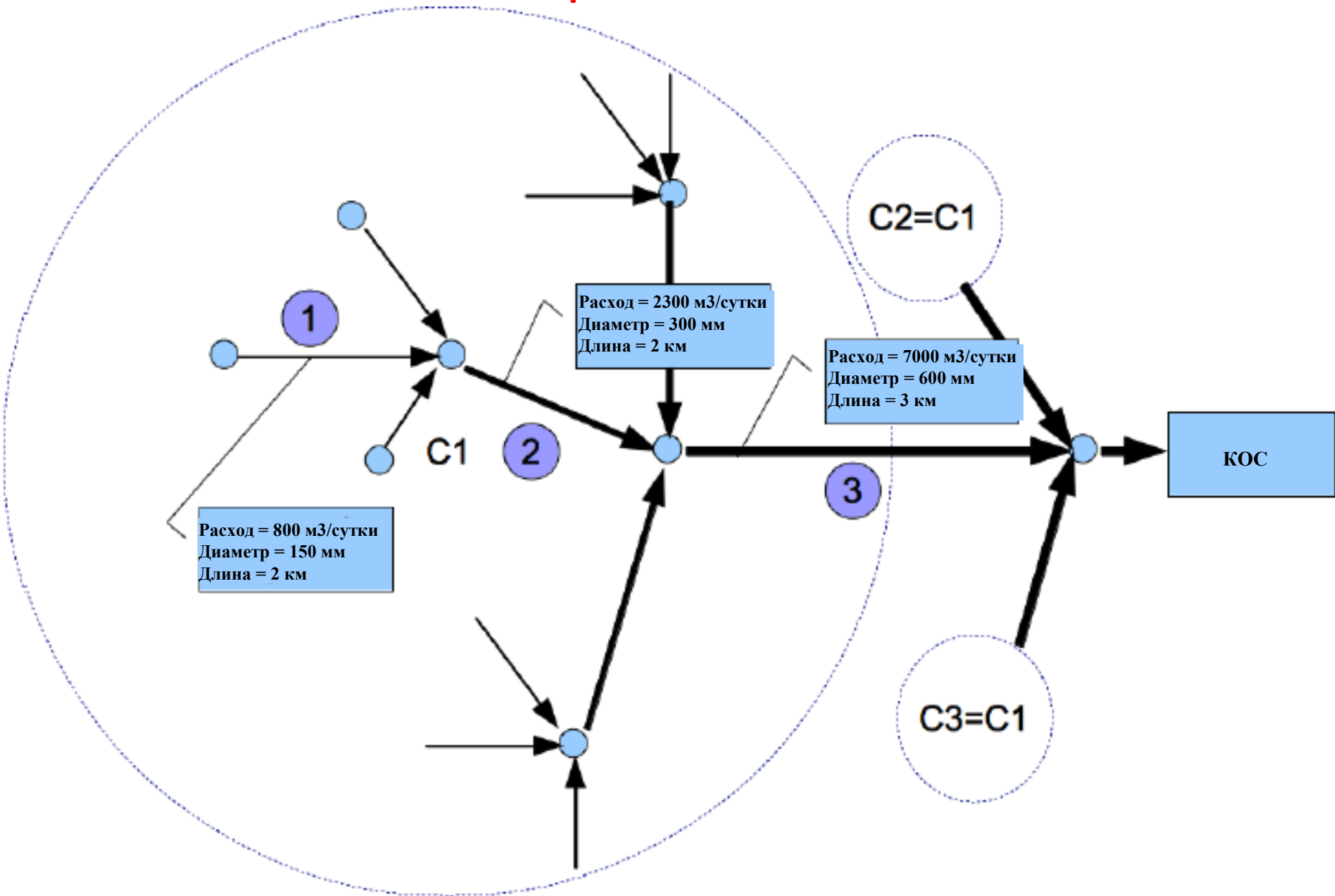
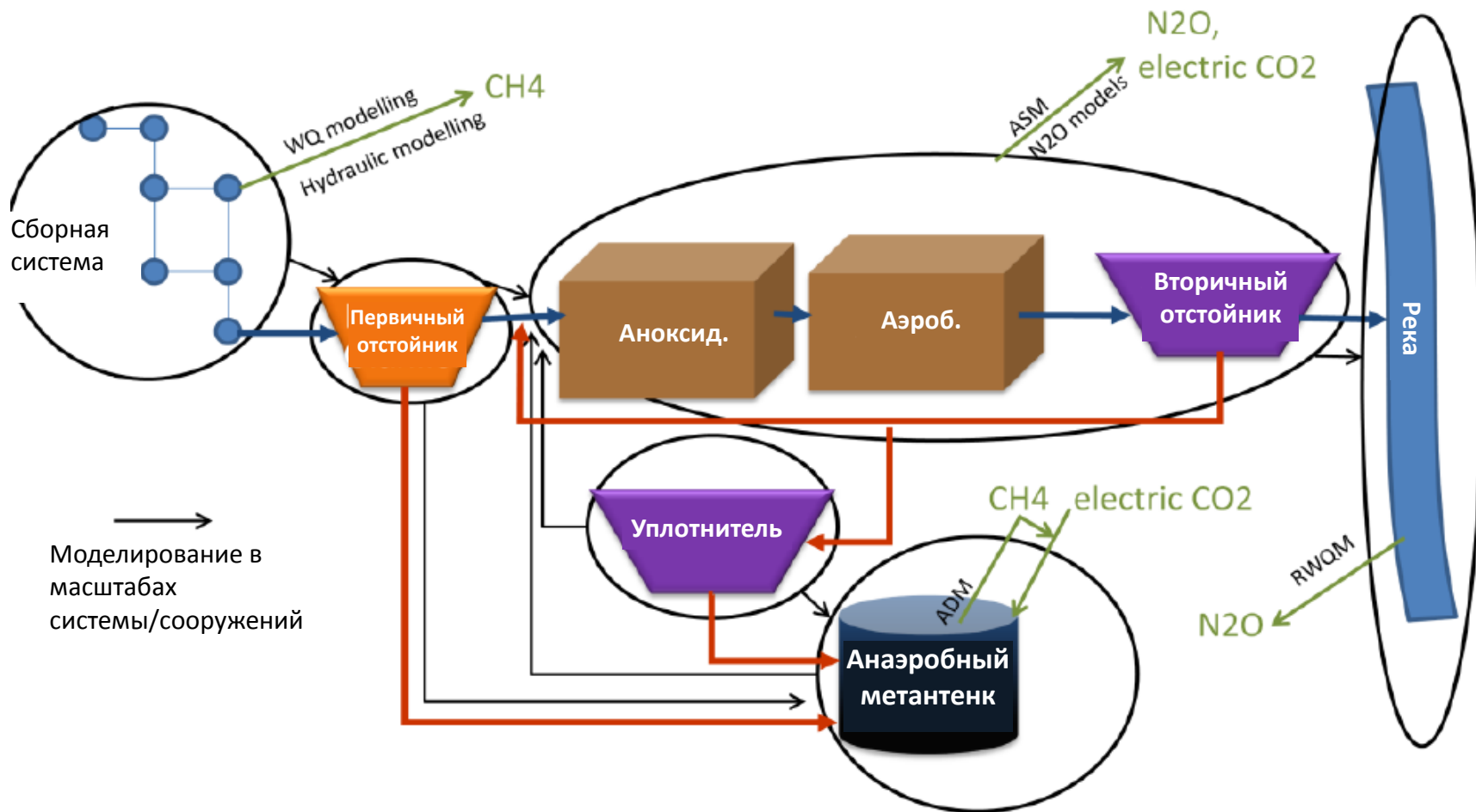
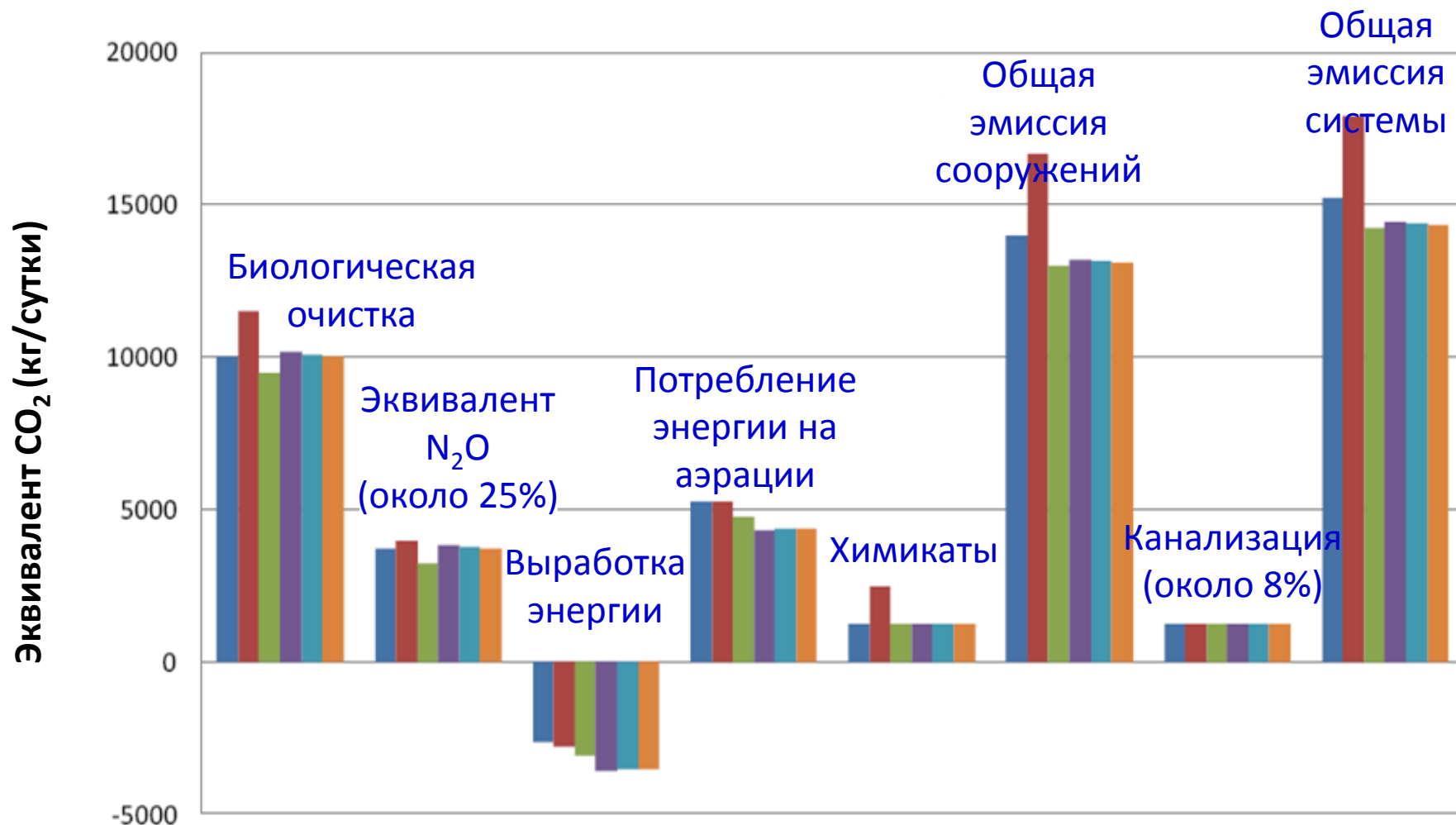


Схема моделирования ПГ в масштабах системы/сооружений



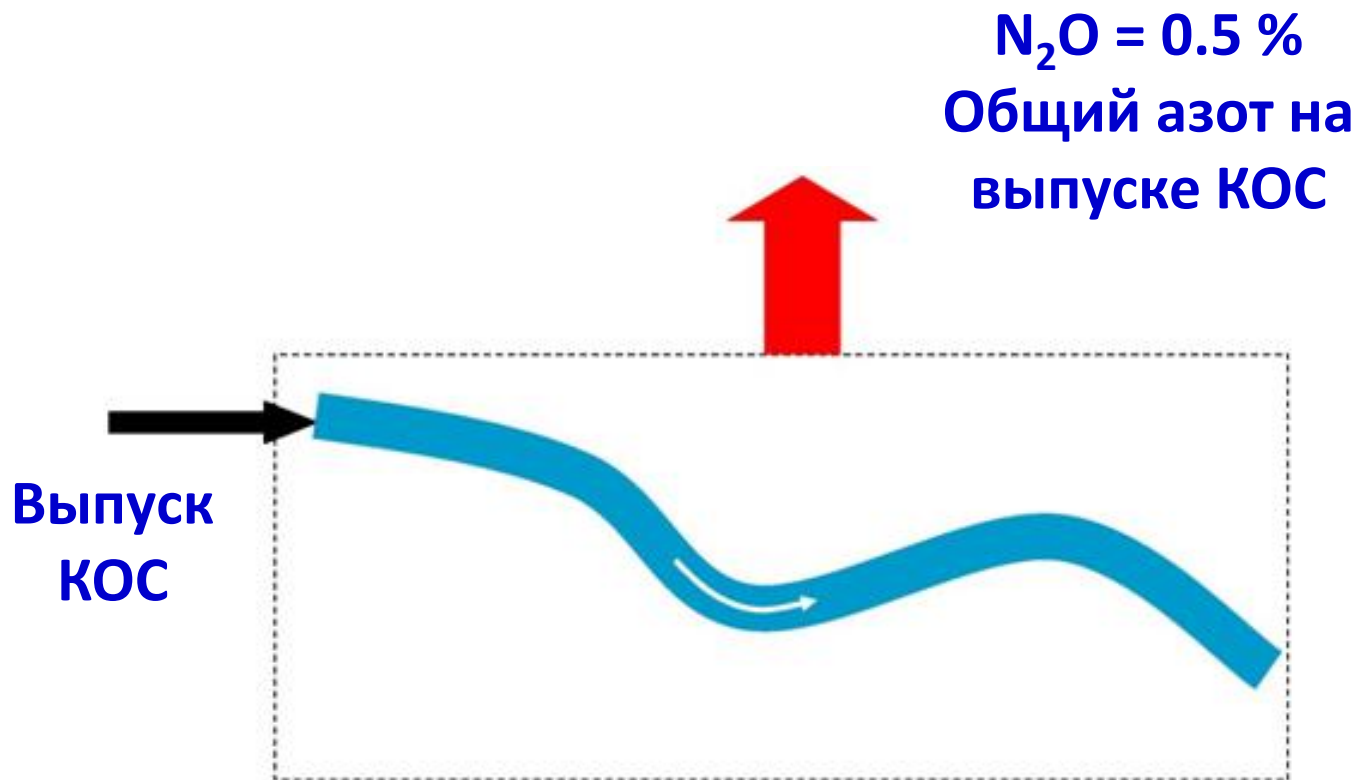
Среднесуточная эмиссия ПГ по рассмотренным сценариям



КОС = модифиц. Ludzack-Ettinger (MLE); ср. расход = 20 648 м³/сут;
Органич. нагрузка = 12 240 кг ХПК/сут; нагрузка по азоту = 1 140 кг/сут

Источники ПГ

Выпуск КОС



Коэффициенты эмиссии закиси азота от выпускаемых очищенных стоков (стандартные значения)

Выпуск	Стандартное значение
Сброс на ирригацию	0.008 т $\text{N}_2\text{O-N}$ / т сброшенного N или 3.90 т $\text{CO}_{2\text{экв}}$ /т сброшенного N Основано на обзоре литературы, 5 исследований эмиссии закиси азота с ирригационного размещения очищенных стоков (Foley and Lant 2007)
Сброс в пресноводные реки	0.0025 т $\text{N}_2\text{O-N}$ / т сброшенного N или 1.22 т $\text{CO}_{2\text{экв}}$ /т сброшенного N (IPCC, 2006d, Table 11.3, p. 11.24)
Сброс в пресноводные реки, которые затем переходят в устье	0.0050 т $\text{N}_2\text{O-N}$ / т сброшенного N или 2.44 т $\text{CO}_{2\text{экв}}$ /т сброшенного N (IPCC, 2006d, Table 11.3, p. 11.24)
Сброс в устья	0.0018 т $\text{N}_2\text{O-N}$ / т сброшенного N или 0.88 т $\text{CO}_{2\text{экв}}$ /т сброшенного N Основано на обзоре литературы, 4 исследования эмиссии закиси азота с континентального шельфа/ прибрежных океанских вод (Foley and Lant 2007)
Сброс в океан	0.0025 т $\text{N}_2\text{O-N}$ / т сброшенного N или 1.22 т $\text{CO}_{2\text{экв}}$ /т сброшенного N (IPCC, 2006d, Table 11.3, p. 11.24)

Модель «BEAM» для биологических твердых веществ

- «BEAM» - Модель Оценки Эмиссии Биологических твердых веществ
- Разработана для канадского Совета Министров по вопросам окружающей среды (CCME)
- Передовые уравнения для оценки эмиссии ПГ различными процессами обработки биологических твердых веществ
- Бесплатная модель для «Excel»:
- http://www.ccme.ca/ourwork/waste.html?category_id=137

Рассмотрение результатов по углероду

BEAM

- Инструмент для оценки эмиссии от биологических твердых веществ в процессе их обработки
- Оценивает энергоэффективность, эмиссию ПГ и связывание углерода
- Дает ключевые указания по оценке на основе следа эмиссии ПГ
- BEAM развивается для обозначения различий между альтернативами сельского хозяйства, лесного хозяйства и рекультивации
- Надо вернуться к науке для оценки потенциального влияния эмиссии ПГ от того или иного использования биологических твердых веществ

BEAM: рабочая таблица 1 – Ввод данных

Данные по процессу очистки и эквивалентам по CO₂

Юрисдикция:	Ville d'Eauville
Очистные сооружения:	Eauville Centrale
Дата выполнения расчета:	3/17/2010
Расчет выполнил:	Ned Becher

Характеристики очистки сточных вод и твердых веществ

Характеристики очистки и твердых веществ	Данные
Объем очищенных стоков (млн л/сут)	75.00
Объем очищенных стоков (м3/сут)	75,000
Население, обслуживаемое КОС	200,000
БПК5 на входе(мг/л)	200
Провинция	ON
Взвеш. эмиссия ПГ от генерации э/энергии в провинции (г/кВтч)	181

Key	
Input	0
Default from reference values	0
Data used to calculate default (FYI only)	0
Process output	0

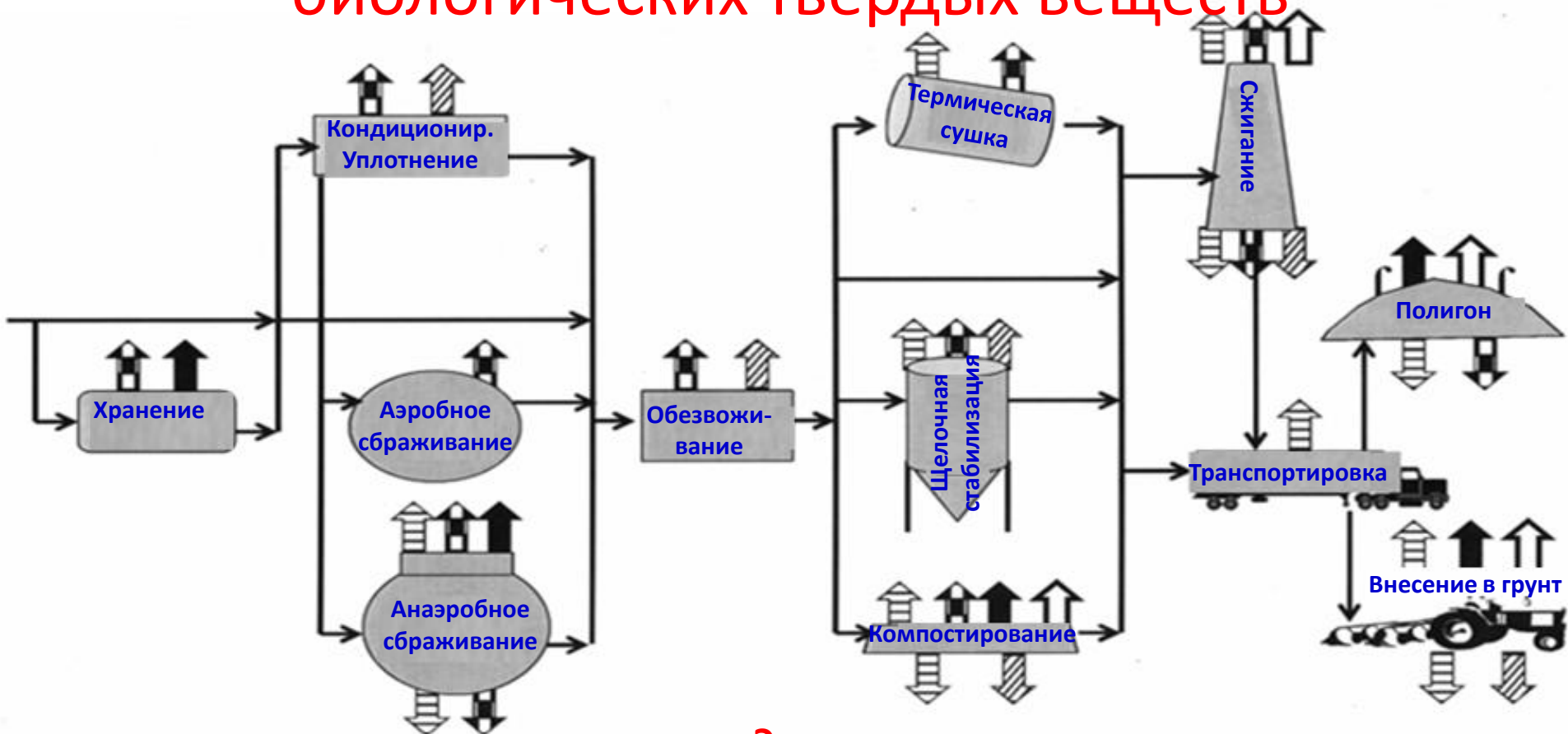
Default from reference values
Data used to calculate default (FYI only)
Process output

Взвеш. эмиссия ПГ от генерации э/энергии в провинции (г/кВтч)

Общий эквивалент CO₂ (Мг/год)

Процесс	Поставьте X для всех вовлеч. процессов	Область 1	Область 2	Области 1 и 2	Область 3	Сжигание биомассы *	Итого
Хранение		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Кондиционирование/уплотнение	x	0	5	5	660	-	665
Аэробное сбраживание		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Анаэробное сбраживание		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Обезвоживание	x	0	12	12	660	-	672
Термическая сушка		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Щелочная стабилизация		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Компостирование		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Размещение на полигонах		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Сжигание	x	6,130	199	6,329	0	8,454	6,329
Внесение в грунт		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Транспортировка		NA	NA	NA	NA	NA	NA
Итого		6,130	216	6,346	1,321	8,454	7,666

Схема выделения ПГ из процессов обработки биологических твердых веществ



Эмиссия - дебет

- CO_2 – Область 1 – сжигание нефти и газа
- CO_2 – Область 2 – приобретение э/энергии
- CO_2 – Область 3 – исп-ние полимера и известн
- CH_4 – Выделение метана
- N_2O – Выделение закиси азота

Эмиссия - кредит

- CO_2 – Область 1 – нет сжигания нефти и газа, связывание углерода
- CO_2 – Область 2 - приобретение э/энергии не требуется
- CO_2 – Область 3 – не требуется применение удобрений, не используется энергия при производстве цемента (заменитель угля)

Первичные процессы в обработке осадка и биологических твердых веществ

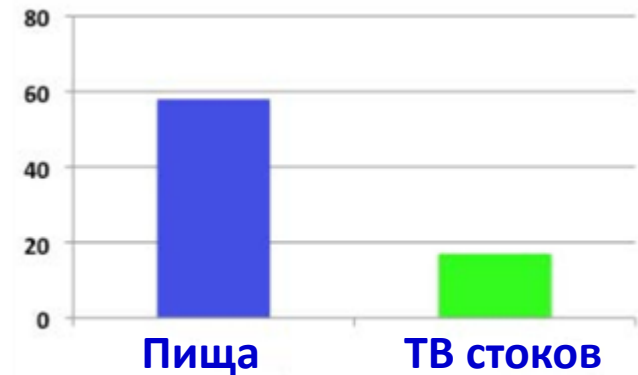
- Хранение = дебет:(эмиссия CH_4 /электроэнергия)
- Кондиционирование/уплотнение = дебет:(эмиссия CO_2 /химикаты и электроэнергия)
- Аэробное сбраживание = дебет:(электроэнергия)
- Анаэробное сбраживание = дебет:(эмиссия CH_4 и CO_2 / сжигание топлива и электроэнергия)/
Кредит:(выработка тепловой и э/энергии)
- Размещение на полигоне = дебет:(эмиссия CH_4 и N_2O) /Кредит:(связывание газов и углерода на полигоне)
- Обезвоживание = дебет:(полимер и электроэнергия)
- Термическая сушка = дебет:(сжигание газа и нефти и электроэнергия)
- Щелочная стабилизация = дебет:(химикаты , электроэнергия и топливо)
- Сжигание осадка = дебет:(эмиссия CO_2 и N_2O , сжигание газа и нефти и электроэнергия)/Кредит:(предотвращение CO_2 , использования топлива и э/энергии, а также получение топлива для цементных заводов и удобрения для грунта)
- Внесение в грунт = дебет:(эмиссия CO_2 , CH_4 и N_2O)/Кредит: (предотвращение использования искусственных удобрений, связывание углерода)

Анаэробное сбраживание – КРЕДИТ от рекуперации энергии

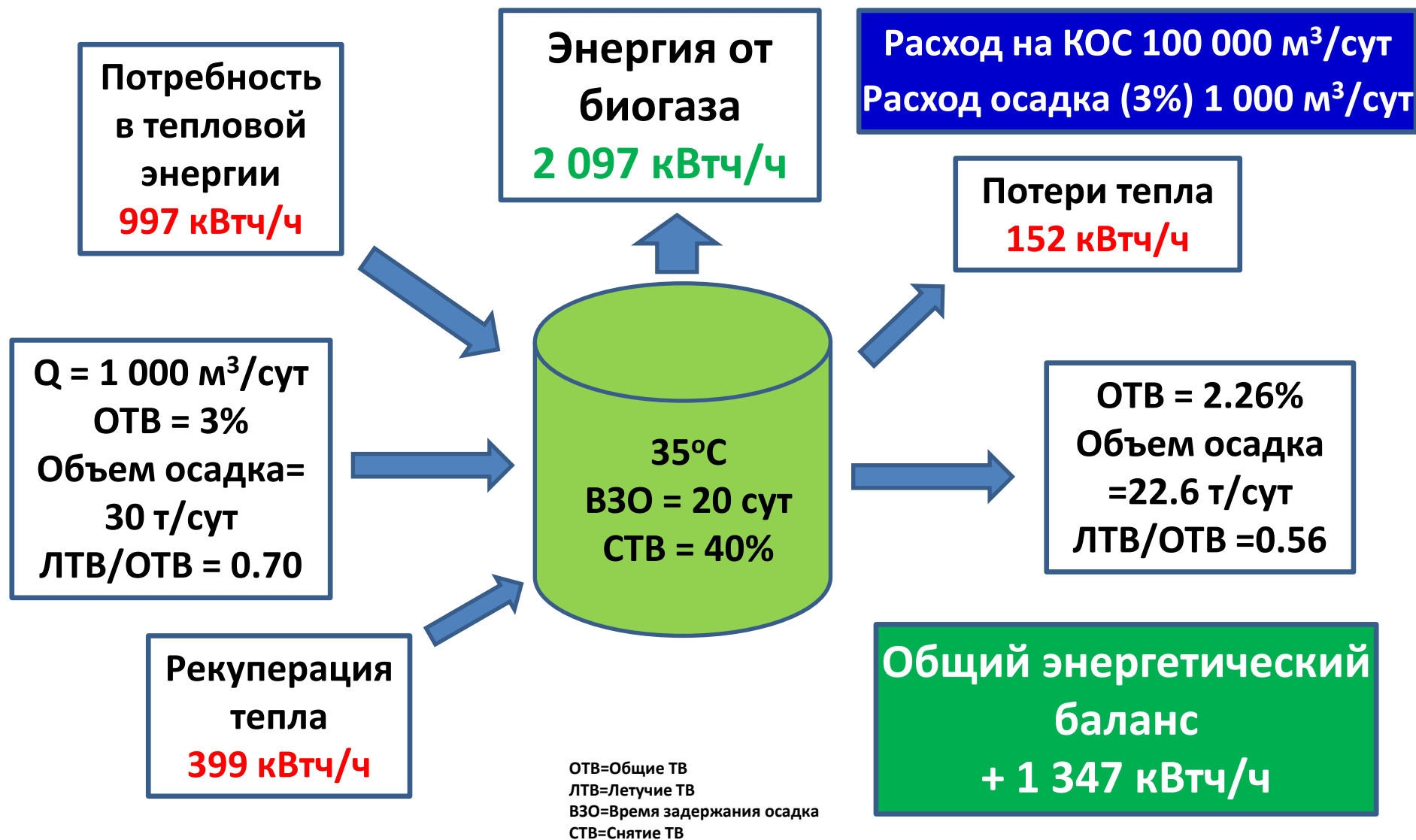
- 
- Простая конверсия органики, содержащейся в осадке, в метан с его дальнейшим сжиганием снизит объем биологических твердых веществ, требующих обработки
- Рекуперация энергии для обеспечения технологического процесса КОС теплом и электроэнергией может сократить эмиссию парниковых газов, связанную с ископаемым ТОПЛИВОМ

Анаэробное сбраживание – может быть важным источником для кредита

- Общая выработка газа варьируется от 0.75 до 1.12 м³/кг использованных летучих ТВ
- Выработка газа составляет от 15 до 22 м³/1000 чел./сут. на этапе первичной очистки и до 28 м³/1000 чел./сут. на этапе вторичной очистки
- Один (1) кг удаленного биоразлагаемого ХПК конвертируется в 0.225 кг CH₄
- Соотношение ХПК/БПК₅ = 2.2-2.4 (типичное)
- Соотношение бХПК/БПК₅ = 1.7
- Один кг удаленного БПК₅ конвертируется в 0.3825 кг CH₄
- CH₄ в биогазе 60-65%
- Плотность CH₄ = 662 г CH₄/м³ CH₄
- Биологические ТВ (сухой Мг) = 3 877 – 5 815 кВтч
- Совместное сбраживание значительно это увеличит
- Выработка биогаза 4.62 м³/м³ обработанного осадка
- Эффективность разрушения CH₄ сжиганием на факеле или в двигателе 99%
- Использование энергии, отопление, насосы и мешалки

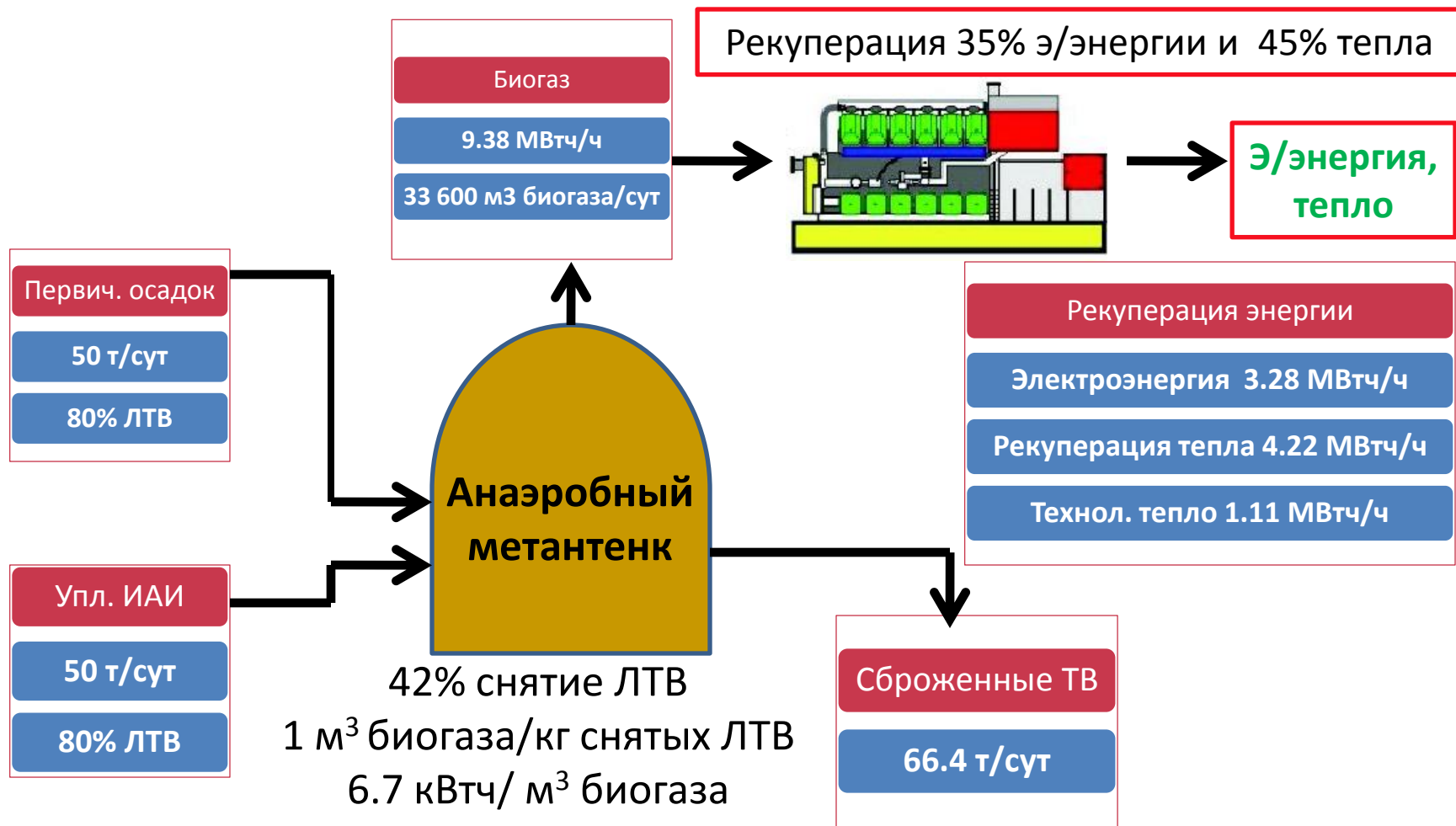


Энергетический баланс мезофильного метантенка (МАС)



Электроэнергия и тепло из биогаза

Самые массовые сооружения с 100 сух. тонн в сутки

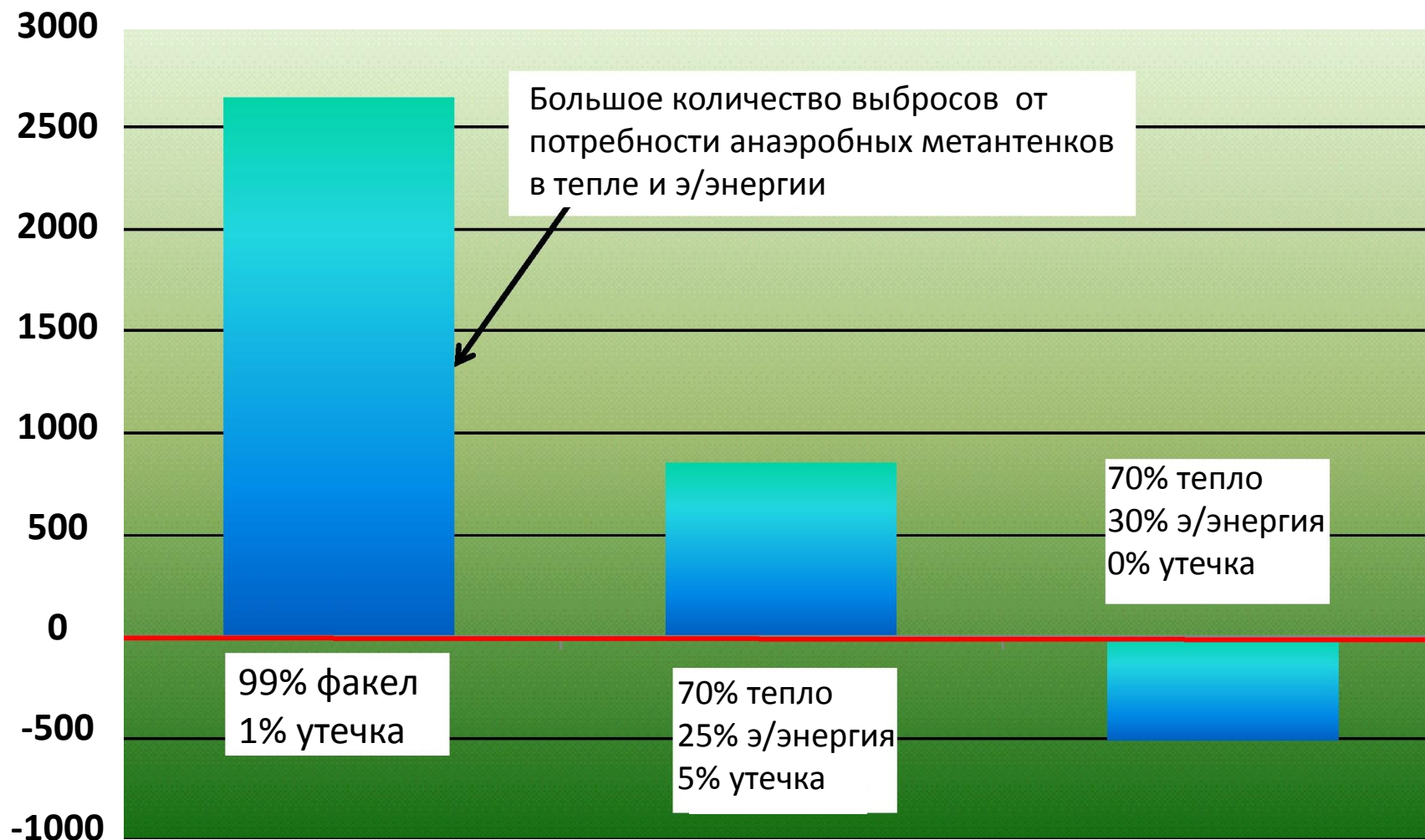


Гипотетический расчет ПГ КОС с использованием калькулятора ССМЕ

- Сооружения очищают 150 000 м³ сточных вод в сутки
- Население 215 000 человек
- 9000 сухих Мг несброженного осадка/год
(36 000 Мг при 25% ТВ и 300 000 Мг при 3% ТВ или 820 м³/сутки)

Анаэробное сбраживание

Источник, дающий в кредит по углероду, если утечки CH_4 находятся под контролем



Анаэробное сбраживание

- Утечки из метантенков могут быстро увеличить общий объем эмиссии ПГ вследствие высокой эквивалентности метана CO_2
- Утечки биогаза из метантенка (непредусмотренная эмиссия) составляет около 1% от выработки биогаза
- Около 10% э/энергии, полученной в ходе процесса сбраживания, используется на перемешивание и перекачку
- Около 45% тепловой энергии, полученной в ходе процесса сбраживания, используется на нагрев метантенков
- Растворенный CH_4 в сброженном осадке 11-12 мг CH_4 /л осадка
- Растворенный CH_4 в сыром осадке 5-30 мг CH_4 /л осадка

Факторы выброса при анаэробном сбраживании осадка

Параметр	Значение	Единица	Источник
Утечки метантенка/биогаза	1%	проценты от выработанного биогаза	Bridle, 2007
CH ₄ от сжигания биогаза	16.02	г CH ₄ /н. м ³ биогаза	Doka, 2003
N ₂ O от сжигания биогаза	0.73	г N ₂ O/н. м ³ биогаза	Doka, 2003
Неокислившийся при горении CH ₄	0.0034	кг CH ₄ /кг сожженного CH ₄	Doka, 2003 Smith et al. 2000
Растворенный CH ₄ в сброженном осадке	20	CH ₄ мг/л	Henry's law
Потребность метантенка в энергии (нагрев, перемешивание и перекачка)	4.62	н. м ³ природного газа/м ³ обработанного осадка	Metcal f& Eddy 2003
Эффективность уничтожения CH ₄ сжиганием на факеле или в двигателе	99%	кг CH ₄ /кг CH ₄	
Эффективность когенерации	Электроэнергия 35% и тепловая энергия 45%		

Базовое уравнение:

$$\text{Эмиссия CO}_{2\text{экв}} = AD \times EF \times GWP$$

AD = данные о деятельности; в каком объеме осуществляется деятельность

EF = коэффициент выброса; т CO_{2экв} на единицу деятельности

GWP = потенциал глобального потепления выброшенного газа

Пример:

Анаэробный метантенк с неплотной крышкой дает утечку 10 кг метана в сутки:

$$\begin{aligned} \text{Эмиссия (CO}_{2\text{экв}}) &= 10 \text{ кг/сут CH}_4 \times 23 = 230 \text{ кг CO}_{2\text{экв}}/\text{сут} = \\ &83.95 \text{ Мг CO}_{2\text{экв}}/\text{год (общепринятый формат отчетности)} \end{aligned}$$

Не обсуждалось сначала

Центрифуга обезвоживания

- Центрифуга
- Большой % ТВ
- Больше энергопотребление
- 0.04 – 0.2 кВтч/м³ сырого или 101.4 кВтч/Мг сухого обработанного осадка
- Больше эмиссия от энергопотребления



- Ленточный фильтр-пресс
- Меньший % ТВ
- Меньшее энергопотребление
- 0.004 – 0.01 кВтч/м³ сырого или 4.9 кВтч/Мг сухого обработанного осадка
- Меньше эмиссия от энергопотребления



Обработка осадка/биологических твердых веществ –дебет от полимера

- Выбросы системы поставок (выбросы во время производства полимеров, приобретаемых и используемых КОС)
- Более 20 т эквивалента по CO_2 выбрасывается при производстве тонны полимера

Полимер

- 23 Мг CO_2 на Мг полимера
- Средний расход 5 кг на сухой Мг биологических твердых веществ
- 50 кг CO_2 на сухой Мг биологических твердых веществ для содействия обезвоживанию



Сводная таблица BEAM для оценки эмиссии ПГ, связанной с обезвоживанием осадка

Обезвоживание

Процессы и параметры	Параметры и суточная эмиссия	Стандартные параметры (доп.)
Обезвоживание		
Объем осадка, подлежащего обезвоживанию (м3/сут)	625	
Содержание ТВ в осадке (%)	4.0%	4.0%
Количество (Мг/сут – сухих)	25.0	
Тип обезвоживающего оборудования	иное	иное
Использование полимера (кг/сут)	125	125
Эквивалент CO2 использованного полимера (Мг/сут)	2.9	
Использование электроэнергии		
Использование электроэнергии (кВтч/сут)	283	283
Эмиссия CO2 от использованной электроэнергии (Мг/сут)	0.051	

Эквивалент CO2 (Мг/год)	1,064
Область 1	0
Область 2	19
Области 1 и 2	19
Область 3	1,045
Сжигание биомассы	-

Instructions and Notes

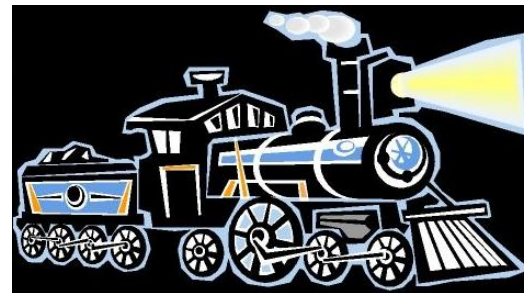
General: Enter combined data for all like dewatering units. If a passive drying system with no polymers is used (e.g. drying beds), either estimate the energy use (in kWh equivalents/day) or assume zero emissions.

Выбросы от транспорта

- Откуда поступают ваши химикаты?
- Каким образом их транспортируют на сооружения?



—» ВЫБРОСЫ ОТ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА



—» ЗНАЧИТЕЛЬНО МЕНЬШИЕ ВЫБРОСЫ ОТ
ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Выбросы от транспорта

Выбросы от дизтоплива_{Грузовик} = 0.180 кг CO₂экв/т • км

Выбросы от дизтоплива_{Поезд} = 0.0188 кг CO₂экв/т • км

Эквив. дистанция_{Поезд} = (выбросы от дизтоплива)_{Грузовик} • (дистанция) / (выбросы от дизтоплива)_{Поезд}

Сжигание дизтоплива дает CO₂, N₂O, CH₄



Эмиссия ПГ от дизельного топлива

- Груз перемещается:
- На 180 тонно-км на литр дизтоплива по рельсам ¹
- Лишь на 45 тонно-км на литр дизтоплива грузовиком¹
- Дизельное топливо дает 2.66 кг CO₂ на литр сожженного топлива²

¹ Грузовые ж/д перевозки и эмиссия парниковых газов, Ассоциация американских железных дорог, июль 2007

² ЕРА 420-F-05-001, февраль 2005

Вариант 1 – Эмиссии от перевозок

Выяснить, где химикаты производятся и как их доставляют на сооружения

Химикат	Место производства	Перевозится X км поездом	Куда	Затем перевозится X км грузовиком
Хлор-газ	Место X	845	Место Y	210
Аммиак	Место Z	485	Место W	373
Хлорит натрия	Место Q	-	-	1300

Оценка процесса обеззараживания

Пример

Три варианта:

Вариант 1 – Добавление реагента

- Хлор-газ (Cl_2)
- Аммиак (NH_3)
- Хлорит натрия (NaClO_2)

Вариант 2 – Озон

Энергопотребление 257.86 кВт

Вариант 3 – Ультрафиолет (УФО)

Энергопотребление 107. 2 кВт

Основа сравнительных оценок

- Расход 151000 м³/сут (40 млн гал./сут.)
- Технологический процесс – химическое обеззараживание
- Годовое химическое обеззараживание
- Годовое потребление реагента
 - Хлор-газ= 113500 кг => 2.0 мг/л
 - Аммиак = 9080 кг => 0.16 мг/л
 - Хлорид натрия= 227000 кг => 4.1 мг/л
- Каждое устройство подачи реагента 1.49 кВт (2 л.с.)

Выводы по вариантам 1-3

Вариант	Эксплуатационная эмиссия (CO _{2э} кг /1 000 м ³)	Транспортная эмиссия (CO _{2э} кг /1 000 м ³)	Общая эмиссия (CO _{2э} кг /1 000 м ³)
1 – Существующее использование реагента	0.66	0.41	1.08
3 – УФО	12.26	0.06	12.32
2 - Озон	29.02	0.39	29.41

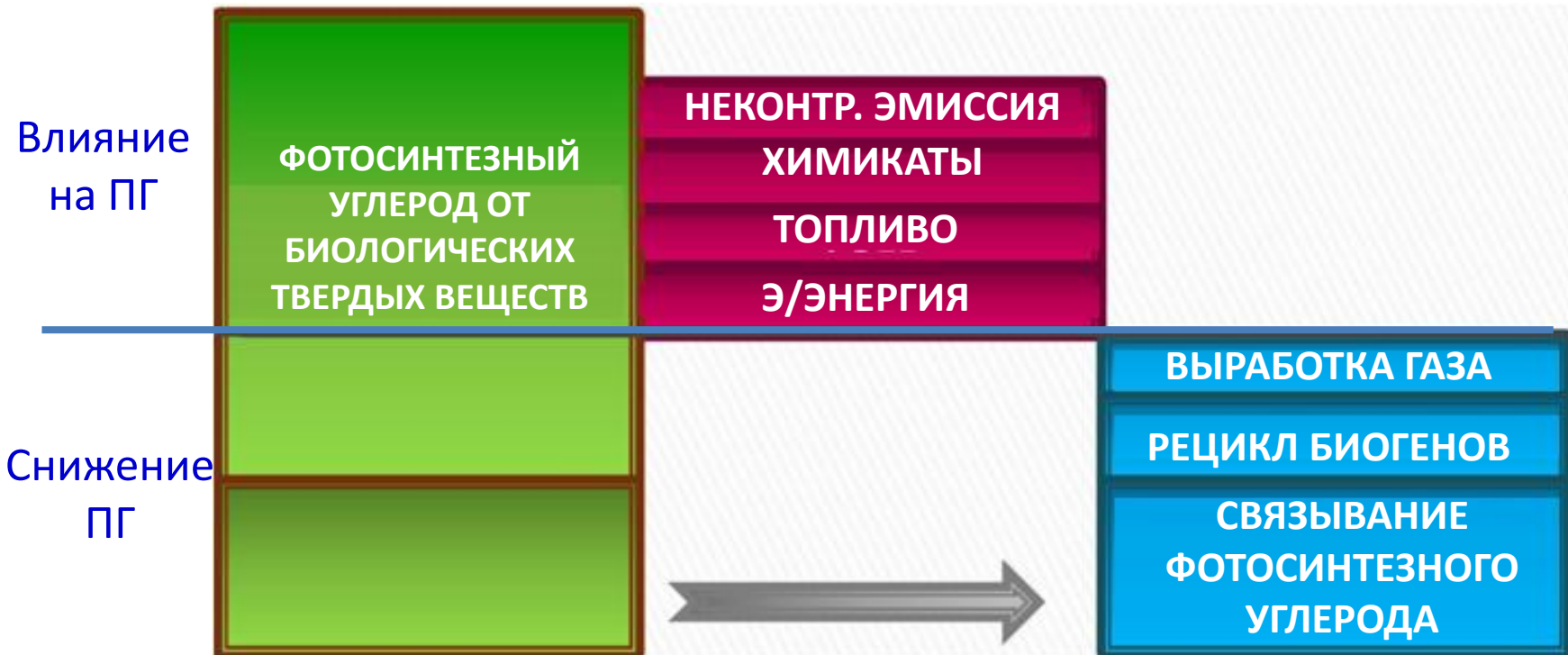
**УРОК – ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ
ДАЕТ ОГРОМНУЮ
ЭМИССИЮ!!!**

Биологические твердые вещества

Могут влиять на углеродный цикл:

- Производством или потреблением энергии
- Замещением продуктов, требующих энергии для своего производства
- Замещением продуктов, выбрасывающих ПГ
- Выбросом других газов помимо CO_2
- Связыванием углерода

Биологические твердые вещества и изменение климата: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ



Требуются стандартные протоколы, специально для биологических ТВ, для количественной оценки углеродного следа
Средства поощрения по возобновляемой энергии

Баланс воздействия от обработки биологических твердых веществ на ПГ включает в себя следующие массово-энергетические потоки

- Весь углерод, содержащийся в биологических ТВ, имеет растительное происхождение и является, таким образом, фотосинтезным или «новым» углеродом. Весь этот углерод становится углекислым газом и формирует замкнутый цикл. Само по себе высвобождение углерода из биологических ТВ в виде углекислого газа не увеличивает концентрацию углекислого газа в атмосфере.
- Обработка, перевозка и конечное использование биологических ТВ требуют таких ресурсов, как энергия и химикаты, которые имеют влияние на ПГ
- Обработка биологических ТВ может привести к неконтролируемым выбросам, влияющим на ПГ
- Биологические ТВ являются ценным источником питательных веществ для растений. Эффективное многократное использование биологических ТВ может снизить потребление ископаемых видов топлива, необходимых для производства удобрений. Метан от анаэробного сбраживания и складирование на полигонах могут снизить потребление ископаемых видов топлива.
- При внесении углерода, содержащегося в биологических ТВ, в почву или складировании на полигоне, он частично связывается или выводится из циркуляции в атмосфере. Несмотря на то, что этот углерод является «новым», его связывание может снизить выбросы углекислого газа от ископаемых источников.

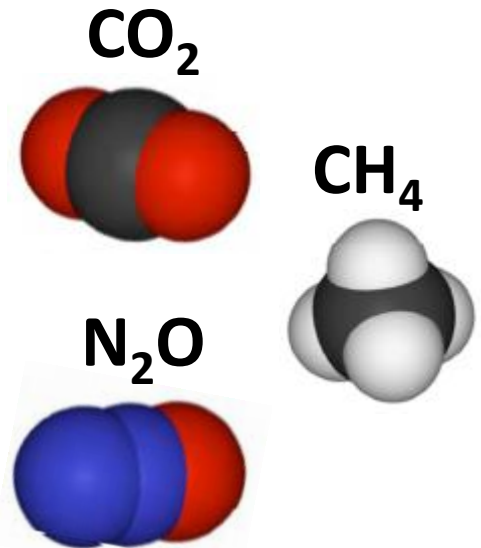
Учет ПГ в эмиссиях биологических твердых веществ

Обработка биологических ТВ на КОС
может производить ПГ

- Углекислый газ (CO_2)
- Метан (CH_4)
- Закись азота (N_2O)

Обработка биологических ТВ также
может связывать или захватывать ПГ

- Сбраживание биологических твердых веществ может производить и удерживать ПГ для выработки энергии
- Биологические твердые вещества, правильно внесенные в грунт, могут связывать углерод
- Компостированные биологические твердые вещества на полигоне могут захватывать CH_4



Биологические твердые вещества и изменение климата

- Внесение биологических ТВ в грунт
- Связывает углерод в грунте
- Не требуется применение (а также трата энергии на производство) промышленных удобрений
- Предотвращается выделение N_2O из химических удобрений



Использование в сельском хозяйстве

- Преимущества
 - Снижение количества требуемых удобрений
 - Углерод хранится в грунте
- Недостатки
 - Транспорт
 - $N_2O = ?$



Оценка возможности: сельское хозяйство

Критерии ПГ

- Сельскохозяйственная деятельность обычно рассматривается как источник ПГ вследствие вспахивания и потери углерода почвы из-за ее обработки
- Некоторые органические вещества сберегаются при использовании биологических ТВ, особенно в ходе включения
- Беспашотный подход значительно снижает эмиссию ПГ по сравнению с традиционным вспашным методом и может обеспечить связывающую среду

Внесение в грунт

Дебет:

- CO_2 в Область 1 – сжигание газа и нефти
- Эмиссия CH_4
- Эмиссия N_2O

Кредит:

- CO_2 в Область 1 – нет сжигания газа и нефти, связывание
- CO_2 в Область 3 – не применяются удобрения, отказ от производства цемента

Внесение биологических ТВ в грунт

Дебет

Образование
закиси азота

Образование
метана

Образование
закиси азота

Складирование перед
внесением в грунт

Внесение влажных биол.
ТВ в тонкозернистые
почвы



Внесение биологических ТВ в грунт - Кредит



- Производство удобрений требует много ископаемого топлива
- 1.83 л мазута используется для производства и упаковки каждого кг азотных удобрений
- 4 кг эквивалента по CO_2 сберегается на каждый кг азота, снятого путем внесения биологических ТВ в грунт
- На кг фосфора сберегается 2 кг эквивалента по CO_2



Биологические твердые вещества как ресурс, снижающий влияние ПГ

Азот: 2.28 - 2.98 ед./т азота

(стандарт для модели = 2.77)

Фосфор: 4.25 ед./т фосфора

Внесение биологических твердых веществ в грунт - кредит

- Связывание углерода путем возврата органики обратно в грунт
- Наиболее драматично в варианте рекультивации, но происходит также и на с/х угодьях
- Доктор Браун считает, что каждая сухая тонна внесенных биологических ТВ связывает 0.25 т CO₂

Связывание углерода

Углерод связывается либо путем внесения в грунт, либо размещения на полигоне.

Несмотря на то, что углерод биологических твердых веществ является «новым» углеродом, связывание может отодвинуть любой другой источник углерода.

Объем органического углерода в почве может изменяться в широком диапазоне, на него очень сильно влияет метод обработки и управления почвами. Большинство сельскохозяйственных почв и почв с нарушенной структурой испытывают дефицит углерода и могут обеспечить значительное поглощение углерода.

Связывание на 100 лет считается постоянным.

Стандартные значения в модели основаны на оценках, представленных в отчете: Варианты обработки отходов и изменения климата, отчет для Европейской Комиссии (Smith, et al.2001). Эта оценка относится скорее к подверженной гниению части твердых отходов, чем к биологическим твердым веществам.

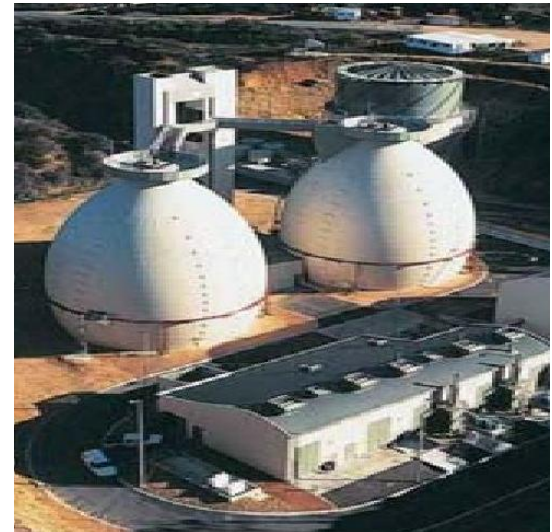
Биологические твердые вещества на 62% состоят из углерода.

Процент связанного углерода после 100 лет - 5%.

Чистое связывание = 28 кг углерода на сухую тонну биологических твердых веществ.

Канадский опыт – основной кредит по ПГ

- Углерод связывается путем внесения в грунт
- Снижает использование химических удобрений – путем внесения в грунт биологических твердых веществ, компоста или гранулированного удобрения
- Использование биогаза от анаэробного сбраживания для получения электроэнергии снижает эмиссию от использования электроэнергии



Эквивалент ПГ от неконтролируемой ЭМИССИИ

Процесс	Газ	Единица биологических ТВ	Эквивалент ПГ (т выброшенного CO ₂ на единицу биологических ТВ)
Уплотнение и аэробное сбраживание	CH ₄	Сухая тонна	0.03
Анаэробное сбраживание	CH ₄	Тонна снятых ЛТВ	0.10
Полигон	CH ₄	Сухая тонна, несброженный	0.14
Компостирование	N ₂ O	Сухая тонна биологических ТВ	0.11

Факторы влияния эмиссии или стандартные факторы размещения биологических твердых веществ в грунте

Параметр	Принятая величина	Единицы	Ссылки
Факторы выброса N_2O	0.0159	кг N_2O -N/кг N от размещения биол. ТВ	Разл. ^A
Факторы выброса метана (неконтр.)	0.0041	кг CH_4 /кг размещенных сухих биол. ТВ	Разл. ^B

^A См. Foley and Lant (2007, 2008): одиннадцать ссылок на выделение N_2O в с/х, в диапазоне от 0.006 до 0.035 кг N_2O -N/кг внесенного N.

^B См. Foley and Lant (2007, 2008): три ссылки на выделение CH_4 в с/х, диапазон пренебрежимо мал, 0.0096 кг CH_4 /кг внесенных сухих веществ.

Факторы снижения эмиссии или стандартные факторы размещения биологических твердых веществ в грунте

Параметр	Принятая величина	Единицы	Источник
Связывание углерода в сельском хозяйстве	0.25	т CO ₂ /размещенных сухих биол. ТВ	CCME 2009
Неприменение N- удобрений	0.004	т CO ₂ /кг N	CCME 2006
Неприменение P- удобрений	0.002	т CO ₂ /кг NP	CCME 2006

Факторы неопределенности

- CH_4 должен быть минимален в аэробной почвенной среде
- N_2O , обрабатываемый в настоящее время, должен быть эквивалентен эмиссии от удобрений
- Увеличение N_2O может вызвать значительное увеличение по дебету

Выводы

- Биологические твердые вещества могут быть значительным источником в кредит ПГ
- Транспорт имеет минимальное значение
- Важна количественная оценка связывания С
- Понимание и минимизация неконтролируемой эмиссии газов являются критическими

Основы учета эмиссии ПГ

Учет ПГ по ВЕАМ

- Представляется в $\text{MgCO}_{2\text{экв}}$
 - $1 \text{ Mg CH}_4 = 25 \text{ Mg CO}_{2\text{экв}}$
 - $1 \text{ Mg N}_2\text{O} = 296 \text{ Mg CO}_{2\text{экв}}$
- Дебет — высвобождение антропогенных ПГ (снятие)
- Кредит — снижение активности (напр., связывание углерода - отложения)

Чистая эмиссия ПГ = Дебет - Кредит



Пример расчета

- Погрузчик использует 20 л топлива для перемещения 100 т биологических твердых веществ
- Данные о деятельности (сжигание дизтоплива погрузчиком) = 20 л/100 т
- Коэффициент выброса (КВ) = $2.67 \text{ CO}_{2\text{экв}}/\text{л}$ использованного топлива
- Выброс = $0.534 \text{ кг CO}_{2\text{экв}}/\text{т}$ перемещенных биологических твердых веществ



Потенциальная эмиссия ПГ от КОС и обработки биологических твердых веществ

- Дебет
 - CO_2 от ископаемого топлива и использования э/энергии
 - Прямые и Непрямые (приобретенные химикаты, например, полимеры, сернокислородное железо)
 - CH_4 от анаэробных сточных вод или биологических ТВ
 - N_2O от около-анаэробных материалов и сжигания
- Кредит (всё – от способа обработки биологических ТВ):
 - Энергия от биологических ТВ
 - Сокращение использования удобрений, торфа и извести
 - Связывание С

Помните... все CH_4 или N_2O имеют особую важность

Что мы знаем

- Гипотезы относительно углеродного следа от очистки сточных вод сильно различаются
- В настоящее время нет единомыслия по выбросам N_2O (заиси азота) и CH_4 (метана)
- Расширение возможностей по сохранению окружающей среды и возобновляемой энергии – включая сточные воды как возобновляемый ресурс
- Исследования все больше концентрируются на указанных выше вопросах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Учет углерода от обработки биологических твердых веществ является формирующейся, динамичной и быстро изменяющейся областью: понимать общие принципы и не заикливаться на текущих значениях
- Конверсия компонентов органических веществ в метан и закись азота зачастую дает самый большой потенциальный дебет по системе обработки осадка/биологических твердых веществ
- Эмиссия парниковых газов лишь один из нескольких факторов, которые следует рассматривать при оценке программы обработки осадка/биологических твердых веществ
 - В целом, интуитивно-доступные экологически рациональные практики работы с биологическими твердыми веществами (рекуперация энергии и повторное использование питательных веществ и органики) снижают эмиссию ПГ. Тем не менее, если ваши расчеты говорят, что наилучшим вариантом будет размещение на полигоне, вам следует рассмотреть и другие факторы прежде, чем отправляться на свалку