

УДК 504.002+551.583

Л.В. Дмитренко, М.В. Березницкая, С.Л. Барандич

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕКТОРЕ “ОТХОДЫ” ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНОГО КАДАСТРА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

Рассмотрены методические вопросы расчетов выбросов парниковых газов в секторе “Отходы”. Приведены показатели выбросов парниковых газов от свалок твердых бытовых отходов, от систем очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, от сжигания отходов, а также распределение выбросов парниковых газов в целом по сектору по результатам инвентаризации парниковых газов 1990-2004 гг.

В 1992 г. Украиной подписана Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН), которая ратифицирована в 1996 г. Как сторона РКИК ООН, Украина несет обязательство относительно разработки, периодического обновления, публикации и представления национальных кадастров антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями всех парниковых газов [1, 2].

В рамках выполнения обязательств, вытекающих из ратификации Рамочной конвенции ООН об изменении климата и Киотского протокола к ней, в 2005 г. Украиной представлены в секретариат РКИК ООН результаты национальной инвентаризации выбросов парниковых газов (ПГ) и их поглощения за период 1990-2003 гг., а в 2006 г. проведена инвентаризация ПГ за период 1990-2004 гг. Кадастр о выбросах и поглощении ПГ подготовлен по заказу Министерства охраны окружающей природной среды Украины коллективом сотрудников Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института при методической и информационной помощи Европейской Комиссии “Техническая поддержка процесса выполнения Украиной и Беларусью обязательств в области сдерживания глобальных изменений климата”.

Кадастр о выбросах и поглощении парниковых газов в Украине за период 1990-2003 гг. был представлен в Секретариат РКИК ООН и прошел проверку группой Международных экспертов во главе с полномочным

представителем Секретариата РКИК ООН. Группа экспертов положительно оценила результаты инвентаризации парниковых газов и соответствующий отчет представлен на сайте РКИК ООН.

Наличие официально признанных Секретариатом РКИК ООН результатов инвентаризации дает возможность определить для страны установленное количество выбросов ПГ и позволяет ей участвовать в гибких экономических механизмах, предусмотренных Киотским протоколом. К разряду последних относятся торговля квотами и совместное осуществление проектов ООН.

Инвентаризации ПГ 1990-2003 гг. и 1990-2004 гг. осуществлены с созданием информационной базы о наиболее крупных источниках парниковых газов. Расчеты проводились в соответствии с основными методическими документами Международной группы экспертов по изменению климата [1, 2].

В инвентаризациях ПГ 1990-2003 гг. и 1990-2004 гг. для сектора “Отходы” рассмотрены следующие источники выбросов парниковых газов: твердые бытовые отходы; промышленные, хозяйственно-бытовые сточные воды, сточные воды жизнедеятельности человека; сжигание отходов.

Выбросы метана ( $CH_4$ ), двуокиси углерода ( $CO_2$ ), и закиси азота ( $N_2O$ ) от отходов оценивались согласно методике [1, 2]. В инвентаризации 1990-2004 гг. по сравнению с предыдущей (1990-2003 гг.) уточнены данные о деятельности отдельных категорий выбросов ПГ, применена методика более высокого уровня (метод затухания первого порядка) по расчету выбросов, что позволило уточнить полученные ранее результаты. Инвентаризации ПГ 1990-2003 гг. и 1990-2004 гг. в секторе “Отходы” проведены с соблюдением основных принципов и требований к кадастрам ПГ, предъявляемых Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), а именно: прозрачности расчетов, документированности исходных данных, их согласованности и полноты, сопоставимости результатов расчетов различными методами.

### **Выбросы метана от свалок твердых бытовых отходов**

Выбросы метана в атмосферу происходят при анаэробном разложении органического вещества метаногенными бактериями на свалках твердых бытовых отходов (ТБО).

*Система обращения и управления бытовыми отходами в Украине.* Санитарная очистка населенных пунктов и дальнейшее обращение с отходами - это одна из основных экологических проблем в Украине. По данным Госжилкоммунхоза Украины в жилищном фонде городов и поселков городского типа ежегодно накапливается около 40 млн. м<sup>3</sup> мусора. Основным методом удаления бытовых отходов остается складирование их на полигонах и неорганизованных свалках.

*Утилизация вторичного сырья.* Предприятий по комплексной переработке вторичного сырья, несмотря на существующие современные технологии по переработке компонентов бытовых отходов, мало. В последнее время активизировалась утилизация вторичного сырья на локальном уровне, однако, в целом эта проблема далека от решения.

*Термическая обработка бытовых отходов* также развита недостаточно. В Украине в настоящее время работают два мусоросжигательных завода из четырех, функционировавших ранее. Заводы в Киеве и Днепропетровске оснащены оборудованием, не отвечающим современным нормативным требованиям, в результате чего предприятия загрязняют окружающую среду токсичными газами.

Санитарная очистка городов, поселков городского типа и удаление отходов происходит следующим образом. По информации Госкомжилкоммунхоза (2004 г.) убирают и удаляют муниципальный мусор 1053 предприятия. Количество вывезенных на свалки ТБО в 2004 г. составило 39,13 млн. м<sup>3</sup>. Основной объем отходов удаляется с помощью коммунальных мусоровозов, изношенность которых в целом по Украине составляет 72%. Складирование отходов осуществляется на 3386 свалках, из которых 177 перегружены, 467 (13,8%) не отвечают нормам экологической безопасности, 362 должны быть saniрованы, территория 280 свалок подлежит рекультивации.

Общая площадь свалок ТБО в Украине составляет 5848 га, из них 33% находятся под перегруженными свалками, не отвечающими нормам экологической безопасности. На большинстве из них допускаются нарушения режимов утилизации и захоронения отходов. Одним из самых экологически опасных последствий несоблюдения технологии обращения с отходами на свалках ТБО является отсутствие установок по утилизации метана и очищению фильтрата. Отсутствие этих мероприятий вызывает

загрязнение подземных вод и воздушного бассейна, усиливает неблагоприятное воздействие на окружающую среду.

Таким образом, обращение с твердыми бытовыми отходами не соответствует современным технологиям, на 80% свалок не осуществляются мероприятия по предотвращению вредного воздействия на окружающую природную среду, в том числе по уменьшению выбросов ПГ, что в свою очередь усиливает негативное антропогенное воздействие на климат.

С целью создания условий, обеспечивающих сбор, удаление, утилизацию, обезвреживание и захоронение бытовых отходов на уровне, отвечающем современным технологиям обращения с бытовыми отходами, а также с целью ограничения их вредного влияния на окружающую природную среду и здоровье человека, Кабинетом Министров Украины утверждена в 2004 г. «Программа обращения с твердыми бытовыми отходами».

*Методологические вопросы.* В инвентаризации 1990-2003 гг. для оценки выбросов метана от свалок твердых бытовых отходов (ТБО) использован метод первого уровня детализации “по умолчанию”. В инвентаризации ПГ 1990-2004 гг. использован метод второго уровня детализации – затухания первого порядка [1, 2], поскольку эта категория выбросов отнесена к ключевым. Метод затухания первого порядка (ЗПП) позволяет оценить годовые выбросы  $\text{CH}_4$  от отходов, помещенных на свалки в текущий и в предыдущие годы.

Для получения согласованного ряда данных о количестве ТБО, поступивших на свалки в 1948-2004 гг. (согласно [1] о необходимости использования данных о ТБО за 3 “периода полураспада” органического углерода до половины своей первоначальной массы – за 42 года), были использованы: статистические данные о количестве городского населения в Украине, предоставленные Госкомстатом; удельные нормы накопления отходов в разные периоды для благоустроенных и неблагоустроенных жилых домов [3-7]; доля вывоза ТБО на свалки.

Принимая во внимание постепенное увеличение удельных норм накопления ТБО из года в год [3] и с целью исключения их скачкообразных изменений от периода к периоду, в расчетах количества образовавшихся ТБО применены их значения, полученные путем линейного

интерполирования. Количество ТБО, поступивших на свалки в конкретном году, определялось с учетом доли отходов, вывезенных на свалки. Доля вывоза ТБО на свалки принята равной 85-90%.

*Выбор коэффициентов выбросов.* Согласно методологии МГЭИК [2] одним из показателей, определяющих величину выбросов метана от свалок, является поправочный коэффициент для метана  $MCF$ , поскольку его величина зависит от условий захоронения отходов и разложения в них органического вещества (аэробных или анаэробных) и может варьировать в пределах 0,4-1,0. В соответствии с [1, 2] свалки ТБО могут быть управляемыми или неуправляемыми. На управляемых свалках захоронение отходов должно соответствовать современной технологии обращения с отходами (последовательное складирование, продувка, прессование, обязательное покрытие, утилизация свалочного газа и очищение фильтрата). Предполагается, что на управляемых свалках разложение органических веществ происходит в анаэробных условиях, а выделяемый в процессе разложения метан утилизируется.

На основании информации Госкомжилкоммунхоза и требований, предъявляемых к управляемым свалкам [1], свалки ТБО в Украине относятся к неуправляемым.

В настоящей инвентаризации уточнены сведения о подразделении свалок по категориям, и поправочный коэффициент для метана применен с использованием национальных данных об условиях захоронения отходов на свалках в 28 городах Украины, где определено соотношение между категориями свалок.

Для свалок, эксплуатируемых в Украине в 1990-2004 гг., характерно такое разделение: глубокие ( $\geq 5$  м отходов) – 89,7%; неглубокие ( $< 5$  м отходов) – 10,3%.

В соответствии с этой классификацией в расчетах применены значения  $MCF$  0,8 и 0,4 для глубоких и неглубоких свалок соответственно. Поскольку информации о разделении свалок ТБО по категориям для исторического периода времени 1948-1989 не существует, для этих лет взято значение  $MCF$  для свалок вне категорий, равное 0,6 [1].

*Способный к разложению органический углерод (DOC).* Способный к разложению органический углерод – это органический углерод, который подвержен биохимическому разложению. Расчет этого фактора

основывается на сведениях о составе отходов, и его величина может быть вычислена по средней взвешенной содержания углерода в различных компонентах общего потока отходов (табл. 1).

Таблица 1

Морфологический состав ТБО, вывезенных на свалки в 2004 г.

Бумага и текстиль	22%
Отходы садово-парковых работ и другие непищевые органические отходы, способные разлагаться в анаэробных условиях	1,4%
Пищевые отходы	40%
Отходы в виде древесины и соломы	3,7%

В представленной инвентаризации *DOC* для периода 1948-2004 гг. рассчитан по уравнению в соответствии с [2]. Информация о морфологическом составе отходов для 1948-2004 гг. взята из справочников [3, 4, 5, 6, 7]. С целью исключения скачкообразных изменений данных от периода к периоду для расчета *DOC* были использованы значения, полученные путем линейного интерполирования по отдельным периодам.

На рис. 1 представлен временной ход *DOC* в 1948-2004 гг.

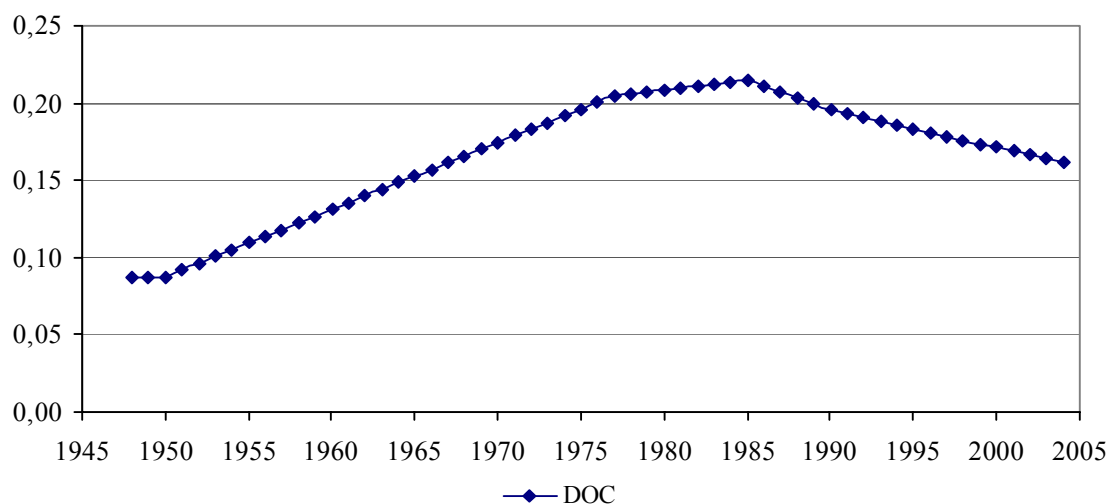


Рис. 1. Распределение *DOC* в 1948-2004 гг.

*Доля фактически разложившегося и способного к разложению органического углерода ( $DOC_F$ ). Некоторая часть способного к разложению*

органического вещества, помещенного на свалку, разлагается очень медленно или не разлагается вообще.  $DOC_F$  показывает ту долю углерода, которая фактически разлагается и высвобождается на свалках. В данной инвентаризации использовано среднее значение  $DOC_F$  по умолчанию (лигнин включен в расчет DOC), равное 0,55 [1].

*Доля метана по объему в газах со свалок (F).* В данной инвентаризации использовано значение по умолчанию [2], равное 0,5.

*Рекуперированный метан (R).* По данным Госкомжилкоммунхоза в Украине рекуперация метана на свалках производится только в Луганской области. При расчетах была использована информация, предоставленная Государственным управлением экологии и ресурсов по Луганской области. Рекуперированный метан сжигается в факелах.

*Коэффициент окисления (OX).* Этот коэффициент отражает количество метана, образовавшегося на свалках твердых отходов и прошедшего стадию окисления в почвенном или другом покрове свалки. В Украине нет данных, документально подтверждающих степень окисления метана на свалках, поэтому применено его значение по умолчанию, равное 0 [1].

На рис. 2 представлены результаты расчетов выбросов метана (тыс. тонн) от свалок ТБО, рассчитанные по методу ЗПП (2-й уровень детализации). По результатам инвентаризации 1990-2004 гг. выбросы в этой категории для Украины в 1990 г. составили 206,66 тыс. т, а в 2004 г. 318,86 тыс. т  $CH_4$ .

### **Выбросы метана от систем очистки сточных вод**

Выбросы метана происходят в результате анаэробного разложения органического вещества при очистке сточных вод. Источниками выбросов ПГ являются хозяйственно-бытовые, промышленные сточные воды и сточные воды жизнедеятельности человека.

### ***Выбросы метана от систем очистки хозяйственно-бытовых сточных вод***

Согласно [1, 2] выбросы метана при обработке сточных вод являются функцией количества разложения органических веществ в анаэробных условиях и коэффициентов выбросов, характеризующих степень образования метана.

*CH<sub>4</sub>, тыс. тонн*

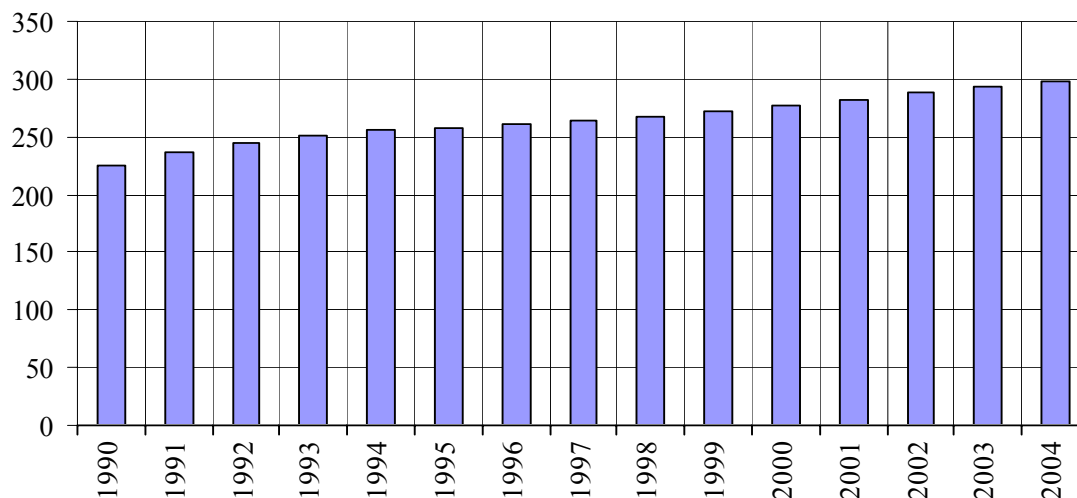


Рис. 2. Расчет выбросов ПГ от свалок ТБО, метод ЗПП (2 уровень)

Общее количество органических веществ (биохимическое потребление кислорода – БПК) определено согласно [1], используя данные Госкомстата Украины о количестве городского населения и рекомендованный МГЭИК уровень генерации БПК в городских сточных водах равен 0,05 кг/чел. день. Данное значение МГЭИК по умолчанию хорошо согласуется со значениями, специфическими для страны.

По данным Госкомжилкоммунхоза при обработке хозяйственно-бытовых сточных вод в Украине в анаэробных условиях разлагаются около 50% осадка первичных отстойников и около 50% избыточного ила сточных вод. Доля осадка первичных отстойников по оценкам экспертов и в соответствии с [8-11] принята равной 28% общего количества органических веществ, поступивших на очистные сооружения.

В соответствии с теми же источниками доля активного ила в оставшихся 72% органического вещества сточных вод составляет 17,6%.

Результаты расчетов выбросов метана представлены на рис. 3. Выбросы метана составили 71,89 тыс. т в 1990 г., постепенно увеличиваясь к 1996 г. до 76,55 тыс. т, затем происходит его уменьшение до 71,98 тыс. т в 2004 г., вызванное сокращением рекуперации метана. Рекуперация метана в метантанках уменьшилась с 6,24 тыс. т в 1990 г. до 0,01 тыс. т в 2004 г.



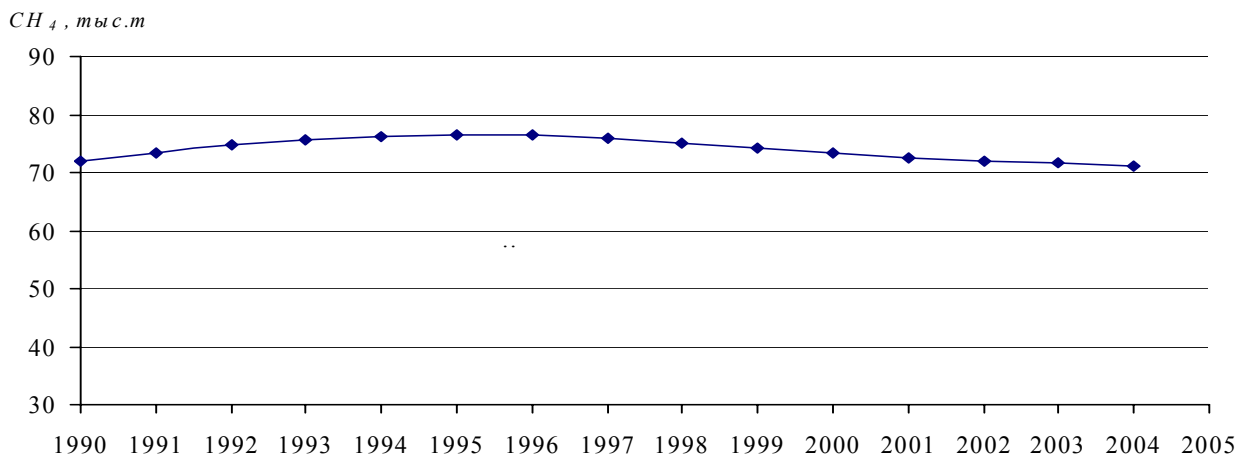


Рис. 3. Результаты расчетов выбросов метана от систем очистки хозяйственно-бытовых сточных вод

### ***Выбросы метана от систем очистки промышленных сточных вод***

Выбросы метана при обработке промышленных сточных вод определялись согласно [2]. Промышленные сточные воды имеют очень разнообразный химический состав, зависящий от характера производства. К основным водопотребляющим и поэтому образующим наибольшее количество сточных вод относятся следующие отрасли промышленности: нефтеперерабатывающая, металлургическая, химическая и целлюлозно-бумажная.

В соответствии с требованиями методики [2] были взяты отрасли промышленности, имеющие наибольшие уровни химического потребления кислорода (ХПК) в сточных водах до очистки. Это черная и цветная металлургия, нефтепереработка, производство удобрений, продуктов питания и напитков, целлюлозно-бумажная промышленность и прочие.

В черной и цветной металлургии для очистки производственных сточных вод не используются методы биологической очистки, в том числе и анаэробные методы. Таковую очистку проходят лишь хозяйственно-бытовые сточные воды предприятий.

Для сточных вод целлюлозно-бумажной, текстильной и нефтехимической промышленности основной метод очистки производственных сточных вод – биологическая очистка. Анаэробные процессы проходят на стадии хранения пульпы осадка из первичных

отстойников и хранения образовавшегося избыточного активного ила. Аналогична схема очистки сточных вод для предприятий по производству удобрений, продуктов питания, напитков и прочих.

Данные об объемах сточных вод, прошедших локальную очистку на предприятиях разных отраслей промышленности, были предоставлены Госкомводхозом на основании информации из статистической формы 2ТП-водгосп. Уровни концентрации ХПК в сточных водах различных отраслей промышленности были рассчитаны на основании данных об уровнях БПК в водах до очистки для разных отраслей промышленности и коэффициента перевода БПК в ХПК (табл. 2). Доля осадка первичных отстойников по оценкам экспертов и согласно [8, 11] принята равной 28% общего количества органических веществ, поступивших на очистные сооружения. Доля активного ила в оставшихся 72% органического вещества сточных вод составляет 17,6%.

Таблица 2

Основные отрасли промышленности, имеющие наибольшие уровни ХПК в сточных водах до очистки

Отрасль	Объем сточных вод, м <sup>3</sup>	Концентрация, кгХПК/м <sup>3</sup>
черная металлургия	9273000	0,036023
цветная металлургия	93000	0,041344
нефтепереработка	1000000	0,692546
производство удобрений	668000	0,152269
производство продуктов питания и напитков	7347000	1,864067
целлюлозно-бумажная	27330000	0,279701
текстильная промышленность	57000	0,755548
прочие	1447000	1,056652

Результаты расчетов выбросов метана при обработке промышленных сточных вод приведены на рис. 4.

В связи с падением промышленного производства в Украине общее количество органического вещества в промышленных сточных водах сократилось с 84,24 тыс. т ХПК в 1990 г. до 23,35 тыс. т ХПК в 2004 г., т.е. в 3,6 раза. Соответственно уровень выбросов метана от этой категории снизился с 4,28 тыс. т в 1990 г. до 1,19 тыс. т в 2004 г.

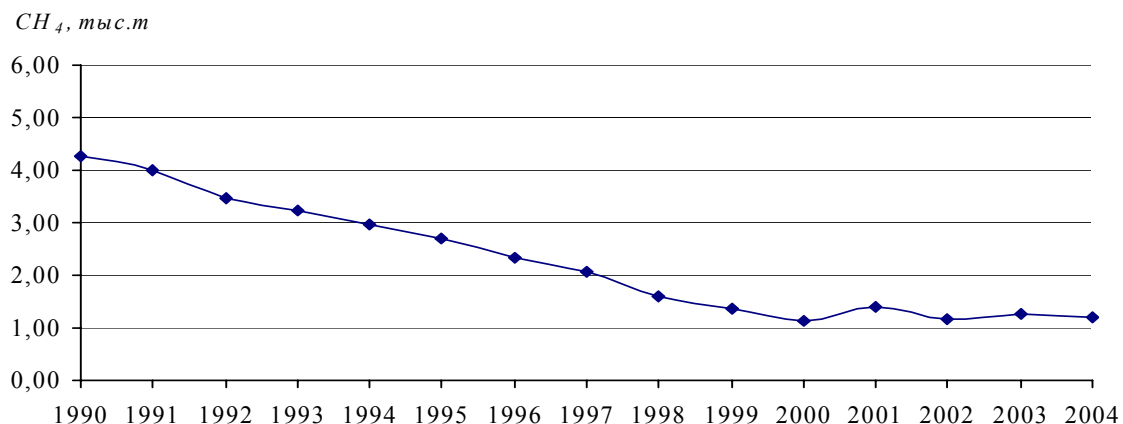


Рис. 4. Выбросы  $CH_4$  от промышленных сточных вод, тыс. тонн

***Выбросы закиси азота от сточных вод в результате жизнедеятельности человека***

Выбросы закиси азота ( $N_2O$ ) от сточных вод жизнедеятельности человека определялись согласно [2], исходя из показателей годового потребления белка на душу населения в Украине в 1990-2004 гг. и общего количества населения.

В соответствии с данными Госкомстата потребление протеина в Украине в 1990 г. составляло 105,3 г/сутки на одного человека, затем постепенно уменьшалось. В 2004 г. значение этого показателя составило 79,7 г/сутки на одного человека. Количество населения в Украине с 1990 по 2004 гг. уменьшилось на 9%. Соответственно объемы выбросов закиси азота также уменьшились за этот период почти в 1,5 раза и в 2004 г. составили 3,46 тыс. т. (рис. 5).

**Выбросы парниковых газов от сжигания отходов**

При сжигании отходов в атмосферу выбрасываются двуокись углерода ( $CO_2$ ), метан ( $CH_4$ ) и закись азота ( $N_2O$ ). Выбросы  $CH_4$  не являются значительными. В соответствии с [2] в оценку выбросов следует включать только выбросы  $CO_2$  и  $N_2O$ , образующиеся в результате сжигания отходов, содержащих углерод ископаемого происхождения.

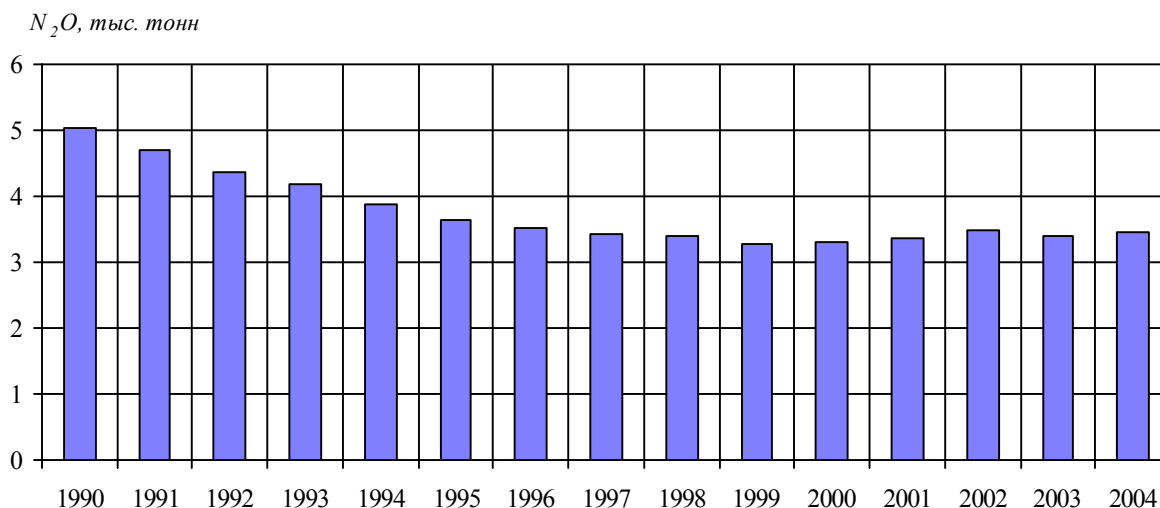


Рис. 5. Результаты расчетов выбросов закиси азота от сточных вод жизнедеятельности человека, тыс. тонн

В 1990 г. в Украине работало четыре мусоросжигательных завода – в Харькове, Севастополе, Днепропетровске и Киеве. В настоящее время функционируют только заводы в Киеве и Днепропетровске. Они оснащены оборудованием, не отвечающим современным нормативным требованиям, в результате чего предприятия загрязняют окружающую среду токсичными газами. На обоих мусоросжигательных заводах сжигание отходов происходит с генерацией тепловой энергии, поэтому данные о выбросах в этой категории учтены в разделе «Энергетика».

Данные о количестве сжигаемых отходов с разбивкой по видам отходов за период 1990-2004 гг. были предоставлены непосредственно работающими заводами. Согласно полученной информации на заводах сжигаются в основном ТБО, а отходы медицинских учреждений составляют незначительную часть сжигаемых отходов. Кроме того, в расчете ПГ от сжигания отходов включена также деятельность функционировавших ранее заводов: до 2001 г. - в Харькове и до 1998 г. - в Севастополе.

Выбросы метана и закиси азота рассчитаны по формулам [2]. Для оценки выбросов  $CO_2$  использованы коэффициенты по умолчанию [2]. Коэффициенты выбросов  $N_2O$  зависят от вида установки для сжигания отходов и вида самих отходов. Результаты расчетов выбросов ПГ при сжигании отходов наводятся на рис. 6.

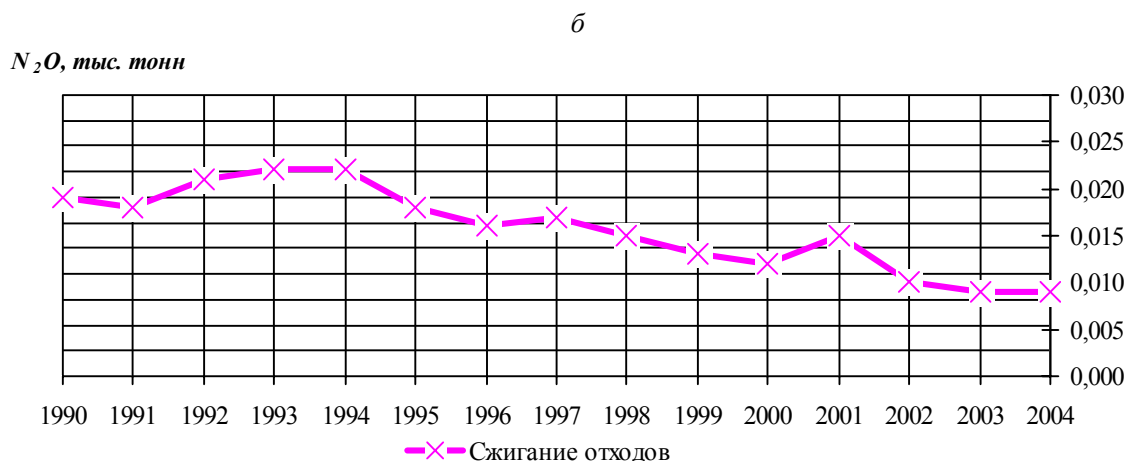
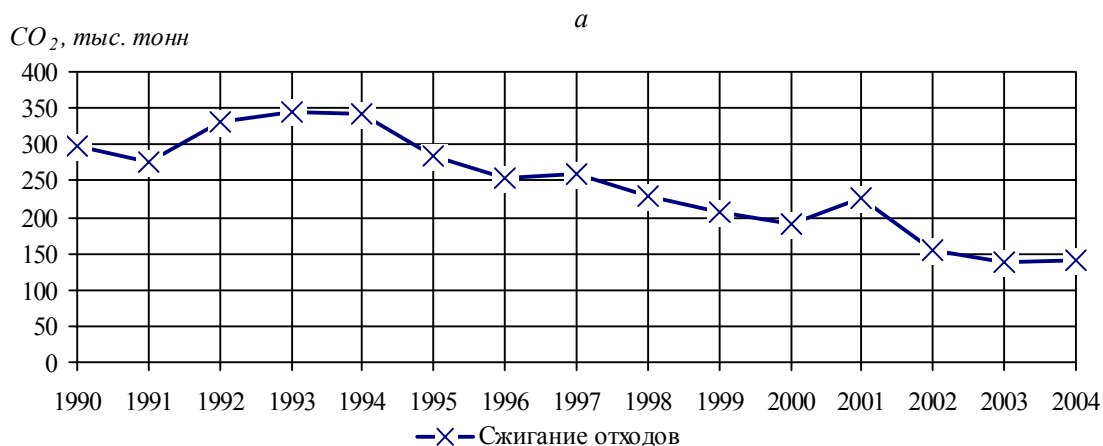


Рис. 6. Результаты расчетов выбросов  $CO_2$  (а) и  $N_2O$  (б) от сжигания отходов, тыс. т

Выбросы  $CO_2$  от сжигания отходов составили в 1990 г. 298,8 тыс. т, а в 2004 – 140,9 тыс. т, выбросы  $N_2O$  составили соответственно 0,019 тыс. т в 1990 г. и 0,009 тыс. т в 2004 г.

Таким образом, выбросы парниковых газов в секторе “Отходы” по результатам инвентаризации 1990-2004 гг. в  $CO_2$  эквиваленте составили: выбросы метана в 1990-2004 гг. – 6,3-7,8 млн. т; выбросы закиси азота: максимум в 1990 г. (1,6 млн. т), минимум в 1999 г. (1,0 млн. т), в 2004 г. - 1,1 млн. т; выбросы двуокиси углерода: максимум в 1993 г. (0,3 млн. т), минимум в 2003 г. (0,13 млн. т), в 2004 г. - 0,14 млн. т.

Распределение выбросов парниковых газов (%) в секторе “Отходы” по категориям источников в 2004 г. в  $CO_2$  эквиваленте показано на рис. 7.

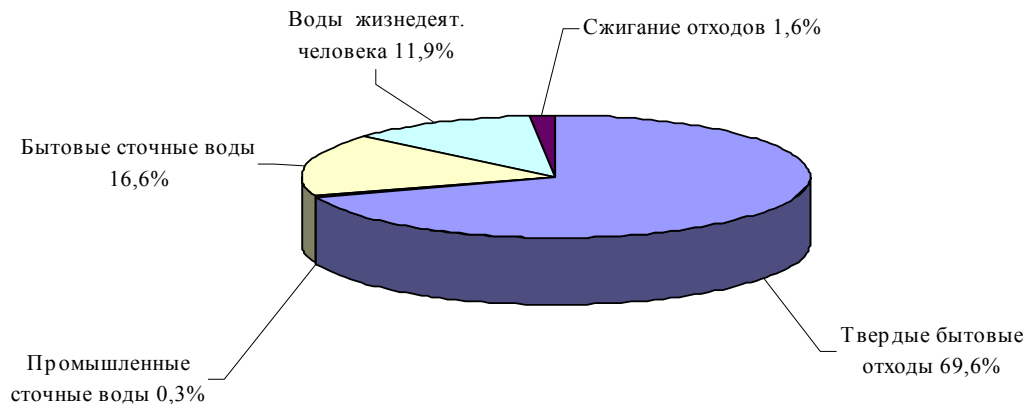


Рис. 7. Распределение выбросов парниковых газов (%) от отходов по категориям источников в 2004 г. в  $CO_2$  эквиваленте

### Выводы

Выбросы метана от свалок ТБО составляют 69,6% от общего выброса ПГ от отходов, выбросы ПГ от систем очистки бытовых и промышленных сточных вод составляют соответственно 16,6% и 0,3%. От сточных вод жизнедеятельности человека поступает 11,9% общего выброса ПГ от отходов, от сжигания отходов – 1,6%.

В заключение следует отметить, что к расчетам выбросов ПГ в секторе «Отходы» были применены общие процедуры контроля качества. К ключевым источникам, например, к контролю выбросов метана от свалок ТБО, использовались экспертные оценки уровня выбросов, а также детальные процедуры контроля качества, а именно: сравнение данных о деятельности из разных источников; сравнение величин выбросов, полученных разными методами, предложенными МГЭИК; сравнение величин выбросов по временному ряду и анализ тенденции данных о деятельности; сравнение данных о деятельности, коэффициентов выбросов и результатов расчетов с кадастрами других стран.

\* \*

*Розглянуто методичні питання розрахунків викидів парникових газів у секторі «Відходи». Приведені показники викидів парникових газів від звалищ*

*твердых побутовых отходов, від систем очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод, від спалювання відходів, а також розподіл викидів парникових газів у цілому по сектору за результатами інвентаризації парникових газів 1990-2004 рр.*

\* \*

1. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов. МГЭИК. – Т. 2. – 1996.
2. Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. МГЭИК, 2000.
3. *Мирный А.Н.* Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник – М.: Стройиздат, 1985.
4. *Мирный А.Н.* Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник – М.: Стройиздат, 1990.
5. *Александровская З.И.* Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов / Защита окружающей среды. – М.: Стройиздат, 1977.
6. *Гуляев Н.Ф.* Санитарная очистка городов / Сбор, удаление, обезвреживание и использование твердых отходов. – М.: Изд-во литературы по стр-ву, 1966.
7. КТМ-2004. Рекомендованные нормы накопления твердых бытовых отходов для населенных пунктов Украины / Руководящий техн. материал. – Харьков, 1995.
8. *Хоружий П.Д., Ткачук А.А., Батрак П.И.* Эксплуатация систем водоснабжения и канализации. Справочник – К.: Строитель, 1993.
9. *Васильченко В.В., Рапцун М.В.* Украина и глобальный парниковый эффект / Источники и поглотители парниковых газов. – К., 1997.
10. *Яковлев С.В.* Канализация. – М.: Стройиздат, 1988.
11. *Яковлев С.В., Карюхина Т.А.* Биохимические процессы в очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988.

*Український науково-дослідницький  
гідрометеорологічний інститут, Київ*