

УДК 551.553

В.С. Дехнич<sup>1</sup>, Н.М. Дронин<sup>2</sup>

## РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ КОММУНАЛЬНЫМ СЕКТОРОМ Г. АСТАНА

На основе авторской методики рассчитан вклад различных типов жилых строений в общий выброс парниковых газов (ПГ) в г. Астана. Результаты показывают, что удельные выбросы парниковых газов, связанные с производством электроэнергии и тепла для коммунального сектора, значительно выше среднемировых показателей из-за продолжительного отопительного периода и использования угля в качестве основного вида топлива. Определен ряд мер, направленных на сокращение количества выбросов ПГ от коммунального сектора. При этом часть мер направлена на сокращение количества выбросов парниковых газов со стороны производителей тепла и энергии (ТЭЦ), а другие — на уменьшение числа конечных пользователей этих услуг в коммунальном секторе. Показано, что приведение количества выбросов парниковых газов к среднемировому уровню возможно только при замене угля на природный газ в качестве основного топлива городских ТЭЦ и проведении наиболее экономичных мер по сохранению тепла и электроэнергии в коммунальном секторе.

*Ключевые слова:* парниковые газы, выброс, коммунальный сектор, Астана.

**Введение.** Города — самые крупные источники выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Они потребляют около 80% всей производимой энергии мира и выбрасывают около 75% ПГ [Города..., 2011]. В связи с этим меры по снижению глобальных выбросов ПГ должны разрабатываться в первую очередь для городских территорий. При этом основную трудность при инвентаризации выбросов и оценке эффективности предлагаемых мер составляет то, что объемы выбросов ПГ в городах определяются транспортом, представляющим собой рассеянный источник выбросов, а также потребностями коммунального сектора как конечного потребителя тепла и электроэнергии [Руководство..., 1998]. Общепринятой методики для расчетов ПГ от этих источников не существует, а публикаций на эту тему немного. Цель исследований — разработка методики расчета выбросов ПГ, связанных с коммунальным сектором на примере г. Астана — самого динамично развивающегося города Республики Казахстан.

Пионерное исследование по оценке выбросов ПГ, связанных с коммунальным сектором, проводилось в Университете Аризоны (США) [Интернет-сайт исследовательской группы “Nestia project”, 2013]. В рамках исследовательской программы оценивались выбросы ПГ на уровне отдельных кварталов и сегментов улиц таких городов США, как Индианаполис, Лос-Анджелес, Феникс. В качестве исходных данных использовались данные ГИС, базы данных которой формировались на основе статистических данных, предоставленных Агентством по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency). Авторам, в отличие от аме-

риканских исследователей, приходилось действовать в условиях ограниченных данных. В расчетах использованы статистические данные (материалы Агентства по статистике РК, касающиеся численности населения, потребления топлива и др.) [Интернет-сайт Агентства по статистике РК..., 2014], материалы геоинформационных систем (электронная база данных г. Астана, предоставленная ТОО “Надир”, космические снимки, предоставленные сервисом Google Earth), а также данные, полученные в ходе собственных исследований, в том числе с применением ГИС (данные о площади строений, карты вклада объектов коммунального сектора в выбросы ПГ, данные о потреблении тепловой и электроэнергии, а также газа для приготовления пищи, полученные в результате обработки платежных документов), методики расчета выбросов ПГ от разных видов топлива, утвержденные Министерством охраны окружающей среды Республики Казахстан и др.

Прямые источники выбросов ПГ в г. Астана — две ТЭЦ, основным топливом которых служит экибастузский уголь. Общие выбросы ПГ, рассчитанные по стандартной методике по количеству произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ, составляют 32,3 млн т. Очевидной мерой сокращения выбросов ПГ города может быть перевод городских ТЭЦ на природный газ, поскольку уголь представляет собой топливо с очень большим количеством выбросов ПГ на единицу произведенной энергии. Между тем многие меры могли быть разработаны и реализованы на уровне конечных потребителей тепла и электроэнергии. Основной потребитель тепла и энергии — комму-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, магистрант; *e-mail*: vodo.ast@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, заведующий лабораторией, канд. геогр. н.; *e-mail*: ndronin@gmail.com

нальный сектор города, на долю которого приходится до 92% вырабатываемой на ТЭЦ энергии и тепла. Для разработки мер по снижению выбросов ПГ необходимо дифференцировать оценки потребления электроэнергии и тепла по типам жилых строений в городе.

**Материалы и методы исследований.** Потребление энергии тепла и газа на душу населения зависит от характера жилых строений. Поэтому на первом этапе выполнена классификация жилых строений Астаны по числу этажей и материалу постройки. Первый параметр определяет различия в потерях при доставке энергии потребителю, а второй — объем теплопотерь. В результате классификации выделено 11 групп строений: кирпичные здания, панельные строения менее 5 этажей, панельные строения более 5 этажей, монолитные строения менее 10 этажей, монолитные строения более 10 этажей, строения из железобетонного каркаса с разным типом заполнения менее 10 этажей, строения из железобетонного каркаса с разным типом заполнения более 10 этажей, строения высотой более 25 этажей, малоэтажные строения с автономными системами отопления, малоэтажные строения с централизованными системами отопления и пр.

Рассмотрение каждой группы строений в отдельности позволило выявить средние значения потребления энергии на единицу площади для указанных групп, которое в дальнейшем использовалось для расчета общего количества выбросов ПГ, связанных с функционированием зданий. Данные о материалах и способах постройки отдельных объектов города предоставлены организацией ТОО “Надир”, сфера деятельности которой — топографическая съемка и картографирование городской территории. За картографируемую единицу приняты кварталы, которые выделены с использованием ПК Arcgis по границам улиц, границам застройки (при отсутствии улиц) или по естественным границам, таким, как реки, овраги и др. В соответствии с картами и границами выделенных кварталов при помощи ПК Arcgis составлена база данных, что позволяет судить о площади каждой группы строений, приходящейся на каждый выделенный квартал. Всего выделено 540 кварталов площадью от 1,3 км<sup>2</sup> в местах наиболее плотной и дифференцированной застройки (центр старого города) до 58 км<sup>2</sup> в местах редкой и однородной застройки (дачные поселки, входящие в черту города). При помощи этих данных можно определить площадь находящихся в определенном квартале зданий каждой классификационной группы. Расчеты выполнены для каждой из 11 классификационных групп строений, причем как с автономным энергоснабжением, так и с централизованным. Для строений с автономным теплоснабжением расчеты выбросов ПГ сделаны на основе объема сжигаемого топлива в них за год, а для зданий с централизованным теплоснабжением определялась доля выбросов ПГ на городских ТЭЦ, которая связана с их электро- и теплоснабжением.

На следующем этапе определяли потребление тепловой энергии, электроэнергии и объем природного газа, сжигаемого для приготовления пищи (на 1 м<sup>2</sup> или на 1 человека). Для этого собраны данные счетов об оплате коммунальных услуг жителями разных категорий жилых зданий. Исходя из установленной таким образом удельной массы сжигаемого газа или потребленной электроэнергии на жителя рассчитан средний годовой объем сжигаемого бытового газа или потребленной энергии, приходящийся на единицу площади строения, по формуле

$$P_{\text{п}} = p_{\text{ч}} n_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $p_{\text{п}}$  — годовой объем сжигаемого бытового газа (т)/потребленная электроэнергия (кВт·ч), приходящиеся на единицу площади строения (м<sup>2</sup>);  $p_{\text{ч}}$  — годовой объем сжигаемого бытового газа (т)/потребленная электроэнергия (кВт·ч), приходящиеся на человека;  $n_{\text{п}}$  — среднее число жителей, приходящееся на единицу площади строения (человек/м<sup>2</sup>).

Удельное теплопотребление для строений с централизованной системой отопления определяли с помощью платежных документов по каждой категории строений. Затраты на отопление для районов частной застройки, не имеющих доступ к системе централизованного теплоснабжения, вычисляли путем опроса среди 20 жителей микрорайона Коктал. Основные виды топлива в районах частной застройки — уголь и дизельное топливо. Средние затраты угля составляют ~0,11 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год, а затраты дизельного топлива — ~0,04 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. При этом 85% опрошенных жителей используют в качестве топлива уголь, 15% — дизельное топливо. Кроме того, 55% опрошенных жителей в качестве дополнительного средства отопления используют теплоэлектронагреватели (ТЭН). Однако опрошенные затруднялись указать количество электроэнергии, потребленной ТЭН.

Среднее суммарное годовое теплопотребление для каждого рассматриваемого квартала вычислялось по формуле:

$$T_i = \Sigma(t_{\text{сум}(j)} \cdot S_j), \quad (2)$$

где  $T_i$  — суммарное годовое теплопотребление/энергопотребление/объем газа, сожженного для приготовления пищи  $i$ -го квартала (Гкал);  $t_{\text{сум}(j)}$  — суммарное годовое удельное теплопотребление (Гкал/м<sup>2</sup>)/энергопотребление (кВт·ч/м<sup>2</sup>)/объем сожженного газа (т/м<sup>2</sup>) на единицу площади  $j$ -й группы строений (сумма значений удельного теплопотребления/энергопотребления/объем сожженного газа для рассматриваемой группы строений за каждый месяц года);  $S_j$  — площадь строений  $j$ -й группы, расположенных в пределах  $i$ -го квартала (м<sup>2</sup>).

Объем выбросов ПГ, образующийся в пределах каждого рассматриваемого квартала, определен согласно инструкции [Методика..., 2013] по формуле:

$$E = M \cdot K_1 \cdot \text{ТНЗ} \cdot K_2 \cdot 44/12, \quad (3)$$

где  $E$  — годовой выброс  $\text{CO}_2$ , т;  $M$  — фактическое потребление топлива за год (т) — показатель для тепловой и электрической энергии рассчитывали в соответствии с нормативами расхода топлива для выработки единицы энергии; в частности, для угольных ТЭЦ 0,5814 т/Гкал (или 0,005 т/кВт) [Интернет-сайт исследовательской группы “Nestia project”, 2013];  $K_1$  — коэффициент окисления углерода в топливе (показывает долю сгоревшего углерода); ТНЗ — теплотворное нетто-значение (Дж/т);  $K_2$  — коэффициент выброса углерода (т/Дж); 44/12 — коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярный вес углерода 12 г/моль,  $\text{O}_2 = 2 \cdot 16 = 32$  г/моль,  $\text{CO}_2$  44 г/моль).

Аналогично рассчитывали объем выбросов других парниковых газов:

$$E = M \cdot \text{ТНЗ} \cdot K_3, \quad (4)$$

где  $E$  — годовой выброс парникового газа (т);  $M$  — количество сжигаемого в год топлива (т); ТНЗ — теплотворное нетто-значение для сжигаемого вида топлива (Дж/т), значения, аналогичные использованным в (3);  $K_3$  — значения коэффициента выбросов парниковых газов ( $\text{CH}_4$  или  $\text{N}_2\text{O}$  (кг/ТДж) равны 1 и 1,4 соответственно).

Перевод выбросов  $\text{CH}_4$  или  $\text{N}_2\text{O}$  в  $\text{CO}_2$  — эквивалент осуществляется путем умножения на 21 для  $\text{CH}_4$  и на 310 для  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Результаты исследований и их обсуждение.** Выбросы от рассеянных источников коммунального сектора составляют основную долю выбросов ПГ Астаны. Общее количество выбросов ПГ коммунальным сектором Астаны составляет, по расчетам авторов, ~29,7 млн т/год. Этот показатель в целом соответствует объему выбросов ПГ, рассчитанному по данным о произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ города [Производство..., 2013]. Общий выброс от ТЭЦ составляет 32,3 млн т. Выброс ПГ в коммунальном секторе на душу населения достигает 38 т. Этот показатель крайне высок, по сравнению с крупными городами мира (например, выбросы ПГ в Вашингтоне оцениваются в 19 т на человека), что связано с большой продолжительностью отопительного сезона и использованием угля в качестве главного топлива.

Результаты расчетов общего количества ПГ, приходящихся на каждый выделенный квартал, отражены на рис. 1, где показаны выбросы (т/км<sup>2</sup>), связанные с использованием тепла, электроэнергии и природного газа в жилом секторе города.

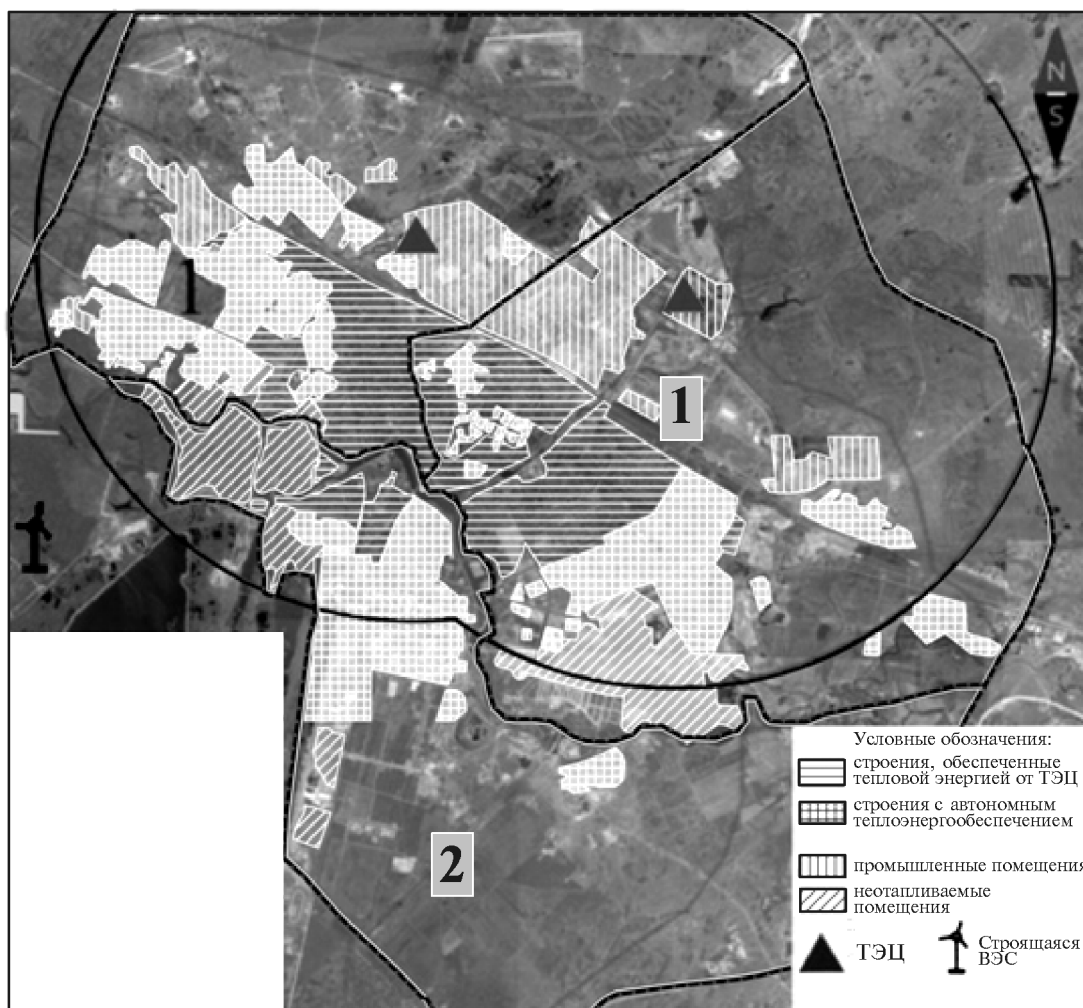


Рис. 1. Выбросы парниковых газов от рассеянных источников коммунального сектора в старом центре г. Астана

На представленной схеме заметна дифференциация вклада в выбросы в зависимости от особенностей застройки — максимальный вклад характерен для центра правобережья города, где сконцентрированы многоэтажные (5–10 этажей) здания, построенные из кирпича и панелей ранее

1990 г. Средняя концентрация выбросов соответствует северной и центральной частям Есильского района, где меньше строений, но много нежилых помещений (рис. 1, 2). Низкие значения характерны для большинства районов с малоэтажной застройкой.

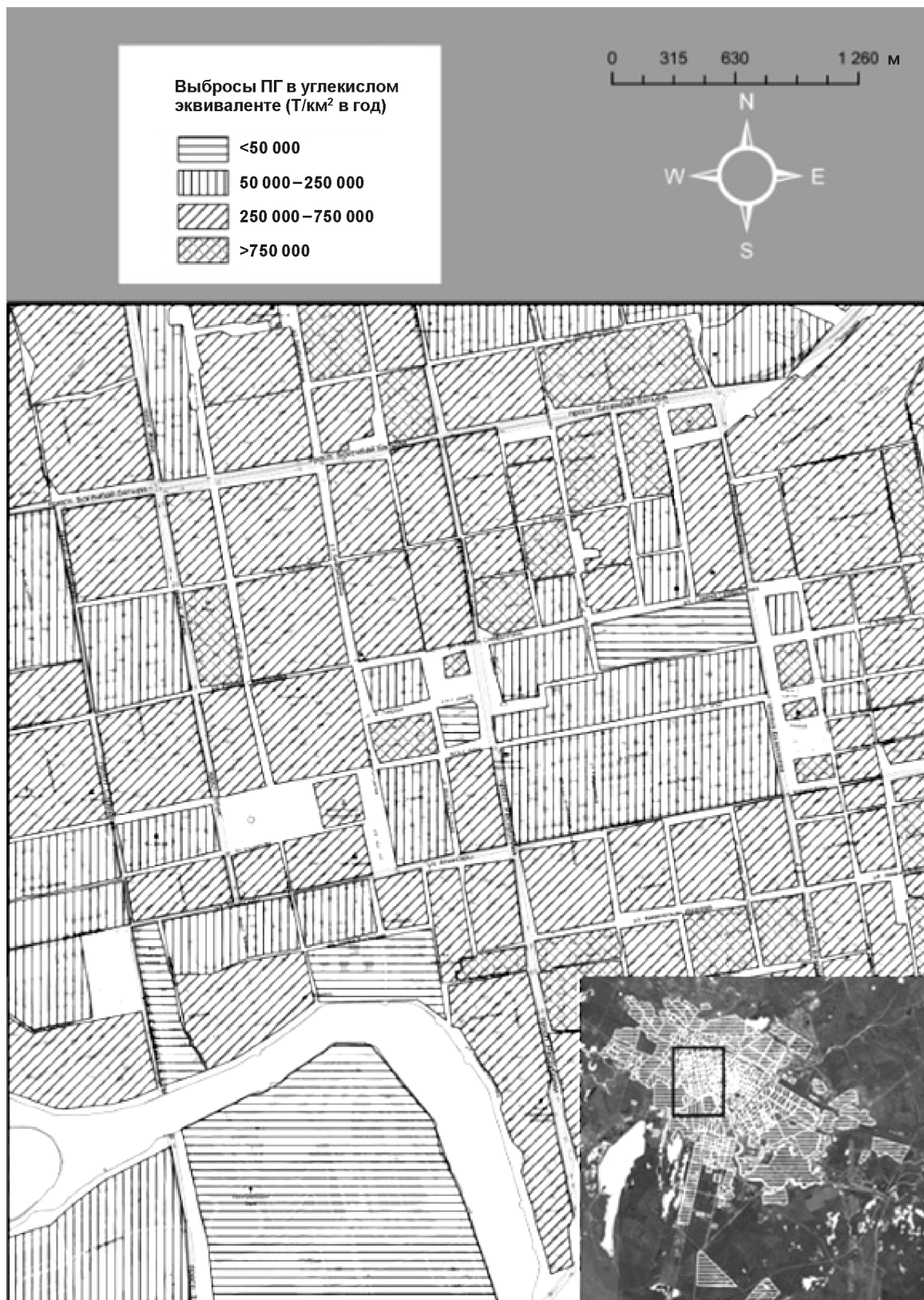


Рис. 2. Дифференциация зданий города по источнику тепловой энергии: 1–3 — административные районы: 1 — Сарыаркинский, 2 — Алматинский, 3 — Есильский

Астана — быстроразвивающийся город с высокими демографическими показателями. Согласно прогнозам население Астаны увеличится с 0,9 млн человек в 2015 г. до 1,98 млн человек в 2030 г. [Прогноз..., 2013]. С учетом особенностей современного жилого строительства введенная в эксплуатацию жилая площадь должна увеличиться в 3 раза — с 1,7 млн м<sup>2</sup> в 2015 г. до 5,2 млн м<sup>2</sup> в 2030 г. Потребление энергии в коммунальном секторе также увеличится в 3 раза. В результате объем выбросов ПГ может возрасти в 2 раза и более и достичь 64 млн т в 2030 г.

Снизить выброс ПГ можно с помощью перевода ТЭЦ города с угля на природный газ. Согласно стандартным методикам уменьшение выбросов ПГ на 2030 г. составит 11,6 млн т (или 33,9%) по сравнению с трендовым сценарием, когда ТЭЦ продолжают работать на угле. Несмотря на высокую стоимость осуществления этого проекта, он находится на стадии принятия решения. Но Астана имеет большой потенциал к сокращению выбросов ПГ от рассеянных источников. В качестве первоочередных мер авторы рассматривали установку регуляторов температуры радиаторов и приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды, замену обычных окон стеклопакетами, субсидирование на приобретение энергосберегающих ламп, строительство ветровой электростанции в городе, окрашивание крыш в светлый цвет (для увеличения альбедо и снижения расходов на охлаждение помещений). Оценки снижения выбросов ПГ в результате осуществления каждой из этих мер по сравнению со сценарием, не предусматривающим их принятия, приведены в таблице.

Например, при рассмотрении меры “строительство ветровой электростанции” установлено, что ветровая электростанция (ВЭС) мощностью 41 МВт позволит сократить потребление угля на ТЭЦ на 70 тыс. т/год [Ветровая..., 2008], на основании этого по указанной выше методике рассчитано возможное сокращение выбросов ПГ. Аналогично рассчитывался эффект от замены остекления на стеклопакеты в существующих строениях. Современные стеклопакеты способны сократить теплопотери через окна на 20% (при этом теплопотери через окна составляют ~60% всех теплопотерь строения). Внедрение льгот при оплате отопления жилых помещений для строений с энергоэффективными стеклопакетами, которые позволят возместить стоимость стеклопакета за 3 года, может привести к замене 20% стеклопакетов к 2030 г. (1,3% в год от уровня 2015 г.). При этом будет происходить сокращение теплопотребления жилыми домами на 1,04% в год (80% от 1,3% зданий).

Наибольшую эффективность внесут замена стеклопакетов в существующих строениях и установка приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды; наименее эффективно использование энергосберегающих ламп. В идеальном сценарии реализации всех рассмотренных мер в коммунальном секторе выбросы ПГ к 2030 г. составят 49,9 млн т, а не 64 млн т. Таким образом, увеличение выбросов ПГ составит 68%, а не 115%, как предусматривает трендовый сценарий. Количество выбросов ПГ на душу населения к 2030 г. уменьшится с 38 до 25 т, что, однако, остается относительно высоким показателем.

**Сравнение эффективности мер по сокращению потребления тепла, электроэнергии и природного газа в коммунальном секторе**

Мера	Сокращение выбросов ПГ к 2030 г. в млн т, в скобках — относительно трендового сценария, %	Вероятность применения меры
Использование энергоэффективных материалов в строительстве	0,7 (2)	Высокая, реализация возможна при внедрении стандартов строительства, не требует существенных затрат
Повышение эффективности приборов отопления	1,1 (3,2)	Высокая; возможна путем внедрения стандартов строительства
Замена стеклопакетов в существующих строениях	6,4 (18,7)	Средняя; связана с существенными затратами
Субсидирование приобретения энергосберегающих ламп	0,07 (0,2)	Крайне низкая; при достаточно высоких затратах низкая экологическая эффективность
Строительство ветряной электростанции	0,9 (2,6)	Средняя; предложение о строительстве — часть программы развития ООН (в настоящее время проект не осуществляется из-за проблем с выделением территории под строительство)
Установка приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды	3,8 (11,1)	Высокая; возможна путем внедрения стандартов
Окрашивание крыш в светлый цвет	1,1 (3,2)	Низкая; внедрение требует высоких затрат при относительно низкой эффективности

**Выводы:**

— разработанная методика позволила определить общее количество выбросов ПГ от рассеянных источников в углекислом эквиваленте в г. Астана, которое составляет ~29,7 млн т/год. Это значение соответствует объему выбросов ПГ, рассчитанному по данным о произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ города, что подтверждает применимость методики;

— Астана имеет один из самых высоких показателей количества выбросов парниковых газов на душу населения (38 т/год). Основные причины высокого удельного выброса ПГ — большие энергозатраты на отопление жилых помещений, а также использование в качестве топлива угля, который имеет высокий коэффициент выделения ПГ на единицу произведенной энергии;

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ****REFERENCES**

Ветровая электростанция вблизи г. Астана (Проект), прединвестиционное исследование. Алматы, 2008.

Vetrovaja jelektrostantsija vblizi g. Astana (Proekt), predinvesticionnoe issledovanie [Wind power station near the city of Astana (the Project), preinvestment research], Almaty, 2008 (in Russian).

Города и изменение климата: Направления стратегии // Глобальный доклад о населенных пунктах. Л.: ООН ХАБИТАТ, 2011.

Goroda i izmenenie klimata: Napravlenija strategii [Cities and Climate Change: Areas of strategy] Global'nyj doklad o naselennyh punktah, Leningrad, OON HABITAT, 2011 (in Russian).

Интернет-сайт Агентства по статистике Республики Казахстан. URL: [www.stat.kz](http://www.stat.kz) (дата обращения: 04.07.2014).

Интернет-сайт исследовательской группы "Hestia project". URL: <http://hestia.project.asu.edu/> (дата обращения: 04.07.2013).

Методика расчета выбросов парниковых газов от деятельности по сжиганию топлива, утечек при добыче, хранении и транспортировке угля, нефти и газа, производстве чугуна, стали, ферросплавов, глинозема, алю-

— Астана имеет определенный потенциал для снижения удельных выбросов ПГ за счет более эффективного использования тепла, электроэнергии и природного газа в коммунальном секторе. Наибольшее значение могут иметь замена стеклопакетов в существующих строениях и установка приборов учета потребления природного газа. Эти меры могут сократить выбросы ПГ на 47% к 2030 г. по сравнению с трендовым сценарием, по эффективности они сравнимы с переводом городских ТЭЦ с угля на природный газ. Однако приведение показателя выбросов ПГ на душу населения к среднемировым возможно только при замене угля на природный газ в качестве основного топлива городских ТЭЦ и проведении указанных мер по сохранению тепла и электроэнергии в коммунальном секторе.

миния и цемента. URL: [www.eco.gov.kz/files/pmrk-21-08-2013-5-rus.htm](http://www.eco.gov.kz/files/pmrk-21-08-2013-5-rus.htm) (дата обращения: 04.07.2013).

Производство промышленной продукции в секции электроснабжение, подачи газа, пара и воздушного кондиционирования в Республике Казахстан за период с 1990 по 2013 г. по данным Агентства по статистике РК. URL: <http://www.stat.gov.kz/getImg?id=ESTAT083304> (дата обращения: 04.07.2013).

Прогноз среднегодовой численности регионов Республики Казахстан до 2050 г. по данным Агентства по статистике РК. URL: <http://www.stat.gov.kz/getImg?id=ESTAT075159> (дата обращения: 04.07.2013).

Руководство по оценке выбросов из неточечных источников // Сер. мат-лов ЮНИТАР по технической поддержке РВПЗ. Вып. 3. Женева, 1998. 71 с.

Rukovodstvo po ocenke vybrosov iz netochechnyh istochnikov [Guidelines for estimating emissions from non-point sources], Ser. mat-lov JuNITAR po tehnicheckoj podderzhke RVP3, V. 3, Geneva, 1998, 71 p. (in Russian).

Поступила в редакцию  
05.12.2014

**V.S. Dekhnich, N.M. Dronin**

**ESTIMATE OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM THE MUNICIPAL SECTOR SOURCES IN THE TOWN OF ASTANA**

The contribution of different types of residential houses to the total greenhouse gases emission in the town of Astana was calculated basing on the author's calculation procedure. The results show that specific emissions of the greenhouse gases due to the production of electricity and heat for the public sector significantly exceed the world averages because of a long heating period and the use of coal as a principal fuel. We suggested a set of measures for the reduction of the GHG emissions from the municipal sector. Part of them deals with the reduction of the greenhouse gases emissions by producers of heat and power (CHP plants) while other are aimed at the end users of these services within the municipal sector. It is shown that the reduction of greenhouse gases emissions down to the world averages is only possible by replacing coal with natural gas as a principal fuel for the urban GHP plants and realizing the most cost-effective measures for saving heat and electricity at the municipal sector.

*Key words:* greenhouse gases, emissions, municipal sector, Astana.