

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-3-190-199>
УДК 621.311.24:621.313.12

Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы

Гашо Е. Г., Гужов С. В.*, Белобородова А. С., Гукова Н. В.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
ул. Красноказарменная, д. 14, 111250, Москва, Россия

Поступила / Received 23.08.2019

Принята к печати / Accepted for publication 20.09.2019

Являясь крупным потребителем энергоресурсов, Московский мегаполис существенно изменяет климат своей агломерации. Климатические индикаторы, изменяясь в среднесрочной перспективе, оказывают влияние на каждую из отраслей мегаполиса. Наиболее распространенным видом разрушающего воздействия являются температурно-влажностные деформации покрытий, в результате которых материалы ограждающих конструкций под переменным воздействием положительных и отрицательных температур ускоренно разрушаются. Негативными являются как тепловое загрязнение, так и выбросы парниковых газов и водяного пара. Целью настоящей статьи является определение степени влияния данных выбросов на формирование климата, а также возможности их компенсации зелеными насаждениями Москвы. Последовательно рассмотрены задачи анализа тенденций изменения абсолютной влажности воздуха в зависимости от дополнительного объема водяного пара, производимого при сжигании топлива на ТЭЦ и в котельных, функционирования градирен, эксплуатации автотранспорта. Проанализирована зависимость фактического количества ясных дней от температуры воздуха. Определены месяцы с наиболее длительно заоблаченным небосводом. Рассмотрены процессы формирования облаков и изменения температуры воздуха в зависимости от высоты и условий функционирования города. Продемонстрировано формирование над территорией города области с повышенной температурой воздуха на высоте от 60 до 400 метров в результате выбросов тепла. Проанализирована динамика и резервы сокращения эмиссии парниковых газов. Показана эффективность реализации государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, ориентированной, прежде всего, на модернизацию силового оборудования городских теплоэлектроцентралей с установкой современных парогазовых энергоблоков. Продемонстрированы недостаточность компенсационного механизма фотосинтеза. Показаны пути климатической адаптации мегаполиса. Определены энергосберегающие мероприятия по снижению расхода газа на источниках тепловой энергии и оценены эффекты от их реализации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловое загрязнение, парниковые газы, водяной пар, абсолютная влажность воздуха, изменение климата мегаполиса, климатическая адаптация, фотосинтез, экореабилитация, энергосбережение

Благодарности

Статья подготовлена по результатам проекта, выполненного при поддержке Российского научного фонда (уникальный идентификатор гранта РФ № 16-19-20568).

Адрес для переписки:

Гужов С. В.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», кафедра ТМПУ
ул. Красноказарменная, д. 14, 111250, Москва, Россия
e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Address for correspondence:

Guzhov S. V.
National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Department of TМPU
st. Krasnokazarmennaya, 14, 111250, Moscow, Russia
e-mail: GuzhovSV@yandex.ru

Для цитирования:

Гашо Е. Г., Гужов С. В., Белобородова А. С., Гукова Н. В. Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегаполиса на примере Москвы. *Надежность и безопасность энергетики*. 2019. – Т. 11, № 3 – С. 190–199.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-3-190-199>

For citation:

Gasho E. G., Guzhov S. V., Beloborodova A. S., Gukova N. V. [The effect of water vapor emissions from the operation of thermal power plants, boiler houses and vehicles on local climatic changes and the climate adaptation of a megalopolis using the example of Moscow]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2019, vol. 11, no. 3 pp. 190–199. (in Russian)
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2019-12-3-190-199>

The effect of water vapor emissions from the operation of thermal power plants, boiler houses and motor vehicles on local climatic changes and the climate adaptation of a megalopolis using the example of Moscow

E. G. Gasho, S. V. Guzhov *, A. S. Beloborodova, N. V. Gukova

National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
st. Krasnokazarmennaya, 14, 111250, Moscow, Russia

Being a large consumer of energy resources, the Moscow metropolis significantly changes the climate of its agglomeration. Climatic indicators changing in the medium term have an impact on each of the industries of the metropolis. The most common type of destructive effect is the temperature and humidity deformation of coatings, as a result of which the materials of the building envelope are rapidly destroyed under the influence of positive and negative temperatures. Both thermal pollution and emissions of greenhouse gases and water vapor produce adverse effects. The purpose of this article is to determine the degree of influence of these emissions on climate formation, as well as the possibility of their compensation by Moscow's green spaces. The tasks of analyzing trends in the absolute humidity of air depending on the additional volume of water vapor produced during the combustion of fuel at thermal power plants and in boiler rooms, the functioning of cooling towers, and the operation of motor vehicles are considered in sequence. The dependence of the actual number of clear days on air temperature is analyzed. The months with the longest covered sky are identified. The processes of cloud formation and changes in air temperature depending on the height and conditions of the city are determined. The formation of an area with an increased air temperature at an altitude of 60 to 400 meters above the city territory as a result of heat emissions is demonstrated. The dynamics and reserves of reducing greenhouse gas emissions are analyzed. The efficiency of the implementation of the state policy in the field of energy conservation and energy efficiency, which is focused primarily on the modernization of the power equipment of urban thermal power plants with the installation of modern combined-cycle power units, is shown. The insufficiency of the compensation mechanism of photosynthesis is demonstrated. The ways of climatic adaptation of the megalopolis are shown. Energy-saving measures to reduce gas consumption at sources of thermal energy are identified and the effects of their implementation are evaluated.

KEYWORDS: thermal pollution, greenhouse gases, water vapor, absolute air humidity, climate change in a megalopolis, climate adaptation, photosynthesis, eco-rehabilitation, energy conservation

Acknowledgments

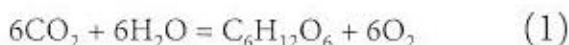
The article was prepared based on the results of a project implemented with the support of the Russian Science Foundation (unique identifier of the RSF grant No. 16-19-20568).

Москва — самый холодный из крупных мегаполисов планеты. Топливно-энергетический комплекс — основа разветвленной и сложной системы жизнеобеспечения города. Потребности Москвы в тепловой энергии составляют в среднем 93 – 97 млн Гкал в год. Потребности в тепловой энергии обеспечивают 13 ТЭЦ, 66 квартальных и районных тепловых станций, 186 городских и 793 ведомственных котельных, каждая из которых при работе производит в атмосферу выбросы как продуктов сгорания природного газа, так и водного пара.

С 2006 г. Москва является участником Партнерства крупных городов в борьбе с изменением климата С40. В соответствии с решением мэра Москвы С. С. Собянина в 2011 г. Москва присоединилась к Проекту по раскрытию данных о выбросах парниковых газов CDP. Города-члены С40 получают возможность бесплатно пользоваться программным обеспечением для отслеживания и измерения выбросов парниковых газов, разработанным в рамках Проекта CDP, что представляет для Москвы особый интерес.

При сжигании природного газа потребляется кисло-

род и выделяется углекислый газ и вода. Естественным процессом, при котором поглощаются углекислый газ и вода и выделяется кислород является процесс питания растений, т. е. фотосинтез, реакция которого в общем виде записывается уравнением [1]:



В процессе фотосинтеза один гектар елово-лиственных насаждений в возрасте 20 – 40 лет за год поглощает из атмосферы 6,5 – 8,5 т углекислого газа и выделяет в атмосферу 5 – 6,5 т кислорода [2, 3]. При этом поглощается 2,5 – 3,5 т воды.

Несмотря на то, что доля водяного пара в парниковом эффекте по разным оценкам составляет около 60%, пристальное внимание к выбросам пара в результате жизнедеятельности человека и влиянию данных выбросов на изменение климата отсутствует. Тем не менее, повышенная влажность весьма негативно влияет и на иные стороны городского хозяйства.

Наиболее распространенным видом разрушающего воздействия являются температурно-влажностные де-

формации, в результате которых материалы ограждающих конструкций под переменным воздействием положительных и отрицательных температур разрушаются. Увлажнение стен зданий, особенно интенсивное при сильном ветре, и последующее охлаждение приводит к замерзанию воды в порах материалов, и оказывает разрушающее воздействие на конструкции. Увеличение количества жидких осадков, сопровождающих оттепели, а также быстрая смена температуры и перепады температуры, связанные с переходами через 0°C , являются дополнительным фактором, усиливающим процесс старения.

Целью работы являлось определение степени влияния производства тепловой и электрической энергии на электрических станциях и котельных, расположенных в г. Москве, а также работы автотранспорта на формирование климата на отдельно взятой территории, а также достаточности имеющихся зелёных насаждений г. Москвы для компенсации избыточных объёмов водного пара, полученного в результате антропогенного воздействия. Полученные результаты могут быть интересны при формировании программ развития мегаполисов, включая определение высотности и координату размещения зданий.

Москва — один из наиболее богатых зелёными насаждениями городов мира. Зелёная инфраструктура города представлена 120 особо охраняемыми природными территориями суммарной площадью 17,6 тыс. га, а также зелёными насаждениями, составляющими природный комплекс города. «Старая» Москва (в границах города до 1 июля 2012 г.) сохранила радиально-кольцевую структуру планировки, сформировавшуюся исторически и отражённую в рамках Генеральных планов разных периодов развития. Её зелёная инфраструктура включает разные по площади фрагменты сохранившихся природных территорий и зелёные насаждения, образующие систему внутриквартального и уличного озеленения. Особо охраняемые природные территории находятся в периферийных частях города и представлены большей частью лесами: смешанными (преимущественно с сосной) и лиственными; встречаются также луговые и болотные экосистемы.

Согласно официальным данным [4], состояние зелёных насаждений Москвы в целом нельзя считать благополучным. Ослабленная в результате воздействия атмосферного и иных видов загрязнения растительность располагается в пределах широкой полосы, протянувшейся через центральную часть города с северо-северо-запада на юго-юго-восток, в то время как зоны здоровой растительности локализованы по окраинам города, где расположены крупные лесопарковые районы.

В наибольшей степени трансформированными оказались зелёные территории на юг, восток и северо-восток от столицы. Открытая сельская местность с её наиболее высоким средостабилизирующим потенциалом оказалась наиболее востребованным территориальным ресурсом нынешней фазы урбанизации. Она поглощается всеми видами застройки, и, кроме

того, переходит в урбанизированные открытые и замкнутые открытые пространства, что в первом случае полностью сводит на нет её экосистемные услуги, во втором — существенно их ограничивает.

Потребности Москвы в теплоэнергии составляют в среднем 93–97 млн. Гкал в год. Общее потребление электроэнергии в Москве составляет 54,5 млрд. кВт·ч, за вычетом потерь и собственных нужд ТЭК к потребителям передаётся около 40 млрд. кВт·ч, из них торговля и сфера услуг потребляют около 38%, бытовой сектор — около 28%, промышленность — 15%, транспорт и связь — около 7%, прочие потребители — 1,5%. На бытовой сектор Москвы приходится максимальный расход тепловой энергии в объёме 52 млн. Гкал, что составляет 62% от общего объёма потребления тепловой энергии, из которого примерно 55% приходится на отопление.

В научной и научно-популярной литературе широко обсуждается влияние выбросов парниковых газов на изменение климата на планете. Внимание в первую очередь уделяется углекислому газу. Однако водяной пар является одним из основных парниковых газов на планете [5]. Страны, подписавшие Киотский протокол [6], взяли на себя обязательства по снижению выбросов только углекислого газа. Парижское соглашение [7] также не рассматривает выбросы водяного пара. Количество водяного пара в атмосфере пополняется в результате испарения под действием энергии Солнца [8, 9] и жизнедеятельности человека [10].

1. Изменение абсолютной влажности в Москве

Рассмотрим динамику изменения температуры и относительной влажности в Москве за период с 1950 по 2016 гг. На рисунке 1 представлены значения среднемесячной температуры воздуха в Москве за период с 1950 по 2016 гг.

Среднемесячная температура в ноябре составляет 0°C . Для данной температуры плотность насыщенных водяных паров равняется $4,84 \text{ г/м}^3$. За 65 лет среднемесячная температура в ноябре выросла с $-2,5^{\circ}\text{C}$ до 0°C .

Существуют два понятия, характеризующие количество водяного пара в воздухе. Это абсолютная и относительная влажность воздуха. Абсолютная влажность воздуха — это количество влаги, содержащейся в одном кубическом метре воздуха. Относительная влажность воздуха — это отношение массовой доли водяного пара в воздухе к максимально возможной при данной температуре. За последние 65 лет относительная влажность воздуха в ноябре выросла с 85% до 88% (рисунки 2).

Плотность насыщенного водяного пара при температуре 0°C равняется $4,84 \text{ г/м}^3$, а при температуре $-2,5^{\circ}\text{C}$ — $3,95 \text{ г/м}^3$. Масса водяного пара в одном кубическом метре воздуха в ноябре за рассматриваемый период увеличилась с 3,36 г до 4,26 г. Рост массы парникового газа — водяного пара за рассматриваемый период составил 26,9% в ноябре.

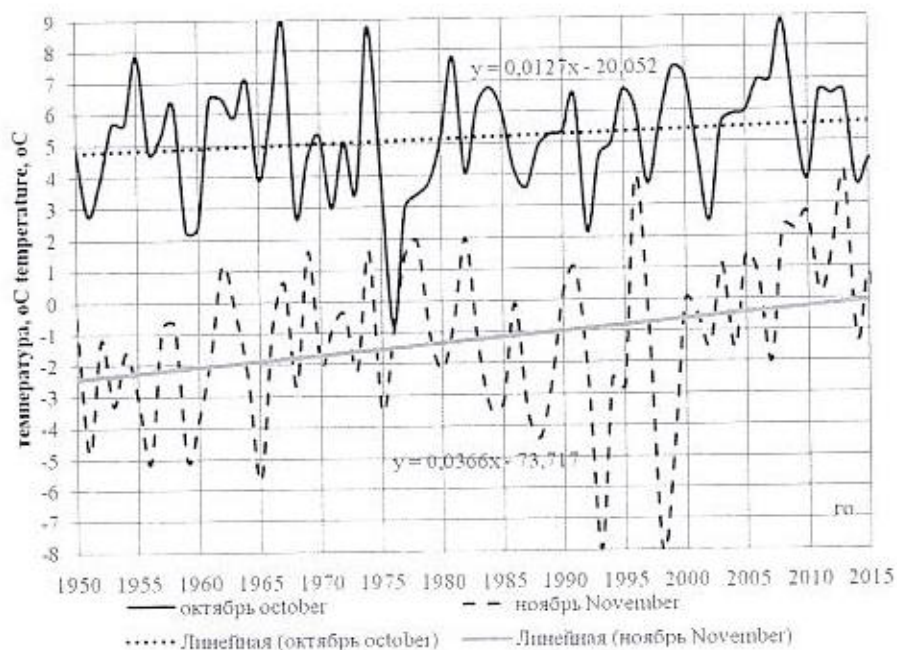


Рисунок 1. Среднемесячная температура в Москве: месяцы октябрь, ноябрь за период наблюдения [11]
 Figure 1. The average monthly temperature in Moscow in the months of October and November for the observation period [11]

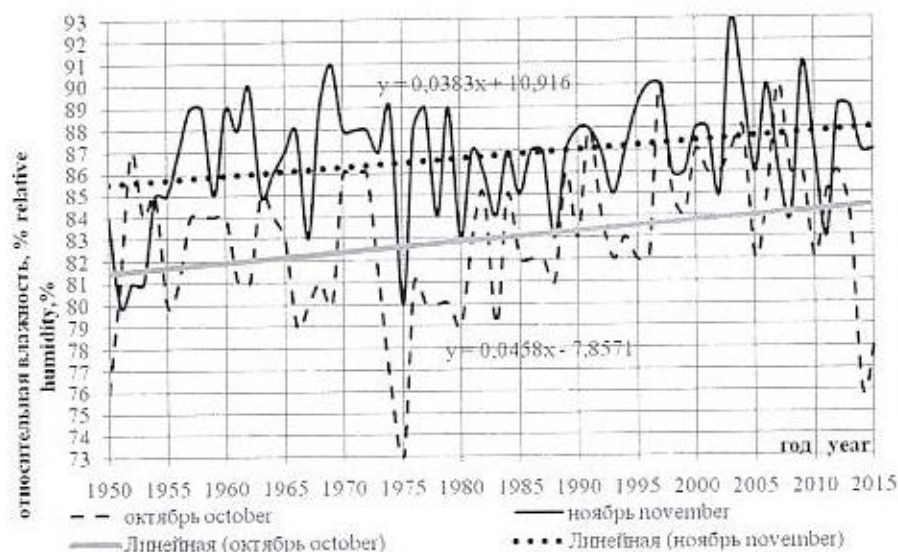


Рисунок 2. Относительная влажность воздуха в Москве в октябре и ноябре за период с 1950 по 2016 г. [12]
 Figure 2. Relative humidity in Moscow in October and November for the period from 1950 to 2016 [12]

2. Зависимость количества ясных дней в Москве от температуры воздуха

На основании данных метеонаблюдений в Москве за период с 1997 по 2017 гг. определена численность ясных и пасмурных дней в сумме за 20 лет: в октябре — 59 из 620 дней; ноябре — 46 из 600 дней; декабре — 43 из 620 дней; январе — 79 из 620 дней. Отметим, что за период наблюдений с 1997 по 2017 гг. минимальное количество ясных дней в Москве было зафиксировано именно в ноябре и декабре. Например, в период с октября 2006 г. по январь 2007 г. был всего один ясный день. Распределение температур воздуха в Москве в ноя-

бре и декабре за период с 1997 по 2017 гг. представлено на рисунке 3. Максимальное количество дней в ноябре и декабре за период с 1997 по 2017 гг. с температурой 0°C наблюдалось в ноябре, а в декабре максимальным было количество дней с температурой +1°C.

На рисунке 4 представлено отношение количества ясных дней для каждого значения температуры воздуха к общему количеству дней с данной температурой в октябре, ноябре, декабре и январе за период с 1997 по 2017 гг. Из приведённых данных видно, что минимальное значение доли солнечных дней наблюдается при температурах около 0°C. Зависимость доли ясных дней от температуры воздуха имеет ярко выраженный

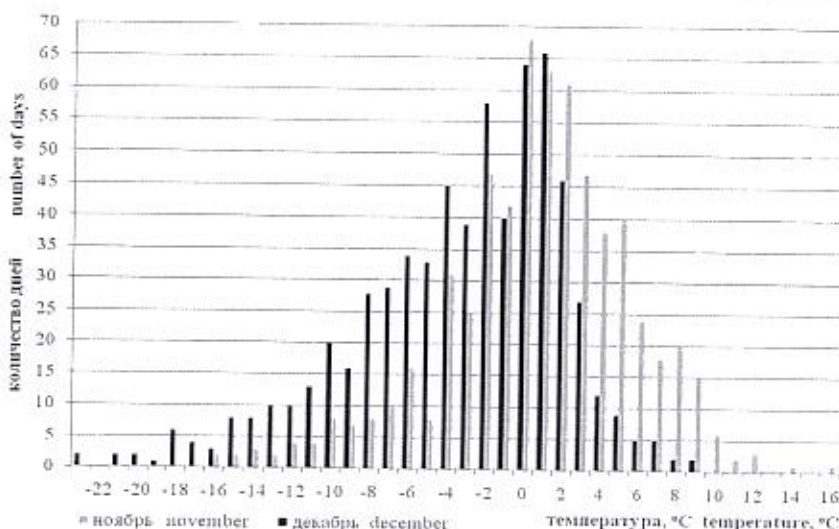


Рисунок 3. Температура воздуха в Москве в ноябре и декабре за период с 1997 по 2017 гг.
Figure 3. Air temperature in Moscow in November and December for the period from 1997 to 2017

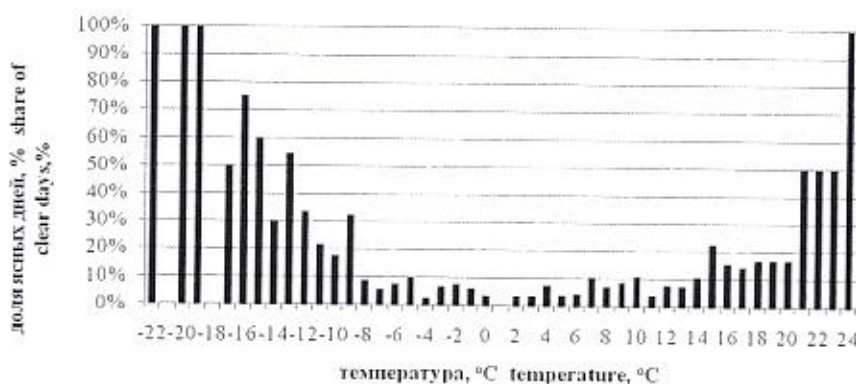


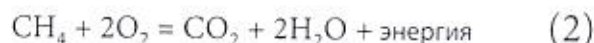
Рисунок 4. Зависимость количества ясных дней от температуры воздуха в Москве за период октябрь – январь
Figure 4. The dependence of the number of clear days on air temperature in Moscow for the period October – January

параболический вид. При снижении температуры ниже -14°C и росте температуры выше $+20^{\circ}\text{C}$ отмечен рост доли ясных дней выше 50%.

3. Расчёт дополнительного объёма водяного пара в результате жизнедеятельности человека

3.1. При сжигании топлива на ТЭЦ и в котельных:

Основным топливом для электрических станций и котельных в Москве является природный газ. Доля метана в составе природного газа в Москве составляет 92% – 94%. Химическая реакция горения метана (CH_4) представлена уравнением (2):



При сжигании 1 кг метана потребляется 4 кг кислорода, выделяется 2,75 кг углекислого газа и 2,25 кг воды.

В Москве за 2016 г. было потреблено около 23 млрд. m^3 природного газа [13]. Учитывая, что масса метана в одном кубическом метре составляет примерно

714 г/ m^3 , получим, что в процессе сжигания природного газа потребляется около 65,7 млрд кг кислорода, выделяется около 45,16 млрд. кг углекислого газа и около 36,95 млрд. кг воды в год.

3.2. При использовании градирен на ТЭЦ:

При сжигании 23 млрд. m^3 природного газа с удельной теплотой сгорания 8000 ккал/ m^3 на ТЭЦ и в котельных в Москве выделяется 184 млн Гкал тепловой энергии. Коэффициент полезного действия котлов примем равным 90%. Следовательно, количество тепла, выбрасываемого в трубу с уходящими продуктами горения, составит 18,4 млн. Гкал. Масса воды, которую необходимо испарить, оценивается по формуле (3):

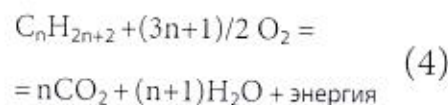
$$m_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{тгр}} / \lambda \quad (3)$$

где λ — удельная теплота парообразования, равная 2260 кДж/кг.

Масса испарившейся воды составит около 44,4 млрд. кг в год.

3.3. При сжигании топлива автотранспортом:

Химическая реакция горения алканов может быть записана в общем виде (4):



При сжигании 1 кг алканов потребляется $3+(3n+5)/(7n+1)$ кг кислорода и выделяется $3+(n-3)/(7n+1)$ кг углекислого газа и $1+(2n+8)/(7n+1)$ кг воды (таблица 1).

В Москве за 2010 г. было потреблено около 2,95 млн тонн дизельного топлива и 5,73 млн. тонн бензина и выделено около 12 млрд. кг воды в год. Суммарные рассчитанные выбросы водяного пара по Москве в результате работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта оцениваются в 93 млрд. кг в год, в том числе: около 37 млрд. кг при сжигании топлива на ТЭЦ и в котельных, около 44 млрд. кг при работе градирен и около 12 млрд. кг при сжигании бензина и дизельного топлива автотранспортом. Выбросы водяного пара в атмосферу от работы ТЭЦ и котельных почти в 7 раз больше, чем от использования автотранспорта.

4. Формирование облаков

Процесс формирования облаков можно описать следующим образом. Пар из приземных слоёв ат-

Таблица 1. Баланс реакции горения при сжигании 1 кг алканов [14]

Table 1. The balance of the combustion reaction when burning 1 kg of alkanes [14]

Название Title	Химическая формула Chemical formula	Кислород O ₂ , кг Oxygen O ₂ , kg	Углекислый газ CO ₂ , кг Carbon dioxide CO ₂ , kg	Вода H ₂ O, кг Water H ₂ O, kg
гексан hexane	C ₆ H ₁₄	3,53	3,07	1,46
гептан heptane	C ₇ H ₁₆	3,52	3,08	1,44
октан octane	C ₈ H ₁₈	3,51	3,08	1,42
тридекан tridecan	C ₁₃ H ₂₈	3,48	3,11	1,37
октадекан octadecane	C ₁₈ H ₃₈	3,46	3,12	1,35

атмосферы поднимается на высоту, на которой температура воздуха соответствует точке росы и начинает конденсироваться. В результате конденсации

территорией города на высоте от 60 до 400 метров может формироваться область с повышенной температурой воздуха (рисунок 6).

водяного пара образуются облака. Выброс продуктов сгорания топлива осуществляется через трубы, высота которых на ТЭЦ в Москве составляет от 60 до 250 метров. В атмосферу, находящуюся в состоянии без сторонних тепловых возмущений (рисунок 5), поступает тепло вместе с уходящими продуктами горения топлива в среднем около $8,8 \cdot 10^9$ кДж, а также тепло, выделяемое в процессе конденсации водяного пара, в среднем около $20,9 \cdot 10^9$ кДж в час. В результате выбросов тепла над тер-

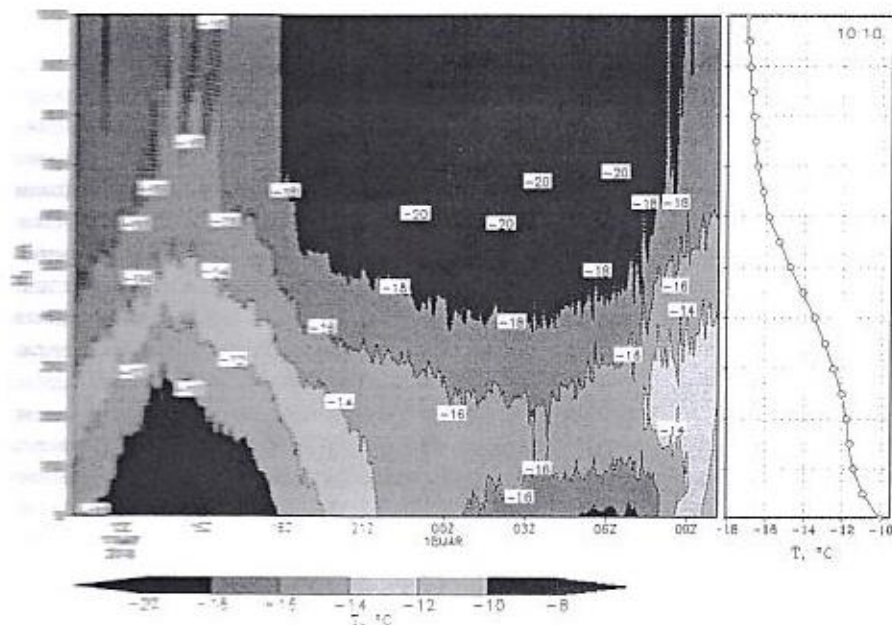


Рисунок 5. Вертикальное распределение температуры в Москве [15].
Время 10-10. Координаты профилимера: ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория, Московская обл., г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3 (55°55'32"N, 37°31'23"E)

Figure 5. The vertical temperature distribution in Moscow [15].
Time 10-10. Profiler coordinates: FSBI Central Aerological Observatory, Moscow Region, Dolgoprudny, ul. Pervomayskaya, 3 (55° 55' 32" N, 37° 31' 23" E)

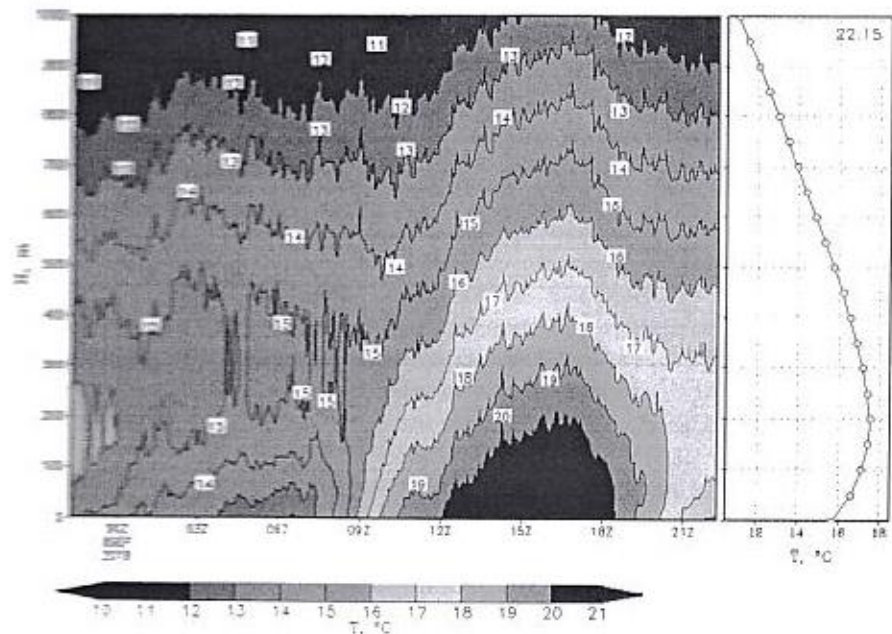


Рисунок 6. Вертикальное распределение температуры в Москве [15].
Время 22-15. Координаты профилимера: ФГБУ Центральная аэрологическая обсерватория, Московская обл., г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3 (55°55'32"N, 37°31'23"E)

Figure 6. The vertical temperature distribution in Moscow [15].
The time is 22-15. Profiler coordinates: FSBI Central Aerological Observatory, Moscow Region, Dolgoprudny, ul. Pervomayskaya, 3 (55° 55' 32" N, 37° 31' 23" E)

По данным Гидрометцентра РФ 7 октября 2017 г. в 15:00 температура воздуха на высоте 300 м составляет +6°C, а на высоте 1000 м — 1°C. В таблице 2 представлены результаты расчётов относительной влажности воздуха в зависимости от высоты над поверхностью земли.

При поднятии тёплого воздуха с относительной влажностью 80%, при температуре +9°C на высоту менее 500 м при температуре воздуха около +4°C относительная влажность воздуха достигнет 100% (насыщенный пар) и начнётся конденсация водяных паров. При влажности 0,5 г/м³ и толщины 200 м площадь облака превысит площадь Москвы внутри МКАД в 2,9 раза. Наибольшее влияние на количество солнечных дней в году выбросы водяного пара оказывают в ноябре, так как плотность насыщенных паров в ноябре ниже, чем в июле, а объём сжигаемого природного газа выше.

Максимальное количество водяного пара в атмосфере Москвы в километровом слое при температуре 0°C у поверхности земли составляет около 2,9 млрд кг.

Среднесуточное количество водяного пара, выбрасываемого в атмосферу в результате работы ТЭЦ и котельных составляет 254,8 млн кг. Отношение среднесуточного количества водяного пара, получаемого в результате работы ТЭЦ и котельных, к максимальному количеству в атмосфере при 0°C у поверхности земли составит для километрового слоя — 8,7%, для 500-метрового слоя — 14,6%, для 200-метрового слоя — 35,1%.

5. Динамика и резервы сокращения эмиссии парниковых газов

Расчёты показывают, что к настоящему времени Москва снизила выбросы парниковых газов более чем на 20% от уровня 1990 г. Наибольший объём потребления газа в Москве (83%) приходится на объекты «большой» энергетики — ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» и др. При этом за период с 2010 по 2018 гг. отмечается снижение объёмов ежегодного потребления природного газа более чем на 13,67%. Это связано с реализацией государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, ориентированной, прежде всего, на модернизацию силового оборудования городских теплоэлектростанций [16] с установкой современных парогазовых энергоблоков [17] (таблица 3).

В Москве для повышения эффективности работы энергокомплекса и сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ликвидируются низкоэффективные источники энергоснабжения. С 2010 г. выведены из эксплуатации 64 таких объекта.

Переключение тепловой нагрузки с

устаревших котельных на более эффективные ТЭЦ привело к сокращению использования топлива и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Экономия топлива за 5 лет составила свыше 1,2 млн м³ газа. Сокращение выбросов парниковых газов (С₂) за пять лет совместно ПАО «МОЭК» и ПАО «Мосэнерго» в результате переключения нагрузок — 2,2 млн. т в среднем 440 тыс. т в год, что сопоставимо с выбросом С₂ 3 млн. автомобилей в год.

До 2021 г. будут закрыты ещё 12 объектов: 11 малых котельных и одна квартальная тепловая станция. В результате переключения их тепловой нагрузки на централизованное теплоснабжение от ТЭЦ выбросы загрязняющих веществ в атмосферу сократятся на 157 тыс. т.

С 2013 г. выбросы парниковых газов снизились более чем на 10 млн. т С₂-экв. (по первому охвату) с 71 млн. т в 2013 г. до 58 млн. т в 2018 г., на 18%.

6. Фотосинтез и система мониторинга зелёных насаждений

За состоянием окружающей среды наблюдает специально уполномоченная организация города Москва по осуществлению государственного экологического мониторинга — Государственное природоохранное бюджетное учреждение «Мосэкомониторинг». Региональная система экологического мониторинга включает в себя наблюдения за состоянием атмосферного воздуха: 56 автоматических станций контроля загрязнений атмосферы, включая 4 мобильные станции; 66 утвержденных контрольных створов поверхностных водных объектов; 124 скважины и 165 водопунктов родников, колодцев подземных вод; 1333 площадки постоянного мониторинга почв; 130 постоянных площадок наблюдения за зелёными насаждениями, 25 площадок наблюдения за газонами зелёных насаждений; 4 мобильные

Таблица 2. Относительная влажность воздуха в зависимости от высоты над поверхностью земли

Table 2. Relative humidity depending on the height above the ground

Высота, м Height, m	Плотность насыщенного водяного пара, г/м ³ Saturated Steam Density, g/m ³	Температура воздуха, °C Air temperature, °C	Относительная влажность воздуха, % Relative humidity, %
100	8,3	8	80,00
200	7,8	7	85,13
300	7,3	6	90,96
400	6,8	5	97,65
500	6,4	4	100

Таблица 3. Коэффициент использования тепла топлива (КИТТ) ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» с 2008 по 2018 гг. [18]

Table 3. Fuel heat utilization coefficient (KITT) of TPPs of Mosenergo PJSC from 2008 to 2018 [18]

Год year	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
КИТТ, %	65,66	68,32	67,22	67,27	68,16	69,66	69,87	71,03	71,33	72,53	72,7

и 1 стационарные автоматические станции контроля уровня шума; 13 постоянных участков наблюдения опасных оползневых геозкологических процессов, 1 участок карстово-суффозионных процессов.

Системные наблюдения за состоянием зелёных насаждений в Москве начались в 1997 г. В настоящее время наблюдательная сеть включает 130 площадок постоянного наблюдения, расположенных на территориях с различной антропогенной нагрузкой: скверы, магистрали, дворовые территории, парки. Натурные исследования включают визуальную оценку различных параметров древесно-кустарниковой и травянистой растительности, осуществляется контроль распространения болезней и вредителей зелёных насаждений. В 2018 г. в рамках мониторинга было обследовано 10976 деревьев и 17175 кустарников.

В рамках мониторинга используется как классические методы оценки состояния зелёных насаждений, так и метод дистанционного зондирования земли, что позволяет оценивать показатели озеленённости, площадные характеристики, количественные параметры озеленённых территорий, проводить скрининговые исследования по выявлению участков ослабления растительности на основе вегетационных индексов. Данные дистанционного зондирования земли позволяют оценивать показатели озеленённости, площадные характеристики, количественные параметры озеленённых территорий, проводить скрининговые исследования по выявлению участков ослабления растительности на основе вегетационных индексов.

При сжигании природного газа образуется 93 млн т воды в год. Требуемая для поглощения воды площадь лесопосадок составит от 264 до 372 тысяч км², что превышает площадь Москвы в пределах МКАД в 302 – 424 раза.

Требуемая площадь лесопосадок для поглощения выделяемого углекислого газа составит от 60 до 50 тысяч км², что в 68 – 88 раз больше площади Москвы в пределах МКАД.

Требуемая площадь лесопосадок для компенсации кислорода, используемого при горении природного газа, составит от 114 до 148 тысяч км², что в 130 – 172 раза больше площади Москвы в пределах МКАД.

7. Климатическая адаптация города

Неспособность зелёных насаждений г. Москвы компенсировать антропогенное воздействие приводит к климатическим изменениям, вызывающим высокую изменчивость погодных условий и, как следствие, графики тепловой и электрической нагрузки в Москве. Вместе с увеличением жилых площадей в городе и развитием энергосбережения это вызывает постепенный рост электрических нагрузок при «замораживании» тепловых нагрузок для отопления жилья, офисов, помещений промышленной и бюджетной сферы. Адаптация города к уже наблюдаемым и возможным в ближайшие десятилетия климатическим изменениям требует дальнейшего совершенствования системы энергоснабже-

ния Москвы и постоянного общественного контроля.

Энергосбережение во всех секторах экономики: модернизация энергоисточников, тепловых и электрических сетей, учёт у потребителей, капитальный ремонт и реконструкция зданий — позволяет не только сэкономить значительное количество топлива и сократить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, но даёт существенный резерв развития: свыше 50 млн кв. метров недвижимости построено за 2011 – 2018 гг. и подключено к теплоэнергоснабжению без роста потребления газа.

По данным Государственной программы «Развитие коммунально-инженерной инфраструктуры и энергосбережение» [19] энергоёмкость ВРП снизилась до 3,1 кг условного топлива/тыс. руб. Уменьшение уровня износа сетевого хозяйства электрических сетей составило 54,8%, газовых сетей — 35,4%, коллекторных сетей — 17%, магистральных тепловых сетей — 45,1%, разводящих тепловых сетей — 43,1%, водопроводных сетей — 48,6%, канализационных сетей — 47,7%, водосточных сетей — 43,6%.

Очевидно, что в более благоприятном положении находятся округа, на территории которых располагаются особо охраняемые природные территории или крупные лесопарки, например, Восточный округ Москвы. Они представляют своеобразные «острова холода» и стабилизации экологической обстановки в городском мегаполисе.

Пути и меры решения существующих проблем сбалансированности «зелёного каркаса» города [20] включают в себя несколько аспектов:

I. выполнение демонстрационных пилотных проектов по озеленению крыш и стен общественных зданий различных типов и видов использования в центральной части города в целях разработки адресных мер по улучшению состояния природно-лесного для разных частей города и категорий насаждений

II. внедрение механизма обязательного озеленения части площадей, высвобождающихся от старой застройки (в центральной части города — до 20%) в целях сохранения существующих площадей зелёных насаждений на территории Москвы, и, прежде всего, крупных ареалов зелёной инфраструктуры — городских лесов, самосевных зелёных массивов, парков

III. установление особого природоохранного статуса для долинно-речных экологических коридоров и водораздельных транзитных крупных ООПТ, пересекающих административные границы города в целях увеличения количественных и качественных показателей озеленённости в высокоурбанизированных зонах города, прежде всего, в области действия городского «острова тепла» — в пределах Третьего транспортного кольца и Центрального административного округа

IV. разработка механизма замены погибших новыми зелёными насаждениями с учётом условий их выживаемости и экологической обоснованности посадок в целях применения научно обоснованных методик и стандартов ухода за ландшафтом, базирующихся на естественных природных механизмах, в пределах осо-

бо охраняемых природных территорий и крупных ареалах зелёной инфраструктуры — городских лесах

V. изменение системы индикаторов зеленых насаждений, перевод её с количественных показателей, зависящих только от площадей насаждений, к количественно-качественным, учитывающим рекреационные и другие полезные функции в целях максимального сохранения лесных массивов в районах Новой Москвы и достижения их пространственной непрерывности с основной территорией города

VI. экореконструкция русел малых и самых малых рек, и ручьев, а также — звеньев овражно-балочной сети для сохранения их в качестве открытых водотоков, обеспечивающих нормальный и восстановление связи между небольшими фрагментами «патчами» городской зелёной инфраструктуры и

VII. освобождение пойм и террас долин крупных рек от фрагментов устаревшей производственной, транспортной и коммунальной инфраструктуры и включение их в зелёную инфраструктуру как в статусе открытых и полуоткрытых ландшафтов — частей водно-зелёного диаметра в целях оптимизации стоково-бассейновых функций городского природного комплекса и снятия рисков развития неблагоприятных процессов и предотвращения чрезвычайных ситуаций [20].

Реализуемая в регионе политика энергосбережения более 15 лет стабилизирует годовое тепло- и газопотребление города на уровнях ~100 млн. Гкал и 23.25 млрд. м³ природного газа при росте жилого и нежилого фонда на 20,5% за соответствующий период. При этом электропотребление населения растёт незначительно, а электропотребление непромышленной сферы, торговли, малого бизнеса выросло за 10 лет почти в 5 раз: с 3 до 14 млрд. кВт·ч.

Таким образом, за счёт экономии энергии в существующих и вновь строящихся зданиях, сокращения потерь тепла при транспорте и распределении тепловой энергии, мероприятий по выводу из эксплуатации малоэффективного и изношенного оборудования источников тепловой энергии, закрытия неэффективных источников тепловой энергии с учётом переключения присоединённых тепловых нагрузок потребителей на источники когенерации и другие источники тепла в актуализированном варианте схемы теплоснабжения города в сферах производства и потребления тепловой энергии в 2032 г. будет обеспечена экономия топлива в объёме 1,7 млрд. м³ природного газа. Это составляет 7% годового расхода газа на источниках тепловой энергии в 2018 г. и приведёт к снижению валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города на 3,3 тыс. т/год.

Выводы

1. За период с 1950 по 2016 гг. рост абсолютной влажности воздуха в Москве в ноябре составил 27%.

2. Минимальное количество солнечных дней наблюдается в ноябре и декабре. Зависимость доли солнечных дней от температуры наружного воздуха для

октября – января имеет параболическую зависимость с минимумом около 0°C.

3. Среднесуточная площадь производимых облаков может превосходить площадь Москвы в пределах МКАД в 14,5 раз.

4. Отношение выбросов к максимальному возможному количеству водяного пара в атмосфере Москвы в 200-метровом слое превышает 35% для температуры 0°C у поверхности земли.

5. Требуемая площадь лесопосадок для поглощения выделяемого углекислого газа составит от 60 до 80 тысяч км², что в 68–88 раз больше площади Москвы в пределах МКАД. для компенсации кислорода, используемого при горении природного газа, необходимо в 130–172 раза больше площади Москвы в пределах МКАД.

6. Комплекс мероприятий по сокращению потерь тепловой энергии, реализованный в г. Москва, привёл к 7% годовому снижению расхода газа на источниках тепловой энергии в 2018 г.

Список использованных источников

1. Физиология растений [Электрон. ресурс] <http://fizrast.ru/> (Дата обращения 11.09.2019).

2. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы. [Электрон. ресурс] <http://kak.znate.ru/docs/index-30054.html> (Дата обращения 11.09.2019).

3. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства. Федеральное агентство лесного хозяйства [Электрон. ресурс] https://nffc.caviales.ru/main_pages/index.shtml (Дата обращения 11.09.2019).

4. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году [Электрон. ресурс] <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/> (Дата обращения 11.09.2019).

5. Чернокульский А. «Климат как отражение облаков» // Наука и жизнь 2017; (10): 70–77.

6. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата [Электрон. ресурс] https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (Дата обращения 11.09.2019).

7. Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, регулирующие меры по снижению углекислого газа в атмосфере с 2020 г. [Электрон. ресурс] https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (Дата обращения 11.09.2019).

8. Линнея Крилен «Облака. Наблюдаем и изучаем», изд. Манн, Иванов и Фербер Москва 2016 г.

9. Рамсторф Ш. «Ветер, дождь и облака», изд. Бинум. Лаборатория знаний, Москва 2015 г.

10. Московский парник [Электрон. ресурс] http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=235 (Дата обращения 11.09.2019).

11. Архив погоды [Электрон. ресурс] <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (Дата обращения 11.09.2019).

12. Архивы погоды по городам России. Московская область. Москва. Относительная влажность [Электрон. ресурс] https://climate-energy.ru/weather/archive_weather_276120.php (Дата обращения 11.09.2019).

13. Годовой отчёта за 2016 г. ОАО «Мосгаз» [Электрон. ре-

http://www.mos-gaz.ru/investors/reports (Дата обращения 11.09.2019).

14. Химические свойства алканов [Электрон. ресурс] <https://himija-online.ru/organicheskaya-ximiya/alkany/ximicheskie-svoystva-alkanov.html> (Дата обращения 11.09.2019).

15. Гидрометцентр России, Фактические данные, Над крышами Москвы: вертикальное распределение температуры в нижнем 1-километровом слое [Электрон. ресурс] <https://meteoinfo.ru/t-profiler> (Дата обращения 11.09.2019).

16. Сжигание топлива и парниковый эффект [Электрон. ресурс] <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-2/2-2> (Дата обращения 11.09.2019).

17. Белобородов С. С. «Снижения эмиссии CO₂: развитие когенерации или строительство ВИЭ?» // «Энергосовет» 2018; 1(51): 16-25.

18. Годовые отчеты ПАО «Мосэнерго» [Электрон. ресурс] <http://www.mosenergo.ru/investors/reports/yearly-reports/> (Дата обращения 11.09.2019).

19. Постановление от 27 марта 2018 года № 239-ПП "О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 27 сентября 2011 г. № 450-ПП" [Электрон. ресурс] <https://energo.mos.ru/legislation/laws/7714172/> (Дата обращения 11.09.2019).

20. Гашо Е. Г., Гинзбург А. С., Федоров А. В. URBI et ORBI. Городу и миру. Приоритеты экологического развития. Материалы общественной экспертизы М, 2019 г.

References

1. Plant physiology [Electron. resource] <http://fizrast.ru/> (accessed 11.09.2019).

2. Tables and models of growth and productivity of plantations of the main forest-forming species of Northern Eurasia. Normative and reference materials. [Electron. resource] <http://kak.znate.ru/docs/in-fact/2018/1.html> (accessed 11.09.2019).

3. Remote monitoring information system Federal forestry Agency, Federal forestry Agency [Electron. resource] <https://nffc.aviales.ru/main/pages/index.shtml> (accessed 11.09.2019).

4. Report on the state of the environment in Moscow in 2018 [Electron. resource] <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/> (accessed 11.09.2019).

5. Chemokhly A. "Climate as a reflection of clouds" // Science and Technology. 2017. 1(4): 70-77.

6. Kyoto Protocol to The United Nations framework Convention

on climate change [Electron. resource] https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/kyoto.shtml (accessed 11.09.2019).

7. The Paris agreement under the UN framework Convention on climate change governing measures to reduce carbon dioxide in the atmosphere from 2020 [Electron. resource] https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf (accessed 11.09.2019).

8. Linnaeus Krilin "Clouds. Observe and study", ed. Mann, Ivanov and Ferber, Moscow, 2016.

9. Rahmstorf S., "Wind, rain and clouds", ed. Binomial, Knowledge laboratory, Moscow, 2015.

10. Moscow greenhouse [Electron. resource] http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=235 (accessed 11.09.2019).

11. Weather archive [Electron. resource] <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (accessed 11.09.2019).

12. Archives of weather in Russian cities. Moscow region. Moscow. Relative humidity [Electron. resource] https://climate-energy.ru/weather/archive_weather_276120.php (accessed 11.09.2019).

13. Annual report for the year 2016 of OJSC "Mosgaz" [Electron. resource] <http://www.mos-gaz.ru/investors/reports> (accessed 11.09.2019).

14. Chemical properties of alkanes [Electron. resource] <https://himija-online.ru/organicheskaya-ximiya/alkany/ximicheskie-svoystva-alkanov.html> (accessed 11.09.2019).

15. Hydrometeorological center of Russia, Actual data, Over the roofs of Moscow: vertical temperature distribution in the lower 1-kilometer layer [Electron. resource] <https://meteoinfo.ru/t-profiler> (accessed 11.09.2019).

16. Fuel combustion and greenhouse effect [Electron. resource] <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-2/2-2> (accessed 11.09.2019).

17. Beloborodov S. S. "reducing CO₂ emissions; development of cogeneration or construction of RES?" // "Energosovet" 2018; 1(51): 16-25.

18. Annual reports of PJSC Mosenergo [Electron. resource] <http://www.mosenergo.ru/investors/reports/yearly-reports/> (accessed 11.09.2019).

19. Resolution No. 239-PP of 27 March 2018 "on amending resolution No. 451-PP of the government of Moscow of 27 September 2011" [Electron. resource] <https://energo.mos.ru/legislation/laws/7714172/> (accessed 11.09.2019).

20. Gasho E. G., Ginzburg A. S., Fedorov A. V. URBI et ORBI. City and world. Environmental development priorities. Materials of public examination M, 2019.

