DOI: 10.21513/0207-2564-2016-1-27-48 УДК: 502.1+504.5

ВЫБРОСЫ КОРОТКОЖИВУЩИХ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ЗА ПЕРИОД С 2000 ДО 2013 ГОДЫ

А.А. Романовская, Е.В. Имшенник, Р.Т. Карабань, Н.С. Смирнов, В.Н. Коротков, А.А. Трунов*

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская 20-Б; * *an_roman@mail.ru*

Резюме. В работе приведены оценки выбросов короткоживущих климатически активных веществ антропогенного происхождения, включая выбросы метана (CH_4), гидрофторуглеродов (ГФУ) и черного углерода на территории России за период с 2000 по 2013 гг. По данным национального кадастра суммарный выброс CH_4 на территории страны увеличился на 29 % в 2013 году (41.6 млн. т) по сравнению с уровнем 2000 года (32.4 млн. т CH_4). Основное увеличение выброса CH_4 за этот период произошло в секторе «энергетика». Выбросы ГФУ в 2013 году составили 21 млн. т CO_2-экв., сократившись примерно на 20 % с 2000 года (27 млн. т CO_2-экв.) за счет значительного снижения выбросов от их производства. Доля суммарных выбросов (CH_4 и ГФУ) в общем национальном выбросе парниковых газов составляет до 38 % в 2013 гг. Среднегодовые выбросы черного углерода в результате пожаров на лесных и нелесных землях за период 2000 – 2013 соответствуют примерно 70.8 тыс. т. С учетом экспертных оценок антропогенных выбросов черного углерода в других секторах экономики страны можно предварительно получить величину совокупного выброса черного углерода в России равного 350 – 360 тыс. т в год. Сокращение выбросов короткоживущих климатически активных веществ имеет значительный потенциал в уменьшении совокупного парникового воздействия на атмосферу с территории России.

Ключевые слова. Короткоживущие загрязнители, выбросы, метан, гидрофторуглероды, черный углерод, сажа, изменение климата.

ANTHROPOGENIC EMISSIONS OF SHORT-LIVED CLIMATE-ACTIVE SUBSTANCES ON THE TERRITORY OF RUSSIA WITHIN THE PERIOD FROM 2000 TO 2013

A.A. Romanovskaya, E.V. Imshennik, R.T. Karaban, N.S. Smirnov, V.N. Korotkov, A.A. Trunov*

Institute of Global Climate and Ecology of Roshydromet and RAS,
20B, Glebovskaya str., 107258 Moscow, Russia; **an_roman@mail.ru*

Summary. The paper presents estimates of anthropogenic emissions of short-lived climate-active substances of anthropogenic origin, including emissions of methane (CH_4), hydrofluorocarbons (HFCs) and black carbon in Russia within the

period from 2000 to 2013. According to the national inventory the total CH_4 emissions in the country increased by 29 % in 2013 (41.6 million tons) compared to the 2000 level (32.4 million tons CH_4). The main increase in the CH_4 emission occurred in the energy sector. The HFC emissions in 2013 amounted to 21 million tons of CO_2-eq., a decrease of about 20 % since 2000 (27 million tons CO_2-eq.) due to the significant reduction of emissions from their production. The share of total emissions (CH_4 and HFCs) in total national greenhouse gas emissions amounts to 38 % in 2013.The average annual black carbon emissions due to wildfires in forest and non-forest lands for the period 2000 – 2013 correspond to about 70.8 thousand tons. Taking into account expert estimates of anthropogenic black carbon emissions in other sectors of the economy we can previously obtain the amount of the total emission of black carbon in Russia as high as 350 – 360 thousand tons per year. Reduction of emissions of short-lived climate-active substances has significant potential to decrease cumulative greenhouse impact on the atmosphere from the territory of Russia.

Keywords. Short-lived pollutants, emissions, methane, hydrofluorocarbons, black carbon, soot, climate change.

Введение

В последние годы усилился интерес к короткоживущим климатически активным веществам антропогенного происхождения и их воздействии на климатическую систему. К таким веществам относятся метан (CH_4), тропосферный озон (O_3), гидрофторуглероды (ГФУ) и чёрный углерод. В отличие от долгоживущих парниковых газов (время их жизни 100 и более лет), короткоживущие парниковые агенты не способны к продолжительной циркуляции в системе атмосфера – океан – экосистемы суши. Поэтому сокращение объема выбросов этих веществ может сказаться на их содержании в атмосфере сравнительно быстро – на временах порядка 10 лет и менее. Считается, что наряду с контролем выбросов углекислого газа (CO_2), меры по сокращению выбросов короткоживущих парниковых агентов могут снизить антропогенное повышение глобальной температуры еще на 0.5 °C к 2050 году (UNEP, 2011).

CH_4 и ГФУ входят в число парниковых газов, подлежащих контролю согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН), принятой в Рио-де-Жанейро в 1992 году (РКИК ООН, 2005). Россия и ряд других развитых стран регулярно представляют кадастры антропогенных выбросов этих веществ в атмосферу в Секретариат РКИК ООН, где эти данные ежегодно проходят международный аудит (Национальный доклад …, 2015). Большая часть тропосферного озона образуется, когда оксиды азота (NO_x), окись углерода (CO), CH_4 и летучие органические соединения вступают в химические реакции в присутствии озона и солнечного света. Таким образом, тропосферный озон является вторичным производным от парниковых газов и прекурсоров, регулируемых РКИК ООН. В отличие от вышеперечисленных, черный углерод пока не является объектом мониторинга в России (как по выбросам, так и по присутствию в атмосфере и выпадению на подстилающую поверхность).

CH_4 – второй по значимости источник климатических изменений после CO_2. На долю CH_4 приходится примерно 17 % глобального потепления (на долю CO_2 – около 64 %) (IPCC, 2013). Нельзя недооценивать роль CH_4 в парниковом эффекте. Метан не только активно участвует в парниковом эффекте, но и как лёгкий газ быстро попадает на границу тропосферы и стратосферы, где под действием солнечных лучей на высоте 15 – 20 километров разлагается на водород и углерод. Углерод соединяется с кислородом, образуя CO_2. А в результате поглощения кислорода разрушаются молекулы O_3 – защитного слоя биосферы Земли. Образованный из метана CO_2 под действием турбулентной диффузии и конвенции довольно быстро распределяется в толще атмосферы, пополняет запасы атмосферного углерода и участвует в парниковом эффекте. Чем больше CH_4 попадает в атмосферу, тем больше образуется CO_2.

CH_4 имеет как природное, так и антропогенное происхождение. Природные источники CH_4 включают: болота при гниении органики (отсюда его второе название – «болотный газ»); поступление из обширных мангровых зарослей; зоны тектонических разломов на суше и на дне океанов при активных вулканических подводных извержениях; при землетрясениях из трещин и разломов в районах скопления нефти и газоконденсатов, месторождений бурого и каменного угля, горючих сланцев, из толщ осадочных пород, богатых органикой.

Антропогенными источниками CH_4 являются разведка и добыча полезных ископаемых; транспортировка и переработка полезных ископаемых; неполное сгорание минерального топлива в двигателях внутреннего сгорания и тепловых электростанций; промышленное производство; сельское хозяйство (рисовые поля и животноводческие фермы); пожары; осушение торфяников; захоронение твердых отходов в земле; очистка сточных вод.

По имеющимся в научной литературе сведениям примерно 65 % выбросов CH_4 в атмосферу приходится на антропогенные источники и 35 % – на естественные (Кароль, Киселев, 2004). По данным Пятого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) в последние десятилетия происходит неуклонный рост концентрации метана в атмосфере Земли, которая составила 150 % по сравнению с доиндустриальным периодом (IPCC, 2013).

ГФУ – углеводородные соединения, у которых атомы фтора частично замещают атомы водорода. Эти вещества не содержат в своём составе атомов хлора и брома, способных вызывать разрушение озонового слоя Земли при попадании в атмосферу. ГФУ используются для замены озоноразрушающих веществ, широко применяемых в промышленных, коммерческих и бытовых целях. Они используются в установках кондиционирования воздуха, холодильном оборудовании, при производстве вспененной теплоизоляции, в аэрозолях, в системах автоматического газового пожаротушения и в других отраслях. По данным ВМО глобальный объём находящихся в обращении ГФУ увеличивался ежегодно на 10 – 15 % в течение периода с 2006 по 2010 гг. (WMO, 2011).

Хотя ГФУ не разрушают озоновый слой, но они представляют собой парниковые газы, которые в тысячи раз эффективнее удерживают тепло в атмосфере, чем CO_2, и имеют очень высокие потенциалы глобального потепления (ПГП)

(коэффициент, используемый для перевода соответствующего газа в эквивалент CO_2 путём умножения количества газа на его ПГП). ПГП ГФУ составляет 124 – 14800 (IPCC, 2007).

По результатам ряда исследований, вклад ГФУ в парниковый эффект в настоящее время составляет около 4 % от вклада CO_2 (IPCC, 2013). Однако, по расчётам учёных, к 2050 году вклад ГФУ вырастет до 7 – 12 % от доли CO_2. Надо учитывать и то обстоятельство, что если глобальные выбросы CO_2 будут стабилизированы, то относительный вклад в выбросы ГФУ будет расти. Поэтому международное сообщество все больше склоняется к необходимости начать работу с ГФУ в рамках Монреальского протокола. Считается, что в рамках Монреальского протокола возможен контроль над производством и использованием ГФУ, а в рамках Киотского протокола – наращивание усилий по снижению выбросов от уже действующих установок.

В табл. 1 приведены наиболее часто используемые в современной российской практике ГФУ и даны наиболее важные их характеристики – время жизни в атмосфере, радиационный эффект и ПГП. Для сравнения следует указать, что ПГП CO_2 принят равным 1, для CH_4 он составляет 25, для закиси азота (N_2O) – 298.

Таблица 1. Список ГФУ наиболее распространенных в России и некоторые их характеристики по данным (IPCC, 2007)

Название газа	Химическая формула	Время жизни, годы	Радиационный эффект, Втм$^{-2}$млрд$^{-1}$	ПГП за 100 лет
ГФУ-23	CHF_3	270	0.19	14 800
ГФУ-32	CH_2F_2	5	0.11	675
ГФУ-125	CHF_2CF_3	29	0.23	3 500
ГФУ-134a-	CH_2FCF_3	14	0.16	1 430
ГФУ-143a	CH_3CF_3	52	0.13	4 470
ГФУ-152a	CH_3CHF_2	1	0.09	124
ГФУ-227ea	CF_3CHFCF_3	34	0.26	3 220
ГФУ-365mfc-	$CH_3CF_2CH_2CF_3$	9	0.21	794

Как видно из табл. 1, для некоторых ГФУ (ГФУ-23) время жизни в атмосфере достаточно велико и сопоставимо с временами жизни CO_2 и N_2O, тем не менее, из практических соображений, все ГФУ часто относят к короткоживущим парниковым газам.

Как указывалось выше, выбросы чёрного углерода пока не подлежат регулярному расчетному и/или экспериментальному мониторингу в национальном масштабе. Появляются публикации по оценкам выбросов черного углерода для отдельных городов РФ, например, для Мурманска (Evans et al., 2015).Чёрный углерод по своему составу соответствует элементарному углероду, который адсорбирует солнечную радиацию во всех длинах волн (U.S. EPA, 2012). При этом черный углерод нельзя отождествлять с сажей – это

лишь малая часть выбросов твёрдых взвешенных частиц в ее составе. Согласно имеющимся в литературе данным, выбросы от лесных пожаров в РФ составляют от 40 до 56 % общей эмиссии черного углерода в целом по стране, 30 % привносит сжигание топлива на местном уровне (биомассы, угля, древесины и т.п.), еще примерно по 10 % приходится на травяные палы, промышленность и транспорт (Generoso et al., 2007; U.S. EPA, 2012). Однако при рассмотрении выбросов только с территории Сибири и Дальнего Востока, основным источником черного углерода являются процессы сжигания топлива в секторе энергетики, включая его использование на транспорте, которые превышают выбросы от лесных пожаров в этих регионах в 5 раз (Виноградова и др., 2015).

Методы оценки выбросов метана и гидрофторуглеродов антропогенного происхождения и выбросов черного углерода от лесных пожаров

Согласно данным национального кадастра источниками выбросов CH_4 в энергетике являются выбросы от добычи, хранения, первичной переработки, транспортировки и потребления угля, нефти и газа, а также от сжигания нефтяного (попутного) газа на нефтепромыслах, от сжигания технологических газов различных производств (Национальный доклад…, 2015). Выбросы CH_4 в промышленности связаны с металлургией (производство агломерата, железа прямого восстановления, ферросплавов) и химическим производством (производство карбида кремния, технического углерода, этилена, винилхлорида, метанола, окиси этилена и акрилонитрила). В сельском хозяйстве основными источниками выбросов CH_4 являются выбросы при кишечной ферментации жвачных животных, выбросы от систем сбора и хранения навоза, а также выбросы, связанные с выращиванием риса. В секторе отходы источниками выбросов CH_4 являются захоронение твёрдых отходов на свалках и полигонах, а также очистка коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. Источниками выбросов гидрофторуглеродов являются выбросы при производстве и использовании галоидоуглеводородов.

Проведенный анализ методов по оценке выбросов CH_4 и ГФУ, показывает, что комплексная оценка ежегодных выбросов по всем видам источников может выполняться только в системе расчётного мониторинга в рамках разработки национального кадастра выбросов и абсорбции парниковых газов на территории РФ. Методическую основу оценки выбросов и абсорбции парниковых газов составляют Руководящие принципы МГЭИК 2006 года, а также методические разработки, основанные на отечественном опыте проведения национальных инвентаризаций парниковых газов и материалах научных исследований. Подробная информация о методах и методиках оценки выбросов CH_4 и ГФУ рассматривается по секторам и категориям источников в тексте Национального доклада о кадастре (Национальный доклад…, 2015). Ниже рассмотрим основные методические подходы при расчётах выбросов CH_4 и ГФУ от различных источников.

Метан. По данным национального кадастра оценка выбросов CH_4 от сжигания топлива в секторе «Энергетика» проводится по отдельным категориям источников с использованием метода уровня 1 (МГЭИК, 2006). Расчёт выброса CH_4, как правило, производят по формуле:

$$E_{CH_4} = \Sigma(AD \cdot EF_{CH_4}), \quad (1)$$

где: E_{CH_4} – величина выброса CH_4, тыс. тонн; AD – данные о деятельности в год; EF_{CH_4} – коэффициент выбросов CH_4.

Для расчётов могут быть использованы коэффициенты, приведённые в Руководящих принципах МГЭИК (МГЭИК, 2006) отдельно для каждой категории источников.

Для оценки выбросов CH_4 от дорожного транспорта применяется метод высшей категории сложности (уровень 3) Руководящих принципов МГЭИК 2006 года (МГЭИК, 2006) и используются коэффициенты выброса на километр пробега для различных категорий автотранспортных средств.

Расчёты оценки выбросов CH_4 при добыче угля осуществляются по методике МГЭИК (МГЭИК, 2006) раздельно для подземного и открытого способа добычи.

Выбросы CH_4 от нефти и природного газа оцениваются по отдельности от разведочного и эксплуатационного бурения, опробования и обслуживания действующих нефтяных скважин, при добыче, транспортировке и первичной переработке нефти и природного газа, а также при добыче газового конденсата. Выбросы CH_4 в нефтяной отрасли рассчитываются по формуле 1 с использованием коэффициентов выбросов по умолчанию МГЭИК (МГЭИК, 2006). Для расчёта потерь от сжигания попутного нефтяного и природного газа применяют коэффициент перерасчёта объёмных величин газа в весовые, который составляет $0.6984*10^{-6}$ тыс. т $м^{-3}$.

Выбросы CH_4 в секторе «Промышленные процессы и использование продукции» невелики и составляют около 0.3 % от суммарного выброса парниковых газов в промышленности. Оценка выбросов при производстве агломерата, железа прямого восстановления и ферросплавов выполняется по методу уровня 1 с использованием коэффициентов выбросов по умолчанию (МГЭИК, 2006). Также по методу уровня 1 МГЭИК оцениваются выбросы CH_4 в химической промышленности для всех выше перечисленных производств за исключением производства карбида кремния. Выбросы CH_4 от этого производства рассчитываются по методу уровня 2 МГЭИК на основе данных об объёмах затрат нефтяного кокса, полученных от завода-производителя.

В секторе «Сельское хозяйство» выбросы CH_4 оценивают при внутренней ферментации сельскохозяйственных животных всех видов: крупного рогатого скота (КРС), свиней, коз, мулов, ослов, лошадей, верблюдов, кроликов, северных оленей, лис, песцов, норок, нутрий и разных видов птицы. Однако основной вклад в выбросы CH_4 привносят жвачные животные. Поэтому выбросы CH_4 при процессах внутренней ферментации КРС оцениваются по разработанной национальной методике, которая по сложности и детальности

расчётов соответствует второму уровню сложности расчетов МГЭИК (МГЭИК, 2006). Подобная методика применяется также для расчета выбросов от поголовья свиней.

Для оценки валовой энергии (МДж), потребляемой на одну голову скота в год, использованы ежегодные статистические данные о количестве расхода кормовых единиц разных видов кормов (концентрированные корма, из них комбикорма, грубые и сочные корма) коровам, остальному поголовью КРС и свиньям (www.gks.ru). На основе соотношения видов кормов в годовом рационе и статистических данных по суммарному расходу кормов на 1 голову коров, другого поголовья КРС или свиней рассчитывали потребление кормов по их видам в расчёте на 1 голову и валовую энергию по уравнению 2. Для коров и остального поголовья КРС расчёт необходимо проводить для каждого региона отдельно.

$$GE = \Sigma_i\left(R \cdot \frac{fod_i}{totalfod} \cdot FU_i \cdot 18.45\right), \qquad (2)$$

где: GE – валовая энергия потребляемого корма в расчёте на 1 голову в год, МДж; R – суммарный расход всех видов кормов на 1 голову скота данной категории в год, кормовые единицы; fod_i – расход кормов определённого вида (i) на всё поголовье скота данной категории за год, кормовых единиц; $totalfod$ – общее потребление кормов всех видов поголовьем скота данной категории за год, кормовых единиц; FU_i – содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества корма определённого вида (i), доля; 18.45 – коэффициент преобразования сухого вещества кормов в МДж (МГЭИК, 2006).

Расчёт выбросов CH_4 для всех остальных видов животных и птицы выполняется в соответствии с методикой МГЭИК уровня 1 по умолчанию (МГЭИК, 2006). Все коэффициенты выбросов CH_4, используемые для расчётов при внутренней ферментации приведены в Национальном докладе о кадастре (Национальный доклад …, 2015).

Коэффициенты выбросов CH_4 от систем сбора, хранения и использования навоза КРС и свиней могут быть рассчитаны по уровню 2 методики МГЭИК (2006) – уравнения 3 и 4:

$$VS = \left(GE \cdot \left(1 - \frac{DE\%}{100}\right) + UE \cdot GE\right) \cdot (1 - ASH) \cdot 18.45\,, \qquad (3)$$

$$EF = (VS \cdot 365) \cdot \left[B_0 \cdot 0.67 \cdot \Sigma_s\left(\left(\frac{MCF_s}{100}\right) \cdot MS\%_s\right)\right], \qquad (4)$$

где: VS – выделение сухого вещества летучих веществ, кг сут.$^{-1}$; GE– валовая энергия, МДж сут. $^{-1}$; DE – коэффициент перевариваемости корма,%; UE – энергия мочи, фракция валовой энергии (0.04 – для КРС и 0.02 – для свиней); ASH – содержание золы в сухом веществе навоза; B_0 – максимальная метанопродуцирующая способность для навоза каждой категории (0.24 для коров, 0.17 для прочего поголовья КРС и 0.45 для свиней); 0.67 – коэффициент преобразования м^3 CH_4 в килограммы; MCF_s – коэффициенты преобразования

CH_4 для каждой системы сбора и хранения навоза (*s*) (хранение в сухом виде 2.0 %, жидкое хранение – 10.0 % и навоз, оставленный на пастбище – 1.0 %); $MS\%_s$ – доля навоза данной категории скота, которая обрабатывается в каждой системе сбора и хранения навоза (*s*) (в среднем, для коров 0.8 – сухое хранение и 0.2 – пастбища; для прочего поголовья КРС 0.6 – сухое хранение, 0.3 – пастбища и 0.1 – жидкое хранение; для свиней 0.6 – жидкое хранение и 0.4 – сухое хранение).

Средневзвешенные значения коэффициентов перевариваемости кормов должны быть определены в зависимости от соотношения разных видов кормов для каждого года и по каждому региону. Методология расчёта выбросов CH_4 от навоза и помёта остальных видов сельскохозяйственных животных и птицы соответствует уровню 1 Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006).

Значения пересчетных параметров для расчёта выбросов CH_4 с рисовых полей соответствуют средним значениям, рекомендуемым по умолчанию для уровня 1 (МГЭИК, 2006). Для каждого конкретного года расчёта выбросов CH_4 от рисоводства следует определять корректирующие коэффициенты на основе статистических данных о внесении органических добавок под посевы риса. В России дозы внесения органических удобрений под рисовые чеки сократились от 0.5 т га$^{-1}$ в 1990 г. до 0.2 – 0.3 т га$^{-1}$ в последние годы. В среднем коэффициент выброса CH_4 от рисовых полей оценен равным 0.12 т CH_4 га$^{-1}$.

Выбросы CH_4 в секторе землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ), связанные с пожарами, оцениваются на основе уравнения 5 (см. ниже) и соответствующих коэффициентов выброса CH_4 (*Gef*) равными 2.3 ±0.9 для сгоревшей биомассы на кормовых угодьях и лугах и 4.7 ±1.9 г кг$^{-1}$ сжигаемого вещества для пожаров в лесах (МГЭИК, 2006).

При осушении торфяных почв также наблюдаются остаточные выбросы CH_4, которые можно рассчитать на основе методики и рекомендуемых коэффициентов по умолчанию из дополнительного руководства МГЭИК по водно-болотным угодьям (Wetland supplement, 2013). Комбинированный пересчетный коэффициент выброса для пахотных земель равен 58.25 CH_4 кг га$^{-1}$ год$^{-1}$, для почв кормовых угодий – 43.63 и для лесных почв – 9.8 CH_4 кг га$^{-1}$год$^{-1}$.

Выбросы CH_4 в секторе «Отходы» оценивают от управляемого и неуправляемого захоронения твёрдых отходов на свалках и полигонах, а также от очистки коммунально-бытовых и промышленных сточных вод. Для выполнения расчётной оценки выбросов от захоронения отходов используется метод кинетики первого порядка, соответствующий уровню 2 МГЭИК (МГЭИК, 2006).

Выброс CH_4, связанный с очисткой коммунально-бытовых сточных вод, определяется как сумма выбросов от трех систем очистки:

- систем с аэробной биологической очисткой стоков и анаэробной обработкой осадков в метантенках (к которым относится часть систем, имеющих в своем составе канализацию и очистные сооружения);

- систем с аэробной биологической очисткой стоков, не оборудованных метантенками;

- от всех прочих систем обращения с коммунально-бытовыми стоками.

Для расчетов выбросов от данной категории источника используется усложненная методика МГЭИК второго уровня (МГЭИК, 2006) на основе уточненных параметров и пересчетных коэффициентов (Национальный доклад…, 2015).

Гидрофторуглероды. В секторе «Промышленные процессы и использование продукции» оцениваются выбросы ГФУ от производства галоидоуглеводородов, а также выбросы от использования ГФУ в разнообразных приложениях (Национальный доклад…, 2015).

Выбросы ГФУ-23 как побочного продукта при производстве ГХФУ-22 являются наиболее значительным источником выбросов ГФУ от производства галоидоуглеводородов. В национальном кадастре выбросы от этого источника оцениваются по методу уровня 2 МГЭИК на основании детализированных данных об объемах производства ГХФУ-22, об объемах сбора и улавливания образующегося при этом производстве ГФУ-23, а также технологических данных о выходе ГХФУ-22 по углероду и фтору, полученных от трех предприятий-производителей ГХФУ-22. Расчет коэффициентов выбросов для каждого предприятия проводится с учетом выхода ГХФУ-22 по углероду и фтору. Коэффициент выбросов ГФУ-23 принимается равным среднему арифметическому значений коэффициентов выбросов, рассчитанных по углероду и по фтору.

Помимо ГХФУ-22 в период 1995 - 2013 гг. на предприятиях России также производились трифторметан (ГФУ-23), пентафторэтан (ГФУ-125), дифторэтан (ГФУ-152а), гептафторпропан (ГФУ-227еа).

Фугитивные выбросы, связанные с этими производствами, существенно уступают по объему выбросам от производства ГХФУ-22. Оценка выбросов выполняется по методу уровня 1 МГЭИК с использованием коэффициента выбросов по умолчанию (0.5 % от объема производства соответствующего ГФУ).

Использование ГФУ в России впервые начинается в 1992 году. Во второй половине девяностых – начале двухтысячных наблюдается быстрый рост выбросов (от 25 до 100 % ежегодно), связанных с использованием ГФУ. В настоящее время рост этих выбросов несколько замедлился и после 2005 года колеблется в пределах от 7 до 56 % в год. За период с 1992 до 2014 года выбросы от использования ГФУ увеличились в 2615 раз.

Наибольшее количество ГФУ используется в холодильном оборудовании и в оборудования для кондиционирования воздуха. Доля этого приложения в выбросах от использования ГФУ составляет в настоящее время 89 %. Следующими по величине выбросов являются использование ГФУ в системах автоматического газового пожаротушения (4.5 %), использование в аэрозолях (3.8 %) и для производства вспененных пластиков (2.8 %).

Во всех приложениях используются различные ГФУ, а в оборудовании для кондиционирования воздуха и в холодильном оборудовании, кроме того, широко используются различные смеси ГФУ. Оценки выбросов выполняются отдельно для каждого ГФУ и для каждого смесевого хлада-

гента. Для смесевых хладагентов значения выбросов пересчитываются в выбросы ГФУ, входящих в состав смеси, в соответствии с процентным составом смеси (МГЭИК, 2006; Стрельцов и Шишов, 2006).

По методу уровня 2а МГЭИК оцениваются выбросы ГФУ от бытового холодильного оборудования, стационарных и автомобильных систем кондиционирования воздуха, коммерческого и промышленного охлаждения. По этому методу оцениваются выбросы наиболее широко используемых в системах охлаждения и кондиционирования воздуха хладагентов: ГФУ-134а, ГФУ-404а (ГФУ-125/ГФУ-143а/ГФУ-134а), ГФУ-407с (ГФУ-32/ГФУ-125/ГФУ-134а), ГФУ-410а (ГФУ-32/ГФУ-125), ГФУ-507 (ГФУ-125/ГФУ-143а). Доля выбросов, оцененных по методике уровня 2а МГЭИК, составляет около 95 % суммарного выброса от систем охлаждения и кондиционирования воздуха. По методу уровня 1 в этом приложении оцениваются выбросы ГФУ-23, ГФУ-143а, а также выбросы смесевых хладагентов ГФУ-401а,в (ГХФУ-22/ГФУ-152а/ГХФУ-124), ГФУ-402в (ГФУ-125/УВ-290/ГХФУ-22), ГФУ-408а (ГФУ-125/ГФУ-143а/ГХФУ-22), ГФУ-413а (ПФУ-218/ГФУ-134а/УВ-600а).

При расчетах по методу уровня 2 МГЭИК раздельно оцениваются выбросы от обращения с контейнерами, первоначальной заправки оборудования на предприятии и его дозаправки при установке и монтаже, ежегодные выбросы от всего накопленного в различных типах оборудования банка хладагентов, а также выбросы ГФУ в процессе утилизации списанного оборудования. Параметры расчета и коэффициенты выбросов выбраны на основе параметров и коэффициентов выбросов МГЭИК с учетом национальных экспертных данных.

Для расчетов используются данные, полученные от предприятий-производителей бытовых холодильников, результаты исследования, ежегодно выполняемого консалтинговой компанией «Литвинчук Маркетинг», а также данные о производстве ГФУ в России и данные о внешней торговле.

При расчете выбросов от использования ГФУ в качестве пенообразователя применяется метод уровня 1 МГЭИК. Расчеты выполняются на основе данных об объемах потребления в этом приложении ГФУ-134а и с 2010 года хладоновой смеси ГФУ-365mfc/ГФУ-227еа. При оценке ежегодных выбросов ГФУ от этого приложения учитываются данные внешней торговли вспененными материалами.

В России ГФУ-125 и ГФУ-227еа используются для частичной замены озоноразрушающих веществ – галонов в стационарном (затопляющем) противопожарном оборудовании. Оценка выбросов от этого приложения проводится по методу уровня 1 МГЭИК с использованием коэффициента выбросов по умолчанию для систем автоматического пожаротушения – 2 % от накопленных банков ГФУ в противопожарном оборудовании. Оценка выбросов выполняется с учетом данных о потреблении ГФУ-125 и ГФУ-227еа в России для заправки систем автоматического газового пожаротушения и данных о внешней торговле этими системами.

Выбросы от использования ГФУ-152а, ГФУ-134а и ГФУ-227еа в аэрозолях оцениваются по методу уровня 1 МГЭИК на основе данных об объемах потре-

бления ГФУ в этом приложении. Предполагается, что все использованные для заправки аэрозолей ГФУ выбрасываются в атмосферу в течение двух лет.

По методу уровня 1 оцениваются также выбросы от других видов использования гидрофторуглеродов.

Черный углерод от лесных пожаров. В основу расчетов положены данные Информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства РФ (ИСДМ Рослесхоз) (Информационная система…, 2015) по площадям земель лесного фонда, поврежденных пожарами в 2000 – 2013 гг., в разрезе субъектов РФ. Использована информация об общей площади, поврежденной огнем, а также о площади пожарных нарушений на покрытых лесом землях. Отдельно учитывались площади лесных гарей, на которых было повреждено более 75 % древостоя. При этом были выделены площади, пройденные пожарами трех типов: низовыми, верховыми и пожарами на непокрытых лесной растительностью землях (гари, вырубки, прогалины, погибшие древостои) и на нелесных землях (просеки, поляны и др.). Площади, пройденные подземными пожарами, не фиксируются в связи с их небольшим размером и относятся к гарям, где древостои полностью уничтожены огнем. Таким образом, используемые данные о площадях пожаров включают как данные дистанционного зондирования, так и аэровизуальной съемки, и данные наземного обследования. Общая точность данных по площадям пожаров оценивается ±30 % источником данных – Авиалесоохраной.

Для расчетов запасов доступного для горения топлива, к которому относятся биомасса, подстилка и мертвая древесина, были использованы данные Государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2011 г. в дифференциации по субъектам Российской Федерации. Для расчетов были использованы методы и специальная программа, разработанная Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской Академии Наук (ЦЭПЛ РАН) (Замолодчиков и др., 2011; Методика…, 2011). Результаты оценки запасов доступного для горения органического вещества для лесных земель приведены в табл. 2. В среднем для РФ запасы доступного для горения органического вещества составили 121.8 т га$^{-1}$ для покрытых лесом земель и 21.3 т га$^{-1}$ – для непокрытых лесом земель. Оценку выбросов черного углерода от лесных пожаров проводили по формуле 5 (МГЭИК, 2006):

$$L_{\Pi} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}, \qquad (5)$$

где: L_{Π} – количество выбросов черного углерода от пожара, тонн; A – площадь пожара, га; M_B – масса доступного для горения топлива (включая биомассу, подстилку и валежную древесину), т га$^{-1}$; C_f – коэффициент сгорания; не имеет размерности. Использованы значения 0.43 ±0.21 для верхового пожара, 0.15 ±0.08 для низового пожара, 0.5 ±0.25 для подземного пожара и 0.34 ±0.17 для непокрытых лесом земель лесного фонда в бореальных лесах (по таблице 2.6 в (МГЭИК, 2006)); G_{ef} – коэффициент выбросов черного углерода; г кг$^{-1}$ сжигаемого сухого вещества (0.56 ±0.19 для верховых, низовых пожаров и пожаров на непокрытых лесом землях и 0.91 ±0.41 для нелесных земель лесного фонда (Akagi et al., 2011)).

Таблица 2. Запасы доступного для горения органического вещества на лесных землях, т га$^{-1}$

Федеральные округа	Показатель	Покрытые лесом земли				Непокрытые лесом земли			
		Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Всего	Биомасса	Мертвая древесина	Подстилка	Всего
Централь-ный	среднее	135.3	29.5	14.7	179.5	13.2	0.6	12.0	25.8
	минимум	121.3	24.1	11.3	156.8	8.5	0.2	8.8	17.5
	максимум	172.9	37.7	15.4	226.1	27.5	1.8	14.3	43.6
Северо-Западный	среднее	87.2	20.7	28.6	136.5	7.8	0.3	19.3	27.4
	минимум	32.9	8.1	14.2	55.3	5.6	0.1	11.9	17.6
	максимум	156.5	32.2	31.8	220.5	18.1	0.7	22.7	41.5
Южный	среднее	144.7	23.5	11.7	179.9	11.4	0.4	8.9	20.7
	минимум	51.9	8.0	11.0	70.9	8.9	0.2	8.2	17.3
	максимум	185.3	28.7	12.9	226.9	19.8	1.2	11.0	32.0
Северо-Кав-казский	среднее	144.7	23.5	11.7	179.9	11.4	0.4	8.9	20.7
	минимум	24.8	3.1	11.0	38.9	6.3	0.2	8.2	14.7
	максимум	204.1	32.2	13.1	249.4	24.1	2.4	11.0	37.5
Приволж-ский	среднее	114.5	26.0	19.4	159.9	10.6	0.4	14.2	25.1
	минимум	97.9	16.5	11.8	126.2	6.5	0.2	8.4	15.1
	максимум	144.2	30.9	25.4	200.5	23.4	1.0	17.3	41.7
Уральский	среднее	83.4	18.2	24.8	126.4	10.1	1.5	17.2	28.7
	минимум	54.6	11.4	12.8	78.7	5.2	0.1	8.7	14.0
	максимум	116.4	28.1	32.1	176.7	13.5	2.1	22.1	37.7
Сибирский	среднее	97.8	18.5	12.2	128.5	9.2	2.1	11.0	22.3
	минимум	75.6	15.1	8.6	99.3	5.8	0.2	7.5	13.4
	максимум	138.0	24.4	12.8	175.2	14.5	3.2	11.6	29.4
Дальнево-сточный	среднее	68.5	11.9	10.8	91.2	10.5	1.0	8.7	20.3
	минимум	19.0	3.4	7.7	30.1	5.7	0.4	7.1	13.1
	максимум	120.6	19.8	13.3	153.7	16.7	2.5	9.7	28.9
Российская Федерация	среднее	88.2	17.6	16.0	121.8	10.1	1.3	9.9	21.3
	минимум	19.0	3.1	7.7	30.1	5.2	0.1	7.1	13.1
	максимум	204.1	37.7	32.1	249.4	27.5	3.2	22.7	43.6

Результаты

Метан. На рис. 1 приведен тренд выбросов метана за период с 2000 по 2013 гг. по секторам экономики в соответствии с данными Национального доклада о кадастре (Национальный доклад…, 2015). Выбросы от сектора «Промышленные процессы и использование продукции» составляют в среднем лишь 0.05 % от общего национального выброса метана, поэтому на рис. 1 выбросы от этого сектора не видны.

Как следует из рис. 1, суммарный выброс CH_4 на территории страны увеличился на 29.1 % в 2013 г. (41860 тыс. т) по сравнению с уровнем 2000 года (32435 тыс. т). Единственный сектор, в котором наблюдается сокращение выбросов CH_4 в течение рассматриваемого периода – сектор сельского хозяйства. Продолжающееся сокращение поголовья сельскохозяйственных животных и птицы обусловило уменьшение выброса метана в секторе на 14.0 % за 14 лет (с 2525.5 тыс. т в 2000 году до 2172.2 тыс. т в 2013 году).

В остальных секторах в результате постепенного восстановления экономики страны происходит некоторый рост выбросов CH_4, исключение составляет только кризисный 2009 год. В относительных единицах наиболее интенсивное повышение выбросов произошло в секторе «Промышленные процессы и использование продукции» – на 47 % (от 15.7 до 23.1 тыс. т). Хотя в секторе «Энергетика» относительное увеличение было немного меньше – около 33 % за период с 2000 по 2013 гг. – абсолютное значение роста выбросов составило 8695 тыс. т (от 29014 до 34709 тыс. т).

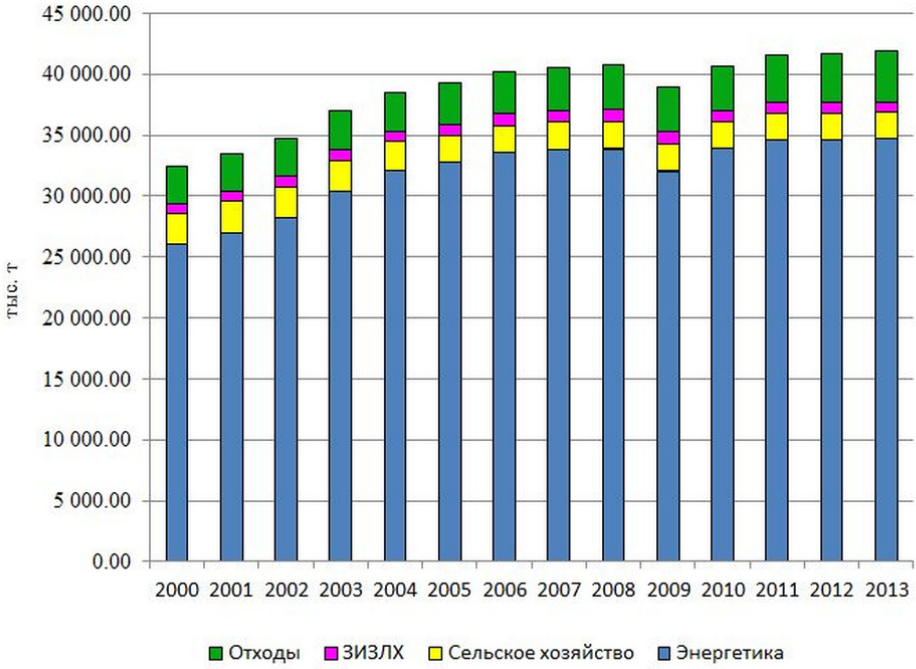

Рисунок 1. Выбросы метана за период с 2000 по 2013 гг. по секторам экономики, тыс. т

Выбросы CH_4 в результате пожаров на землях различных категорий землепользования (в секторе ЗИЗЛХ) мало изменялись в течение рассматриваемого периода и колебались в пределах от 755 тыс. т в 2004 году до 1022 тыс. т в 2009 году в зависимости от объемов сгоревшей биомассы. В 2000 г. выбросы от сектора ЗИЗЛХ составляли 813 тыс. т, а в 2013 – около 839 тыс. т.

В секторе «Отходы» рост выбросов за рассматриваемые 14 лет соответствовал 1049 тыс. т (или 34 %) и увеличился от 3067 до 4116 тыс. т в 2000 и 2013 гг. соответственно. Временной тренд выбросов в секторе «Отходы» связан с увеличением количества твердых бытовых отходов, вывозимых для захоронения на свалки и полигоны, а также с увеличением объемов производства в некоторых отраслях промышленности, повлекшим за собой рост объемов очистки сточных вод.

.

Рисунок 2. Вклад различных категорий источников в выбросы метана в Российской Федерации в среднем за период 2000 – 2013 гг., %

На рис. 2 приведен вклад различных категорий источников в выбросы CH_4 согласно данным Национального доклада о кадастре за 2015 год (Национальный доклад…, 2015).

Как видно из рис. 2, основной вклад в выбросы метана вносят фугитивные выбросы при добыче, транспортировке и использовании нефти и газа (77 %). Выбросы в результате сжигания топлива, включая сжигание населением, транспортом, предприятиями других отраслей и энергетикой, составляют меньшую на два порядка величину, вклад которой не превышает 0.5 %.

Следует отметить, что в результате изменения используемых коэффициентов для расчета фугитивных выбросов от топлива при переходе от методологии МГЭИК 1996 года к 2006 года, величина этих выбросов выросла почти в 2 раза. Так, до пересчетов суммарные фугитивные выбросы CH_4 соответствовали около 17000 тыс. т в год в среднем за период 2000-2012 гг. (Национальный доклад…, 2014). Доля фугитивных выбросов от нефти и газа ранее составляла в общем выбросе в стране около 63.2 %. Однако вопрос о корректности новых коэффициентов фугитивных выбросов в настоящее время остается открытым.

Согласно расчетам по методике МГЭИК 2006 г. (МГЭИК, 2006) на втором месте по вкладу находятся выбросы при захоронении твердых отходов. Выбросы CH_4 от процессов биологической обработки твердых отходов составляют лишь сотые доли процента. Роль выбросов при захоронении отходов на свалках и полигонов увеличилась от 6.0 % в начале 2000-х гг. до 7.5 % в 2013 году.

Вклад процессов внутренней ферментации домашних животных в национальные выбросы сократился с 7.2 до 4.7 % за рассматриваемый период в результате снижения сельскохозяйственного производства в стране и сокращения поголовья жвачных животных.

Гидрофторуглероды. По данным национального кадастра в 2013 году выбросы ГФУ составили 21258 тыс. т CO_2-экв. или 10.0 % от всего объема выбросов в секторе «Промышленные процессы и использование продукции» (Национальный доклад …, 2016). Доля выбросов ГФУ в суммарном выбросе парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ в Российской Федерации в 2013 году составила 0.75 %. По сравнению с базовым годом выбросы ГФУ сократились на 40.8 %.

Доля выбросов ГФУ в суммарном выбросе парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ в 2000 г. составляла 1.1 %. В течение последующих 11 лет наблюдалось устойчивое снижение доли выбросов ГФУ в суммарном выбросе парниковых газов. В 2011 году доля выбросов ГФУ составляла 0.4 %. В 2012 – 2013 гг. она выросла до 0.75 %.

На рис. 3 представлены результаты оценки выбросов ГФУ, выполненной в национальном кадастре. На рис. 3 выделены выбросы от производства галоидоуглеводородов и от использования ГФУ в различных приложениях. Следует отметить, что доля выбросов от использования ГФУ за это время выросла от 0.6 % в 2000 году до 40 – 60 % в настоящее время.

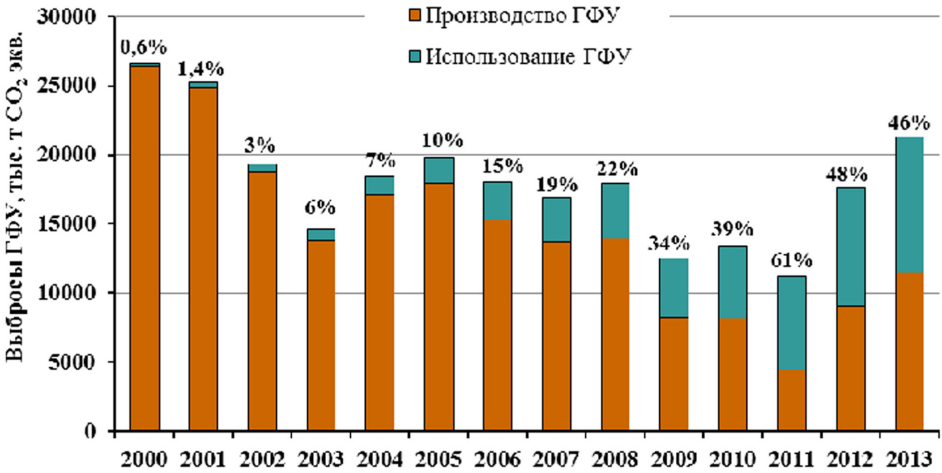

Рисунок 3. Выбросы ГФУ в России в 2000 – 2013 гг.
На рисунке приводится доля выбросов от использования ГФУ в %.

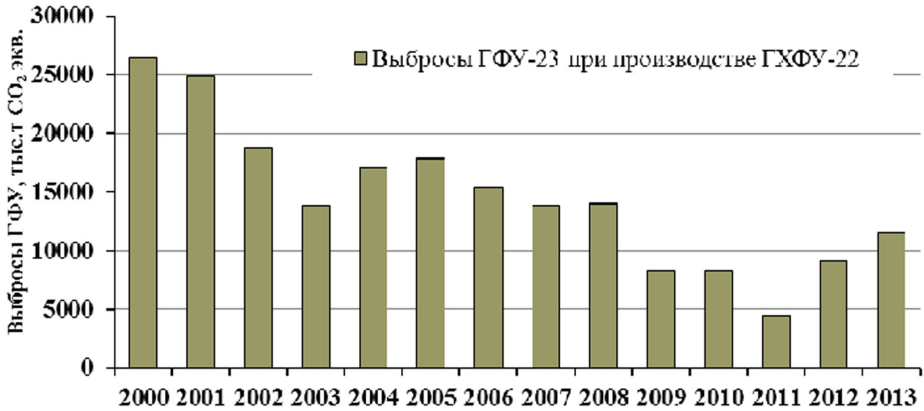

Рисунок 4. Выбросы ГФУ от производства галоидоуглеводородов в России

Это связано с двумя тенденциями: снижением выбросов от производства (рис. 4) и быстрым ростом выбросов от использования ГФУ (рис. 5).

Выбросы от производства практически полностью определяются побочными выбросами ГФУ-23 от производства ГХФУ-22 (доля фугитивных выбросов составляет менее 0.2 %). Эти выбросы в 2000 – 2011 гг. устойчиво снижались. Это существенное сокращение выбросов связано с внедрением дополнительных систем сбора и разрушения ГФУ-23 в рамках проектов совместного осуществления, выполненных на двух предприятиях компании «Галополимер» - основного

производителя ГХФУ-22 в России. В результате вмененный коэффициент выбросов от этого производства снизился в 6 раз. В 2012 – 2013 гг. выбросы ГФУ-23 выросли, одновременно сократилось производство ГХФУ-22.

В соответствии с решениями, принятыми во исполнение Монреальского протокола, с 1 января 2015 года производство ГХФУ должно быть сокращено на 90 % по сравнению с базовым уровнем, или в 2.5 раза по сравнению с уровнем 2010 – 2014 гг. В 2020 году оно будет еще раз существенно сокращено. В 2030 году производство ГХФУ должно быть прекращено полностью (Целиков, 2014). В 2012 – 2013 гг. практически прекращено производство новой холодильной техники и оборудования для кондиционирования воздуха с использованием хладона ГХФУ-22. В связи с этим следует ожидать дальнейшего снижения выбросов ГФУ-23 от производства ГХФУ-22.

Следует еще раз отметить, что ГФУ-23 не является короткоживущим парниковым газом. Его время жизни, согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК, составляет 270 лет (IPCC, 2007). При этом он характеризуется экстремально высоким значением потенциала глобального потепления – 14 800.

Выбросы от использования ГФУ в 2000 – 2013 гг. (рис. 5) быстро увеличивались (в среднем на 40 % в год). В 2007 – 2013 гг. скорость роста выбросов несколько снизилась и составила в среднем около 20 % в год.

Основная часть выбросов ГФУ происходит при использовании ГФУ в холодильной технике и в оборудовании для кондиционирования воздуха. Наблюдается существенный рост потребления ГФУ в этом приложении. В настоящее время его доля составляет 89 %.

В производстве и обслуживании холодильной техники средний ежегодный рост потребления хладонов в настоящее время составляет 20 % для ГФУ-404а и 64 % для ГФУ-507. Этот рост во многом обусловлен прекращением использования ГХФУ-22 для производства холодильной техники.

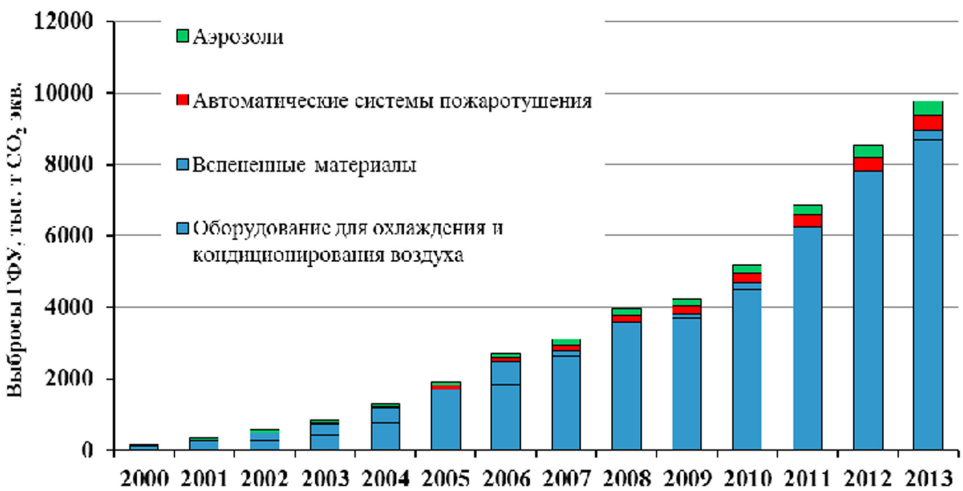

Рисунок 5. Выбросы от использования ГФУ в различных приложениях

В тоже время потребление ГФУ-134а для производства холодильной техники снижается в среднем на 10 % в год. Это связано с переходом предприятий - производителей бытовой холодильной техники на климатически нейтральный хладон УВ-600а. В 2001 году доля бытовых холодильников и морозильников, выпущенных с использованием ГФУ-134а, составляла 65 %, в 2013 году она снизилась до 10 %.

За последнее время (с 2007 года) средний ежегодный рост потребления ГФУ в оборудовании для кондиционирования воздуха также был очень высоким. Он составил 27 % для ГФУ-134а, 4 % для ГФУ-407с и 94 % для ГФУ-410.

Объем использования ГФУ увеличивается и в других приложениях: на 20 - 30 % ежегодно в противопожарной технике, на 15 – 20 % ежегодно в производстве вспененных пластиков.

Следствием значительного роста потребления ГФУ в различных приложениях будет существенный рост выбросов этих веществ в атмосферу.

Другим фактором роста выбросов будет быстрый рост количества содержащего ГФУ оборудования, выводимого из эксплуатации (коэффициент выбросов для утилизируемого оборудования составляет 50 – 80 % от первоначальной заправки). В настоящее время количество оборудования, выводимого из эксплуатации, невелико из-за того, что большая часть оборудования еще не исчерпала свой ресурс.

Черный углерод. Согласно имеющимся в литературе косвенным оценкам, самые большие объемы выбросов черного углерода (от 40 до 56 %) в нашей стране составляют выбросы в результате лесных пожаров (Generoso et al., 2007; U.S.EPA, 2012).

Общее количество эмитированного черного углерода за период 2000-2013 гг. составляет 992.3 тыс. т. В объемах эмиссий наблюдались значительные межгодовые вариации (рис. 6): от 9.4 тыс. т в 2001 году до 174.2 тыс. т черного углерода в 2012 году. В среднем за рассматриваемый период ежегодно в результате лесных пожаров в атмосферу поступало около 70.8 тыс. т черного углерода. При этом наблюдается повышение уровня среднего ежегодного выброса черного углерода после 2006 года.

Наиболее опасным, с точки зрения влияния на климатическую систему, типом пожаров является верховой пожар. Коэффициент сгорания доступной для горения биомассы для этого типа пожара наибольший и составляет 25.0 ±3.7 кг га$^{-1}$ пройденной пожаром площади, что способствует значительным удельным объемам выбросов черного углерода. Черный углерод при верховом пожаре выбрасывается на максимальную высоту, что обусловливает более продолжительное время пребывания частиц в атмосфере и дальность их переноса, и, следовательно, повышенную вероятность осаждения черного углерода на снежный покров Арктики. В среднем за рассматриваемый период величина выбросов от верховых пожаров составила 22.7 тыс. т черного углерода (или 32.0 % от средних многолетних выбросов). Объемы выбросов изменяются от 1.9 тыс. т (20.3 % от общей эмиссии) в 2001 году до 59.2 тыс. т (33.9 % общей эмиссии) в 2012 году. Наибольшая доля верховых пожаров в выбросах черного углерода наблюдалась в 2011 году (34.3 % от общей эмиссии).

Низовые пожары влияют на климатическую систему меньше, чем верховые в связи с меньшей высотой выброса черного углерода и значительно меньшим удельным объемом выбросов черного углерода, составляющим 10.2 ±1.2 кг га$^{-1}$. Однако, в связи с большими абсолютными объемами выбросов черного углерода, чем при верховых пожарах, они представляют не меньшую опасность. Так, средний многолетний выброс при данном типе пожаров составляет 31.6 тыс. т черного углерода (или 44.6 % от среднемноголетней эмиссии). Объемы выбросов варьируют от 2.7 тыс. т (28.3 % от общей эмиссии за год) до 82.5 тыс. т (47.4 % общей эмиссии) в 2012 году. Максимальная доля низовых пожаров – 47.9 % отмечена в 2011 году.

Пожары на нелесных и непокрытых лесом землях имеют минимальный среди всех типов лесных пожаров средний удельный выброс черного углерода – 4.1 ±0.3 кг га$^{-1}$. Однако, за счет больших площадей пожаров данного типа, вклад данного типа пожаров значителен и составляет 23.4 % от общего среднемноголетнего выброса (16.6 тыс. т год$^{-1}$). Минимальные значения выбросов от пожаров данного типа составили 4.8 тыс. т (51.4 % годового выброса) в 2001 году, а максимальные – 34.6 тыс. т (22.8 % общего выброса за год) в 2008 году. Максимальная доля в общих эмиссиях – 51.4 % в 2001 году.

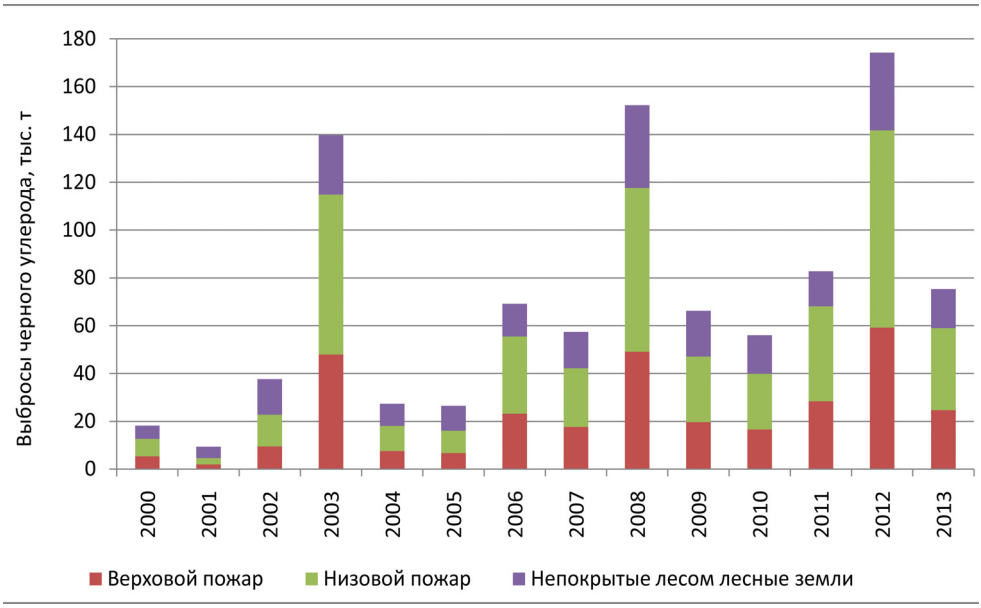

Рисунок 6. Объемы выбросов черного углерода от разных типов пожаров в период 2000-2013 гг.

Заключение

Суммарные выбросы короткоживущих парниковых газов (CH_4 и ГФУ) на территории России составили 837.4 млн. т CO_2-экв. в 2000 году и 1067.7 млн. т CO_2-экв. в 2013 году. Рост суммарных выбросов на 27.5 % за исследуемый период обусловлен значительным увеличением выброса метана (29 %), в то время как выбросы ГФУ сократились на 20 %.

Доля выбросов CH_4 и ГФУ в общем национальном выбросе парниковых газов составляет от 34 % до 38 % в 2000 и 2013 гг. соответственно (без учета выбросов и поглощения в секторе ЗИЗЛХ). По данным национального кадастра, почти 60 % общего выброса приходится на CO_2 и около 3 % приходится на N_2O (Национальный доклад…, 2015). Таким образом, можно заключить, что сокращение выбросов короткоживущих парниковых газов имеет значительный потенциал в уменьшении совокупного парникового воздействия на атмосферу с территории России.

Для черного углерода ПГП не определен точно и по разным данным составляет от 100 до 1700 за период 100 лет (Bond et al., 2013).Учитывая высокую неопределенность величины этого потенциала, в данной работе оценки выброса черного углерода не пересчитаны в CO_2-экв.

Среднегодовые выбросы черного углерода в результате пожаров на лесных и нелесных землях за период 2000 – 2013 соответствуют примерно 70.8 тыс. т. Сопоставление с имеющимися отечественными исследованиями выбросов черного углерода регионального масштаба (Виноградова и др., 2015) показывает, что антропогенные выбросы в секторах энергетики, транспорта и промышленных процессов примерно в 5 раз выше выбросов от природных пожаров (для территории Сибири и Дальнего Востока). На основе этого соотношения, можно предварительно получить среднегодовую величину совокупного выброса черного углерода в России, которая достигает 350 – 360 тыс. т в год. Очевидна необходимость уточнения объема национальных выбросов черного углерода от процессов сжигания в секторах энергетики и транспорта, оценка которых является задачей наших будущих исследований.

Помимо прямого парникового эффекта опасность выброса черного углерода определяется изменением альбедо снежного покрова при его выпадении на территории Арктики. Результаты расчетов выброса черного углерода могут быть использованы для количественной оценки атмосферного переноса черного углерода и его выпадения на поверхность в районе Арктики, что позволило бы уточнить воздействие пожаров и антропогенных выбросов в других секторах в России на изменение альбедо и, в конечном итоге, на потепление в Арктике.

Список литературы

Виноградова А.А., Смирнов Н.С., Коротков В.Н., Романовская А.А. 2015. Лесные пожары в Сибири и на Дальнем Востоке: эмиссии и атмосферный перенос черного углерода в Арктику. – Оптика атмосферы и океана, т. 28, № 6, с. 512–520.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. 2011. Динамика бюджета углерода лесов России за два прошедших десятилетия. – Лесоведение, № 6, с. 16–28.

Информационная система … 2015. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) [Электронный ресурс] 1997-2015. ФБУ Авиалесоохрана, URL:http://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml.

Кароль И.Л., Киселев А.А. 2004. Атмосферный метан и глобальный климат. – Природа, № 7, с. 47–52.

МГЭИК 2006. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов, т. 1–5.

Методика информационно-аналитической оценки бюджета углерода лесов на региональном уровне [Электронный ресурс] 2011. Сайт Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН: www.cepl.rssi.ru.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2012гг. 2014.– М., Росгидромет, часть 1, 479 с.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2013гг. 2015.– М., Росгидромет, часть 1, 493 с.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2014гг. 2016.– М., Росгидромет, часть 1, 495 с.

РКИК ООН. Рамочная Конвенция ООН об изменении климата. 2005. – Женева, Секретариат РКИК ООН при поддержке Отделения ООН в Женеве, 41 с.

Стрельцов А.Н., Шишов В.В. 2006. Справочник по холодильному оборудованию предприятий торговли и общественного питания. – М., Издательский центр «Академия», 400 с.

Целиков В.Н. 2014. О регулировании производства и потребления гидрохлорфторуглеводородов в Российской Федерации до и после 1 января 2015 г. – ЮНИДО в России, № 14, с. 41–46.

Akagi S. K., Yokelson R. J., Wiedinmyer C., Alvarado M. J., Reid J. S., Karl T., Crounse J. D., Wennberg P.O. 2011. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. – Atmospheric Chemistry and Physics, No 11, p. 4039–4072, doi:10.5194/acp-11-4039-2011

Bond T.C., Doherty S. J., Fahey D.W., Forster P.M., Berntsen T., De Angelo B.J., Flanner M.G., Ghan S., Kärcher B., Koch D., Kinne S., Kondo Y., Quinn P.K., Sarofim M.C., Schultz M.G., Schulz M., Venkataraman C., Zhang H., Zhang S., Bel-

louin N., Guttikunda S.K., Hopke P.K., Jacobson M.Z., Kaiser J.W., Klimont Z., Lohmann U., Schwarz J.P., Shindell D., StorelvmoT., Warren S.G., Zender C.S. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. – Journal of Geophysical Research: Atmospheres, No 118, p. 5380–5552, doi:10.1002/jgrd.50171.

Evans M., Kholod N., Malyshev V., Tretyakova S., Gusev E., Yu S., Barinov A. 2015. Black carbon emissions from Russian diesel sources: case study of Murmansk. – Atmospheric Chemistry and Physics, No 15, p. 8349-8359, doi:10.5194/acp-15-8349-2015.

Generoso S., Bey I., Attie J.-L., Breon F.-M. 2007. A satellite and model-based assessment of the 2003 Russian fires: Impact on the Arctic region. – Journal of Geophysical Research, vol. 112, No D15, p. 1-16, doi: 10.1029/2006JD008344.

IPCC 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge and USA: New York, NY, 1007 pp.

IPCC 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.[Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge and USA: New York, NY, 1535 pp.

U.S. EPA. Report to Congress on Black Carbon. 2012. – Washington, DC: US Environmental Protection Agency, http://www.epa.gov/blackcarbon/.

UNEP 2011. Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone: summary for decision makers. [Ed.: Bart Ullstein]. UNON: Publishing Services Section, Nairobi, UNEP and WMO, 36 p. http://hqweb.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black_Carbon.pdf

Wetlands supplement 2013. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. [Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. and Troxler T.G. (eds)]. Switzerland: IPCC.

WMO 2011. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010, Global Ozone Research and Monitoring Project. Switzerland, Geneva: World Meteorological Organization, report No.52.

Статья поступила в редакцию 13.01.2016. *После переработки 30.03.2016.*