

## О влиянии Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу на будущие выбросы гидрофторуглеродов в России

*Е.В. Имшенник\*, А.И. Нахутин*

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,  
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 206;  
\*адрес для переписки: ekimsh@rambler.ru

**Реферат.** Гидрофторуглероды (ГФУ) – антропогенные парниковые газы, имеющие высокие потенциалы глобального потепления. Гидрофторуглероды подпадают под действие Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотского протокола и Парижского соглашения, однако эти международные соглашения накладывают ограничения на совокупные объемы выбросов всех парниковых газов в каждой из участвующих в них стран, не ограничивая специально ни выбросы гидрофторуглеродов, ни индивидуальные выбросы других парниковых газов. Ситуация изменилась в результате принятия в 2016 году Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой. Эта поправка предусматривает поэтапное сокращение производства и потребления гидрофторуглеродов, т.е. уменьшение объемов деятельности, приводящей к выбросам гидрофторуглеродов в атмосферу. Российская Федерация присоединилась к Кигалийской поправке в 2020 году.

В статье рассматривается атмосферное содержание гидрофторуглеродов, мировая и российская динамика и структура их выбросов в атмосферу. В странах, входящих в Приложение I РКИК ООН, в структуре выбросов преобладают выбросы от использования ГФУ (92.0% в 2018 г.), в то время как в Китае, где сосредоточены основные мировые мощности по их выпуску, преобладают выбросы от производства. В России до 2000 г. совокупная эмиссия ГФУ практически полностью определялась выбросами от химической промышленности. После 2000 г. происходил быстрый рост выбросов от использования ГФУ в различных областях применения, где они замещают выводимые из употребления озоноразрушающие вещества. В 2016-2018 гг. доля выбросов от использования ГФУ в России достигала 43-61%.

Авторами выполнена прогнозная оценка выбросов гидрофторуглеродов в Российской Федерации от их использования в различных отраслях и сферах деятельности на период до 2065 года. Показано, что при сохранении потребления ГФУ на уровне 2018 г. их выбросы стабилизируются в первой половине 40-х гг. XXI века на уровне около 30-40 млн. т CO<sub>2</sub>-экв., в 1.5-2 раза превышающем современный уровень. При условии выполнения Россией Кигалийской поправки рост выбросов первоначально продолжится, и своего максимума они достигнут в 2024-2028 гг. После 2055 г., при условии эффективного сбора и утилизации ГФУ от выводимого из эксплуатации оборудования, выбросы стабилизируются на уровне около 4 млн. т CO<sub>2</sub>-экв. (25%

выбросов 2018 г.). В отсутствие сбора и утилизации ГФУ максимум будет достигнут на несколько лет позже, а стабилизация произойдет после 2060 г. на уровне 6 млн. т CO<sub>2</sub>-экв.

**Ключевые слова.** Парниковые газы, гидрофторуглероды, ГФУ, Кигалийская поправка, структура выбросов, динамика выбросов, производство ГФУ, потребление ГФУ, оценка выбросов, прогноз выбросов.

## On the impact of Kigali amendment to the Montreal protocol on future hydrofluorocarbon emissions in Russia

*E.V. Imshennik\*, A.I. Nakhutin*

Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation;  
\*Correspondence address: [ekimsh@rambler.ru](mailto:ekimsh@rambler.ru)

**Abstract.** Hydrofluorocarbons (HFCs) are anthropogenic greenhouse gases with high global warming potentials. Hydrofluorocarbons are subject to the United Nations Framework Convention on Climate Change, the Kyoto Protocol and the Paris Agreement, but these international agreements impose limits on aggregate emissions of all greenhouse gases in each of the participating countries, not specifically limiting either hydrofluorocarbon emissions or individual emissions of other greenhouse gases. This changed with the adoption of the Kigali Amendment to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer in 2016. The amendment provides for a phased reduction in the production and consumption of hydrofluorocarbons, i.e. a reduction in activities that result in emissions of hydrofluorocarbons to the atmosphere. The Russian Federation acceded to the Kigali Amendment in 2020.

The article considers the atmospheric content of hydrofluorocarbons, the world and Russian dynamics and the structure of their emissions to the atmosphere. In Annex I Parties to the UNFCCC, emissions from HFCs use predominate (92.0% of the total emission in 2018), while emissions from production dominate in China, where the world's major production capacity is concentrated. In Russia, prior to 2000, total HFCs emissions almost entirely originated from the chemical industry. Since 2000, emissions from the use of hydrofluorocarbons have increased rapidly in various applications, where HFCs replace the phasing-out ozone-depleting substances. In 2016-2018, the share of emissions from the use of HFCs in the total emission was between 43 and 61%.

The authors have made a projection of hydrofluorocarbon emissions from their use in the Russian Federation in various industries and activities up to 2065. It is shown that if the consumption of HFCs remains at 2018 level their emissions stabilize in the first half of the 40s of the XXI century at about 30-40 Mt CO<sub>2</sub>-eq., 1.5-2 times above the current level. Provided that Russia complies with the Kigali Amendment, the growth of emissions will initially continue reaching their maximum in 2024-2028. After 2055, subject to efficient collection and disposal of HFCs from decommissioned equipment, emissions will stabilize at

---

about 4 Mt CO<sub>2</sub>-eq. (25% of 2018 emissions). In the absence of collection and utilization of HFCs, the maximum is expected several years later, and stabilization will occur after 2060 at the level of 6 Mt CO<sub>2</sub>-eq.

**Keywords.** Greenhouse gases, hydrofluorocarbons, HFC, Kigali Amendment, emission structure, emission trend, HFC production, HFC consumption, emissions estimation, emissions projections.

## Введение

В настоящее время в мире наблюдается быстрый рост (более 10%) производства, потребления и, соответственно, выбросов в атмосферу гидрофторуглеродных соединений (ГФУ). Увеличение потребления и выбросов ГФУ связано с вступлением в действие в 1989 г. Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, ограничивающего использование гидрохлоруглеродов (ГХУ), гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и других озоноразрушающих веществ, которые замещаются новыми озонобезопасными веществами – ГФУ. Производство и использование ГФУ в качестве замены ГХУ и ГХФУ активно развивалось, начиная с 1990 г.

Однако увеличение производства и использования гидрофторуглеродов имеет свою оборотную сторону: ГФУ являются «сильными» парниковыми газами, имеющими высокие потенциалы глобального потепления (ПГП) – от 124 (ГФУ-152a) до 14800 (ГФУ-23). Для наиболее широко используемых гидрофторуглеродов ПГП составляют: ГФУ-134a – 1430, ГФУ-125 – 3500, ГФУ-143a – 4470 (UNFCCC, 2014).

В качестве парниковых газов ГФУ подпадают под действие международных климатических соглашений: Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотского протокола и Парижского соглашения, однако эти соглашения предусматривают обязательства участвующих в них стран по ограничению или сокращению выбросов парниковых газов в совокупности, не накладывая ограничений на выбросы отдельных газов, в том числе и ГФУ. Учитывая это обстоятельство и высокий темп роста выбросов, международное сообщество приняло решение о включении ГФУ в перечень веществ, контролируемых Монреальским протоколом. Пятнадцатого октября 2016 года в г. Кигали (Руанда) на XXVIII Сессии Сторон Монреальского протокола принята Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу (United Nations, 2016), предусматривающая поэтапное сокращение производства и потребления ГФУ. Кигалийской поправкой регулируются вопросы производства и потребления ГФУ, которые относятся к парниковым газам с высокими и чрезвычайно высокими потенциалами глобального потепления. Таким образом, Кигалийской поправкой определяется новая цель Монреальского протокола – смягчение антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

Двадцать пятого марта 2020 г. было принято постановление Правительства РФ № 333 «О принятии Российской Федерацией поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой».

Целью настоящей работы является анализ влияния реализации Кигалийской поправки на выбросы ГФУ в России в ближайшей и долгосрочной перспективе. Для достижения этой цели решались следующие задачи:

- по данным МГЭИК и РКИК ООН, проанализирована динамика и структура выбросов ГФУ в мире;
- по данным российского национального кадастра выбросов парниковых газов, проанализирована ситуация с производством, потреблением и выбросами ГФУ в Российской Федерации, рассмотрены возможности сокращения выбросов ГФУ от промышленного производства в химической промышленности;
- с учетом условий сокращения потребления ГФУ, предусмотренных для России Кигалийской поправкой к Монреальскому протоколу, выполнен прогнозный расчет выбросов от использования ГФУ на период до 2065 г.
- для сравнения выполнен прогнозный расчет выбросов от использования ГФУ в предположении стабильного, на уровне 2018 г., потребления ГФУ в стране.

### **Выбросы ГФУ в мире. Анализ современной ситуации**

По данным 5-ого Оценочного доклада МГЭИК на 2011 г. (IPCC, 2013), концентрация гидрофторуглеродов в атмосфере была низкой, и их вклад в радиационный форсинг мал, по сравнению с ГХУ и ГХФУ. Он составлял менее 1% от вклада всех идеально перемешанных парниковых газов. Среди ГФУ наи-большая концентрация в атмосферном воздухе наблюдалась для ГФУ-134а, который широко используется в холодильниках, в установках для кондиционирования воздуха, при производстве вспененных материалов и в качестве пропеллента в аэрозольных баллонах. В 2011 г. его атмосферная концентрация достигла 62.7 ppt, увеличившись на 28.2 ppt с 2005 г. Концентрация ГФУ-23, основные выбросы которого связаны с производством ГХФУ-22, в 2011 г. составила 24.0 ppt.

Содержание в атмосферном воздухе других широко используемых гидрофторуглеродов (ГФУ-143а, ГФУ-125, ГФУ-152а, ГФУ-32) ниже, но при этом наблюдается быстрый рост их концентраций в атмосфере. За период с 2005 по 2011 г. этот рост составил 88% для ГФУ-152а, 113% – для ГФУ-143а, 160% – для ГФУ-125 и 328% – для ГФУ-32.

Для сравнения, атмосферная концентрация ГХУ-12 в 2011 г. составляла 528 ppt, уменьшившись на 2.6% по сравнению с 2005 г. Атмосферная концентрация ГХФУ-22 в 2011 г. увеличилась на 26% и составила 213 ppt.

Быстрый рост концентраций ГФУ в атмосфере в настоящее время и широкое их использование для замены ГХУ и ГХФУ в различных сферах применения, в первую очередь в системах охлаждения и кондиционирования воздуха, предполагает и дальнейший быстрый рост концентраций этих парниковых газов в атмосфере при отсутствии контроля за их производством и потреблением.

По данным МГЭИК (МГЭИК, 2014), доля выбросов фторсодержащих газов в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте в мире в 1990 году составляла 0.81% от суммарных выбросов парниковых газов с учетом сектора ЗИЗЛХ. К 2010 г. доля фторсо-

---

держащих газов возросла до 2%. При этом рост выбросов фторсодержащих газов с начала 1990-х годов происходит в основном за счет гидрофторуглеродов (ГФУ). Более половины выбросов F-газов в мире в 2010 г. приходилось на долю развитых стран (страны приложения I РКИК ООН) и Китай.

В странах приложения I<sup>1)</sup> выбросы фторсодержащих газов выросли с 286 Мт CO<sub>2</sub>-экв. (1.5% выбросов парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ) в 1990 г. до 431 Мт CO<sub>2</sub>-экв. (2.5% выбросов парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ) в 2018 г. Выбросы ГФУ в 1990 г. составляли 130 Мт CO<sub>2</sub>-экв. и увеличились к 2018 г. до 379 Мт CO<sub>2</sub>-экв. Доля выбросов ГФУ в суммарных выбросах F-газов при этом выросла с 45.3% в 1990 г. до 88.0% в 2018 г.

В Китае, который в настоящее время является основным производителем ГФУ в мире, выбросы фторсодержащих газов в 2014 году составили 291 Мт CO<sub>2</sub>-экв. (2.4% выбросов парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ)<sup>2)</sup>. Доля ГФУ в выбросах F-газов составляла 73.3%. При этом наблюдался быстрый рост выбросов ГФУ: за 4 года, с 2010 по 2014, он составил 60%.

Выбросы ГФУ связаны с химической промышленностью и использованием ГФУ в различных областях применения. Основными источниками выбросов в химической промышленности являются производства ГФУ и ГХФУ. ГФУ широко используется как альтернатива озоноразрушающим веществам в качестве хладагента в системах охлаждения и кондиционирования воздуха, в качестве пропеллента в аэрозолях, при производстве монтажных пен и вспененных материалов, в противопожарной защите, в качестве растворителя, в электронной промышленности и в других областях применения.

За период 1990-2018 гг. существенно изменилась структура выбросов ГФУ от производства и от использования в различных областях применения ГФУ. На рис. 1 представлены тренды выбросов ГФУ от производства и использования в странах приложения I РКИК ООН и в Китае.

В развитых странах наблюдается существенное сокращение выбросов ГФУ от производства ГФУ и ГХФУ. Это связано, в первую очередь, с перемещением основных мощностей по производству ГФУ в Китай, а также с совершенствованием технологий сокращения выбросов на действующих предприятиях. Выбросы от использования ГФУ в различных отраслях применения, напротив, показывают значительный и быстрый рост. Если в 1990 г. доля выбросов от использования ГФУ составляла 0.3% от суммарных выбросов ГФУ, то в 2018 г. она достигла 92.0%. Таким образом, в развитых странах структура выбросов ГФУ за период с 1990 г. по настоящее время существенным образом изменилась.

В 1990 г. странами-лидерами по выбросам ГФУ от производства среди развитых стран были США (35.6%), Россия (27.8%), ЕС (22.4%) и Япония

---

<sup>1)</sup> Данные, находящиеся в открытом доступе на ресурсе [https://di.unfccc.int/flex\\_annex1](https://di.unfccc.int/flex_annex1), скачаны 03.02.2021.

<sup>2)</sup> Данные, находящиеся в открытом доступе на ресурсе [https://di.unfccc.int/flex\\_pop\\_annex1](https://di.unfccc.int/flex_pop_annex1), скачаны 03.02.2021.

(12.3%). В 2018 г. с большим отрывом лидирует Россия (81.8%), затем США (11.1%). Доли остальных стран в выбросах – незначительные.

Страны приложения I РКИК ООН

Китай

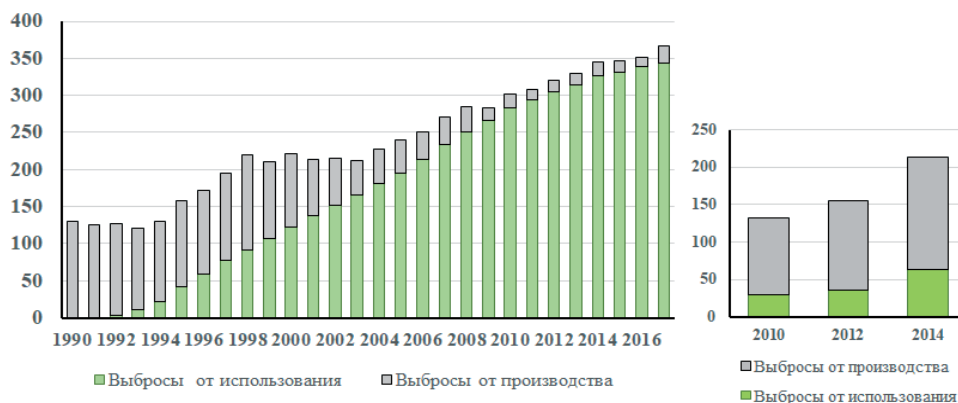


Рисунок 1. Выбросы ГФУ от производства и потребления в развитых странах (страны приложения I РКИК ООН) и в Китае, Мт CO<sub>2</sub>-экв

Figure 1. HFC emissions from their production and consumption in developed countries (UNFCCC Annex I countries) and in China, Mt CO<sub>2</sub>-eq

Выбросы от использования ГФУ, в первую очередь, связаны с их применением в качестве хладагентов в холодильной технике и в системах кондиционирования воздуха. Доля выбросов от этого применения в странах приложения I РКИК ООН в 2018 г. составила 86.1% от суммарных выбросов от использования ГФУ. Доля выбросов от использования ГФУ в качестве пропеллента в аэрозолях составила 6.1%, доля выбросов от использования ГФУ для производства вспененных материалов – 4.7%. Доли остальных источников выбросов – незначительные.

Странами-лидерами по выбросам от потребления ГФУ в различных областях использования среди развитых стран в 2018 г. являются: США (43.4%), ЕС (27.7%), Япония (13.4%), Россия (5.3%), Канада (3.6%), Австралия (3.4%) и Турция (1.5%). Доли остальных стран не превышают 0.5%.

Для Китая доступна лишь ограниченная информация о выбросах ГФУ в 2010-2014 гг. Китай в настоящее время является основным производителем ГФУ в мире. Выбросы ГФУ от производства за 4 года выросли на 46% (рис.1). Их доля в суммарных выбросах ГФУ в Китае в 2014 г. снизилась по сравнению с 2010 и составила 70%. Выбросы от потребления ГФУ за 4 года выросли на 110% и в 2014 г. составили около 47% от уровня выбросов от потребления ГФУ в США или около 56% от уровня выбросов от потребления ГФУ в ЕС.

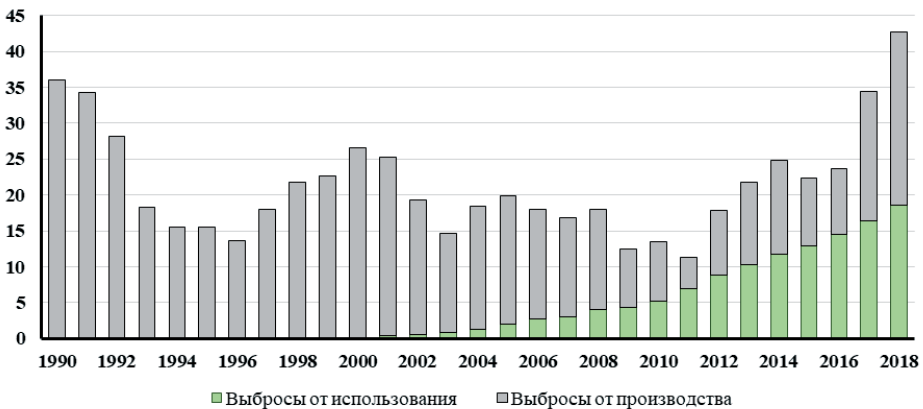
МГЭИК (IPCC, 2013) приводит сценарии выбросов ГФУ до 2100 г. Согласно различным сценариям, ежегодные выбросы ГФУ-23 и ГФУ-227ea существенно сократятся уже к 2040 г. и практически будут отсутствовать в 2100 г. Для остальных широко используемых гидрофторуглеродов прогнозируется значительный и быстрый рост ежегодных выбросов. Предполагается,

что в отдельные годы увеличение выбросов может достигать 375% по сравнению с 2010 г. (25%-375% согласно различным сценариям для наиболее широко используемых гидрофторуглеродов).

## Выбросы ГФУ в России

Выбросы гидрофторуглеродов в России в 2018 г., по данным национального кадастра (Российская Федерация, 2020), составили 42761 кт  $\text{CO}_2$ -эквивалента или 1.9% от суммарного выброса парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ. На протяжении всего периода отчетности с 1990 по 2018 г. вклад выбросов ГФУ в совокупную эмиссию парниковых газов колебался в пределах от 0.5% (2011 г.) до 1.9% (2018 г.) совокупного выброса без учета сектора землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Динамика и структура выбросов ГФУ в России представлены на рис. 2.

До 2000 г. совокупная эмиссия ГФУ в РФ практически полностью определялась выбросами ГФУ от химической промышленности. После 2000 г. наблюдается быстрый рост выбросов от использования ГФУ в различных областях применения, где они замещают озоноразрушающие вещества, которые постепенно выводятся из обращения в соответствии с Монреальским протоколом. В 2016-2018 гг. доля выбросов от использования ГФУ достигала 43-61%.



**Рисунок 2.** Выбросы ГФУ в России, по данным национального кадастра выбросов парниковых газов в 1990-2018 гг., Мт  $\text{CO}_2$ -экв. (Российская Федерация, 2020)

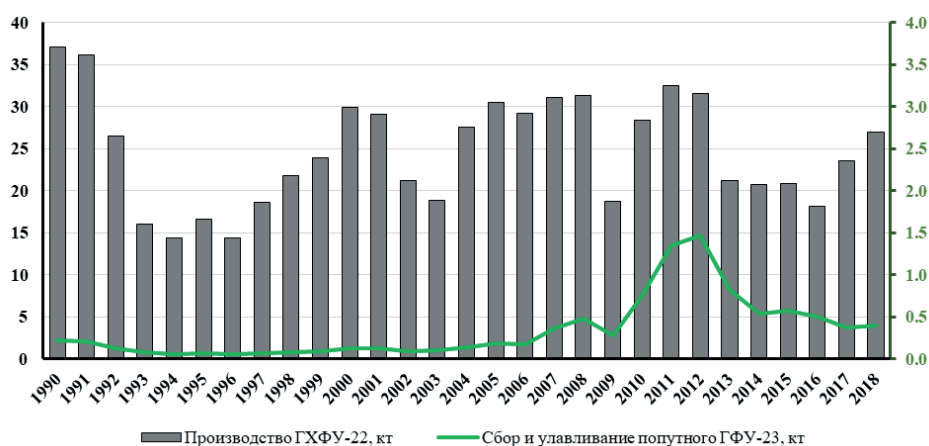
**Figure 2.** HFC emissions in Russia according to the national inventory of greenhouse gas emissions in 1990-2018, Mt  $\text{CO}_2$ -eq. (Russian Federation, 2020)

### *Выбросы ГФУ от производства*

В химической промышленности России выбросы ГФУ практически полностью определяются побочными (технологическими) выбросами ГФУ-23 при производстве ГХФУ-22. Производство собственно ГФУ в России незначительно, и технологические выбросы от него составляют менее 0.2% выбросов ГФУ в химической промышленности. Поэтому даже полное прекращение производства ГФУ привело бы лишь к незначительному (менее 8 кт  $\text{CO}_2$ -

эквивалента) сокращению выбросов парниковых газов по отношению к их современному уровню.

В 1990-2000 гг. удельные выбросы при производстве ГХФУ-22 были значительными и составляли 0.06-0.07 т ГФУ-23/т ГХФУ-22. Затем, в результате выполнения проектов совместного осуществления согласно статье 6 Киотского протокола, на предприятиях была усовершенствована система сбора и улавливания побочных выбросов ГФУ-23. В результате удельные выбросы существенно сократились и в 2007-2013 гг. составляли 0.01-0.03 т ГФУ-23/т ГХФУ-22. В настоящее время одно из предприятий прекратило сбор и улавливание попутного ГФУ-23, что привело к существенному росту удельных выбросов (до 0.05-0.06 т ГФУ-23/т ГХФУ-22). Объем производства ГХФУ-22, а также объем сбора и улавливания попутных выбросов ГФУ-23 в России представлены на рис. 3.



**Рисунок 3.** Производство ГХФУ-22, сбор и улавливание попутных выбросов ГФУ-23 в России в 1990-2018 гг. (по данным предприятий)

**Figure 3.** Production of HCFC-22, collection and capture of associated HFC-23 emissions in Russia in 1990 - 2018 (according to enterprises)

Производство ГХФУ-22 в России сократилось с 2011-2012 гг. С 2012 г. ГХФУ-22 не используется в новой холодильной технике, и с 2013 г. действующее коммерческое и промышленное холодильное оборудование постепенно переводится на использование озонобезопасных хладагентов (ГФУ-404а, ГФУ-407с, ГФУ-507).

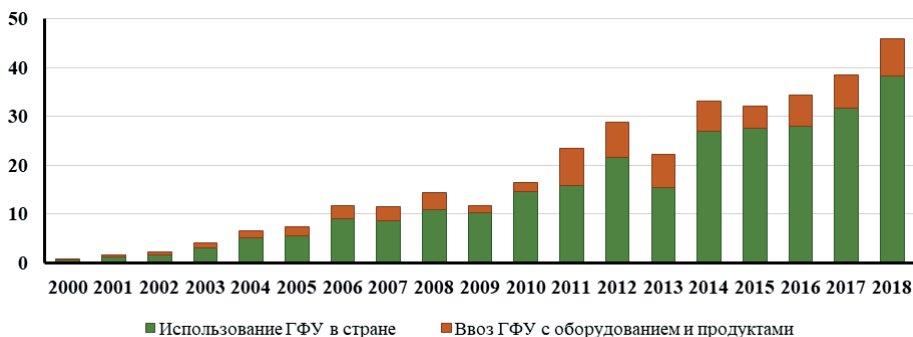
Другим видом использования ГХФУ-22 является его использование в качестве сырья для производства политетрафторэтилена (ПТФЭ). Использование ГХУ и ГХФУ в качестве сырья для производства озонобезопасных продуктов не регулируется Монреальским протоколом и будет продолжено. В 2007-2012 гг. объемы производства ГХФУ-22 для использования в качестве сырья были весьма значительными и составляли 13512-26658 тонн (Целиков В.Н., 2013).

Сокращение побочных выбросов ГФУ-23 при производстве ГХФУ-22 может быть выполнено путем совершенствования специального технологического оборудования для его сбора и утилизации.



### Выбросы от использования ГФУ

Начиная с 2000 г. в России наблюдается быстрый рост объемов использования ГФУ, происходящий за счет их импорта в «чистом виде» и импорта оборудования, предварительно заправленного ГФУ. В среднем потребление ГФУ в стране в 2000-2010 гг. увеличивалось на 43% каждый год, в 2010-2018 гг. ежегодный рост снизился и составлял в среднем около 19% в год. С такой же скоростью или немного быстрее росли выбросы от использования ГФУ. На рис. 4 представлена динамика роста потребления ГФУ. Расчет выполнен на основании данных национального кадастра выбросов парниковых газов (Российская Федерация, 2020).



**Рисунок 4.** Динамика потребления ГФУ в Российской Федерации в 2000-2018 гг., Мт CO<sub>2</sub>-экв  
**Figure 4.** Consumption of HFC in the Russian Federation in 2000-2018, Mt CO<sub>2</sub>-eq

Для некоторых видов применения ГФУ, таких, как применение в аэрозолях, растворителях и вспененных пластиках с открытыми порами, выбросы происходят приблизительно в течение двух первых лет с момента использования. В течение этого времени в атмосферу выбрасывается весь объем потребленного в этих видах использования ГФУ.

При использовании ГФУ в холодильных установках, оборудовании для кондиционирования воздуха, во вспененных пластиках с закрытыми порами и в противопожарном оборудовании будут иметь место отсроченные выбросы. При этом формируются банки ГФУ в различных видах оборудования и продуктов, от которых в течение значительного времени (до 50 лет) происходят ежегодные утечки. Интенсивность этих утечек различна для разных видов оборудования и продуктов и составляет от 0.25% до 25% в год от банка ГФУ (МГЭИК, 2006). Значительные выбросы связаны с удалением выведенного из эксплуатации оборудования в отходы, особенно если не практикуется эффективный сбор и утилизация остающегося в этом оборудовании ГФУ. Все это приводит к формированию сложного и долговременного графика выбросов ГФУ от такого оборудования и продуктов.

Выбросы от использования ГФУ в России в 2018 г. составили 18551 кт CO<sub>2</sub>-эквивалента или 0.84% от суммарного выброса парниковых газов без учета сектора ЗИЗЛХ. Основная часть гидрофторуглеродов используется в качестве хладоносителей в холодильных установках и в оборудовании для

кондиционирования воздуха. В настоящее время доля ГФУ, используемых в качестве хладоносителей, составляет в России около 88%. Соответственно, и выбросы от этого вида использования преобладают в структуре выбросов от использования ГФУ. В 2018 г. доля выбросов от использования ГФУ в холодильной технике и в оборудовании для кондиционирования воздуха составила 91.4%. Следующими по значению являются выбросы от использования ГФУ в системах автоматического пожаротушения (3.5%), выбросы от использования ГФУ во вспененных пластиках (2.6%) и выбросы от использования ГФУ в аэрозолях (2.5%). Крайне незначительны выбросы от использования ГФУ в электронной промышленности и в других применениях. На рис. 5 представлена структура и динамика выбросов от различных видов использования ГФУ в России (Российская Федерация, 2020).

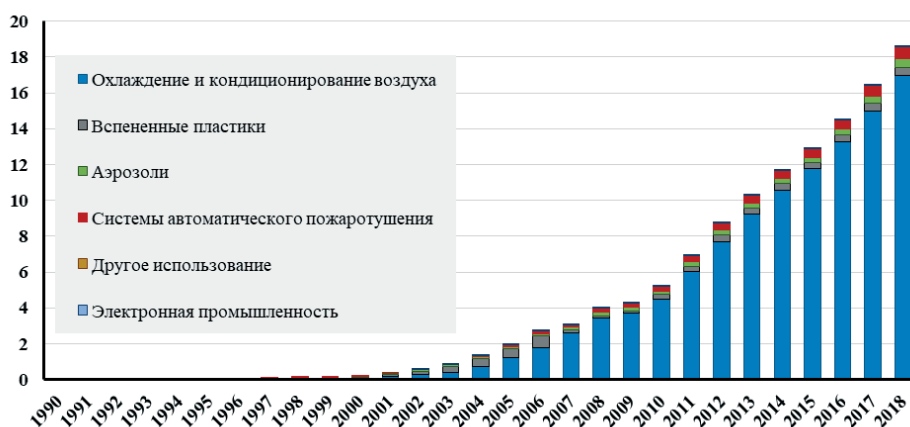


Рисунок 5. Структура выбросов от использования ГФУ в России в 1990-2018 гг., Мт CO<sub>2</sub>-экв  
Figure 5. Structure of emissions from the use of HFC in Russia in 1990-2018, Mt CO<sub>2</sub>-eq

### Условия сокращения производства и потребления ГФУ для Российской Федерации

Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу предусматривает различные условия сокращения производства и потребления ГФУ для различных государств. Для Российской Федерации действуют следующие условия:

1. Объемы производства/потребления ГФУ должны быть представлены в единицах CO<sub>2</sub>-эквивалента на основе столетних ППП.
2. Сокращение потребления ГФУ в стране будет выполняться в 5 этапов. На первом этапе (2020-2024 гг.) потребление ГФУ не должно превышать 95% от установленного для страны базового уровня. На втором этапе (2025-2028 гг.) потребление ГФУ не должно превышать 65% базового уровня, на третьем этапе (2029-2033 гг.) – 30% базового уровня, на четвертом этапе (2034-2035 гг.) – 20% базового уровня, после 2036 г. уровень потребления ГФУ не должен превышать 15% от установленного базового уровня.

3. Базовый уровень потребления ГФУ рассчитывается в единицах  $\text{CO}_2$ -эквивалента следующим образом: к среднему потреблению ГФУ в 2011, 2012 и 2013 гг. прибавляется 25% уровня потребления ГХФУ в 1989 г. (базового уровня, принятого для выполнения Монреальского протокола).

Двадцать пять процентов уровня потребления ГХФУ в 1989 г., пересчитанного в единицы  $\text{CO}_2$ -эквивалента, составляет 15 199 666 тонн  $\text{CO}_2$ -эквивалента.

### ***Прогноз выбросов от потребления ГФУ в России после вступления в силу Кигалийской поправки***

Прогнозная оценка выбросов ГФУ выполнена авторами на основе расчетной методики МГЭИК (МГЭИК, 2006), которая используется в российском национальном кадастре (Российская Федерация, 2020). В соответствии с методикой МГЭИК расчет выбросов выполняется на основе данных об объемах потребления ГФУ и их смесей в различных отраслях их использования. Наиболее детальные данные о потреблении различных ГФУ и их смесей имеются для разных типов холодильной техники и оборудования для кондиционирования воздуха, поэтому для этой области использования ГФУ выбросы оцениваются по более сложной и детальной методике МГЭИК второго уровня. Для других областей использования ГФУ применяется более простая методика первого уровня, основанная на использовании данных о потреблении различных ГФУ в целом по области применения.

При оценке прогнозных выбросов ГФУ были приняты следующие допущения:

- в течение каждого периода выполнения Кигалийской поправки общий объем потребления ГФУ в стране будет находиться на максимально допустимом уровне этой поправки;

- на протяжении всего прогнозного периода структура использования ГФУ по отраслям применения не изменится по сравнению с 2018 годом (структура использования ГФУ на 2018 г. приведена в национальном кадастре (Российская Федерация, 2020), т.е. потребление ГФУ в каждой отрасли применения будет сокращаться пропорционально сокращению общего ГФУ в стране.

Параметры расчетов (коэффициенты выбросов, срок службы оборудования, доля хладагента в оборудовании при утилизации), которые использовались при прогнозной оценке выбросов, совпадают с использованными в национальном кадастре. Прогнозные выбросы ГФУ, полученные для отдельных областей их использования, суммировались для получения значений выбросов по России в целом. Величины общих годовых выбросов ГФУ были получены путем сложения выбросов индивидуальных ГФУ, выраженных в эквиваленте  $\text{CO}_2$ . Для пересчета выбросов индивидуальных ГФУ в эквивалент  $\text{CO}_2$  использовались значения потенциалов глобального потепления (UNFCCC, 2014).

Расчеты выполнялись для двух вариантов прогноза:

- при удалении оборудования в отходы сбор и утилизация ГФУ не производится;

- при удалении оборудования в отходы выполняется эффективный (используются максимальные коэффициенты эффективности сбора ГФУ (МГЭИК, 2006)) сбор и утилизация ГФУ.

Для сравнения выполнен прогноз выбросов ГФУ при стабильном потреблении гидрофторуглеродов на уровне 2018 г. При расчетах использовалась та же методика МГЭИК и те же параметры расчета, что и в расчетах для прогноза выбросов при условии выполнения Российской Федерацией условий Кигалийской поправки.

На основе данных национального кадастра авторами сделана оценка базового уровня потребления ГФУ – 40 065 кт CO<sub>2</sub>-экв., что немного выше уровня потребления ГФУ в 2018 г. (38 286 кт CO<sub>2</sub>-экв.). Этот предполагаемый базовый уровень используется для расчета прогнозных выбросов. Изменение базового уровня потребления ГФУ приведет к пропорциональному изменению уровня выбросов, при этом характер изменения выбросов во времени не изменится.

На рис. 6 и 7 представлены результаты прогнозной оценки выбросов ГФУ до 2065 г.

В 2012-2018 гг., по данным национального кадастра, выбросы от использования ГФУ росли в среднем на 15% в год.

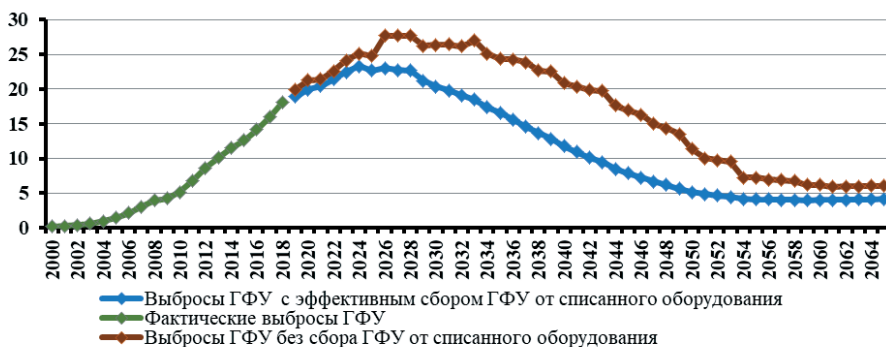


Рисунок 6. Прогноз выбросов ГФУ в России до 2065 г. при выполнении условий Кигалийской поправки, Мт CO<sub>2</sub>-экв.

Figure 6. Forecast of HFC emissions in Russia until 2065 subject to the requirements of the Kigali amendment is met, Mt CO<sub>2</sub>-eq.

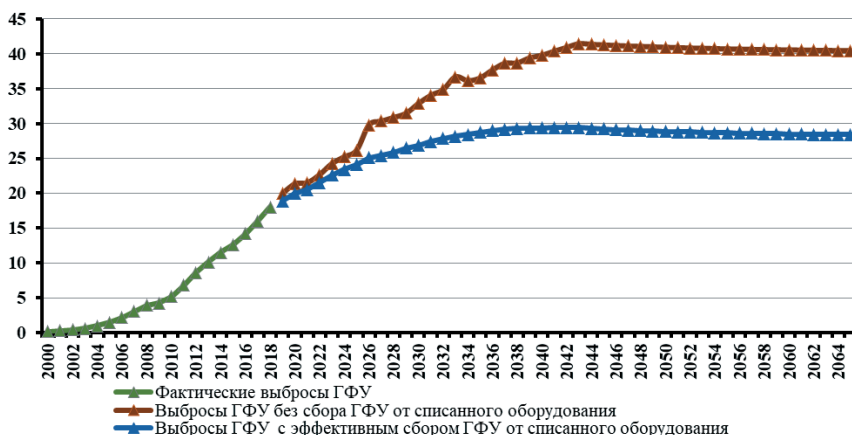


Рисунок 7. Прогноз выбросов ГФУ в России до 2065 г. при условии стабильного потребления ГФУ на уровне 2018 г., Мт CO<sub>2</sub>-экв.

Figure 7. Forecast of HFC emissions in Russia until 2065 subject to stable consumption of HFCs at the level of 2018, Mt CO<sub>2</sub>-eq.

Расчеты показывают, что при стабильном потреблении ГФУ на уровне 2018 г. и отсутствии эффективного сбора и утилизации ГФУ из выведенного из эксплуатации оборудования выбросы будут продолжать быстрый рост до 2026 г., каждый год увеличиваясь в среднем на 7%, затем рост будет постепенно замедляться до 4% (2027-2033), до 1.2% (2034-2043) и стабилизируются после 2044 г. на уровне около 40 000 кт CO<sub>2</sub>- экв., что составляет около 225% от современного уровня выбросов от использования ГФУ.

При эффективном сборе и утилизации ГФУ из выведенного из эксплуатации оборудования рост выбросов будет происходить медленнее – 4% в год (до 2026 г.), 1.7% (2027-2033 гг.), 0.4% (2034-2043 гг.) и затем выбросы стабилизируются на уровне 29 000 кт CO<sub>2</sub>- экв., что составляет около 160% от современного уровня выбросов.

Таким образом, даже в случае стабилизации потребления ГФУ в стране на современном уровне рост выбросов ГФУ будет продолжаться еще в течение 25 лет и достигнет уровня, который существенно, как минимум в полтора раза, превышает современный уровень.

При условии выполнения Кигалийской поправки и снижении потребления ГФУ в стране в соответствии с приведенным выше графиком сначала будет по-прежнему наблюдаться рост выбросов от использования ГФУ.

При отсутствии сбора и утилизации ГФУ из выведенного из эксплуатации оборудования выбросы будут расти ежегодно в среднем на 4.5% и достигнут максимальных значений к 2028 г. Выбросы могут вырасти в полтора раза по сравнению с современным уровнем и достигнуть 28 000 кт CO<sub>2</sub>-экв. Затем до 2060 г. будет происходить спад выбросов в среднем на 5% в год. К 2060 г. выбросы ГФУ стабилизируются на уровне 6 000 кт CO<sub>2</sub>- экв., что составляет около 33% от современного уровня выбросов.

Если одновременно со снижением потребления ГФУ будет организован эффективный сбор и утилизация ГФУ из выведенного из эксплуатации оборудования, рост выбросов ГФУ в начале процесса будет происходить медленнее (около 3% в год) и максимум выбросов будет достигнут к 2026 г. на уровне около 23 000 кт CO<sub>2</sub>-экв. или около 130% от современного уровня выбросов от использования ГФУ. Затем начнется спад выбросов. Сначала он будет довольно медленным, в среднем на 3% в год (2027-2033), затем ускорится до 7% в год (2034-2055 гг.). К 2060 г. выбросы стабилизируются на уровне около 4 000 кт CO<sub>2</sub>-экв., что составляет менее 25% современного уровня выбросов.

В табл. 1 представлены кратко результаты выполненного прогноза выбросов ГФУ.

При сохранении неконтролируемого роста потребления и выбросов ГФУ на современном уровне выбросы ГФУ к 2060 г. могут в десятки раз превысить современный уровень.

**Таблица 1.** Прогнозируемые уровни выбросов ГФУ в России

**Table 1.** Projected HFCs emission levels in Russia

Наличие сбора и утилизации ГФУ из оборудования	Год прекращения роста выбросов от использования ГФУ	Максимальные прогнозируемые значения выбросов (% от уровня 2018 г.)	Уровень стабилизации выбросов к 2060 г. (% от уровня 2018 г.)
Потребление ГФУ на уровне 2018 г.			
Без сбора и утилизации	2045	225	225
Эффективный сбор и утилизация	2045	160	160
Сокращение потребления ГФУ в соответствии с Кигалийской поправкой			
Без сбора и утилизации	2028	150	33
Эффективный сбор и утилизация	2026	130	25

## Заключение

Принятие Российской Федерацией Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу создало качественно новую ситуацию в области ограничения выбросов парниковых газов. Во-первых, в отличие от других международных климатических соглашений, поправка накладывает ограничения не на совокупные национальные выбросы парниковых газов, а на выбросы конкретной группы газов – гидрофторуглеродов. Во-вторых, Кигалийская поправка ограничивает выбросы ГФУ косвенно, через ограничение их производства и потребления.

Характерной особенностью динамики выбросов в атмосферу ГФУ, используемых в различном оборудовании, является наличие временного лага между их производством и заправкой в оборудование, с одной стороны, и поступлением в атмосферу в результате эксплуатационных утечек и утилизации выводимого из эксплуатации оборудования, с другой стороны. Прогнозная оценка по методике МГЭИК показывает, что, по этой причине, после начала снижения потребления ГФУ, в стране рост выбросов ГФУ будет продолжаться еще в течение 6-8 лет. Только после 2030 г. начнется устойчивое уменьшение выбросов. К 2055 г., через 20 лет после достижения минимального потребления ГФУ, выбросы стабилизируются на уровне 25-33% от современного значения. Таким образом, реализация Кигалийской поправки будет иметь значительное, но запаздывающее воздействие на выбросы ГФУ.

Если условия поправки не будут выполнены, то, в предположении стабильного потребления ГФУ на уровне 2018 г., выбросы будут продолжать быстро расти и стабилизируются после 2044 г. на уровне 160-225% от современного значения, а при неконтролируемом росте потребления могут достичь значений, в десятки раз превышающих современные.

Возможности для снижения выбросов ГФУ в химической промышленности России ограничены. Производство ГФУ в стране – незначительное. Основные выбросы ГФУ (более 99%) связаны с производством ГХФУ-22. В настоящее время ГХФУ-22 используется только в качестве сырья для производства политетрафторэтилена (ПТФЭ). Использование ГХУ и ГХФУ в каче-

стве сырья для производства озонобезопасных продуктов не регулируется Монреальским протоколом. Поэтому выполнение Кигалийской поправки не приведет к сколько-нибудь существенному сокращению выбросов ГФУ от производства в химической промышленности.

### Список литературы

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы МГЭИК 2006 года для национальных кадастров парниковых газов. Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов.* – МГЭИК-ИГЭС-ОЭСР-МЭА, ИГЭС, Япония.

МГЭИК (2014) *Изменение климата: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата.*/Под ред. Р.К. Пачаури и Л. Мейер. – МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 стр.

Российская Федерация (2020) *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2018 гг. Ч.1* – ФГБУ "ИГКЭ", М, 480 стр.

Целиков В.Н. (2013) *Гидрохлорфторуглероды: современное состояние и прогноз производства и потребления в Российской Федерации до 2020 г.* – Вестник центра ООН по промышленному развитию ЮНИДО в России, № 10 с. 68-71. Режим доступа: <http://www.unido-russia.ru/pdf/unido10.pdf>

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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

United Nations (2016) Reference C.N. 872.2016. Treaties-XXVII.2.f (Depositary Notification). Decision XXVIII/1: Further Amendment of the Montreal Protocol. Available at <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2016/CN.872.2016-Eng.pdf>

UNFCCC, 2014. Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual greenhouse gas inventories. Annex I to the Decision 24/CP.19 “Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention”.

### References

MGEIK (2006) *Rukovodyashchie principy MGEIK 2006 goda dlya nacional'nyh kadaastrov parnikovyh gazov. Programma MGEIK po nacional'nyh kadastram parnikovyh gazov* [2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National greenhouse gas inventories program]. MGEIK-IGES-OESR-MEA, IGES, Yaponiya.

MGEIK (2014) *Izmenenie klimata: Obobshchayushchij doklad. Vklad Rabochih grupp I, II i III v Pyatyj ocenochnyj doklad Mezhpavitel'svennoj gruppy ekspertov*

*po izmeneniyu klimata* [Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change] [osnovnaya gruppa avtorov, R.K. Pachauri i A. Mejer (red.)]. MGEIK, Zheneva, Shvejcariya, 163 str.

Rossijskaya Federaciya (2020) *Nacional'nyj doklad o kadastre antropogennyh ybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, nereguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990-2018 gg. Ch.1* [National inventory report of anthro-pogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990-2018. Vol.1], FFBU "IGCE" Moskva, 480 p.

Celikov, V.N. (2013) *Gidrohlorforuglerody: sovremennoe sostoyanie i prognoz proizvodstva i potrebleniya v Rossijskoj Federacii do 2020 g.* [Hydrochloro-fluorocarbons: current state and forecast of production and consumption in the Russian Federation until 2020] Vestnik centra OON po promyshlennomu razvitiyu YuNIDO v Rossii, № 10 s. 68-71 – Bulletin of the UN Center for Industrial Development UNIDO in Russia, no. 10 pp. 68-71. Available at: <http://www.unido-russia.ru/pdf/unido10.pdf>

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.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

United Nations (2016) Reference C.N. 872.2016. Treaties-XXVII.2.f (Depositary Notification). Decision XXVIII/1: Further Amendment of the Montreal Protocol. Available at <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2016/CN.872.2016-Eng.pdf>

UNFCCC (2014) Guidelines for the preparation of national communications by Parties included in Annex I to the Convention, Part I: UNFCCC reporting guidelines on annual greenhouse gas inventories. Annex I to the Decision 24/CP.19 “Revision of the UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention”.

UNFCCC Greenhouse Gas Inventory Data - Flexible Queries Annex I Parties. Available at: [https://di.unfccc.int/flex\\_annex1](https://di.unfccc.int/flex_annex1). (accessed 03.02.2021)

UNFCCC Greenhouse Gas Inventory Data - Flexible Queries Non-Annex I Parties. Available at: [https://di.unfccc.int/flex\\_non\\_annex1](https://di.unfccc.int/flex_non_annex1). (accessed 03.02.2021)

*Статья поступила в редакцию (Received): 16.04.2021;*

*Статья доработана после рецензирования (Revised): 29.04.2021;*

*Принята к публикации (Accepted): 06.05.2021.*

#### **Для цитирования / For citation:**

Имшенник Е.В., Нахутин А.И. (2021) О влиянии Кигалийской поправки к Монреальскому протоколу на будущие выбросы гидрофторуглеродов в России. – *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 1, с.101-116, doi: 10.21513/2410-8758-2021-1-101-116.

Imshennik E.V., Nakhutin A.I. (2021) On the impact of Kigali amendment to the Montreal protocol on future hydrofluorocarbon emissions in Russia. – *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 7, № 1, pp. 101-116, doi: 10.21513/24108758-2021-1-101-116.