

ВОЗМОЖНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАСЧЕТНОГО МОНИТОРИНГА АНТРОПОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ¹

РОМАНОВСКАЯ Анна Анатольевна, член-корреспондент РАН, an_roman@igce.ru, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия
Scopus Author ID: 6603121727
ГИНЗБУРГ Вероника Александровна, к.геогр.н., veronika.ginzburg@igce.ru, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия
Scopus Author ID: 57214610959
ГЛАДИЛЬЩИКОВА Анна Артемьевна, к.хим.н., science@igce.ru, Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Москва, Россия
Scopus Author ID: 6506926458

Усовершенствования системы расчетного мониторинга (СРМ) антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) и черного углерода (ЧУ) в Российской Федерации проводятся по трем основным направлениям: идентификация пробелов в необходимой для оценки выбросов статистической информации; разработка уточненных национальных коэффициентов для отдельных категорий источников; автоматизация и цифровизация данных мониторинга. Недостающая в системе мониторинга детализированная статистическая информация определяет точность оценки более 80% совокупных выбросов и почти 30% поглощений ПГ. Планируемые к разработке коэффициенты для оценки выбросов от ключевых категорий до 2024 г. позволят уточнить более 30% совокупных нетто-выбросов в России. При условии успешной цифровизации российская СРМ антропогенных потоков ПГ может занять передовые позиции в мире по качеству предоставляемых данных. В стране создается комплексная система выбросов и атмосферного переноса ЧУ, включающая подсистемы расчетного мониторинга выбросов ЧУ на территории России и сопредельных стран, модельной оценки атмосферного переноса и воздействия на Арктический регион. Усовершенствованная СРМ антропогенных потоков ПГ и ЧУ является центральным элементом важнейшего инновационного проекта государственного значения по созданию единой системы мониторинга климатически активных веществ и основой при планировании мер по сокращению выбросов и увеличению поглощения ПГ и оценки их эффективности.

Ключевые слова: парниковые газы, выбросы, поглощение, кадастр парниковых газов, черный углерод, климатически активные вещества.

DOI: 10.47711/0868-6351-201-37-52

Введение. В рамках выполнения принятых национальных обязательств по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН), Киотскому протоколу и Парижскому соглашению Российская Федерация ежегодно представляет в секретариат РКИК ООН Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов (далее – кадастр) [1]. Этот документ содержит данные расчетного мониторинга по антропогенным выбросам и поглощению парниковых газов (ПГ) [2] по секторам: энергетика (с учетом транспорта); промышленные процессы и использование продукции (ППИП); сельское хозяйство; землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ), и отходы. Внутри секторов данные кадастра детализированы по категориям (видам деятельности) и по видам ПГ.

В качестве исходных данных мониторинга используются статистические данные национальной или ведомственной отчетности, отдельных предприятий и организаций

¹ В написании данной статьи принимали участие сотрудники ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»: В.Ю. Вертянкина, И.Л. Говор, к.геогр.н. М.С. Зеленова, к.геогр.н. Е.В. Имшенник, к.б.н. В.Н. Коротков, В.М. Лытов, к.ф.-м.н. А.И. Нахутин, П.Д. Полумиева, Н.В. Попов, А.А. Трунов, И.С. Шепелева, В.С. Шушпанов, И.В. Бабинов.

и научно-технических публикаций. Для выполнения расчетов применяются пересчетные коэффициенты и параметры, которые определяют меру выброса (поглощения) ПГ на единицу производственной деятельности или продукции. Для сохранения сопоставимости данных все страны при формировании кадастра пользуются едиными методическими подходами Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [3] с тремя уровнями сложности расчетов:

- уровень 1 основывается на данных национальной или международной статистики с применением коэффициентов по умолчанию, усредненных по всем или отдельным группам стран. Этот уровень расчетов характеризуется наименьшей точностью;
- уровень 2 позволяет использовать не только детальные статистические данные, но и разрабатывать уточненные национальные или региональные коэффициенты;
- уровень 3 предполагает использование подходов на основе математического моделирования или прямого инструментального мониторинга, а также данных по отдельным предприятиям.

При использовании повышенных уровней сложности 2 и 3 неопределенность оценок кадастра обычно снижается, их детализация и актуальность повышаются. Только подготовленный на основе таких подходов кадастр будет являться эффективным инструментом для планирования и оценки достижения целей по сокращению выбросов ПГ и увеличению их поглощения в стране. Использование подходов уровня 1 не позволяет кадастру «почувствовать» эффект от внедрения низкоуглеродных технологий, а сокращение выбросов в таком случае может быть обусловлено только падением значений исходных данных (т. е. снижением объемов производства).

Национальные кадастры развитых стран и стран с переходной экономикой регулярно проходят процедуру рассмотрения и рецензирования группами экспертов РКИК ООН. В соответствующих отчетах² эти группы рекомендуют российскому кадастру разработать уточненные национальные пересчетные параметры и коэффициенты для «ключевых» категорий кадастра – источники или поглотители с наибольшим вкладом в совокупный нетто-выброс ПГ в стране или в тенденцию его изменения.

В последние годы возрос интерес к климатическим эффектам не подпадающих под международные соглашения короткоживущих климатически активных веществ (в том числе, черного углерода (ЧУ)). Меры по сокращению выбросов короткоживущих климатически активных веществ могут вызывать эффект, ощутимый уже в первые годы применения, в отличие от действий по сокращению выбросов долгоживущих ПГ, отклик климатической системы на сокращение выбросов которых составляет порядка десятилетий. Кроме того, ЧУ обладает выраженным региональным воздействием на климатическую систему, поэтому его изучение и мониторинг особенно актуальны для решения проблем изменения климата в Арктике, являющейся одним из наиболее чувствительных к этому регионов [4].

Для оценки вклада ЧУ в изменение климата в России в системе Росгидромета создается комплексная система его мониторинга, которая включает:

- расчетный мониторинг выбросов ЧУ;
- наблюдения за содержанием ЧУ в атмосфере и смежных средах;
- моделирование и оценку переноса ЧУ в атмосфере и его воздействия на радиационный баланс и климат Арктики.

При этом пока отсутствует система оценки трансграничных потоков ЧУ с территориями сопредельных с Россией стран и их климатического эффекта на горные оледенения и Арктическую зону. Как следствие, оценки реального воздействия данного климатически активного вещества на уязвимые территории нашей страны могут быть занижены.

² Report on the individual review of the annual submission of the Russian Federation submitted in 2020, FCCC/ARR/2020/RUS, 2021, 73 p. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2020_RUS.pdf

С 2022 г. в Российской Федерации реализуется важнейший инновационный проект государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»³ (далее – ВИП ГЗ), в котором работам по усовершенствованию системы расчетного мониторинга (СРМ) выбросов ПГ и ЧУ отводится одно из центральных мест. Выполнение этих задач возложено на Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ»). Уточнение оценок потоков ПГ (поглощения и выбросов) в секторе ЗИЗЛХ выполняется научным консорциумом под руководством Центра по экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН) и не обсуждается в нашей работе.

Задачей данной работы является рассмотрение возможностей усовершенствования СРМ антропогенных выбросов ПГ и ЧУ, в т. ч. для подготовки национальной отчетности.

Парниковые газы. Данные последнего кадастра ПГ [1] приведены на рис. 1. Сокращение выбросов с 1990 г. составило 31,9% без учета вклада сектора ЗИЗЛХ и 45,9% – с его учетом. В 2021 г. сектор ЗИЗЛХ компенсировал около 22,5% совокупных выбросов ПГ. Основной вклад в поглощение вносят лесные земли (592,7 млн т CO₂-экв. в 2021 г).

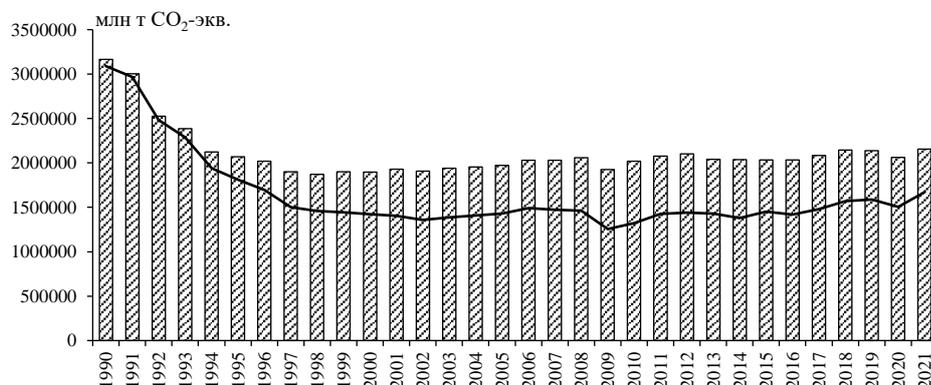


Рис. 1а. Данные российского кадастра ПГ [1], совокупные антропогенные выбросы ПГ в РФ:
 ▨ без учета сектора ЗИЗЛХ; — с учетом сектора ЗИЗЛХ;

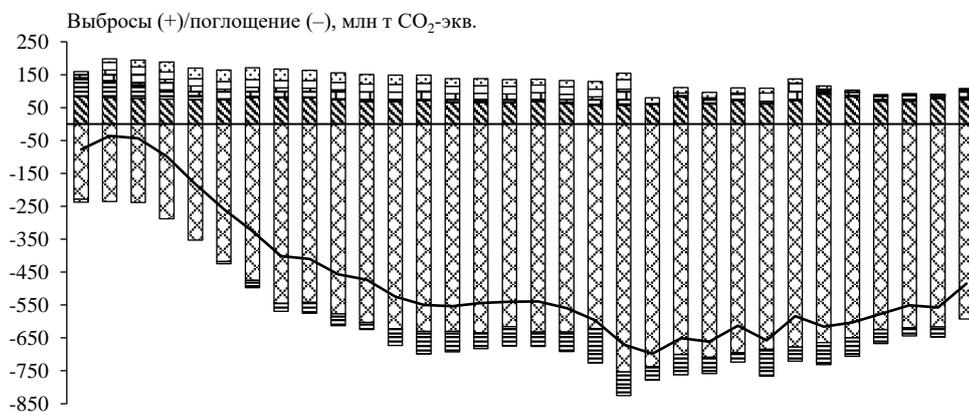


Рис. 1б. Данные российского кадастра ПГ [1], баланс ПГ в секторе ЗИЗЛХ:
 ▨ лесные земли; ▩ возделываемые земли; ▨ сенокосы и пастбища;
 ■ водно-болотные угодья; ▨ поселения; □ прочие земли;
 ▨ заготовленные лесоматериалы; — итого по сектору ЗИЗЛХ

³ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. №3240-р Об утверждении важнейшего инновационного проекта «Единая система мониторинга климатически активных веществ», 2022, 30 стр. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211010041?index=1>

Для уточнения данных кадастра ИГКЭ строит свою работу по развитию СРМ в нескольких направлениях: идентификация пробелов в статистической информации; разработка уточненных национальных коэффициентов для отдельных категорий источников на основе научных исследований, а также автоматизация и цифровизация данных мониторинга.

В настоящее время расчеты выполняются по почти 27 тыс. исходным данным ежегодно, включая региональные значения используемых статистических показателей. При этом более 22 тыс. данных необходимы для выполнения оценок в секторе ЗИЗЛХ (табл. 1).

Таблица 1

Отсутствующие исходные данные для оценки антропогенных выбросов и поглощений парниковых газов

Сектор	Количество используемых исходных данных для оценки одного года, шт.	Отсутствующие исходные данные				Вклад источников, в которых недостаточно исходных данных, в совокупные антропогенные нетто-выбросы ПГ без учета вклада сектора ЗИЗЛХ, %
		Необходимая детализация имеющихся данных	Требуются новые статистические данные	Есть в ведомственных системах, но недоступно для СРМ	Всего	
Энергетика, в т. ч.:						
– стационарное сжигание топлива и транспорт	3500	1*	11	11	23**	67,2
– фугитивные выбросы	11	8	12	89***	109	4,4
ППИП	650	–	42	–	42	3,8
Сельское хозяйство	356****	9	9	1	19	3,9
ЗИЗЛХ	22292****	1	12	–	13	компенсация выбросов 6,7
Отходы	85	7	5	–	12	4,5
Всего	26633	27	92	97	218	83,8 (компенсация выбросов 6,7)

* Комплексный показатель, включающий детализированные исходные данные о потреблении топлива по категориям сжигания топлива, с разбивкой по 28 видам топлив.
 ** Новые данные и данные ведомственной статистики так же являются комплексными показателями. Не сопоставимо напрямую с количеством используемых исходных данных для оценки одного года, приведенными в дезагрегированном виде (столбец 2).
 *** Из них 82 в государственной информационной системе топливно-энергетического комплекса (ГИС ТЭК).
 **** С учетом региональных значений.

Отсутствующие исходные данные, которые требуются для расчета согласно методическим рекомендациям МГЭИК, оцениваются в 218 показателей в сумме по всем секторам (табл. 1). Хотя доля таких отсутствующих данных составляет лишь около 5% от всех статистических показателей (без учета сектора ЗИЗЛХ), они определяют точность оценки более 80% антропогенных выбросов (без ЗИЗЛХ) и около 7% их компенсации антропогенным поглощением, что соответствует почти 30% от вклада всего сектора ЗИЗЛХ. Именно они позволяют переходить на более сложные уровни расчетного мониторинга и помогают учесть мельчайшие изменения в технологических процессах, влияющие на массу выброса ПГ.

К наиболее критичным отсутствующим данным относится необходимая детализация национального топливно-энергетического баланса, без которой невозможно применение специфичных коэффициентов для оценки выбросов от сжигания топлива. Для уточнения оценок выбросов от передвижных источников требуется детализация данных по типам транспортных средств. В подсекторе по фугитивным выбросам

недостает, в том числе, основополагающей информации об объемах добычи и транспортировки разных видов топлив, разным видам его использования. В секторе ППИП нет данных по общим объемам производства отдельных продуктов, в частности, связанных с использованием хладагентов. В сельском хозяйстве в доступной статистике отсутствует информация по структуре поголовья домашнего скота, вкладам разных систем сбора и хранения навоза, внесения по видам органических удобрений. ЗИЗЛХ характеризуется полным отсутствием данных по площадям изменений в землепользовании, т. е., по сути, недостает информации для целого подсектора. В секторе отходы нет информации по массе сжигаемых и компостируемых отходов разных видов, объемам собираемого и сжигаемого биогаза на полигонах отходов и на водоочистных сооружениях и др.

В настоящее время отсутствующие исходные данные заполняются в СРМ оценочным путем, в частности, по косвенному показателю (например, производство продукции оценивается по производству продукции дальнейшей переработки). Однако такие способы заполнения пробелов в данных затягивают разработку национального кадастра, не гарантируют полноту получаемой информации и существенно снижают точность результатов.

В части **разработки уточненных пересчетных параметров и коэффициентов** ИГКЭ выполняет последовательную работу по всем ключевым источникам выбросов ПГ. Цикл работы по каждому направлению включает в себя 3 этапа: подготовительный, этап проведения экспериментальных работ, апробация коэффициента и его внедрение. Содержание этапов представлено на рис. 2.



Рис. 2. Цикл работы ИГКЭ по разработке уточненного национального коэффициента

Всего в национальной СРМ антропогенных выбросов и поглощений ПГ применяется около 6 тыс. пересчетных параметров и коэффициентов. Их распределение по секторам приведено в табл. 2. К 2030 г. планируется разработать почти 100 национальных коэффициентов (без учета параметров в секторе ЗИЗЛХ), из которых 22 будут готовы к внедрению до конца 2024 г.

Таблица 2

Количество используемых пересчетных параметров и коэффициентов СРМ антропогенных выбросов ПГ и число коэффициентов, планируемых к уточнению в рамках ВИП ГЗ

Сектор	Энергетика		ППИП	Сельское хозяйство	ЗИЗЛХ*	Отходы	Всего
	Стационарное сжигание топлива и транспорт	Фугитивные выбросы					
Число параметров и коэффициентов, всего, шт.	800	50	251	11	4743	42	5897
Уточнено в рамках ВИП ГЗ до 2024 г.:							
– число, шт.	2**	2	5	2		11	22
– вклад категории, в котором уточняются коэффициенты, в совокупный выброс ПГ (без учета ЗИЗЛХ), %	19,8	2,0	1,9	2,5		3,9	30,1
Планируется к уточнению в рамках ВИП ГЗ за 2025-2030 гг., шт.	14	6	27	10		15	72

* Работы по сектору ЗИЗЛХ выполняются научным консорциумом под руководством ЦЭПЛ РАН.
 ** Комплексный показатель, включающий данные о содержании углерода в жидких видах топлива (6 видов) и распределение автомобильного парка по видам автотранспортных средств.

До конца 2024 г. выполняется работа по следующим категориям источников.

Энергетика:

– подкатегория сжигания топлива, включая автотранспорт и сжигание топлива населением;

– организованные и неорганизованные выбросы на объектах добычи и подготовки нефти и газового конденсата, а также добычи и сжигания природного газа.

ППИП:

– выбросы CO₂ от нефтехимической промышленности: производство этилена, метанола и технического углерода;

– выбросы гидрофторуглеродов (ГФУ) и перфторуглеродов (ПФУ) от использования в транспортной холодильной технике и оборудовании для кондиционирования воздуха.

Сельское хозяйство:

– выбросы CH₄ в результате внутренней ферментации: коровы, мясной крупный рогатый скот, свиньи;

– выбросы ПГ от систем сбора и хранения навоза и помета (CH₄, N₂O): коровы, мясной крупный рогатый скот, свиньи, птица.

Отходы:

– коэффициенты, зависящие от состава отходов и климатических параметров в различных субъектах РФ, для оценки выбросов ПГ от захоронения отходов;

– коэффициенты, определяющие выбросы ПГ от очистки сточных вод на централизованных водоочистных сооружениях, оборудованных метантенками.

Большинство указанных коэффициентов являются комплексными и включают в себя целый набор разных показателей, дезагрегированных по подкатегориям.

Например, 1 коэффициент в подсекторе сжигания топлива состоит из 6 показателей по разным видам топлива (бензин, дизельное топливо, судовое топливо, мазут флотский, мазут печной, авиационный керосин). Выбранные категории источников отвечают за более 30% совокупных выбросов ПГ в России (табл. 2).

Для уточнения выбранных пересчетных параметров и коэффициентов впервые в нашей стране разрабатываются методические подходы к сбору актуальной информации и выполнению экспериментальных измерений, необходимых для получения коэффициентов с учетом национальной специфики.

Так, в секторе Энергетика для разработки коэффициентов выбросов CO₂ от сжигания жидкого топлива требуется проведение крупномасштабного исследования составов жидких топлив, применяемых в России. Следует отметить, что только в рамках реализации ВИП ГЗ впервые за 25 лет работы над кадастром ПГ в России появилась возможность проведения такого исследования с привлечением узкопрофильных специалистов в области нефтехимии. Анализ опыта аналогичных работ, выполненных в некоторых развитых странах, в том числе Европейского Союза⁴, Германии⁵, США⁶, Австралии⁷, Канады⁸, позволил определить наиболее оптимальные и применимые для российских условий подходы к организации исследования компонентного состава жидких топлив. Для этого требуется как аналитическая работа по сбору и обобщению всех имеющихся ведомственных и отраслевых данных, так и прямое измерение содержания углерода в отобранных образцах разных видов топлив по регионам страны.

Для уточнения оценок выбросов CO₂ от дорожного транспорта необходимы детальные данные о расходе топлива, потребляемого частным автотранспортом, с детализацией по видам [5]. Такая статистическая информация не собирается, поэтому для ее получения необходимо проводить модельные оценки, основанные на данных о структуре парка автотранспортных средств. Был проведен обзор транспортных моделей, используемых в национальных кадастрах Германии Transport Emission Estimation Model – TREMO⁹ и США GREET¹⁰ и MOVES¹¹. На основе их анализа начата разработка транспортной модели (соответствующей 3 уровню расчетов), позволяющей на регулярной основе актуализировать распределение автомобильного парка России по видам топлива и экологическим классам, определения расхода топлива, средневзвешенных пробегов автотранспортных средств разных классов.

В подсекторе Фугитивные выбросы » сектора Энергетика для оценки выбросов CH₄ и CO₂ от добычи и подготовки нефти и газового конденсата по уровню 2 существуют два альтернативных метода: с использованием статистики по потерям нефти и попутного нефтяного газа (ПНГ) и с использованием статистики по газовому фактору или по уровню утилизации и объемам сжигания ПНГ [6; 7]. Для обоих перечисленных методов необходимы данные о средневзвешенном составе добываемого ПНГ. В настоящее время в рамках ВИП ГЗ реализуются оба метода.

⁴ Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2020 and inventory report 2022 Submission to the UNFCCC Secretariat. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhouse-gas-1>

⁵ Germany, 2022 National Inventory Report (NIR). URL: <https://unfccc.int/documents/461930>

⁶ Greenhouse Gas Reporting Program (GHGRP). URL: <https://www.epa.gov/ghgreporting>

⁷ National Greenhouse and Energy Reporting Act 2007. URL: <https://www.legislation.gov.au/Series/C2007A00175>

⁸ Greenhouse Gas Reporting Program, Government of Canada. URL: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/greenhouse-gas-emissions/facility-reporting/about.html>

⁹ Update of the models TREMOD/TREMOD-MM for emission reporting 2020 (reporting period 1990-2018). URL: <https://www.ifeu.de/en/project/uba-tremod-2019/>

¹⁰ ANL (2021). The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation Model (GREET2021). Argonne National Laboratory. URL: <https://greet.es.anl.gov>

¹¹ Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES3). Office of Transportation and Air Quality, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. URL: <https://www.epa.gov/moves>

В секторе ППИП для разработки коэффициентов выброса CO₂ от нефтехимической промышленности (производство этилена, производство метанола и производство технического углерода (сажи)) необходим сбор детальной информации по действующим предприятиям и видам технологических установок на них [8]. Например, для реализации методики уровня 2 для расчетов выбросов от производства этилена требуется актуальная информация по используемым технологиям и типам печей пиролиза, объемам использования различных видов углеводородного сырья, а также объемам использования дополнительного топлива (если используется) для поддержания процесса пиролиза. Потребуется составление и анализ усредненных таблиц материального баланса выработки продуктов с учетом рецикла для различных технологий, типов печей пиролиза и различных видов углеводородного сырья. Также нужна информация о дальнейшем использовании полученных продуктов пиролиза, в том числе тех, которые сжигаются для поддержания процесса, и тех, которые сжигаются на факеле.

В секторе Сельское хозяйство для приоритетной работы были выбраны категории внутренней ферментации (коровы, крупный рогатый скот, свиньи) и систем сбора и хранения навоза и помета (коровы, крупный рогатый скот, свиньи, птица). В результате уточнения данных по выбросам ПГ от основных категорий животных и птицы многие исследователи отмечают положительные результаты в повышении точности и снижении неопределенности расчетных оценок [9; 10]. Анализ национальных кадастров развитых стран, таких как Канада, Япония¹², Дания и Ирландия показывает, что широко применяется метод уровня 2 или математическое моделирование 3-го уровня сложности для внутренней ферментации и по системам хранения навоза и помета [11; 12; 13]. С целью реализации в российском кадастре уровня 2 расчетов необходимы уточненные данные по коэффициентам перевариваемости кормов с учетом региональных особенностей рациона кормления разных категорий и возрастных групп животных. При этом необходимо проведение экспериментального измерения перевариваемости отобранных образцов кормов. Кроме того, в рамках ВИП ГЗ начаты экспериментальные работы по измерению потоков CH₄ и N₂O от разных видов систем хранения навоза и помета (в сухом и жидком виде) на выбранных животноводческих фермах с разным поголовьем животных и в разных климатических зонах страны, т. е. с учетом факторов, влияющих на интенсивность газообразных потерь азота и углерода из навозохранилищ [14]. Такие измерения будут выполнять в течение полного календарного года.

В секторе Отходы для уточнения выбросов CH₄ от свалок (полигонов) твердых отходов (СТО) исследуются условия увлажненности в местах их размещения и уточняется состав твердых коммунальных отходов (ТКО) [15]. Для оценки увлажненности на территориях всех СТО необходимо получить данные сеточных архивов метеорологической информации о количестве осадков и потенциальной эвапотранспирации с 1960 г. до настоящего времени, позволяющие подразделить субъекты РФ по показателю влажности. Морфологический состав ТКО, образуемых в настоящее время, уточняется как путем проведения запланированных натуральных обследований мест накопления отходов в выбранных населенных пунктах, так и анализа данных отдельных недавно проведенных региональных исследований. Все эти работы уже начаты силами сотрудников ФГБУ «ИГКЭ». Кроме того, для уточнения выбросов CH₄ от централизованных водоочистных сооружений (ЦВС), оборудованных метантенками, в рамках ВИП ГЗ нужно уточнить значения следующих коэффициентов и параметров: значение поправочного коэффициента метана для метантенков; степень применения ЦВС, оборудованных ими, для каждой

¹² National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan, 2022. URL: <https://unfccc.int/documents/461933>

группы населения; а также параметры, определяющие значение рекуперации биогаза для метантенков (доля метантенков, оборудованных системами сжигания биогаза, доля времени их работы без сжигания, доля времени их работы без утилизации электроэнергии и тепла). В качестве основного метода работы выбрано анкетирование предприятий и сбор доступной информации в государственных и ведомственных информационных системах.

Сроки разработки уточненных коэффициентов в течение 2023-2024 гг. приведены на рис. 3.

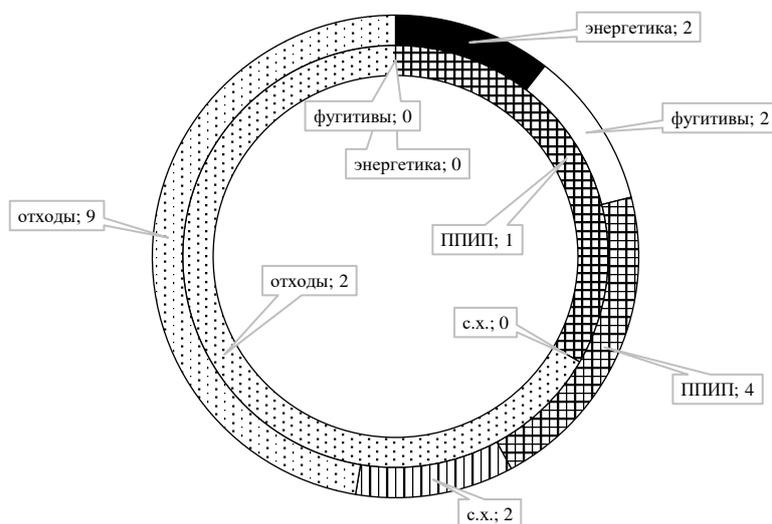


Рис. 3. Сроки разработки национальных коэффициентов по годам: внутренний круг – 2023 г., внешний круг – 2024 г.:

□ – отходы; ■ – энергетика; □ – фугитивы; ▨ – ПШИП; ▩ – сельское хозяйство

Важным направлением развития СРМ является создание **собственной цифровой платформы**, позволяющей провести автоматизацию расчетов, а также представляющей возможность предоставления цифровой информации по выбросам и поглощению ПГ всем категориям пользователей – от органов исполнителей власти до научного сообщества и граждан. В настоящее время отсутствие цифровой системы приводит к рискам возникновения ошибок, сложности проверки качества и полноты кадастра и снижает возможность интеграции с любыми внешними системами.

Создаваемая информационно-аналитическая система (ИАС) «Национальный кадастр» состоит из следующих основных блоков:

1. Подсистема сбора и хранения данных – предназначена для реализации процессов сбора данных из систем источников, приведения указанных данных к виду, необходимому для наполнения подсистемы хранения данных;
2. Подсистема обработки данных – предназначена для хранения данных, проведения расчетов и иных операций над данными;
3. Подсистема формирования выходных данных – предназначена для формирования выходной отчетности и визуализации данных.

Подсистемы ИАС «Национальный кадастр» и требования к техническим и программно-аппаратным средствам представлены на рис. 4.

ИАС «Национальный кадастр» будет реализовывать следующие принципы функционирования, основанные на взаимодействии между внутренними и/или внешними компонентами:

- регистрация и авторизация пользователей, разграничение прав пользователей;
- импорт данных с государственных и ведомственных государственных информационных сетей;
- возможность реализации ручного ввода и редактирование данных;
- верификация данных;
- создание и редактирование справочной информации;
- конструктор форм входных и выходных данных, отчетности;
- редактирование формул для расчета и коэффициентов;
- расчет показателей для составления кадастра;
- формирование выходной отчетности.

Полностью работы по реализации всех функций ИАС «Национальный кадастр» запланированы на 2030 г. К этому сроку предполагается обеспечить техническую и программную модернизацию СРМ ПГ и процесса подготовки кадастра посредством:

- автоматизации сбора данных статистической информации из федеральной, региональной и отраслевой отчетности;
- автоматизированного расчета массы антропогенных выбросов и поглощения ПГ в РФ;
- автоматизированного расчета неопределенности оценок массы антропогенных выбросов и поглощения ПГ в целом по стране и в разрезе по ключевым категориям кадастра;
- автоматизации системы проверки и контроля качества кадастра, архивирования и хранения данных, автоматического предзаполнения расчетных блоков данными из государственных и ведомственных информационных систем, автоматического заполнения отчетных таблиц и текстового формата кадастра;
- разработки системы автоматического сопоставления с данными кадастров других стран;
- формирования региональных кадастров ПГ по субъектам РФ в разрезе секторов, источников, категорий и подкатегорий кадастра, видов ПГ;
- формирования и хранения исторического ряда антропогенных выбросов и поглощения ПГ, а также их прогнозных величин (при наличии);
- формирования выборки входных и выходных данных по запросам пользователей, графической и цифровой аналитики выбранных данных.

Учитывая, что в соответствии с Приказом Минприроды России¹³ некоторые субъекты РФ готовят собственную отчетность по ПГ (напр. [16]), развитие ИАС «Национальный кадастр» для возможности ее использования на региональном уровне является важной задачей. Однако в рамках подготовки первой очереди ИАС к концу 2024 г. ожидается, что только часть категорий выбросов и поглощений может быть оценена на уровне субъектов. Ввиду разницы систем федеральной и региональной статистики для полных оценок по субъектам РФ потребуется дополнительная настройка ИАС в течение периода до 2030 г. Кроме того в будущем ИАС «Национальный кадастр» будет расширена на отдельные короткоживущие климатически активные вещества, в частности, ЧУ.

Имеющиеся преимущества ИАС «Национальный кадастр» по возможности тонкой настройки СРМ с учетом любой национальной специфики и автоматизации процесса

¹³ Приказ Минприроды России от 16 апреля 2015 года № 15-р по утверждению методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. URL: <https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-16.04.2015-N-15-r/>

сбора исходной информации смогут быть использованы в любых других странах для формирования национальной отчетности по РКИК ООН. Однако реализация этого потенциала потребует материальных и кадровых ресурсов и времени.

Черный углерод. ЧУ входит в состав аэрозольных частиц, диаметром менее 2,5 мкм, и способен приводить как к охлаждающим климатическим эффектам, так и к нагреву воздуха и снижению альbedo льда и снега (см. рис. 5).

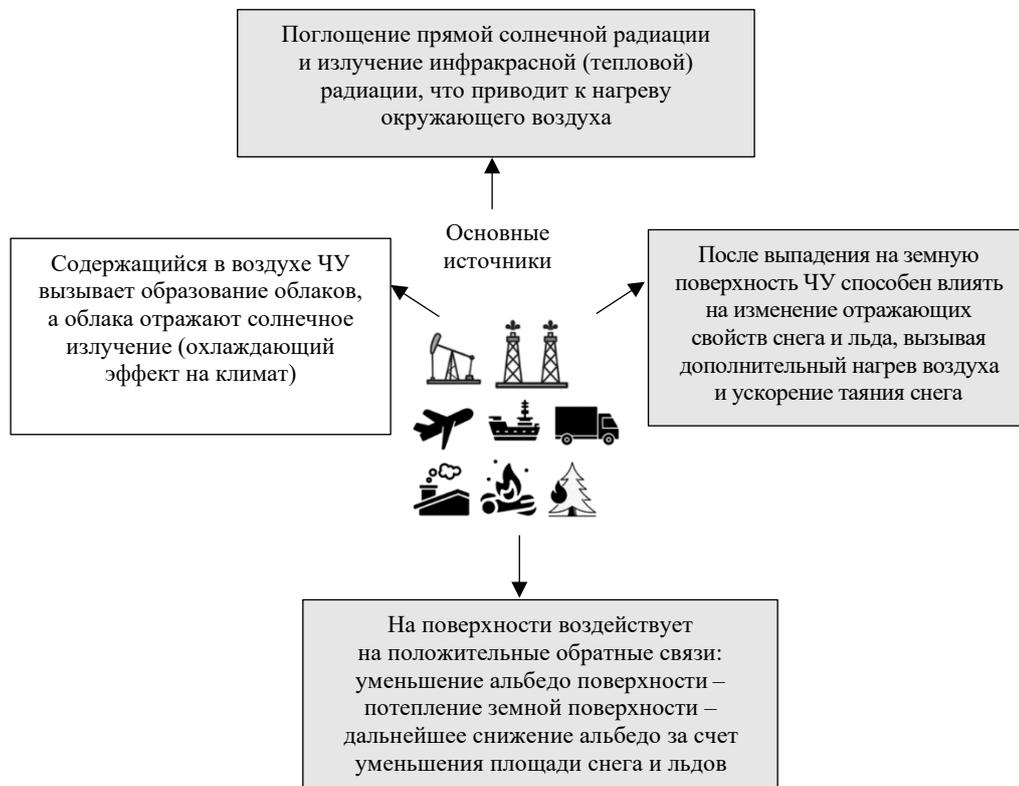


Рис. 5. Климатические эффекты ЧУ

Для изучения климатических эффектов ЧУ важно отделять его от других составляющих сажи по следующим причинам:

- химический состав: в состав сажи входит весь углерод, содержащийся в продуктах недожога, включая, например, органический углерод. Доля углерода в саже составляет 92-95%;

- оптические свойства: ЧУ поглощает до 100% коротковолновой радиации, в то время как в состав сажи входят углеродистые соединения, не обладающие такими свойствами и приводящие часто к противоположным воздействиям на радиационный баланс;

- характерный размер частиц ЧУ, которые составляют от 0,01 до 1 мкм, для сажи – зависит от источника, например угольная сажа – от 0,2 до 10 мкм;

- способность к переносу на большие расстояния (сажа выпадает вблизи источника, ЧУ может переноситься в воздухе на большие расстояния, в том числе в Арктический регион, на территории, покрытые арктическими льдами и горными ледниками). Оценки воздействия выбросов ЧУ от сибирских лесных пожаров 2019 г. [17] показали, что за счет сибирских пожаров в летние месяцы эмиссия ЧУ в Арктике возрастает в 3-4 раза.

Большое внимание этой проблеме уделяется так же в деятельности Арктического совета, в частности в рамках работы Экспертной группы по ЧУ и СН₄. Рабочая группа Арктического совета по реализации программы арктического мониторинга и оценки (АМАП) подготовила специальный доклад о ЧУ в Арктике [18].

В Росгидромете с 2021 г. создается комплексная система мониторинга потоков короткоживущих климатически активных веществ антропогенного происхождения, включающая в себя подсистему оценки (инвентаризации) выбросов ЧУ; подсистему наблюдений и оценки содержания ЧУ в атмосфере и смежных средах; подсистему оценки воздействия короткоживущих климатически активных веществ на радиационный баланс и климат Арктического региона. В 2022 г. подготовлен и представлен в Арктический совет первый Национальный доклад РФ по ЧУ и СН₄ [19]. Данные по выбросам ЧУ в России из Национального доклада представлены на рис. 6.

Выбросы ЧУ значительно зависят от используемой технологии сжигания, системы очистки и других технических характеристик. Кроме того, доля ЧУ в составе выбрасываемых твердых частиц существенно изменяется для различных источников и видов топлив. По оценкам ФГБУ «ИГКЭ», проведенным по адаптированным к российским условиям методикам, суммарный выброс ЧУ в России в 2020 г. составил 266 тыс. т с учетом лесных пожаров и 136 тыс. т без них [20]. Выбросы ЧУ при сжигании ископаемого топлива в энергетических целях обусловлены, в основном, сжиганием угля и дизельного топлива, в меньшей степени биотоплива и отходов. Значимым источником выбросов является сжигание попутного нефтяного газа на факельных установках. В суммарные значения национальных выбросов также включены выбросы от травяных пожаров на нелесных землях. Одним из наиболее важных источников поступления ЧУ в атмосферу являются лесные пожары, их интенсивность значительно варьирует от года к году от 51 до 162 тыс. т в год.

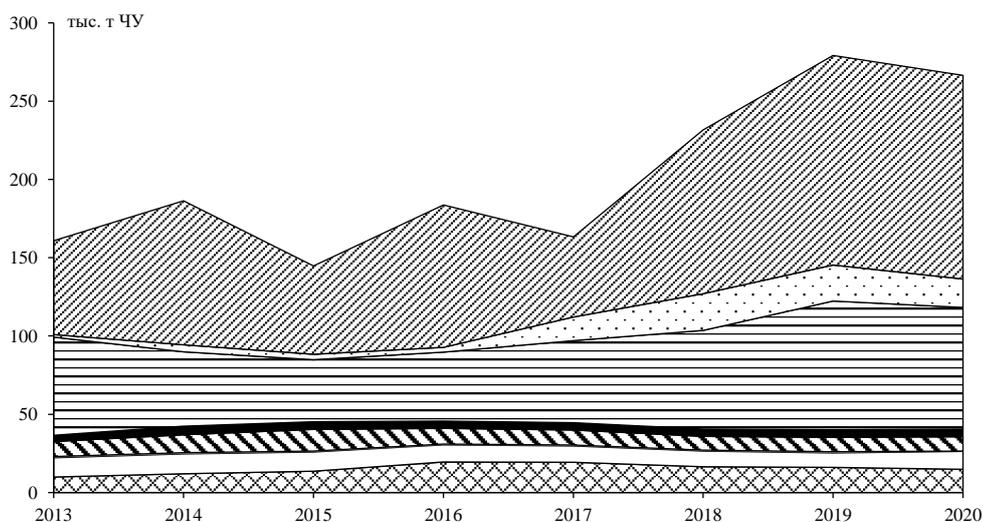


Рис. 6. Выбросы ЧУ в РФ за период с 2013 по 2020 гг. [19]:
 ☒ энергетика и промышленность; □ малое и бытовое сжигание;
 ▨ автомобильный транспорт; ■ другой транспорт;
 ▤ факельное сжигание; ▩ травяные палы; ▧ лесные пожары

Комплексный анализ воздействия ЧУ невозможен без использования подходов математического моделирования. Формирование содержания ЧУ в атмосфере регионов и связанных с ними потоков на подстилающую поверхность зависит не

только от деятельности источников на его территории, но и за ее пределами. Расчетные (модельные) оценки трансграничного переноса примеси проводятся в рамках международной Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе (ЕМЕП) Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. ЧУ не входит в обязательную отчетность по программе ЕМЕП, поэтому для него оценки трансграничных потоков ранее не проводились.

В рамках реализации ВИП ГЗ до 2030 г. закладывается СРМ и оценки выбросов мелкодисперсных климатически активных аэрозолей, содержащих углерод, в том числе ЧУ, органический углерод и др., которая должна функционировать дальше в постоянном режиме. На первом этапе реализации программы до 2024 г. планируется:

– адаптация ИАС «Национальный кадастр» для проведения инвентаризации мелкодисперсных климатически активных аэрозолей на примере ЧУ. Это потребует внедрения в информационную систему, в том числе, возможности учета технологических особенностей процессов, приводящих к выбросам ЧУ;

– проведение расчетных (модельных) оценок трансграничного переноса выбросов ЧУ с территории России и сопредельных стран, и их воздействия на радиационный баланс и климат в России, в том числе на изменение радиационного баланса и таяние ледников в горных и арктических районах.

К концу 2024 г. должны быть созданы все необходимые элементы СРМ и оценки выбросов ЧУ, которая на 2 этапе реализации до 2030 г. будет расширена дополнительными климатически активными аэрозолями, такими как органический углерод, серосодержащие аэрозоли и др., и интегрирована в национальную СРМ климатически активных веществ. Впервые обоснованные оценки воздействия ЧУ на климатическую систему, его вклад в наблюдаемое потепление Арктической зоны, будут основаны на российских результатах мониторинга и моделирования.

Заключение. Усовершенствование СРМ антропогенных потоков ПГ и ЧУ осуществляется в рамках ВИП ГЗ по нескольким направлениям: увеличение охвата по веществам, детализация исходной информации, уточнение пересчетных коэффициентов и цифровизация данных мониторинга. Такие работы выполняются в России впервые: РФ является одной из немногих стран, входящих в Приложение I к РКИК ООН, в которых до настоящего времени усовершенствования СРМ ПГ не проводилось.

Уникальность научно-исследовательских работ заключается в тесной кооперации с отраслевыми специалистами и организациями, что позволит учесть технологические особенности в каждом секторе экономики. Такая актуализация коэффициентов должна выполняться периодически на постоянной основе, совместно с проведением модернизации производств и реализацией мероприятий Стратегии долгосрочного развития с низким уровнем выбросов ПГ РФ.

Выполнение всех запланированных работ способно вывести российскую СРМ антропогенных потоков ПГ на передовые позиции в мире и позволит создать эффективный инструмент в планировании мероприятий по сокращению выбросов и увеличению поглощений ПГ, а также оценке достижения поставленных целей.

Литература / References

1. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. М., Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ», 2023. Ч. 1. 479 с. URL: <https://unfccc.int/documents/627871> [National inventory report of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990 – 2021. M., Roshydromet. 2023. Part 1. 479 p. (In Russ.)]
2. Израэль Ю.А., Романовская А.А. Основы мониторинга эмиссий и стоков парниковых газов антропогенного происхождения // Метеорология и гидрология. 2008. № 5. С. 5-15. [Izrael Yu.A., Romanovskaya A.A.

- Fundamentals of monitoring of greenhouse gas emissions and sinks of anthropogenic origin // Meteorology and Hydrology. 2008. No. 5. Pp. 5-15. (In Russ.)]*
3. IPCC 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National greenhouse gas inventories programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl>
 4. Гинзбург В.А., Кострыкин С.В., Ревокатова А.П., Рябошапка А.Г., Пастухова А.С., Коротков В.Н., Пolumieva П.Д. Короткоживущие климатообразующие аэрозоли от лесных пожаров на территории России: модельные оценки вероятности переноса в Арктику и возможное влияние на климат региона // *Фундаментальная и прикладная климатология. 2020. № 1. С. 21-41. DOI: 10.21513/2410-8758-201920-1-21-41. [Ginzburg V.A., Kostrykin S.V., Revokatova A.P., Ryaboshapko A.G., Pastukhova A.S., Korotkov V.N., Polumieva P.D. Short-lived climate-forming aerosols from forest fires in Russia: model estimates of transfer probability to the Arctic and possible impact on the region's climate // Fundamental and Applied Climatology. 2020. No. 1. Pp. 21-41. (In Russ.)]*
 5. Browning L. Updated On-highway CH₄ and N₂O Emission Factors for GHG Inventory. Memorandum from ICF to Sarah Roberts and Justine Geidosch, Office of transportation and air quality. U.S. Environmental protection agency. September 2019.
 6. Клименко В.А., Круглова Н.Ю. Система учета, контроля и управления фугитивными эмиссиями метана на газораспределительных сетях // *Вести газовой науки. 2013. № 2 (13). С. 49-55. [Klimenko V.A., Kruglova N.Yu. System of accounting, control and management of fugitive methane emissions in gas distribution networks // Vesti gazovoy nauki. 2013. No. 2 (13). Pp. 49-55. (In Russ.)]*
 7. Уварова Н.Е., Грабар В.А., Гитарский М.Л., Нахутин А.И., Дыган М.М., Бердин В.Х. Национальные параметры для расчета эмиссии парниковых газов в российском нефтегазовом секторе // *Экологический вестник России. 2017. № 11. С. 12-17. [Uvarova N.E., Grabar V.A., Gityarsky M.L., Nakhutin A.I., Dygan M.M., Berdin V.Kh. National parameters for calculating greenhouse gas emissions in the Russian oil and gas sector // Russian Environmental Bulletin. 2017. No. 11. Pp. 12-17. (In Russ.)]*
 8. Цеханович М.С. Производство и особенности применения сырья для получения технического углерода // *Российский химический журнал. 2007. Т. 51. № 4. С. 98-104. [Tshehanovich M.S. Production and peculiarities of application of raw materials for technical carbon // Russian Chemical Journal. 2007. Vol. 51. No. 4. Pp. 98-104. (In Russ.)]*
 9. Ibidhi R., Kim T.-H., Bharanidharan R., Lee H.-J., Lee Y.-K., Kim N.-Y., Kim K.-H. Developing country-specific methane emission factors and carbon fluxes from enteric fermentation in South Korean dairy cattle production // *Sustainability. 2021. No. 13 (16). Pp. 1-11. DOI:10.3390/su13169133.*
 10. Thakuri S., Baskota P., Khatri S.B., Dhakal A., Chaudhary P., Rijal K., Byanju R.M. Methane emission factors and carbon fluxes from enteric fermentation in cattle of Nepal Himalaya // *Science of The Total Environment, 2020. Vol. 746. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141184.*
 11. González-Avalos E., GRuiz-Suárez L. Methane emission factors from cattle manure in Mexico // *Bioresource Technology. 2001. Vol. 80. Issue 1. Pp. 63-71. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00052-9.*
 12. Ominski K.H., Boadi D.A., Wittenberg K.M., Fulawka D.L., Basarab J.A. Estimates of enteric methane emissions from cattle in Canada using the IPCC Tier-2 methodology // *Can. J. Anim. Sci., 2007. No. 87. Pp. 459-467. DOI: 10.4141/CJAS06034.*
 13. Ramin M., Huhtanen P. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants // *Journal of Dairy Science, 2013. Vol. 96. Issue 4. Pp. 2476-2493. DOI: 10.3168/jds.2012-6095.*
 14. Гордеев В.В., Миронова Т.Ю., Ильин Р.М., Миронов В.Н. Эмиссия аммиака из навоза КРС в зависимости от его влажности и площади поверхности // *АгроЭкоИнженерия. 2020. № 3 (104). С. 88-94. DOI: 10.24411/0131-5226-2020-10257 [Gordeev V.V., Mironova T.Yu., Ilyin R.M., Mironov V.N. Ammonia emission from cattle manure depending on its moisture and surface area // AgroEcoEngineering. 2020. No. 3 (104). Pp. 88-94. (In Russ.)]*
 15. Ильиных Г.В., Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н. Тенденции и закономерности изменения норм накопления, состава и свойств ТБО // *Экология и промышленность России. 2013. № 10. С. 22-25. DOI: 10.18412/1816-0395-2013-10-22-25. [Ilyinykh G.V., Zavizion Yu.V., Slusar N.N., Korotayev V.N. Trends and patterns of changes in the rates of accumulation, composition and properties of MSW // Ecology and Industry of Russia. 2013. No. 10. Pp. 22-25. (In Russ.)]*
 16. Региональный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов на территории Сахалинской области за 2021 год. Министерство экологии и устойчивого развития Сахалинской области. ФГБУ «ИГКЭ». 2022. 106 с. URL: <https://ecology.sakhalin.gov.ru/about/climate/38-inventarizaciya-vybrosov-i-pogloschenij-parnikovyyh-gazov.html> [Regional inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases in the Sakhalin Oblast for 2021. Ministry of Ecology and Sustainable Development of Sakhalin Oblast. FSBI «IGCE». 2022. 106 p. (In Russ.)]
 17. Kostrykin S., Revokatova A., Ginzburg V., Polumieva P., Zelenova M., Chernenkov A. Black carbon emissions from the Siberian fires 2019: modelling of the atmospheric transport and possible impact on the radiation balance in the Arctic region // *Atmosphere. 2021. Vol. 2. No. 7. DOI: 10.3390/atmos12070814.*
 18. AMAP, 2021. AMAP Assessment 2021: Impacts of short-lived climate forcers on Arctic climate, air quality, and human health. Arctic monitoring and assessment programme (AMAP). Tromsø, Norway. 375 p.
 19. Национальный доклад Российской Федерации по выбросам черного углерода и метана для Арктического совета. М., Росгидромет. 2022. 30 с. [National report of the Russian Federation on black carbon and methane emissions for the Arctic Council. M., Roshydromet. 2022. 30 p. (In Russ.)]
 20. Гинзбург В.А., Зеленова М.С., Коротков В.Н., Кудрявцева Л.В., Лытов В.М., Максимова О.В., Попов Н.В. Расчетные оценки выбросов черного углерода от приоритетных категорий источников в России // *Метеорология и гидрология. 2022. № 10. С. 78-91. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-10-78-91 [Ginzburg V.A., Zelenova M.S., Korotkov V.N., Kudryavtseva L.V., Lytov V.M., Maximova O.V., and Popov N.V. Calculated estimates of black carbon emissions from priority source categories in Russia // Meteorology and hydrology. 2022. No. 10. Pp. 78-91. (In Russ.)]*



Статья поступила в редакцию 22.06.2023. Статья принята к публикации 05.07.2023.

Для цитирования: А.А. Романовская, В.А. Гинзбург, А.А. Гладильщикова. Возможности совершенствования системы расчетного мониторинга антропогенных выбросов парниковых газов и черного углерода на территории Российской Федерации // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 37-52.
DOI: 10.47711/0868-6351-201-37-52

Summary

POSSIBILITIES FOR IMPROVING THE SYSTEM OF CALCULATED MONITORING OF ANTHROPOGENIC EMISSIONS OF GREENHOUSE GASES AND BLACK CARBON ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.A. ROMANOVSKAYA, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

Scopus Author ID: 6603121727

V.A. GINZBURG, Cand. Sci. (Geography), Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

Scopus Author ID: 57214610959

A.A. GLADILSHCHIKOVA, Cand. Sci. (Chemistry), Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

Scopus Author ID: 6506926458

Abstract: Improvements in the calculated monitoring system (CMS) of anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHG) and black carbon (BC) in the Russian Federation are carried out in three main areas: identification of gaps in the statistical information necessary for estimating emissions; development of updated national coefficients for certain source categories; automation and digitalization of monitoring data. The detailed statistical information missing in the monitoring system determines the accuracy of estimates for more than 80% of total GHG emissions and almost 30% of GHG removals. The coefficients planned to be developed for estimating emissions from key categories until 2024 will make it possible to clarify more than 30% of total net emissions in Russia. Subject to successful digitalization, the Russian CRM of anthropogenic GHG flows can take the leading positions in the world in terms of the quality of the data provided. The country is creating an integrated system of emissions and atmospheric transport of BC, which includes subsystems of calculated monitoring of BC emissions on the territory of Russia and neighboring countries, model assessment of atmospheric transport and impact on the Arctic region. The improved CMS of anthropogenic GHG and BC fluxes is the central element of the most important innovative project of national importance to create a unified monitoring system for climate-active substances and the basis for planning measures to reduce emissions and increase GHG removals and evaluate their effectiveness.

Keywords: greenhouse gases, emissions, absorption, greenhouse gas inventory, black carbon, climate active substances.

Received 22.06.2023. Accepted 05.07.2023.

For citation: A.A. Romanovskaya, V.A. Ginzburg and A.A. Gladilshchikova. Possibilities for Improving the System of Calculated Monitoring of Anthropogenic Emissions of Greenhouse Gases and Black Carbon on the Territory of the Russian Federation // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 6. Pp. 746-757.
DOI: 10.1134/S1075700723060138