



Научная статья

УДК 338.43

doi: 10.55186/25876740_2022_65_5_484

УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД СЕКТОРА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Комарова, И.В. Филимонова, А.Ю. Новиков

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Аннотация. Цель исследования заключается в оценке углеродного следа сектора сельского хозяйства в Новосибирской области с учетом существующих предпосылок и общего состояния сектора. Был проведен общий обзор сельскохозяйственной отрасли региона. В сфере растениеводства для области характерны посадки зерновых и зернобобовых культур, в сфере животноводства — разведение крупного рогатого скота. В структуре регионального экспорта сельскохозяйственной продукции преобладает молоко и молокопродукты. В ходе исследования по методологии МГЭИК были оценены выбросы диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и оксида азота (N₂O) от внутренней ферментации сельскохозяйственных животных, систем сбора и хранения навоза и возделывания почв. Приведенные к CO₂ эквиваленту выбросы проанализированы с точки зрения видов организаций и хозяйств их создающих. Совокупные выбросы от сельскохозяйственной деятельности в Новосибирской области в 2020 г. были оценены в 2,31 млн т CO₂ экв. Выбросы от животноводства составили 1,38 млн т CO₂ экв., а от возделывания почв — 0,93 млн т CO₂ экв. Изменения показателей выбросов в 2017–2020 гг. были незначительны. Ключевым фактором, влияющим на выбросы от животноводства, является динамика поголовья крупного рогатого скота. На территории области развито выращивание молочных коров, чьи выбросы на голову являются самыми высокими среди всех видов скота и составляют 3,44 т CO₂ экв. на голову в год. С точки зрения организационной структуры большая часть выбросов приходится на крупные сельскохозяйственные предприятия (69%). Это создает предпосылки для регулирования объемов выбросов и дает возможность работать напрямую с данными организациями.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, углеродный след, выбросы парниковых газов, Новосибирская область, крупный рогатый скот, удобрения, методология оценки выбросов

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-18-00424.

Original article

THE CARBON FOOTPRINT OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE NOVOSIBIRSK REGION

A.V. Komarova, I.V. Filimonova, A.Y. Novikov

Novosibirsk state university, Novosibirsk, Russia

Abstract. The purpose of the study is to assess the carbon footprint of the agriculture sector in the Novosibirsk region, taking into account the existing prerequisites and the general state of the sector. A general review of the agricultural sector in the region was carried out. In the field of crop production, the region is characterized by the planting of grain and leguminous crops, in the field of livestock production — cattle breeding. In the structure of regional exports of agricultural products, milk and dairy products predominate. The study based on the IPCC methodology estimated emissions of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitric oxide (N₂O) from internal fermentation of farm animals, manure collection and storage systems, and soil cultivation. Emissions expressed in the CO₂ equivalent are analyzed from the point of view of the types of organizations and farms that create them. Aggregate emissions from agricultural activities in the Novosibirsk region in 2020 were estimated at 2.31 Mt CO₂ eq. Emissions from livestock production amounted to 1.38 million tons of CO₂ eq., and from soil cultivation — 0.93 million tons of CO₂ eq. Changes in emission indicators in 2017–2020 were insignificant. The key factor influencing emissions from livestock production is the dynamics of the number of cattle. Dairy cows are developed on the territory of the region, whose emissions per head are the highest among all types of livestock and amount to 3.44 t CO₂ eq. per head annually. In terms of organizational structure, the majority of emissions come from large agricultural enterprises (69%). This creates the prerequisites for regulating emissions and makes it possible to work directly with these organizations.

Keywords: agricultural production, carbon footprint, greenhouse gas emissions, Novosibirsk region, cattle, fertilizer, methodology of emission assessment

Acknowledgments: the research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation under project No. 22-18-00424.

Введение. Сохранение благоприятной окружающей среды и природно-ресурсного потенциала является одной из целей «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» и «Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года».

В настоящее время проводится ежегодная оценка выбросов основных парниковых газов, в том числе и в России. На уровне отдельных субъектов РФ может проводиться добровольная региональная инвентаризация выбросов. Как следствие повышения внимания к эколого-климатической тематике можно ожидать введения

более активного регулирования вопросов оценки выбросов. Оценка выбросов в соответствии с методологией МГЭИК проводится по пяти основным секторам:

1. Энергетика;
2. Промышленные процессы и использование продукции (ППИП);
3. Сельское хозяйство;
4. Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство (ЗИЗЛХ);
5. Отходы.

В России основные выбросы связаны с секторами Энергетика и ППИП, которые в 2020 г. составили 77,9% и 11,8% от РФ соответственно без учета сектора ЗИЗЛХ. Следовательно, основное регулирование сфокусировано на отраслях и

предприятиях, связанных с сжиганием энергоресурсов, добычей ископаемого топлива, промышленным производством в области металлургии, стекла и керамики, химической продукции и др.

Выбросы от сектора сельского хозяйства составили 5,7% от всех выбросов по РФ (116,6 млн т CO₂ экв.). Анализ возможного климатического регулирования сектора связан с аспектами продовольственной безопасности, контроля за ценнообразованием в отрасли, а также технологическими особенностями осуществления и поглощения выбросов [1].

Также необходимо учитывать взаимосвязь сельскохозяйственной деятельности с климатическими изменениями. Одной из целей сокращения выбросов парниковых газов является



сдерживание роста среднегодовой температуры на планете и предотвращение климатических изменений, которые, в частности, отразятся и на сельском хозяйстве негативным образом. Модель климатического ущерба, построенная Р. Мендельсоном, предсказывает отсутствие значительного эффекта для сельского хозяйства (СХ) азиатских стран в случае среднегодового потепления на 1,5 градуса Цельсия от доиндустриального, и ущерб более 84 млрд долларов США в случае потепления до 3 градусов Цельсия [2].

На сельскохозяйственных культурах, выращиваемых в РФ, температурные изменения также окажут значимое влияние. Сафонов (2013) связывает климатические изменения с учащающимися засухами, которые наносят ущерб зерновым культурам, т.к. данная подотрасль одна из наиболее зависимых от погодных условий [3]. Другие авторы говорят о неоднозначном влиянии на урожайность в зависимости от видов растений и регионов произрастания [4].

При этом сектор сельского хозяйства не только зависит от климатических изменений, но и является их источником [5]. Сохранение благоприятной окружающей среды требует сокращения выбросов в частности в сельском хозяйстве и лесоводстве [6]. В развитых странах это достигается за счет перехода к концепции углеродного сельского хозяйства и строительству карбоновых ферм. Концепция углеродного сельского хозяйства подразумевает переход к системе агролесоводства, преднамеренно объединяющей деревья и сельскохозяйственные культуры с домашним скотом в сельскохозяйственном производстве, что потенциально может увеличить связывание углерода и сократить выбросы парниковых газов из наземных экосистем. Кроме того, агролесоводство способно генерировать огромное количество биомассы и считается особенно подходящим для пополнения почвенного органического углерода [7].

Tang и др. (2016) провели анализ результатов исследований других авторов о деятельности углеродных сельских хозяйств и карбоновых ферм. Оценки затрат на сокращение выбросов CO₂ эквивалента на одну тонну варьируются от 3 до 130 долл. США в ценах 2012 г. в зависимости от пространственного расположения. При этом большинство авторов упускали косвенные преимущества от карбоновых ферм, что приводило к недооценке карбоновых проектов [8].

Однако экологичное ведение СХ приведет к повышению цен на сельскохозяйственную продукцию, т.е. переложит издержки на потребителей. Это напрямую сказывается на продовольственной безопасности стран и доступности продовольствия [9]. Таким образом, необходима последовательная программа мер по сокращению выбросов, учитывающая как объемы выбросов, так и ценовые параметры. Однако Wollenberg и др. (2016) приходят к выводу, что техническую информацию о возможности и необходимости снижения выбросов крайне сложно получить без полной информации о всех особенностях деятельности [10]. Таким образом одна из основных целей исследований в этой области должна заключаться в разработке методологии оценивания, а также более точных способов измерения входящих параметров.

Например, Tubiello и др. (2015) составили руководство по поиску доступной в развивающихся странах информации о сельскохозяйственной деятельности и её преобразованию для получения минимального набора данных,

необходимого для оценки выбросов по методологии МГЭИК [11].

Анализ экологических показателей сельского хозяйства проводился также различными российскими авторами. Так в работе Санниковой Н.В. анализируется динамика выбросов загрязнителей и накопительный эффект загрязнения от сельского хозяйства за счет поставок в другие сектора экономики [12]. Также в литературе рассматривались более узконаправленные вопросы, касающиеся экологических показателей в сельском хозяйстве, например, субсидирование производителей для сокращения объемов загрязнений [13] или повышение энергоэффективности в СХ [14]. Однако в данных статьях скорее вопросы взаимосвязи выбросов с различными факторами, а не методики оценки. Анализ особенностей расчета выбросов в СХ России составили Коротков и др. (2019) [15].

Цель исследования заключается в оценке углеродного следа сектора сельского хозяйства в Новосибирской области с учетом существующих предпосылок и общего состояния сектора. В соответствии с целью сформулированы следующие задачи: (1) обзор сектора и формирование базы данных; (2) корректировка существующей методологии оценки с учетом выявленных особенностей объекта; (3) проведение оценки и анализ результатов. Объектом исследования является сектор сельского хозяйства Новосибирской области РФ в 2017-2020 гг. Сравнение с выбросами парниковых газов по России проводится на основе Национального кадастра парниковых газов. Новизна работы состоит в апробации методологии МГЭИК для оценки выбросов сектора сельского хозяйства с учетом региональных особенностей Новосибирской области.

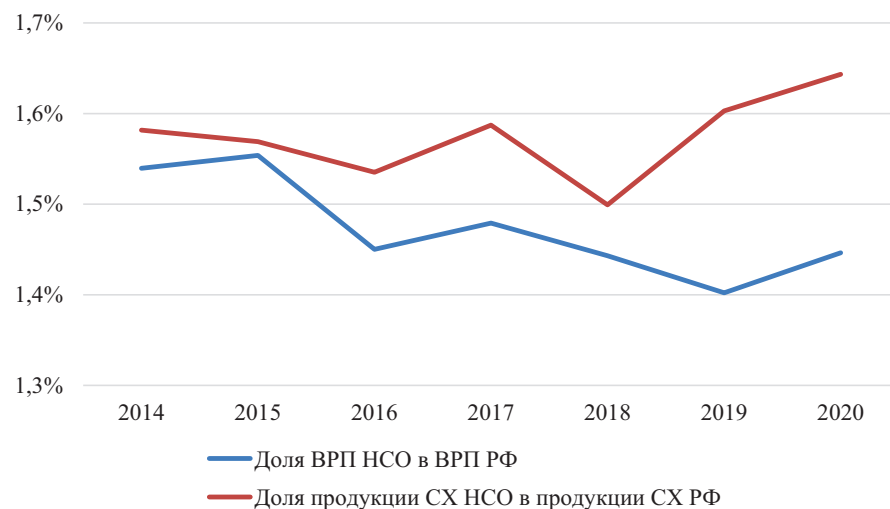


Рисунок 1. Доли Новосибирской области в ВРП и производстве продукции СХ России

Figure 1. Shares of the Novosibirsk Region in the GRP and production of agricultural products in Russia

Таблица 1. Сравнение базовых сельскохозяйственных показателей Новосибирской области с Россией, 2020 г.

Table 1. Comparison of basic agricultural indicators of the Novosibirsk region with Russia, 2020

Показатель		Россия	Новосибирская область	Доля НСО от РФ, %
Валовой сбор СХ культур, млн ц	Зернобобовые культуры	34	2	4,56
	Масличные культуры	225	2	1,01
	Травы на сено	105	2	2,19
	Овес	41	2	4,83
	Овощи открытого и закрытого грунта	139	2	1,17
	Пшеница озимая и яровая	859	17	1,99
	Рапс	28	1	4,81
	Рожь озимая и яровая	24	0	0,87
	Ячмень озимый и яровой	209	4	1,72
Поголовье скота и птицы, тыс. голов	Козы	1875	15	0,80
	Коровы	7898	191	2,42
	Кролики	3445	65	1,87
	Прочий крупный рогатый скот	10129	252	2,49
	Лошади	1303	27	2,05
	Овцы	19785	188	0,95
	Птица	519779	8933	1,72
	Свиньи	25850	427	1,65
Внесено минеральных удобрений, тыс. ц.		27235	184	0,68
Внесено органических удобрений, тыс. т		70729	1376	1,95
Площадь осушаемых земель под СХ угодья, тыс. га		4752	43	0,91

Источник: составлено по данным Росстат (ЕМИСС)





Обзор сектора Сельское хозяйство НСО. Новосибирская область (НСО) занимает важную роль в сельском хозяйстве (СХ) РФ. Доля НСО в общих объемах производства СХ продукции РФ в 2020 г. составляла 1,64%, при этом доля области в ВРП 1,40% (рис. 1).

В сфере растениеводства для НСО характерны посадки зерновых и зернобобовых культур, при сравнительно малых площадях технических и масличных культур. В животноводстве преобладает разведение молочных коров. Доля обрабатываемых посевных площадей в 2020 г. составила 2,84% от РФ, а крупного рогатого скота 2,46%, что выше среднероссийских показателей. Доли остальных показателей разнятся с учетом региональных особенностей (табл. 1).

Доля НСО в различных показателях сельского хозяйства РФ выше среднероссийской, но также велика и доля относительно населения

РФ (1,92%). В связи с этим регион импортирует отдельные виды сельскохозяйственной продукции. Динамика объемов производства злаковых и бобовых культур при почти не меняющихся площадях посадок зависит от погодных условий. Это вызывает незначительные колебания в объемах чистого экспорта. В целом НСО достигла продовольственного самообеспечения продукцией растениеводства, но имеются трудности с недостатком обрабатывающих мощностей [16].

Развитие животноводства, в частности увеличение поголовья свиней на 16% в 2017-2020 г. позволило сократить чистый импорт скота и птицы с 27,4 до 6,1 тыс. тонн в рассматриваемый период. Также почти вдвое был увеличен чистый экспорт молока и молокопродуктов, однако, данное изменение не связано с изменением в поголовье скота (табл. 2).

База данных и используемые методы оценки. Оценка углеродного следа от сельского хозяйства в НСО проводилась по методологии Уровня 1 межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и методическим рекомендациям министерства природных ресурсов и экологии РФ (МПР-15-р).

В целом проведение оценки выбросов можно описать следующим алгоритмом:

1) Сбор и обработка первичных показателей. Подавляющее большинство показателей брались из официальных источников для уменьшения неопределенности данных, однако в случае пропущенных значений применялись методы усреднения и экстраполяции.

2) Подбор коэффициентов. Одному показателю может соответствовать несколько коэффициентов, которые необходимо применять в зависимости от дополнительных условий. Например, выбросы животных зависят от климатических условий (холодный или теплый климат). В данной работе использованы рекомендованные национальные и региональные коэффициенты (МПР-15).

3) Проведение расчетов по методике 1 уровня (сверху вниз).

4) Перевод CH₄ и N₂O в CO₂ эквивалент. Парниковые газы обладают разным потенциалом глобального потепления, поэтому используют повышающие коэффициенты для пересчета в CO₂ эквивалент: для CH₄ — 25 и для N₂O — 298.

5) Оценка неопределенности.

Оценивание по методике Уровня 1 характерно для большинства стран, публикующих кадастры выбросов парниковых газов [17, 18]. Данный метод является наиболее простым, но зачастую единственным доступным из-за ограниченного количества данных.

Для оценки выбросов была собрана база данных первичных показателей для расчетов за 2017-2020 гг. В неё были включены следующие показатели: поголовье сельскохозяйственных животных; площади посадок и урожайности сельскохозяйственных культур; объемы внесения в почвы минеральных и органических удобрений, доломита и известняковой муки; площади осушаемых земель. Для последующего аналитического представления показатели собирались в разрезе категорий сельскохозяйственных предприятий. База данных формировалась по статистическим материалам открытых источников: ЕМИСС РФ, статистический сборник «Регионы России в цифрах», Росстат.

В соответствии с методологией МГЭИК в секторе сельское хозяйство оцениваются выбросы CH₄ и N₂O от внутренней ферментации сельскохозяйственных животных, систем сбора и хранения навоза, возделывания почвы, известкования и внесения мочевины, а также рисоводства.

При внутренней ферментации животных происходит выделение CH₄, которое оценивается по методике уровня 1 на основе данных о поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий. Для получения более точных расчетов выбросов от коров и другого крупного рогатого скота (КРС) использовались рекомендованные региональные коэффициенты, т.к. данные виды животных являются основным источником выбросов. Для прочих видов животных применялись общероссийские коэффициенты.

Следует отметить, что в методологии представлены разные коэффициенты для мужских и женских особей различных видов птицы, а также для птенцов. Однако в открытых источниках

Таблица 2. Чистый экспорт продукции из Новосибирской области, тыс. тонн («+» превышение экспорта, «-» превышение импорта)

Table 2. Net exports of products from the Novosibirsk region, thous. tons («+» excess of exports, «-» excess of imports)

Показатель	2017	2018	2019	2020	Доля от реализации в НСО в 2020 г., %
Зерно злаковых и бобовых культур	11,2	-11,9	30,7	-29,6	-2,49
Молоко и молокопродукты	79,0	109,5	148,9	148,5	23,30
Скот и птица в живой массе	-27,4	-31,5	-16,6	-6,0	-2,83

Источник: Росстат (ЕМИСС)



Рисунок 2. Выбросы ПГ от сектора СХ, млн т CO₂ экв.

Figure 2. Greenhouse gas emissions from the agricultural sector, mln t CO₂ eq.

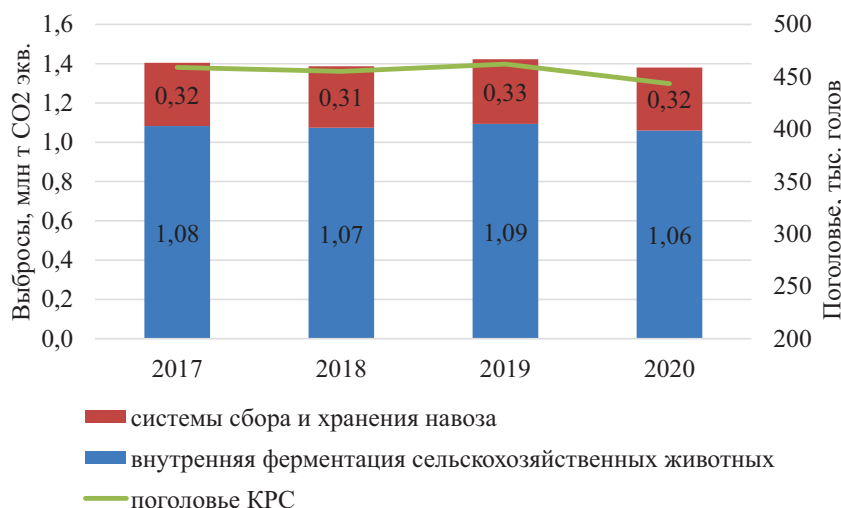


Рисунок 3. Динамика выбросов ПГ от животноводства и поголовья КРС, млн т CO₂ экв.

Figure 3. Dynamics of greenhouse gas emissions from livestock and cattle, mln t CO₂ eq.



содержится только обобщенная информация о поголовье птиц, в связи с чем к данной категории применялся коэффициент для «прочей взрослой птицы», что могло незначительно завысить оценку.

Выбросы от систем сбора и хранения навоза разделяются на выбросы CH₄, а также выбросы N₂O — прямые (в результате нитрификации-денитрификации содержащегося в навозе азота) и косвенные (в результате улетучивания азота). Для расчета также используются данные о поголовье скота и птицы. В связи с тем, что выбросы от внутренней ферментации и систем сбора и хранения навоза оцениваются с использованием одних и тех же исходных данных для последующего анализа данные категории были объединены в «выбросы от животноводства».

Выбросы N₂O от возделывания почвы разделяются на прямые и косвенные. В прямых выбросах учитывается антропогенное внесение азота в почву (с растительными остатками, минеральными и органическими удобрениями, навозом), выбросы из органогенных почв пашен и кормовых угодий (осушение), выбросы от поступления мочи и помета в почву. Косвенные выбросы происходят в результате улетучивания азота, депонирования азотсодержащих газов и вымывания азота из почв, однако расчеты проводятся на основе тех же исходных показателей что и прямые.

Согласно открытым данным Росстата на территории НСО не осуществляется рисоводство и за рассматриваемый промежуток не осуществлялось известкование и внесение мочевины, поэтому данные категории не оценивались.

Результаты оценки выбросов. Выбросы парниковых газов от сектора Сельское хозяйство в Новосибирской области составили 2,31 млн тонн CO₂ эквивалента. Из них 40,3% приходится на выбросы N₂O от возделывания почвы, а 49,8% и 9,9% на CH₄ и N₂O от животноводства (рис. 2). Доля выбросов СХ Новосибирской области в выбросах СХ России составляла 1,98% в 2020 г.

Оценка неопределенности в секторе СХ НСО составляет 20,89%. Основным источником неопределенности является категория возделывание почвы из-за больших доверительных интервалов у общероссийских коэффициентов [19]. Для внутренней ферментации и систем сбора и хранения навоза использовались региональные коэффициенты, что позволило уменьшить неопределенности до 5,05% и 11,50% соответственно.

В разрезе видов животных большую часть парниковых газов в животноводстве составляют выбросы от коров (49%) и прочего крупного рогатого скота (33%), что обуславливается особенностями пищеварения. Так же за счет большой численности значимый вклад вносят свиньи (7%), птица (7%), и овцы (3%). Лошади, ослы и прочие сельскохозяйственные животные почти не влияют на выбросы (1%). Динамика выбросов от животноводства зависит от изменения в численности и структуре поголовья скота и птицы, в частности основным фактором является динамика поголовья крупного рогатого скота (рис. 3).

Аналогично можно рассматривать выбросы на голову скота. У крупного рогатого скота высокие коэффициенты выделения CH₄ от внутренней ферментации, при этом отдельно выделяется категория молочных коров. Для свиней характерно наибольшее после коров

содержание CH₄ в навозе, поэтому несмотря на сравнительно меньшую массу их выбросы на голову скота сопоставимы с овцами. В остальном выбросы на голову зависят от массы животных. (рис. 4)

Выбросы ПГ от обрабатываемых земель состоят из 3 прямых и 2 косвенных источников выбросов N₂O-N, которые можно разделить по первичным показателям на выбросы от улетучивания N₂O-N из органических остатков, минеральных и органических удобрений, навоза, а также выбросы, связанные с осушением территорий. Суммарные выбросы от возделывания почвы в 2020 г. составили 0,93 млн т CO₂ эквива-

лента. Колебания в динамике объясняются изменениями в площадях посадок, урожайности и количествах вносимых удобрений (рис. 5).

Сельскохозяйственной деятельностью на территории НСО занимаются сельскохозяйственные организации, крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ), индивидуальные предприниматели (ИП), а также граждане для личных целей. При проведении политики по сокращению выбросов проще взаимодействовать с крупными сельскохозяйственными предприятиями, поэтому дополнительно было проведено разделение выбросов по категориям хозяйств (рис. 6)

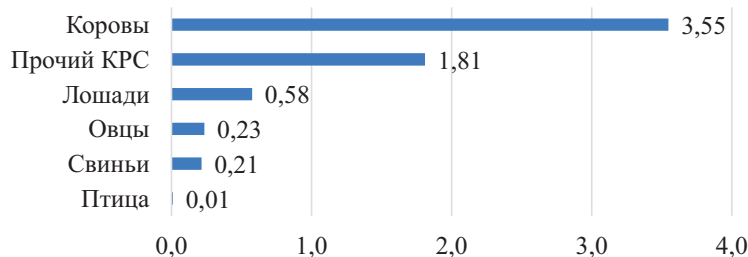


Рисунок 4. Выбросы ПГ на голову животного в год, т CO₂ экв./год.
Figure 4. Greenhouse gas emissions per head of animal per year, t CO₂ eq./year.



Рисунок 5. Выбросы ПГ от обрабатываемых земель по источникам, млн т CO₂ экв.
Figure 5. Greenhouse gas emissions from cultivated land by source, mln t CO₂ eq.

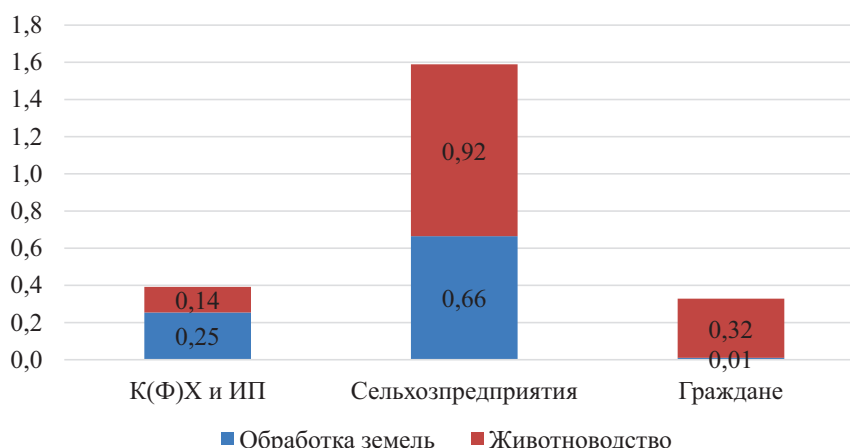


Рисунок 6. Выбросы ПГ по категориям хозяйств в 2020 г., млн т CO₂ экв.
Figure 6. Greenhouse gas emissions by categories of farms in 2020, million tons of CO₂ eq.





На территории НСО расположено 411 сельскохозяйственных организаций (на 2020 г.), которые обеспечивают 69% выбросов от сектора Сельское хозяйство (72% от возделывания почвы и 67% от животноводства). КФХ и ИП в количестве 835 шт. обеспечивают 17% выбросов (27% от возделывания почвы и 10% от животноводства). Остальные выбросы приходятся на хозяйства населения.

Выводы. Сокращение выбросов в секторе СХ является важной целью для России и других стран мира, несмотря на меньшую долю в итоговых выбросах парниковых газов, в сравнении с энергетикой и ППИП. Одним из ключевых этапов, предшествующих принятию решений о проведении климатической политики в стране и регионах является оценка выбросов. Совокупные выбросы от сельскохозяйственной деятельности в Новосибирской области в 2020 г. были оценены в 2,31 млн т CO₂ экв..

В Новосибирской области развито производство молока и молокопродуктов, при этом 23% от объемов производства отправляются на экспорт. В связи с большой численностью крупного рогатого скота и особенностями его ферментации выбросы от животноводства (внутренняя ферментация сельскохозяйственных животных и системы сбора и хранения навоза) создают 59,7% от выбросов сельского хозяйства. Оставшиеся 40,3% выделяются из-за внесения удобрений, азота растительных остатков и осушения почв.

С точки зрения организационной структуры большая часть выбросов приходится на крупные сельскохозяйственные предприятия (69%). В перспективе это упрощает процесс контроля выбросов и дает возможность работать напрямую с данными организациями.

Практическая значимость результатов исследования состоит в получении численных оценок выбросов по сектору, которые могут быть использованы для формирования кадастра парниковых выбросов для Новосибирской области. Также результаты и их аналитическое представление могут послужить основой для формирования региональной политики в области управления углеродным балансом и выбора основных мероприятий ее реализации. Перед регионом стоит сложная задача сокращения выбросов в условиях недопустимости повышения цен на продукцию сектора и общего снижения продуктовой безопасности.

Список источников

- Вертянкина В.Ю., Романовская А.А. Выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве России. Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы. М.: ГЕОХИ РАН. 2017. С. 368-373.
- Mendelsohn R. The impact of climate change on agriculture in Asia // *Journal of Integrative Agriculture*. 2014. Т. 13. № 4. С. 660-665.
- Safonov G., Safonova Y. Economic analysis of the impact of climate change on agriculture in Russia. Oxfam International, 2013.

Информация об авторах:

Комарова Анна Владимировна, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5844-1648>, a.komarova@ngsu.ru

Филимонова Ирина Викторовна, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник, Новосибирский государственный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4447-6425>, filimonoivaiv@list.ru

Новиков Александр Юрьевич, инженер, Новосибирский государственный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9484-6717>, a.novikov2@ngsu.ru

Information about the authors:

Anna V. Komarova, candidate of economic sciences, senior researcher, Novosibirsk state university, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5844-1648>, a.komarova@ngsu.ru

Irina V. Filimonoivaiv, doctor of economic sciences, professor, chief researcher, Novosibirsk state university, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4447-6425>, filimonoivaiv@list.ru

Alexander Y. Novikov, engineer, Novosibirsk state university, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9484-6717>, a.novikov2@ngsu.ru

4. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // *Проблемы прогнозирования*. 2020. № 3 (180). С. 82-92.

5. Doğan N. The impact of agriculture on CO₂ emissions in China // *Panoeconomicus*. 2018. Т. 66. № 2. С. 257-271.

6. Cole C.V. et al. Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture // *Nutrient cycling in Agroecosystems*. 1997. Т. 49. № 1. С. 221-228.

7. Sharma M. et al. Carbon Farming: Prospects and Challenges // *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 19. С. 11122.

8. Tang K. et al. Carbon farming economics: what have we learned? // *Journal of environmental management*. 2016. Т. 172. С. 49-57.

9. Frank S. et al. Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security? // *Environmental Research Letters*. 2017. Т. 12. № 10. С. 105004.

10. Wollenberg E. et al. Reducing emissions from agriculture to meet the 2 C target // *Global change biology*. 2016. Т. 22. № 12. С. 3859-3864.

11. Tubiello F.N. et al. Estimating greenhouse gas emissions in agriculture: a manual to address data requirements for developing countries. 2015. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

12. Санникова Н.В., Шулепова О.В., Гаврюк А.И. Сельское хозяйство как источник загрязнения окружающей среды // *АПК: инновационные технологии*. 2020. № 3. С. 44-48.

13. Попова О.В. Правовое регулирование защиты окружающей среды от неблагоприятного воздействия сельского хозяйства // *Аграрное и земельное право*. 2017. № 2. С. 88-92.

14. Субботин А.Ю., Брюханов И.А., Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф. Энергоэкологическая оценка использования различных генерирующих источников в сельском хозяйстве // *Вестник МГУ*. 2019. № 3. С. 336-378

15. Коротков А.А., Прохорцев И.Д., Криволапов И.П. Уровни расчета выбросов от сельскохозяйственных животных // *Наука и Образование*. 2019. № 2. С. 12-22.

16. Мансуров Р.Е. Перспективы развития зернопродуктового подкомплекса Новосибирской области // *Вестник НГУЭУ*. 2016. № 1. С. 224-232.

17. Lokupitiya E., Paustian K. Agricultural soil greenhouse gas emissions: a review of national inventory methods // *Journal of Environmental Quality*. 2006. Т. 35. № 4. С. 1413-1427.

18. Smith P. et al. Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision // *Global Change Biology*. 2012. Т. 18. № 7. С. 2089-2101.

19. Романовская А.А. Оценка неопределенности инвентаризации выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве России // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2007. Т. 21. С. 44-57.

References

1. Vertyankina V.Yu. & Romanovskaya A.A. (2017). *Vybrosy parnikovyykh gazov v selskom khozyajstve Rossii* [Greenhouse gas emissions in Russian agriculture]. In: *Sovremennye problemy sostoyaniya i evolyucii taksonov biosfery* [Current problems of status and evolution of taxons of the biosphere]. Moscow: *GEOKhI RAN*, pp. 368-373.

2. Mendelsohn R. (2014). The impact of climate change on agriculture in Asia. *Journal of Integrative Agriculture*, no 4, pp. 660-665.

3. Safonov G. & Safonova Y. (2013). *Economic analysis of the impact of climate change on agriculture in Russia*. Oxford: Oxfam International.

4. Ksenofontov M.Y. & Polzikov D.A. (2020). *K voprosu o vliyaniy klimaticheskikh izmenenii na razvitie selskogo khozyaistva Rossii v dolgosrochnoi perspective* [On the issue of the impact of climate change on the development of agriculture in Russia in the long term]. *Problemy prognozirovaniya*, vol. 180, no. 3, pp. 82-92.

5. Doğan N. (2018). The impact of agriculture on CO₂ emissions in China. *Panoeconomicus*, no. 2, pp. 257-271.

6. Cole C.V., Duxbury J., Freney J., Heinemeyer O., Minami K., Mosier A., ... & Zhao Q. (1997). Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, vol. 49, no. 1, pp. 221-228.

7. Sharma M., Kaushal R., Kaushik P., & Ramakrishna S. (2021). Carbon Farming: Prospects and Challenges. *Sustainability*, vol. 13, no. 19, pp. 11122.

8. Tang K., Kragt M.E., Hailu A., & Ma C. (2016). Carbon farming economics: what have we learned? *Journal of environmental management*, vol. 172, pp. 49-57.

9. Frank S., Havlik P., Soussana J.F., Levesque A., Valin H., Wollenberg E., ... & Obersteiner M. (2017). Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security? *Environmental Research Letters*, no. 10, pp. 105004.

10. Wollenberg E., Richards M., Smith P., Havlik P., Obersteiner M., Tubiello F.N., ... & Campbell, B. M. (2016). Reducing emissions from agriculture to meet the 2 C target. *Global change biology*, no. 12, pp. 3859-3864.

11. Tubiello F.N., Córdor-Golec R.D., Salvatore M., Pierante A., Federici S., Ferrara A., ... & Prosperi P. (2015). *Estimating greenhouse gas emissions in agriculture: a manual to address data requirements for developing countries*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

12. Sannikova N.V., Shulepova O.V. & Gavryuk A.I. (2020). Sel'skoe khozyaistvo kak istochnik zagryazneniya okruzhayushchei sredy [Agriculture as a source of environmental pollution]. *APK: innovatsionnye tekhnologii*, no. 3, pp. 44-48.

13. Popova O.V. (2017). Pravovoe regulirovanie zashchity okruzhayushchei sredy ot neblagopriyatnogo vozdeystviya sel'skogo khozyaistva [Legal regulation of environmental protection from the adverse effects of agriculture]. *Agrarное i zemel'noe pravo*, no. 2, pp. 88-92.

14. Subbotin A.Y., Bryukhanov I.A., Timofeev E.V. & Ehrk A.F. (2019). Ehnergoehkologicheskaya otsenka ispol'zovaniya razlichnykh generiruyushchikh istochnikov v selskom [Energy and environmental assessment of the use of various generating sources in agriculture]. *Vestnik MGU*, no. 3, pp. 336-378

15. Korotkov A.A., Prokhortsev I.D. & Krivolapov I.P. (2019). Urovni rascheta vybrosov ot sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Levels for calculating emissions from agricultural animals]. *Nauka i Obrazovanie*, no. 2, pp. 12-22.

16. Mansurov R.E. (2016). Perspektivy razvitiya zerno-produktovogo podkompleksa Novosibirskoi oblasti [Prospects for the development of the grain product subcomplex of the Novosibirsk region]. *Vestnik NGUEU*, no. 1, pp. 224-232.

17. Lokupitiya E. & Paustian K. (2006). Agricultural soil greenhouse gas emissions: a review of national inventory methods. *Journal of Environmental Quality*, no. 4, pp. 1413-1427.

18. Smith P., Davies C.A., Ogle S., Zanchi G., Bellarby J., Bird N., ... & Braimoh A.K. (2012). Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision. *Global Change Biology*, vol. 18, no. 7, pp. 2089-2101.

19. Romanovskaya A.A. (2007). Ocenka neopredelenosti inventarizatsii vybrosov parnikovyykh gazov v selskom hozyajstve Rossii [Assessment of the uncertainty of the inventory of greenhouse gas emissions in agriculture in Russia]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, vol. 21, pp. 44-57.