

## Экологическая оценка влияния сельскохозяйственной деятельности на эмиссию углекислого газа из чернозема выщелоченного Тобол-Ишимского междуречья

М. Г. Касторнова<sup>1</sup>, Е. А. Демин<sup>1</sup>, Д. И. Еремин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉ E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

**Аннотация.** Цель настоящей работы – изучение эмиссии диоксида углерода с поверхности целинного и пахотного чернозема в течение вегетационного периода Тобол-Ишимского междуречья. **Методы.** Исследования проводили на целине, в чистом пару, под зерновыми культурами и кукурузой с мая по октябрь. Интенсивность выделения углекислого газа определяли методом Штатнова с титрованием в полевых условиях. **Результаты.** Исходя из ранее проведенных исследований, на основе научно обоснованных подходов, а также собственных экспериментальных данных изучена взаимосвязь между эмиссией углекислого газа и гидротермическими условиями гумусового слоя (0–30 см), а также определена степень влияния вида угодий и сельскохозяйственных культур на выделение CO<sub>2</sub> с поверхности чернозема выщелоченного. Установлено, что черноземы Западной Сибири характеризуются очень низкой биологической активностью в весенние и осенние периоды. Эмиссия CO<sub>2</sub> в мае в среднем составила 1,0–1,6 кг/га в час при коэффициенте вариации 8 %. Пик выделения углекислого газа в атмосферу приходится на июнь – июль (2,6–6,5 кг/га в час). Выявлено, что под зерновыми культурами газообразные потери C–CO<sub>2</sub> в летний период составляют 4,1–6,5 кг/га в час, а на участке чистого пара – 2,3–3,4 кг/га в час. Определяющую роль в интенсивности выделения углекислого газа играет температура почвы ( $r = 0,7$ ). За годы исследований засушливые периоды отсутствовали, что не позволило установить достоверное влияние увлажнения почвы на эмиссию CO<sub>2</sub>, коэффициент корреляции составил 0,2 ед. На основании полученных результатов была выявлена низкая степень (12,8 %) влияния вида угодий (целина/пашня) и культур (зерновые/кукуруза) на интенсивность выделения углекислоты в атмосферу с поверхности чернозема. Максимальная степень влияния была у гидротермических условий почвы (65 %), от которых зависела активность почвенной микробиоты и корневой системы растений. **Научная новизна.** Впервые для Тобол-Ишимского междуречья была изучена интенсивность выделения диоксида углерода с поверхности чернозема выщелоченного и установлена степень влияния антропогенного фактора на фоне особенностей гидротермического режима почвы.

**Ключевые слова:** эмиссия углекислого газа; круговорот углерода; биологическая активность почв; сельскохозяйственная деятельность; экологический мониторинг; антропогенный фактор; почвенное органическое вещество; карбоновый след.

**Для цитирования:** Касторнова М. Г., Демин Е. А., Еремин Д. И. Экологическая оценка влияния сельскохозяйственной деятельности на эмиссию углекислого газа из чернозема выщелоченного Тобол-Ишимского междуречья // Аграрный вестник Урала. 2021. № 10 (213). С. 10–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20.

**Дата поступления статьи:** 02.09.2021, **дата рецензирования:** 06.09.2021, **дата принятия:** 09.09.2021.

### Постановка проблемы (Introduction)

Почва является одним из главных поставщиков диоксида углерода в атмосферу нашей планеты. В общепланетарном масштабе с поверхности суши за год выделяется до 100 Гт CO<sub>2</sub> [1], но при этом значительная часть углерода сосредоточена в виде почвенного органического вещества [2]. Определение эмиссии углекислого газа с поверхности почвы лежит в основе экологического мониторинга [3]. Интенсивность выделения CO<sub>2</sub> имеет достоверную взаимосвязь с деятельностью аэробной микрофлоры,

которая минерализует в почве растительные остатки и гумусовые вещества [4], [5]. Поэтому выделяющийся из почвы диоксид углерода является информативным показателем функционального состояния всей экосистемы [6].

В современных условиях ведения сельского хозяйства биологическая активность почв существенно возросла. Причинами этого являются применение механической обработки почвы на большую глубину и ежегодный оборот пласта, что поддерживает в гумусовом слое очень высокую степень аэрации

[7], [8]. Также на биологическую активность влияют минеральные удобрения, внося которые аграрии стимулируют деятельность целлюлозоразрушающей микробиоты [9]. Но несмотря на столь серьезное проявление антропогенного фактора на землях сельскохозяйственного назначения, эмиссия углекислого газа с поверхности пашни изучена недостаточно и носит фрагментарный характер. Наиболее низкая степень изученности отмечается в Западной Сибири, где сельскохозяйственное производство появилось значительно позже, чем в европейской части России.

В ранних исследованиях почвоведов, биохимиков и физиологов отмечается, что объем диоксида углерода формируется за счет деятельности почвенной микробиоты и корневой системы произрастающей растительности [10]. Поэтому смена естественных фитоценозов на агроценозы вносит определенный вклад в изменение скорости выделения углекислого газа с поверхности почвы. Также нельзя отрицать и последствий глобального потепления, которое косвенно отражается в изменении поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу [11]. Совокупность приведенных фактов свидетельствует об особой актуальности детального изучения эмиссии углекислого газа из почв, вовлеченных в сельскохозяйственный оборот. Особенно это актуально для черноземных почв, в которых сосредоточены огромные запасы углерода и азота в органических соединениях [12–14]. Совокупность данных элементов и благоприятные гидротермические условия гумусового слоя обуславливают очень высокую микробиологическую активность [15].

Целью настоящей работы была оценка выделения диоксида углерода с поверхности чернозема выщелоченного, образующегося в результате дыхания корней растений и жизнедеятельности почвенной микробиоты в зависимости от экологических факторов.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальный участок, где проводили сезонные наблюдения за эмиссией углекислого газа из почвы, располагается в северной лесостепи Тюменской области ( $56^{\circ}20'$  с. ш.;  $66^{\circ}33'$  в. д.) Тобол-Ишимского междуречья. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, сформировавшийся на карбонатных лёссовидных суглинках. Формула генетического профиля:  $A_{\text{max}}$  (30 см) –  $A$  (10 см) –  $AB_1$  (8 см) –  $B_2$  (52 см) –  $B_k$  (65 см) –  $C_k$ . Рельеф участка – слабоволнистая равнина с значительным региональным уклоном в северо-восточном направлении. Почва участка характеризуется близкой к нейтральной реакцией среды ( $\text{pH} = 6,5\text{--}6,8$  ед.); высокой емкостью катионного обмена (38–42 ммоль / 100 г почвы) при степени насыщенности основаниями 90–92 %. Содержание органического углерода в пахотном горизонте составляет 5,8–5,9 %. Общие запасы  $C_{\text{орг}}$  в метровом слое достигают 270 т/га, 80 % из них сосредоточены в слое 0–50 см.

Почвенный покров Тобол-Ишимского междуречья развивается в условиях среднеконтинентального

климата. Среднегодовая температура воздуха составляет  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое значение осадков – 374 мм, 80 % из которых выпадает в теплый период (с апреля по октябрь). Гидротермический коэффициент территории, где располагается экспериментальный участок, – 1,2 ед., что соответствует периодически промывному типу водного режима. Глубина промерзания варьирует по годам и территории – от 75 до 225 см, что обуславливает неравномерность протекания биологических процессов в почве [16].

Изучение эмиссии диоксида углерода с поверхности пахотного и целинного чернозема проводили с мая по октябрь (6 раз в месяц с интервалом 5 суток) в 2016–2020 гг. на стационарной площадке кафедры почвоведения и агрохимии, расположенной в Заводоуковском районе Тюменской области.

Схема опыта предусматривала одновременное измерение выделяющегося углекислого газа с поверхности целинного участка и пашни. Ботанический состав целины представлен злаково-бобовыми растительными ассоциациями с преобладанием порезника сибирского (*Libanotis sibirica*), вероники колосистой (*Veronica spicata*), чины луговой (*Lathyrus pratensis*), тимофеевки луговой (*Phleum pratense*), лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*). На пашне присутствовали площадки без растительности (чистый пар); зерновые культуры сплошного сева (яровая пшеница, ячмень и овес) и пропашные культуры, представленные кукурузой, выращиваемой по зерновой технологии. Система основной обработки почвы на пашне отвальная, разноглубинная: под зерновые культуры вспашка велась на 20–22 см; под кукурузу – 25–27 см. Технология выращивания и ухода за культурами общепринятая для северной лесостепи Западной Сибири [17], [18].

Определение углекислого газа проводили адсорбционным методом в модификации И. Н. Шаркова [19]. В опыте использовали сосуды из полипропилена диаметром 10 см и высотой 15 см. Сосуд-изолятор устанавливали на поверхности почвы и заглубляли на 5 см. В месте установки сосуда надземную часть растений срезали на уровне почвы. Внутри ставили пластиковую чашку Петри диаметром 6 см с 10 мл гидроксида натрия (1,0 н). Сосуд плотно закрывали крышкой. Через сутки (24 часа) извлекали чашку и в полевых условиях титровали раствор соляной кислоты (0,2 н). Выделенное почвой за экспозицию количество  $\text{CO}_2$  рассчитывали с учетом холостого титрования (щелочь на период экспозиции помещали в сосуд без почвы объемом, равным объему свободного пространства в рабочем сосуде). Параллельно с определением эмиссии диоксида углерода измеряли температуру и отбирали агрохимическим шупом образцы почвы для определения влажности пахотного слоя (0–30 см). Математическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010.

**Результаты (Results)**

Эмиссия диоксида углерода почвами имеет ярко выраженную динамику в течение теплого периода. Она зависит от сочетания различных факторов: температуры и режима увлажнения почвы; физиологического состояния произрастающих в данный момент растений и микробных сообществ. В агроэкосистемах на характер выделения углекислого газа из почвы влияют механические обработки, минеральные и органические удобрения, виды сельскохозяйственных растений [20–22]. Однако антропогенное воздействие может оказать влияние только в границах общей динамики эмиссии CO<sub>2</sub>, ограниченной гидротермическими (климатическими) условиями региона.

Наши исследования показали, что величина выделения углекислого газа из чернозема в атмосферу в лесостепной зоне Западной Сибири отличается очень сильной неравномерностью в течение вегетационного периода (Cv более 75 %) и по годам наблю-

дений (Cv = 25–45 %). Характер эмиссии CO<sub>2</sub> чернозема выщелоченного определяется, как показывают многочисленные исследования, гидротермическим режимом почв [23]. Погодные условия в годы проведения исследований (2016–2020 гг.) различались по температурному режиму, но не имели достаточного варьирования по увлажнению. Это дало возможность установить положительную корреляцию между температурой почвы и эмиссией углекислого газа ( $r = 0,7$ ). Взаимосвязь между влажностью пахотного горизонта и дыханием почвы установить не удалось – коэффициент корреляции был 0,4 ед. За годы исследований влажность в слое 0–30 см целинного участка не опускалась ниже 17 % от массы почвы (рис. 1). На участке пашни диапазон варьирования влажности пахотного горизонта был значительно шире, но по причине влияния элементов системы земледелия установить достоверную зависимость между увлажнением и эмиссией углекислого газа не представлялось возможным.

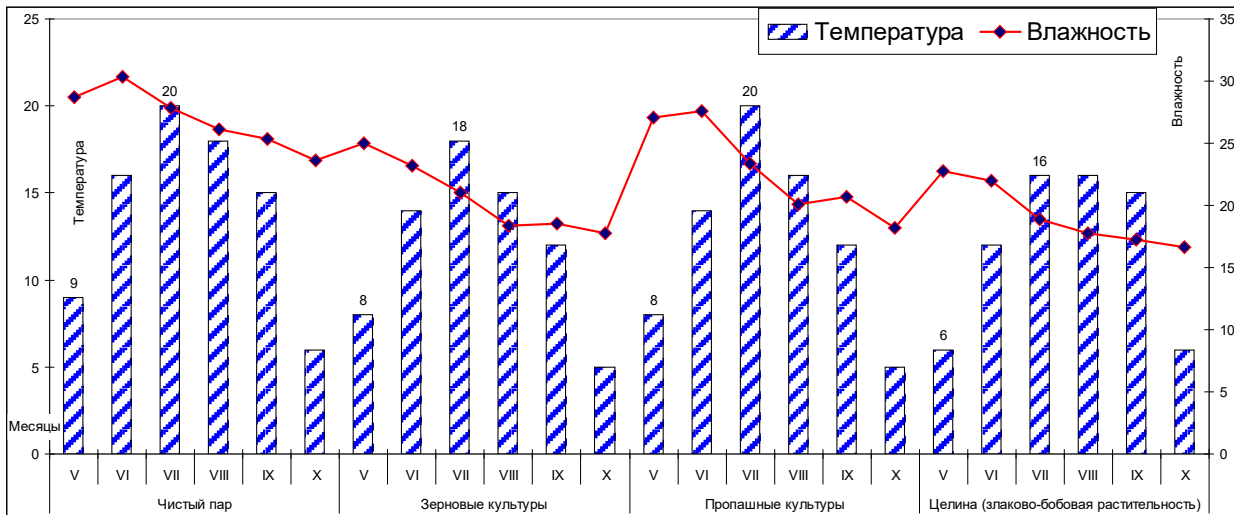


Рис. 1. Динамика влажности (% от массы почвы) и температуры (°C) пахотного (гумусового) слоя чернозема выщелоченного, 2016–2020 гг.

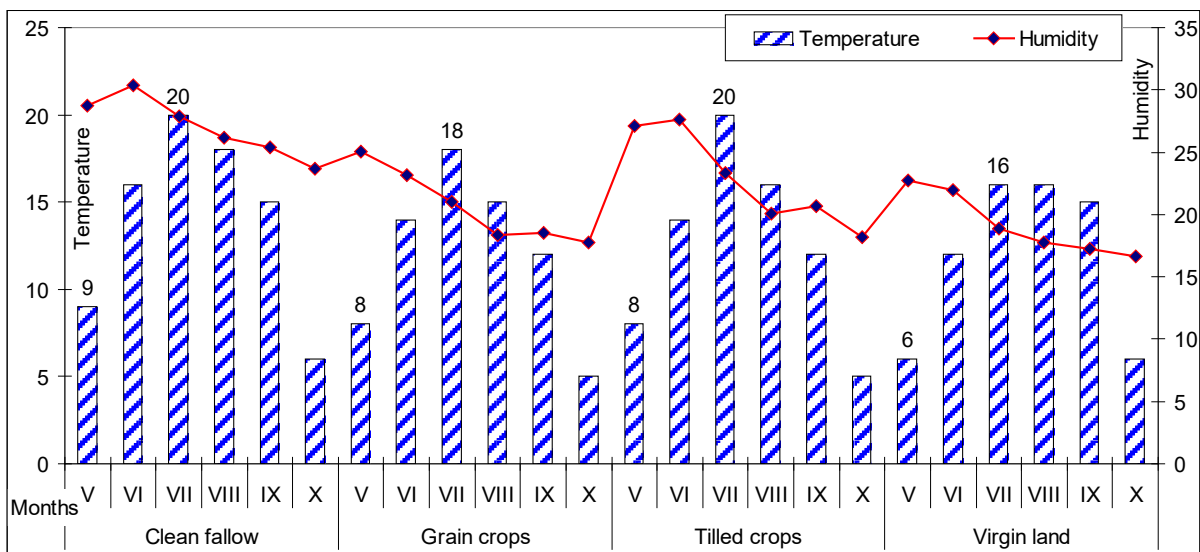


Fig. 1. Dynamics of humidity (% of soil mass) and temperature (°C) of the arable (humus) layer of leached chernozem, 2016–2020

Во все годы наблюдений наименьшим выделением углекислого газа характеризовались весенний (май) и осенний (октябрь) месяцы. В среднем за годы исследований эмиссия  $\text{CO}_2$  в мае составила на целине 1,6 кг/га в час, тогда как на пахотном участке – 1,0–1,3 кг/га (рис. 2). Наличие в опытах чистого пара, который в течение вегетационного периода находился без растительности, дало возможность установить вклад почвенной микробиоты и корней в газообразные потери углерода из чернозема. На долю дыхания корней многолетней травяной растительности (целина) приходилось 38 % с варьированием по годам от 22 до 40 %. Соответственно, 62 % газообразных потерь углерода приходилось на аэробную микрофлору.

Посев зерновых культур и кукурузы в лесостепной зоне Зауралья приходится в среднем на вторую – третью декаду мая, поэтому не менее 20 суток почва находится без растительности, а следовательно,

выделение  $\text{CO}_2$  идет только за счет микробиоты. В третьей декаде появляются всходы и эмиссия углекислого газа возрастает относительно чистого пара. В среднем за май под посевами зерновых культур и кукурузы она не имеет достоверных различий и составляет 1,2–1,3 кг/га в час. В жаркий год (2020) дыхание почвы возрастало до 1,7–1,9 кг/га в час.

Гидротермические условия июня в лесостепной зоне Западной Сибири сильно варьируют по годам. В наших исследованиях средняя температура почвы на целине изменялась в диапазоне от 10 до 14 °С при влажности от 19 до 29 %. Это оказывает серьезное влияние на активность микробиоты и деятельность корней. Интенсивность выделения углекислого газа на целине в среднем за годы исследований составила 4,6 кг/га в час. На участке чистого пара эта величина была в 2 раза меньше (2,3 кг/га), что указывает на равнозначность микробиоты и корней в формировании газообразных потерь углерода в начале лета.

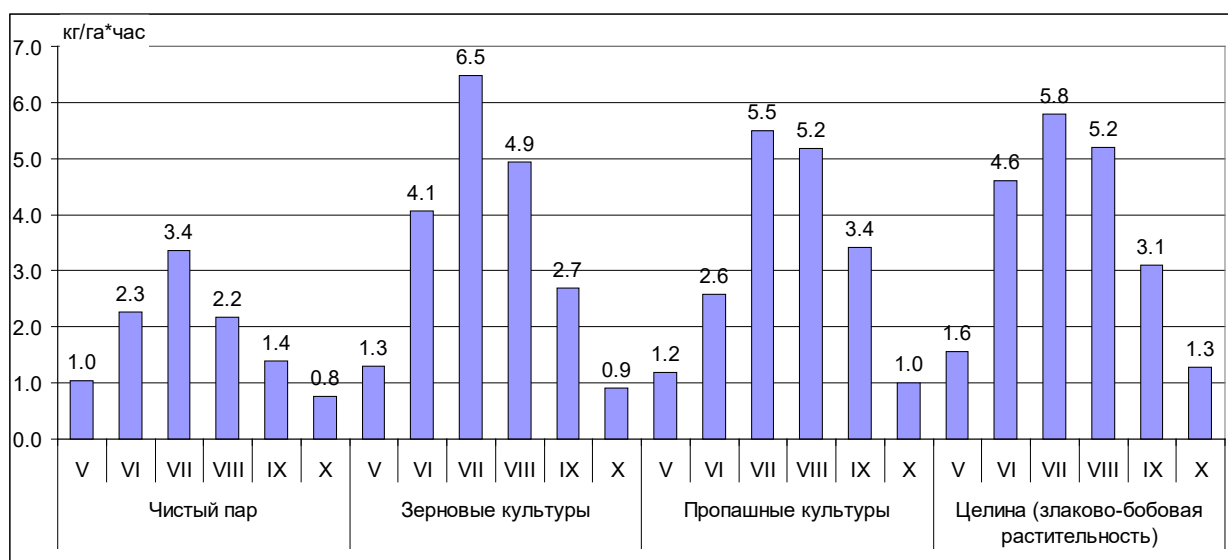


Рис. 2. Эмиссия углекислого газа с поверхности чернозема выщелоченного в течение вегетационного периода (2016–2020 гг.), кг/га в час

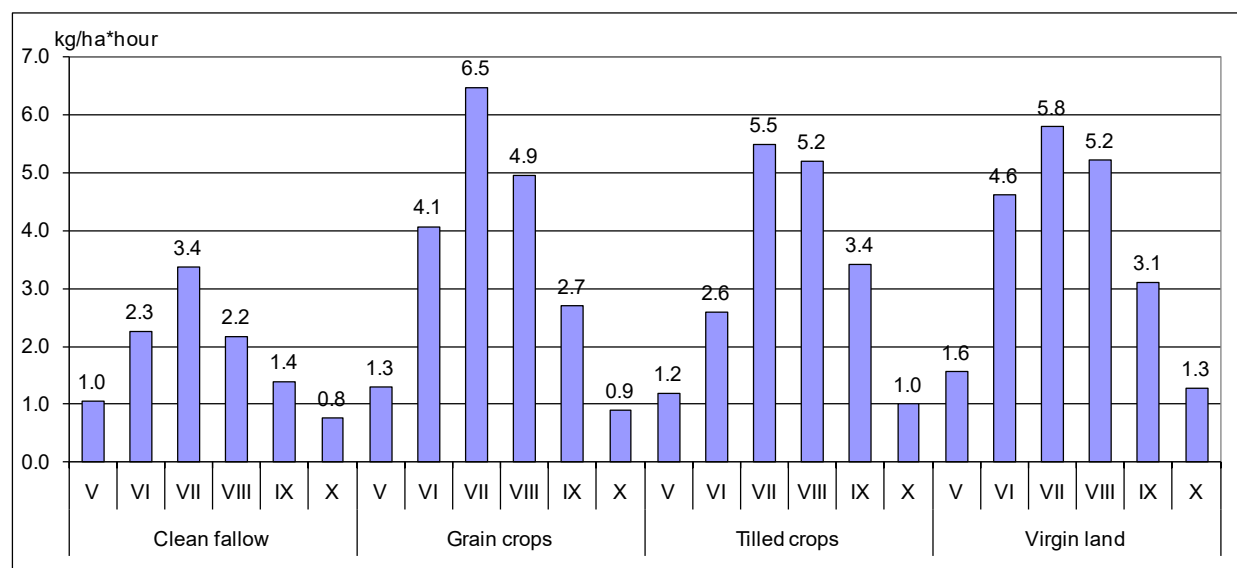


Fig. 2. Carbon dioxide emission from the surface of leached chernozem during the growing season (2016–2020), kg/ha per hour

Зерновые культуры в июне формируют в слое 0–30 см корневую систему, схожую по биомассе с многолетними травами целины [24]. Поэтому эмиссия углекислого газа в этот месяц незначительно уступает целине. Однако нужно отметить и факт активного применения минеральных удобрений под зерновые культуры, которые значительно усиливают микробиологическую активность, что было доказано в проведенных ранее исследованиях кафедры почвоведения и агрохимии ГАУ Северного Зауралья [25]. Под кукурузой дыхание почвы было значительно ниже, чем под зерновыми культурами, и больше соответствовало значениям чистого пара, чем целине. Данный факт обусловлен незначительной корневой массой кукурузы в этот месяц, что является ее биологической особенностью.

Погода июля лесостепной зоны Зауралья характеризуется высокой температурой воздуха при незначительном атмосферном увлажнении [26], что отражается на гидротермических условиях плодородного слоя почвы. Средняя влажность слоя 0–30 см в июле на целине составляет 19 % от массы почвы; на пашне она варьирует от 21 (зерновые) до 28 (чистый пар) %. Столь существенная разница влажности обусловлена различной эффективностью поглощения растениями и физическим испарением на изучаемых площадках.

Температурный режим чернозема выщелоченного в июле остается в пределах биологического оптимума, что при достаточном увлажнении обуславливает максимальную эмиссию диоксида углерода на протяжении вегетационного периода. На целине она достигает 5,8 кг/га в час, что на 20 % выше значений июня. В это же время на участке чистого пара также происходит увеличение потерь C–CO<sub>2</sub>, но в меньшей степени, чем на целине, – 3,4 кг/га в час. Вклад корневой системы в эмиссию составляет 41 %. Максимальная величина выделения CO<sub>2</sub> в атмосферу из чернозема была отмечена на участке с зерновыми культурами – 6,5 кг/га, что на 11 % выше значений целины. В июле кукуруза формирует мощную корневую систему, роль которой в газообразных поте-

рях углерода составляет 38 % при общей эмиссии 5,5 кг/га в час.

Температурный режим и влажность слоя 0–30 см в августе не имеют существенных отличий от июля, поэтому на целине эмиссия углекислого газа оставалась на уровне 5,2 кг/га в час с варьированием по годам от 4,3 (2016 г.) до 5,9 (2020 г.) кг/га. 2020 год характеризовался пониженной влажностью (13,5 мм) и повышенной температурой (18,1 °C) относительно 2016 года. Однако выделение почвой CO<sub>2</sub> было достоверно выше. Это указывает на то, что для почв Западной Сибири определяющим фактором эмиссии диоксида углерода в первую очередь является температура.

Было установлено, что в августе эмиссия углекислого газа с поверхности чистого пара уменьшилась с 3,4 до 2,2 кг/га в час. Гидротермические условия в августе были оптимальны, поэтому причиной снижения биологической активности чернозема мог стать дефицит растительных остатков. На участке зерновых культур выделение CO<sub>2</sub> уменьшилось с 6,5 до 4,9 кг/га в час.

Осенний период в лесостепи Западной Сибири в целом характеризуется пониженными температурами воздуха на фоне частых затяжных дождей. Это отражается на гидротермических условиях пахотного слоя. В среднем за годы исследований температура почвы в слое 0–30 см на целине составила 15 °C при варьировании по годам в пределах 12,7–18,5 °C. Влажность в среднем была равна 17 % от массы почвы. Несмотря на относительно удовлетворительные гидротермические условия в гумусовом слое, эмиссия углекислого газа уменьшилась, достигнув 3,1 кг/га в час. Чуть меньше выделилось CO<sub>2</sub> на участке с зерновыми культурами, которые были убраны во второй половине сентября. Под пропашными культурами эмиссия диоксида углерода составила 3,4 кг/га в час. На участке без растительности (чистый пар) биологическая активность была более чем в 2 раза ниже значений целины, что обусловлено дефицитом растительных остатков.

Таблица 1  
Результаты двухфакторного дисперсионного анализа эмиссии углекислого газа с поверхности чернозема выщелоченного

Источник вариации	Сумма квадратов	Степени свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	Влияние, %
Угодье/культуры	57	3	19,9	48,3	2,7	12,8
Гидротермические условия пахотного слоя	288	5	57,5	147,3	2,3	65,0
Взаимодействие	36	15	2,4	6,1	1,8	8,2

Table 1  
Results of two-factor dispersion analysis of carbon dioxide emissions from the surface of leached chernozem

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Variance	$F_{\text{fact}}$	$F_{\text{theor}}$	Influence, %
Land/culture	57	3	19.9	48.3	2.7	12.8
Hydrothermal conditions of the arable layer	288	5	57.5	147.3	2.3	65.0
Interaction	36	15	2.4	6.1	1.8	8.2

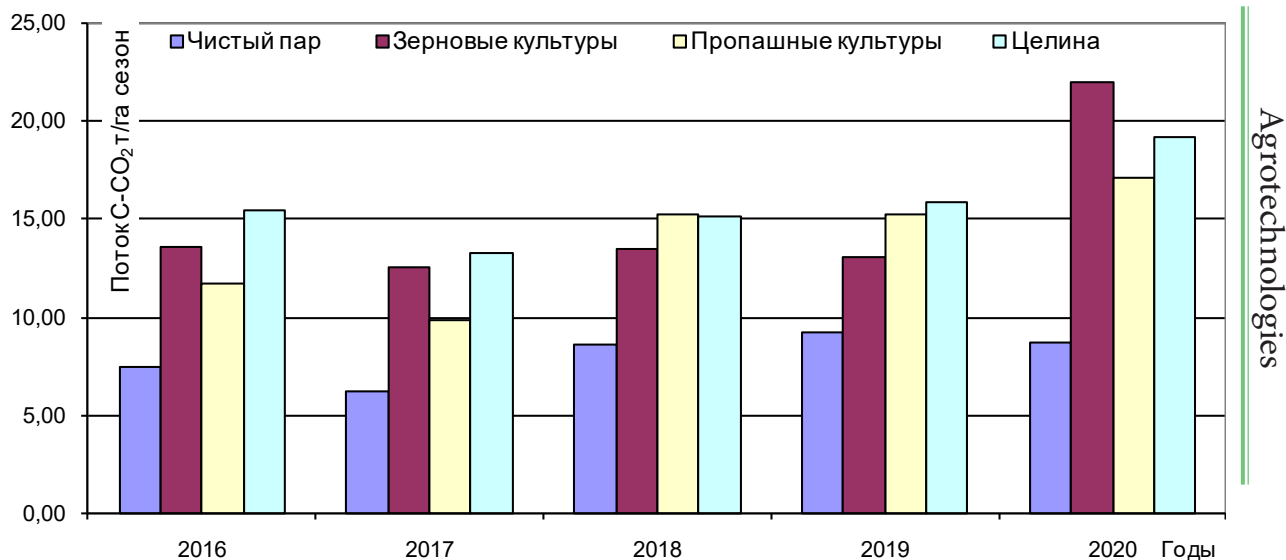


Рис. 3. Суммарный поток углерода в виде углекислоты с поверхности чернозема выщелоченного за период с мая по октябрь, кг C-CO<sub>2</sub>/га за сезон

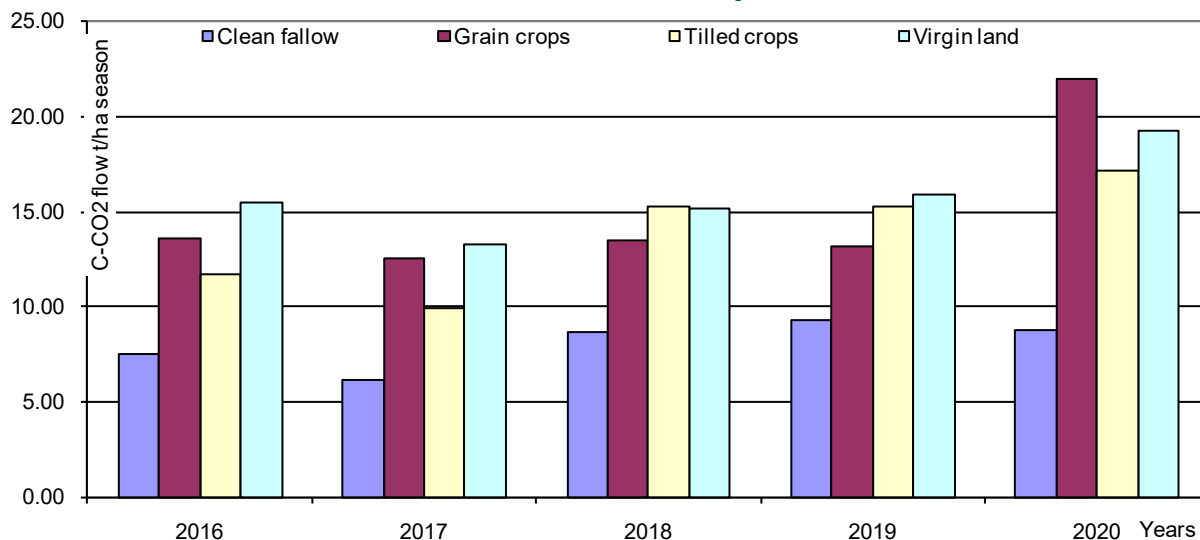


Fig. 3. Total carbon flux in the form of carbon dioxide from the surface of leached chernozem for the period from May to October, kg of C-CO<sub>2</sub>/ha per season

В октябре эмиссия CO<sub>2</sub> на целине и пашне становится минимальной и варьирует в пределах от 0,8 (чистый пар) и до 1,3 кг/га в час (зерновые культуры). На основании проведенных исследований установлено, что высокая биологическая активность чернозема выщелоченного характерна только для периода с июня по сентябрь.

Дисперсионный анализ показал, что эмиссия диоксида углерода достоверно зависит от вида угодий (целина/пашня) и высеваемых культур (зерновые/пропашные):  $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$  при дисперсии 19,9 (таблица 1). Степень влияния составила 12,8 %. Максимальным влиянием на биологическую активность почвы и выделение с ее поверхности углекислого газа обладают гидротермические условия пахотного слоя – 65,0 %. Дисперсия данного источника вариации была существенно выше, достигая 57,5. Взаимодействие двух факторов имеет минимальную степень влияния – 8,2 %.

Для оценки вклада пахотных почв в карбоновый след необходим анализ суммарной эмиссии углекислого газа за сезон. Основными экологическими факторами, определяющими серьезное варьирование выделяющегося углекислого газа в течение вегетационного периода и по годам, являются температурный режим почвы и нестабильное увлажнение плодородного слоя. Помимо этого, накладываются определенные антропогенные факторы в виде высеваемой культуры, наличия в севообороте чистых паров, механической обработки и минеральных удобрений [27], [28]. В среднем за вегетационный период (май – октябрь) эмиссия диоксида углерода с поверхности целинного участка достигла 15,8 т/га, что соответствовало 2,6 т/га в месяц (рис. 3). Межгодовая вариабельность суммарных сезонных потоков углекислого газа составила 29 %. Как отмечают В. Н. Кудеяров и И. Н. Курганова [29], интенсивность выделения CO<sub>2</sub> почвами Российской Федерации в течение вегетационного периода может достигать

10–12 т/га. Поскольку участок чистого пара был освобожден от растительности на протяжении всего вегетационного периода, это дало возможность определить вклад почвенной микробиоты в газо-выделение чернозема выщелоченного. В среднем за годы с поверхности черного пара выделялось в атмосферу 8,1 т С–СО<sub>2</sub>/га в сезон с варьированием в пределах 7,5–9,3 т/га. Межгодовая вариабельность составила 19 %, что соответствовало средней степени изменчивости.

Выращивание зерновых и пропашных культур предусматривает определенное воздействие на почву. Механическая обработка почвы значительно повышает аэрацию плодородного слоя, а минеральные удобрения активизируют почвенную микробиоту и усиливают дыхание корневой массы [30]. В среднем сезонная эмиссия углекислого газа на этих вариантах не имела существенных отличий – 14,9 и 13,8 т/га соответственно. Однако размах значений сильно отличался. На участке зерновых культур в годы исследований выделялось от 12,5 (2017 г.) до 22,0 (2020 г.) т/га диоксида углерода. Межгодовая вариабельность была максимальной в опыте – 105 %. Вариант, где высевали кукурузу (пропашная культура), характеризовался меньшим размахом значений – от 9,9 до 17,1 т С–СО<sub>2</sub>/га за сезон. Коэффициент вариабельности на этом варианте был значительно меньше (63 %), но также соответствовал высокой степени изменчивости. Вклад корневой массы зерновых культур в дыхание почвы составил 46 %, кукурузы – 41 % от сезонной эмиссии СО<sub>2</sub> с поверхности пахотного чернозема выщелоченного.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведенных многолетних исследований было установлено, что интенсивность выделения СО<sub>2</sub> с поверхности почвы существенно варьировала на протяжении вегетационного периода. Эмиссия в значительной степени зависела от погодных и гидротермических условий в определенный год исследований. Выявлен минимум биологической активности в мае и октябре, где эмиссия углекислого газа не превышала 2 кг/га в час. Лимитирующим фактором биологической активности стала температура гумусового горизонта. Максимум интенсивности выделения СО<sub>2</sub> с поверхности отмечался во все годы исследований в июле – августе. Эмиссия диоксида углерода на пашне зависела от вида выращиваемой культуры – доля влияния составила 12,8 %. Чистый пар характеризовался минимальным выделением СО<sub>2</sub> в атмосферу на протяжении всего вегетационного периода – 1,0–3,4 кг/га в час, тогда как в посевах зерновых культур – 0,9–6,5 кг/га в час. В условиях лесостепной зоны Западной Сибири на эмиссию углекислого газа с поверхности чернозема выщелоченного оказывали влияние гидротермические условия (65 %), складывающиеся в слое 0–30 см. Вклад пахотных черноземов Западной Сибири в карбоновый след атмосферы планеты составляет 8,1–14,9 т С–СО<sub>2</sub>/га за вегетационный период (май – октябрь), что не превышает значений целины, где эмиссия диоксида углерода равна 15,8 т/га. Посевы зерновых и пропашных культур обуславливают очень сильную межгодовую вариабельность дыхания почвы – коэффициент вариации достигает 105 и 63 % соответственно.

### Библиографический список

1. Quere C. Le. Global carbon budget // *Earth System Science Data*. 2016. No. 8. Pp. 605–649.
2. Dencső M., Horel Á., Tóth E., Bogunovic I. Effects of environmental drivers and agricultural management on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions // *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 1. DOI: 10.3390/agronomy11010054.
3. Jain A., Yang X., Khesghi H., McGuire A. D., Post W., Kicklighter D. Nitrogen attenuation of terrestrial carbon cycle response to global environmental factors // *Global Biogeochemistry Cycles*. 2009. No. 23. Article number GB4028.
4. Ахтямова А. А. Использование соломы для стабилизации гумусового состояния чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Тюмень, 2018. 18 с.
5. Akhtyamova A. A., Kulyasova O. A. Nutrient Concentration of Straw during its Degradation in the Conditions of Forest-Steppe Zone of Trans-Urals // *International scientific and practical conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture"* (AgroSMART 2018). Series: *Advances in Engineering Research*. Tyumen, 2018. Pp. 6–10. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.2.
6. Мильхеев Е. Ю. Оценка дыхания лугово-болотных почв дельты р. Селенги (Западное Забайкалье) // *Агрохимия*. 2020. № 1. С. 70–74.
7. Рзаева В. В. Качество основной обработки почвы в Северной лесостепи Тюменской области // *Вестник КрасГАУ*. 2017. № 12 (135). С. 29–33.
8. Миллер Е. И., Рзаева В. В., Миллер С. С. Агрофизические свойства и урожайность кукурузы в зависимости от основной обработки почвы в Северной лесостепи Тюменской области // *Аграрный вестник Урала*. 2018. № 9 (176). С. 9–13.
9. Еремин Д. И., Попова О. Н. Влияние минеральных удобрений на интенсивность разложения целлюлозы в пахотном черноземе лесостепной зоны Зауралья // *Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2016. № 4 (35). С. 27–33.
10. Yevdokimov I. V., Larionova A. A., Lopes De Gerenyu V. O. Experimental assessment of the contribution of plant root respiration to the emission of carbon dioxide from the soil // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. No. 12. Pp. 1373–1381. DOI: 10.1134/S1064229310120070.

11. Розенберг Г. С., Коломыц Э. Г. Моделирование углеродного баланса лесных экосистем при глобальном потеплении // Вестник экологического образования в России. 2016. Т. 1. С. 10–12.
12. Еремин Д. И. Минеральные удобрения и плодородие Сибирского чернозема. Результаты многолетних исследований // Вестник Курганской ГСХА. 2017. № 4 (24). С. 36–40.
13. Демин Е. А., Барабанщикова Л. Н. Динамика поглощения азота кукурузой, выращиваемой в лесостепной зоне Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (65). С. 9–13.
14. Ульянова О. А., Кураченко Н. Л., Чупрова В. В. Влияние системы удобрения на плодородие чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи // Агрехимия. 2010. № 1. С. 10–19.
15. Майсямова Д. Р., Еремин Д. И. Изменение микрофлоры пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья под действием механической обработки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 1 (183). С. 17–27.
16. Eremin D. Soils swelling as a regional feature of Western Siberia // MATEC Web of Conferences, St. Petersburg, December 20–22, 2017. St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. Article number 02017. DOI: 10.1051/mateconf/201817002017.
17. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в Тюменской области в условиях 2015 года / Н. В. Перфильев, Е. П. Ренев, В. Н. Тимофеев, О. А. Вьюшина. Тюмень: Типография ООО «Печатник», 2015. 28 с.
18. Eremin D. I., Renev E. P. Dynamics of agrochemical properties of gray forest soil of the Western Siberia's sub-boreal zone affected by a long-term agricultural exploitation // BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference. Tyumen, 2021. Article number 03006. DOI: 10.1051/bioconf/20213603006.
19. Шарков И. Н. Совершенствование абсорбционного метода определения выделения CO<sub>2</sub> из почвы в полевых условиях // Почвоведение. 1987. № 1. С. 127–133.
20. Sherstobitov S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Workshop “Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019”. Krasnoyarsk, 2019. Article number 62011. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062011.
21. Логинов Ю. П., Казак А. А., Гайзатулин А. С., Симакова Т. В. Влияние элементов технологии возделывания на урожайность сортов картофеля в условиях органического земледелия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2021. № 1 (62). С. 21–28. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.003.
22. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.
23. Кравцов Ю. В. Гидротермический режим южных черноземов и лугово-черноземных почв Ишимской степи // Вестник Тюменского государственного университета. 2006. № 5. С. 76–82.
24. Еремина Д. В., Фисунов Н. В., Ахтямова А. А. Оптимизационная модель гумусообразования пахотных черноземов за счет использования соломы зерновых культур // Агротехнологическая политика России. 2017. № 6 (66). С. 15–19.
25. Попова О. Н. Влияние минеральных удобрений на целлюлозоразлагающую способность чернозема выщелоченного // Научные достижения и открытия современной молодежи: актуальные вопросы и инновации: сборник статей победителей международной научно-практической конференции. Пенза, 2017. С. 35–39.
26. Иваненко А. С., Кулясова О. А. Агротехнологические условия Тюменской области. Тюмень: изд-во ТГСХА, 2008. 208 с.
27. Перфильев Н. В. Научные основы оптимизации системы обработки темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье. Новосибирск: Ареал, 2014. 308 с.
28. Русакова И. В., Еремина Р. Ф., Чуян Н. А. [и др.]. Технологии использования соломы и растительных остатков агроценозов на удобрение. Владимир: Всероссийский научно-исследовательский, конструкторский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа Российской академии сельскохозяйственных наук, 2008. 133 с.
29. Kudayarov V. N., Kurganova I. N. Respiration of Russian soils: Database analysis, long-term monitoring, and general estimates // Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. No. 9. Pp. 983–992.
30. Dhaliwal S. S., Naresh R. K., Gupta R. K., Panwar A. S., Mahajan N. C., Singh R., Mandal A. Effect of tillage and straw return on carbon footprints, soil organic carbon fractions and soil microbial community in different textured soils under rice-wheat rotation: a review // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2020. Vol. 19 (1). Pp. 103–115. DOI: 10.1007/s11157-019-09520-1.

**Об авторах:**

Марина Геннадьевна Касторнова<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, ORCID 0000-0001-8528-277X, AuthorID 790888; +7 (3452) 29-01-27

Евгений Александрович Демин<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID 0000-0003-2542-3678, AuthorID 872421; +7 (3452) 29-01-27



Дмитрий Иванович Еремин<sup>1</sup>, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры почвоведения и агрохимии, ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870; +7 912 927-13-86, [soil-tyumen@yandex.ru](mailto:soil-tyumen@yandex.ru)

<sup>1</sup> Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

## Ecological assessment of the impact of agricultural activity on the emission of carbon dioxide from the leached chernozem of the Tobol-Ishim interfluve

M. G. Kastornova<sup>1</sup>, E. A. Demin<sup>1</sup>, D. I. Eremin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

✉ E-mail: [soil-tyumen@yandex.ru](mailto:soil-tyumen@yandex.ru)

**Abstract.** The purpose of this work is to study carbon dioxide emissions from the surface of virgin and arable chernozem during the growing season of the Tobol-Ishim interfluve. **Methods.** The study was conducted on virgin land, in pure steam, under grain crops and corn from May to October. The intensity of carbon dioxide release was determined by the method of Shtatnov with titration in the field. **Results.** Based on previous studies, based on scientifically based approaches, as well as our own experimental data, the relationship between carbon dioxide emission and hydrothermal conditions of the humus layer (0–30 cm) was investigated, and the degree of influence of the type of land and crops on the release of CO<sub>2</sub> from the surface of leached chernozem was determined. It has been established that the chernozems of Western Siberia are characterized by very low biological activity in the spring and autumn periods. CO<sub>2</sub> emissions in May averaged 1.0–1.6 kg/ha per hour with a coefficient of variation of 8 %. The peak release of carbon dioxide into the atmosphere occurs in June–July (2.6–6.5 kg/ha per hour). It was revealed that under grain crops the gaseous losses of C–CO<sub>2</sub> in the summer period amount to 4.1–6.5 kg/ha per hour, and in the area of pure steam – 2.3–3.4 kg/ha. The determining role in the intensity of carbon dioxide release is played by the soil temperature ( $r = 0.7$ ). During the years of research, there were no dry periods, which did not allow us to establish a reliable effect of soil moisture on CO<sub>2</sub> emissions, the correlation coefficient was 0.2 units. Based on the results obtained, a low degree (12.8 %) of the influence of the type of land (virgin land/arable land) and crops (cereals/corn) on the intensity of carbon dioxide release into the atmosphere from the surface of chernozem was revealed. The maximum degree of influence was in hydrothermal soil conditions (65 %), on which the activity of the soil microbiota and the root system of plants depended. **Scientific novelty.** For the first time, the intensity of carbon dioxide release from the surface of leached chernozem was studied for the Tobol-Ishim interfluve and the degree of influence of the anthropogenic factor against the background of the hydrothermal regime of soil was established.

**Keywords:** carbon dioxide emission; carbon cycle; biological activity of soils; agricultural activity; environmental monitoring; anthropogenic factor; soil organic matter, carbon footprint.

**For citation:** Kastornova M. G., Demin E. A., Eremin D. I. Ekologicheskaya otsenka vliyaniya sel'skohozyaystvennoy deyatel'nosti na emissiyu uglekislogo gaza iz chernozema vyshchelochennogo Tobol-Ishimskogo mezhdurech'ya. [Ecological assessment of the impact of agricultural activity on carbon dioxide emissions from the leached chernozem of the Tobol-Ishim interfluve] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 10 (213). Pp. 10–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-213-10-10-20. (In Russian.)

**Date of paper submission:** 02.09.2021, **date of review:** 06.09.2021, **date of acceptance:** 09.09.2021.

### References

1. Quere C. Le. Global carbon budget // Earth System Science Data. 2016. No. 8. Pp. 605–649.
2. Dencső M., Horel Á., Tóth E., Bogunovic I. Effects of environmental drivers and agricultural management on soil CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions // Agronomy. 2021. Vol. 11. No. 1. DOI: 10.3390/agronomy11010054.
3. Jain A., Yang X., Khesghi H., McGuire A.D., Post W., Kicklighter D. Nitrogen attenuation of terrestrial carbon cycle response to global environmental factors // Global Biogeochemistry Cycles. 2009. No. 23. Article number GB4028.
4. Akhtyamova A. A. Ispol'zovanie solomy dlya stabilizatsii gumusovogo sostoyaniya chernozema vyshchelochennogo lesostepnoy zony Zaural'ya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [The use of straw to stabilize the humus state of the leached chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals: abstract of the dissertation ... candidate of agricultural sciences]. Tyumen, 2018. 18 p. (In Russian.)
5. Akhtyamova A. A., Kulyasova O. A. Nutrient Concentration of Straw during its Degradation in the Conditions of Forest-Steppe Zone of Trans-Urals // International scientific and practical conference "AgroSMART - Smart solu-

tions for agriculture” (AgroSMART 2018). Series: Advances in Engineering Research. Tyumen, 2018. Pp. 6–10. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.2. (In Russian.)

6. Mil’kheev E. Yu. Otsenka dykhaniya lugovo-bolotnykh pochv del’ty r. Selengi (Zapadnoe Zabaykal’e) [Assessment of respiration of meadow-marsh soils of the delta of the Selenga River (Western Transbaikalia)] // *Agrokimiya*. 2020. No. 1. Pp. 70–74. (In Russian.)

7. Rzaeva V. V. Kachestvo osnovnoy obrabotki pochvy v Severnoy lesostepi Tyumenskoj oblasti [The quality of basic tillage in the Northern forest-steppe of the Tyumen region] // *Vestnik KrasGAU*. 2017. No. 12 (135). Pp. 29–33. (In Russian.)

8. Miller E. I., Rzaeva V. V., Miller S. S. Agrofizicheskie svoystva i urozhaynost’ kukuruzy v zavisimosti ot osnovnoy obrabotki pochvy v Severnoy lesostepi Tyumenskoj oblasti // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018. No. 9 (176). Pp. 9–13. (In Russian.)

9. Eremin D. I., Popova O. N. Vliyanie mineral’nykh udobreniy na intensivnost’ razlozheniya tsellyulozy v pakhotnom chernozeme lesostepnoy zony Zaural’ya [The effect of mineral fertilizers on the intensity of cellulose decomposition in the arable chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // *Vestnik Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural’ya*. 2016. No. 4 (35). Pp. 27–33. (In Russian.)

10. Yevdokimov I. V., Larionova A. A., Lopes De Gerenyu V. O. Experimental assessment of the contribution of plant root respiration to the emission of carbon dioxide from the soil // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. No. 12. Pp. 1373–1381. DOI: 10.1134/S1064229310120070.

11. Rozenberg G. S., Kolomyts E. G. Modelirovanie uglerodnogo balansa lesnykh ekosistem pri global’nom po-  
teplenii [Modeling of the carbon balance of forest ecosystems under global warming] // *Vestnik ekologicheskogo obrazovaniya v Rossii*. 2016. T. 1. Pp. 10–12. (In Russian.)

12. Eremin D. I. Mineral’nye udobreniya i plodorodie Sibirskogo chernozema. Rezul’taty mnogoletnikh issledovaniy [Mineral fertilizers and fertility of Siberian chernozem. Results of many years of research] // *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2017. No. 4 (24). Pp. 36–40. (In Russian.)

13. Demin E. A., Barabanshchikova L. N. Dinamika pogloshcheniya azota kukuruzoy, vyrashchivaemoy v lesostepnoy zone Zaural’ya [Dynamics of nitrogen uptake by corn grown in the forest-steppe zone of the Trans-Urals] // *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. No. 2 (65). Pp. 9–13. (In Russian.)

14. Ul’yanova O. A., Kurachenko N. L., Chuprova V. V. Vliyanie sistemy udobreniya na plodorodie chernozema vyshchelochnogo Krasnoyarskoj lesostepi [The effect of the fertilizer system on the fertility of leached chernozem of the Krasnoyarsk forest-steppe] // *Agrokimiya*. 2010. No. 1. Pp. 10–19. (In Russian.)

15. Maysyamova D. R., Eremin D. I. Izmenenie mikroflory pakhotnogo chernozema lesostepnoy zony Zaural’ya pod deystviem mekhanicheskoy obrabotki [Changes in the microflora of arable chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals under the influence of mechanical processing] // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. No. 1 (183). Pp. 17–27. (In Russian.)

16. Eremin D. Soils swelling as a regional feature of Western Siberia // *MATEC Web of Conferences*, St. Petersburg, December 20–22, 2017. St. Petersburg: EDP Sciences, 2018. Article number 02017. DOI 10.1051/mateconf/201817002017.

17. Rekomendatsii po provedeniyu vesenne-polevykh rabot v Tyumenskoj oblasti v usloviyakh 2015 goda [Recommendations for conducting spring field work in the Tyumen region in 2015] / N. V. Perfil’ev, E. P. Renev, V. N. Timofeev, O. A. V’yushina. Tyumen: Tipografiya OOO “Pechatnik”, 2015. 28 p. (In Russian.)

18. Eremin D. I., Renev E. P. Dynamics of agrochemical properties of gray forest soil of the Western Siberia’s sub-boreal zone affected by a long-term agricultural exploitation // *BIO Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference*. Tyumen, 2021. Article number 03006. DOI: 10.1051/bioconf/20213603006.

19. Sharkov I. N. Sovershenstvovanie absorbtionnogo metoda opredeleniya vydeleniya SO<sub>2</sub> iz pochvy v polevykh usloviyakh [Improvement of the absorption method for determining the release of CO<sub>2</sub> from the soil in the field] // *Pochvovedenie*. 1987. No. 1. Pp. 127–133. (In Russian.)

20. Sherstobitov S. The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Workshop “Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering – MIP: Engineering – 2019”*. Krasnoyarsk, 2019. Article number 62011. DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062011.

21. Loginov Yu. P., Kazak A. A., Gayzatulin A. S., Simakova T. V. Vliyanie elementov tekhnologii vozdevaniya na urozhaynost’ sortov kartofelya v usloviyakh organicheskogo zemledeliya [The influence of elements of cultivation technology on the yield of potato varieties in organic farming] // *Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoy sel’skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova*. 2021. No. 1 (62). Pp. 21–28. DOI: 10.34655/bgsha.2021.62.1.003. (In Russian.)

22. Lyubimova A. V., Tobolova G. V., Eremin D. I., Loskutov I. G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. Vol. 24. No. 2. Pp. 123–130. DOI: 10.18699/VJ20.607.

23. Kravtsov Yu. V. Gidrotermicheskiy rezhim yuzhnykh chernozemov i lugovo-chernozemnykh pochv Ishimskoy stepi [Hydrothermal regime of southern chernozems and meadow-chernozem soils of the Ishim steppe] // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2006. No. 5. Pp. 76–82. (In Russian.)
24. Eremina D. V., Fisunov N. V., Akhtyamova A. A. Optimizatsionnaya model' gumusoobrazovaniya pakhotnykh chernozemov za schet ispol'zovaniya solomy zernovykh kul'tur [Optimization model of humus formation of arable chernozems due to the use of grain straw] // Agro – food policy in Russia. 2017. No. 6 (66). Pp. 15–19. (In Russian.)
25. Popova O. N. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na tsellyulozorazlagayushchuyu sposobnost' chernozema vyshchelochennogo [The effect of mineral fertilizers on the cellulose-decomposing capacity of leached chernozem] // Nauchnye dostizheniya i otkrytiya sovremennoy molodezhi: aktual'nye voprosy i innovatsii: sbornik statey pobediteley mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza, 2017. Pp. 35–39. (In Russian.)
26. Ivanenko A. S., Kulyasova O. A. Agroklimaticheskie usloviya Tyumenskoj oblasti [Agro-climatic conditions of the Tyumen region]. Tyumen: izd-vo TGSKhA, 2008. 208 p. (In Russian.)
27. Perfil'ev N. V. Nauchnye osnovy optimizatsii sistemy obrabotki temno-seroy lesnoy pochvy v Severnom Zaural'e [Scientific bases of optimization of the dark gray forest soil treatment system in the Northern Trans-Urals]. Novosibirsk: Areal, 2014. 308 p. (In Russian.)
28. Rusakova I. V., Eremina R. F., Chuyan N. A., et al. Tekhnologii ispol'zovaniya solomy i rastitel'nykh ostatkov agrotsenozov na udobrenie [Technologies of using straw and plant residues of agrocenoses for fertilizer]. Vladimir: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy, konstruktorskiy i proektno-tekhnologicheskij institut organicheskikh udobreniy i torfa Rossiyskoj akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk, 2008. 133 p. (In Russian.)
29. Kudayarov V. N., Kurganova I. N. Respiration of Russian soils: Database analysis, long-term monitoring, and general estimates // Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. No. 9. Pp. 983–992.
30. Dhaliwal S. S., Naresh R. K., Gupta R. K., Panwar A. S., Mahajan N. C., Singh R., Mandal A. Effect of tillage and straw return on carbon footprints, soil organic carbon fractions and soil microbial community in different textured soils under rice-wheat rotation: a review // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2020. Vol. 19 (1). Pp. 103–115. DOI: 10.1007/s11157-019-09520-1.

#### **About the authors:**

Marina G. Kastornova<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of soil science and agrochemistry, ORCID 0000-0001-8528-277X, AuthorID 790888; +7 (3452) 29-01-27

Evgeniy A. Demin<sup>1</sup>, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-2542-3678, AuthorID 872421; +7 (3452) 29-01-27

Dmitriy I. Eremin<sup>1</sup>, doctor of biological sciences, associate professor, professor of the department of soil science and agrochemistry, ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870; +7 912 927-13-86, [soil-tyumen@yandex.ru](mailto:soil-tyumen@yandex.ru)

<sup>1</sup> State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia