

Оценка эмиссии и секвестрация углерода сельскохозяйственными культурами

Р. Р. МИРСАЯПОВ^{1,2}, З. М. НИЗАМЕТДИНОВ², И. Г. АСЫЛБАЕВ^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, 450064, Российская Федерация

²Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, Уфа, 450001, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью оценки секвестрации сельскохозяйственными культурами CO₂ и поступления биомассы органического вещества в почву для последующего включения их в севооборот, депонирующий углерод. Объекты исследований – яровая пшеница, кукуруза и конопля посевная. Работу выполняли в 2023–2024 гг. в фитотроне. Вегетационные опыты закладывали в сосудах объемом 0,11 м³ и площадью 0,28 м². Для опыта использовали почву карбонового полигона, расположенного в Республике Башкортостан, – чернозём выщелоченный, тяжелосуглинистый. Имитацию светового дня осуществляли досвечиванием в течение 14...18 ч в день с использованием фитопржекторов на светодиодах красно-синего спектра с ярко фиолетовым свечением с диапазоном длины волны от 450 до 660 нм, световым потоком 4500 лм. Замер эмиссии диоксида углерода осуществляли методом закрытых камер, основанным на определении скорости выделения его из почвы и фиксации датчиком Carbon dioxide detector. Культуры в разные периоды развития неодинаково поглощали CO₂. Сильнее всего это происходило в вариантах с кукурузой (563 ppm) и коноплей посевной (250 ppm). Кукуруза удерживает 9,38 ppm CO₂ за 1 мин, конопля посевная – 4,16 ppm, яровая пшеница – 1,35 ppm за 1 мин. В чистых от посевов сосудах эмиссия CO₂ составляла 800 ppm. В ночное время происходит увеличение содержания CO₂ в камере изолятора с кукурузой до 2215 ppm, в дневное (при включении досвечивания) – понижение. Изучаемые культуры по-разному обеспечивают поступление в почву органической биомассы и по ее количеству их можно расположить в следующий убывающий ряд: конопля посевная > яровая пшеница > кукуруза.

Ключевые слова: диоксид углерода, секвестрация, эмиссия, депонирование, сельскохозяйственные культуры, чернозем выщелоченный.

Сведения об авторах: Р. Р. Мирсаяпов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, доцент (e-mail: mirsaj@bk.ru); З. М. Низаметдинов, младший научный сотрудник (e-mail: z.nizametdinov@mail.ru); И. Г. Асылбаев, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, профессор (e-mail: ilgiz_bsau@mail.ru).

Для цитирования: Мирсаяпов Р. Р., Низаметдинов З. М., Асылбаев И. Г. Оценка эмиссии и секвестрация углерода сельскохозяйственными культурами // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 12. С. 35–40. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35

Estimation of emissions and carbon sequestration by agricultural crops

R. R. Mirsayapov^{1,2}, Z. M. Nizametdinov², I. G. Asylbaev^{1,2}

¹Ufa State Petroleum Technological University, ul. Kosmonavtov, 1, Ufa, 450064, Russian Federation

²Bashkiria State Agrarian University, ul. 50-letiya Oktyabrya, 34, Ufa, 450001, Russian Federation

Abstract. The studies were conducted to assess the sequestration of CO₂ by agricultural crops and the input of organic matter biomass into the soil for their subsequent inclusion in the crop rotation that deposits carbon. The objects of the study were spring wheat, corn and hemp. The work was carried out in 2023–2024 in a phytotron. Vegetation experiments were laid out in enclosures with a volume of 0.11 m³ and an area of 0.28 m². For the experiment, we used the soil of a carbon testing ground located in the Republic of Bashkortostan – leached heavy loamy chernozem. Imitation of daylight was carried out by additional illumination for 14–18 hours a day using phytospotlights on red-blue spectrum LEDs with a bright violet glow with a wavelength range from 450 to 660 nm, a luminous flux of 4500 lm. Carbon dioxide emission was measured using the closed chamber method based on determining the rate of its release from the soil and recording it with a Carbon dioxide detector. Crops absorbed CO₂ differently at different stages of development. This was greatest in the variants with corn (563 ppm) and hemp (250 ppm). Corn retains 9.38 ppm CO₂ per 1 min, hemp – 4.16 ppm, spring wheat – 1.35 ppm per 1 min. In vessels clean of crops, CO₂ emission was 800 ppm. At night, the CO₂ content in the isolator chamber with corn increased to 2215 ppm, and during the day (when supplementary lighting was turned on), it decreased. The studied crops provide the soil with organic biomass in different ways and, according to its quantity, they can be arranged in the following descending order: hemp > spring wheat > corn.

Keywords: carbon dioxide; sequestration; emission; deposition; agricultural crops; leached chernozem

Author Details: R. R. Mirsayapov, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow, assoc. prof. (e-mail: mirsaj@bk.ru); Z. M. Nizametdinov, junior research fellow (e-mail: z.nizametdinov@mail.ru); I. G. Asylbaev, D. Sc. (Biol.), leading research fellow, prof. (e-mail: ilgiz_bsau@mail.ru).

For citation: Mirsayapov RR, Nizametdinov ZM, Asylbaev IG [Estimation of emissions and carbon sequestration by agricultural crops]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024;38(12):35–40. Russian. doi: 10.53859/02352451_2024_38_12_35

В последние десятилетия глобальное значение принимает проблема изменения климата. При этом прогнозируется увеличение температуры на поверхности Земли вследствие повышения содержания парниковых газов в атмосфере, которые образуются под влиянием различных антропогенных источников (добыча горючих полезных ископаемых, выхлопные газы автомобилей, лесные пожары, рубка лесов и ведение сельскохозяйственного производства). Изменение климата провоцирует обильные осадки в условиях умеренного климата, сельскохозяйственные и экологические засухи, сокращение площадей арктического морского льда, снежного покрова, многолетней мерзлоты и др. [1]. По данным экспериментов на основе климатических моделей уже

к 2030 г. при умеренном воздействии CO₂ температура Земли повысится на 2,1 °C, а при значительном – на 2,6 °C [1]. Эта проблема в нынешних реалиях приобрела политическую и экономическую значимость, формат которых определен Рамочной основой по климату и устойчивому развитию, озвученной на Международном форуме «Климатическая повестка БРИКС в современных условиях». Она предусматривает пять ключевых направлений (производство и потребление энергии, транспорт, зелёные зоны и управление отходами) и включает меры по реализации углеродных рынков, вопросы финансирования, научных исследований, вовлечения бизнеса, митигации и адаптации, а также справедливый переход к низкоуглеродному развитию согласно концепции БРИКС.

В связи с этим увеличивается внимание к геохимическому обороту углерода – его депонированию и эмиссии [2]. Изменение климата оказывает неоднозначное воздействие на баланс углерода в почвах, повышение температуры инициирует деградацию органического вещества, что сопровождается его отрицательным балансом, а увеличение суммы среднегодовых осадков стимулирует повышение запасов органического вещества и способствует положительному балансу углерода. Предполагается, что общие тенденции изменения климата приведут к суммарному положительному балансу (аккумуляции) углерода в почвах России, при условии применения рациональных систем землепользования на сельскохозяйственных землях [3, 4]. Суммарные запасы органического и минерального углерода в верхнем метровом слое почв России оцениваются в 337 Гт. В соответствии с прогнозами изменений климата, гетеротрофное дыхание почв на территории Российской Федерации может увеличиться в среднем на 10...12 % и достичь к 2050 г. 3,5 Гт С/год [5, 6]. Органическое вещество почвы в определенной степени оказывает влияние на глобальные циклы углерода и климатические флуктуации, связанные с парниковым эффектом, и играет первостепенную роль в простом и расширенном воспроизводстве плодородия почв [7]. Международные оценки более осторожны: во всем мире путем управления почвенным углеродом вряд ли удастся сбалансировать более 5 % годовых выбросов CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива [5].

Отдельные авторы [8] выделяют ряд приоритетных направлений исследований, связанных с данными о содержании углерода в почве, включая количественную оценку запасов углерода в бореальных, арктических и водно-болотных угодьях; понимание временных рамок сохранения углерода в почве с использованием радиоуглеродных методов и исследований хронопоследовательности; обобщение результатов долгосрочных экспериментов для определения уязвимости запасов углерода в связи с глобальными изменениями; количественную оценку влияния корней на содержание углерода в почве; выявление пробелов в интеграции существующих моделей и данных.

Важное значение имеет оценка способности сельскохозяйственных культур к секвестрации и депонированию углерода. Существуют углерод депонирующие технологии, позволяющие в процессе ведения сельскохозяйственного производства снижать количество углекислого газа в атмосфере и, соответственно, уменьшать парниковый эффект. В частности, активное применение точного земледелия, технологий *Streep-till*, *No-till*, *Mini-till* снижает количество обработок, уменьшает интенсивность использования машинно-тракторного парка, энергопотребление, расширяет дифференцированное применение удобрений и средств защиты растений. При этом меняется система севооборота, включаются сельскохозяйственные культуры с высокой углерод улавливающей способностью, чистые пары, в которых происходит интенсивное выделение CO_2 и CH_4 из почвы и поступление их в атмосферу без секвестрации растениями, заменяются на занятые [9, 10, 11]. Результаты исследований некоторых авторов подтверждают представления о сложности управления запасами органического углерода и обеспе-

чения его прогрессивного депонирования в почвах, богатых органическим веществом [12, 13]. Скорость накопления органического вещества в почве часто выше на удобренных полях, но это сопровождается увеличением «стоимости» углерода [14]. Поэтому задача карбонового земледелия заключается в улавливании растениями выделяемого из почвы углерода, депонировании его в почве в составе пожнивных и растительных остатков, повышении содержания почвенного органического углерода.

В свете глобального потепления почвенный органический углерод играет важную роль, поскольку почвы хранят его крупнейшие наземные запасы [15, 16]. В этой связи почву считают крупнейшим пулом для улавливания и поглощения CO_2 из атмосферы, что будет способствовать смягчению последствий изменения климата [17, 18]. Информация о почвенном органическом углероде и его пространственном распределении особенно необходима сегодня для разработки политики в области оценки секвестрации и производства продовольствия в различных масштабах от локального до глобального [19, 20]. Депонирование углерода не может происходить без эмиссии углекислого газа, поскольку на этом этапе преобладает оставшаяся в поле мортмасса [21, 22]. Согласно инициативе «4 на 1000», запущенной на конференции ООН по изменению климата, предполагается, что ежегодный прирост запасов органического углерода в почве на 0,4 % остановит увеличение концентрации CO_2 в атмосфере, связанное с деятельностью человека [23].

Рассчитать приблизительную ежегодную скорость почвенной секвестрации углерода особой сложности не представляет. Однако теоретические расчеты не могут дать актуальную и достоверную информацию о движении почвенного углерода. Для получения достоверной информации, необходимо провести практические расчеты на типичных почвенных разновидностях применительно к конкретным зонам сельскохозяйственного районирования, поскольку интенсивность выделения углекислого газа меняется в зависимости от выращивания тех или иных сельскохозяйственных культур [24, 25].

Цель исследований – оценка секвестрации CO_2 сельскохозяйственных культур и поступления в почву их органического вещества для включения в углерод депонирующие севообороты.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2023–2024 гг. в фитотроне. Были заложены вегетационные опыты в сосудах по изучению эмиссии CO_2 из почвы и секвестрации его яровой пшеницей, кукурузой и коноплей посевной. Посев проводили в сосуды площадью 0,28 м² и объемом 0,11 м³ в трехкратной повторности. Культуры выбраны с учетом экономического значения, биологических особенностей, экологических аспектов и спроса на мировом рынке. Нормы высева, ширину междурядий и глубину посева имитировали в соответствии с агротехническими требованиями для каждой культуры.

Для вегетационных исследований использовали почву карбонового полигона опытного поля Учебно-научного центра ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, расположенного на территории Уфимского района Республики Башкортостан, относящегося к Южной лесостепной почвенно-климатической зоне региона. Почва – чернозём выщелоченный, тяжелосуглинистый, среднемощный, на делювиальных карбонатных

Таблица 1. Агрохимическая характеристика чернозема выщелоченного, используемого для закладки вегетационных опытов

Горизонт	Органическое вещество, %	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	pH_{KCl}
A _{пах} (0...27 см)	6,3	123	100	4,8
A ₁ (27...38 см)	5,5	92	80	5,0
A ₁ B (38...55 см)	3,9	71	70	5,3
B (55...69 см)	1,5	92	70	5,5
BC (69...98 см)	1,3	110	65	6,2
C (ниже 98 см)	0,2	26	65	7,1

суглинках, плотность сложения – 1,1 г/см³. Она характеризовалась средним уровнем обеспеченности органическим веществом (по ГОСТ 26213-91), аккумуляция которого уменьшалась с глубиной с 6,3 до 0,2 %. Содержание подвижных форм фосфора и калия (по ГОСТ 26204-91) в профиле почвы составляло соответственно от 26 до 123 мг/кг и от 65 до 100 мг/кг. Реакция среды (pH_{KCl}) в гумусово-аккумулятивном горизонте – среднекислая (pH 4,8...5,3), гранулометрический состав – тяжелосуглинистый (табл. 1).

Для имитации светового дня проводили досвечивание в течение 14...18 ч в день. Использовали фитопржекторы светодиодные красно-синего спектра с ярко фиолетовым свечением, диапазоном длины волны от 450 до 660 нм, световым потоком 4500 лм.

Замеры эмиссии CO₂ осуществляли методом закрытых камер (камерный метод). Он основан на определении скорости эмиссии диоксида углерода из почвы с фиксацией показателей датчиком Carbon dioxide detector Instruction Manual Hti HT-401/5, который способен одновременно измерять три параметра (температуру, влажность и содержание

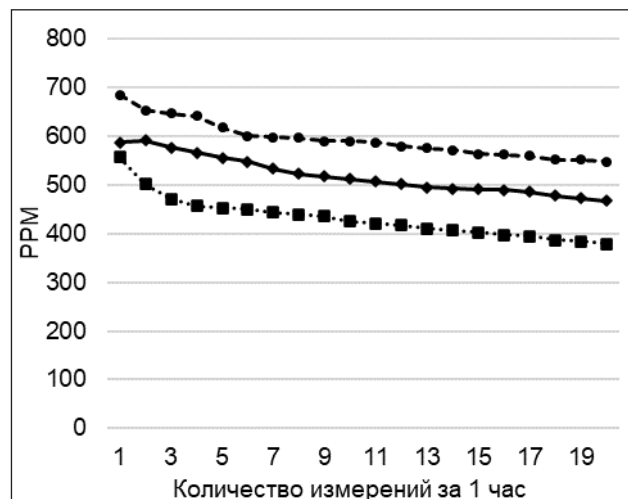


Рис. 1. Секвестрация CO₂ культурами на 39 день после посева: —●— — пшеница, —■— — конопля, —◆— — кукуруза.

углекислого газа), в камере-изоляторе. Устройство измеряет концентрацию углекислого газа с точностью от 0 до 5000 ppm (± 3 % от показаний). Анализатор может работать в пределах от -10 до +50 °C. Выгрузку информации осуществляли с использованием компьютерной программы HT Communication Tool. Время замеров составляло 60 мин. с интервалом в 3 мин.

Для определения размеров поступления в почву биомассы отбирали надземные и подземные части сельскохозяйственных растений (стебли, листья, корни). Образцы высушивали в течение 8 ч при температуре 105 °C и взвешивали. Результаты всех измерений приводили в расчете на 1 га.

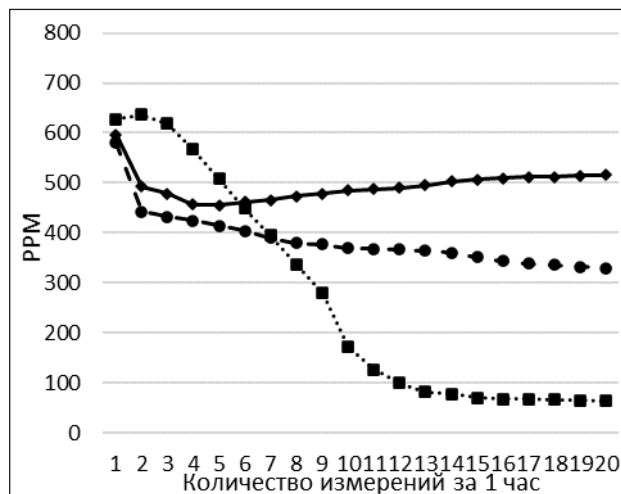


Рис. 2. Секвестрация CO₂ культурами на 81 день после посева: —●— — пшеница, —■— — конопля, —◆— — кукуруза.

Результаты и обсуждение. Изучаемые культуры по-разному поглощали углекислый газ, выделяемый почвой. Так, на 30...40 день после посева секвестрация диоксида углерода кукурузой составила 557 ppm, яровой пшеницей – 587 ppm, коноплей – 685 ppm. Последующее улавливание CO₂ культурами в течение часа носило схожий характер (рис. 1).

Содержание CO₂ в фитотроне в начале измерений в камере-изоляторе с сосудами без посевов составляло 800 ppm. При установке купола изолятора на сосуды с растениями началось его поглощение и уже в первые минуты исходное значение сократилось до 580 ppm, что характеризует активную поглотительную и фотосинтетическую способность изучаемых культур. Благодаря мощной листовой поверхности более интенсивное поглощение углекислого газа продемонстрировали конопля и яровая пшеница – соответственно на 220 ppm и 203 ppm больше, чем у кукурузы.

В измерениях, проведенных на 80...90 день в фазе восковой спелости пшеницы и кукурузы, цветения конопли, отмечена несколько иная картина, чем на 30...40 дни (рис. 2). В варианте с растениями

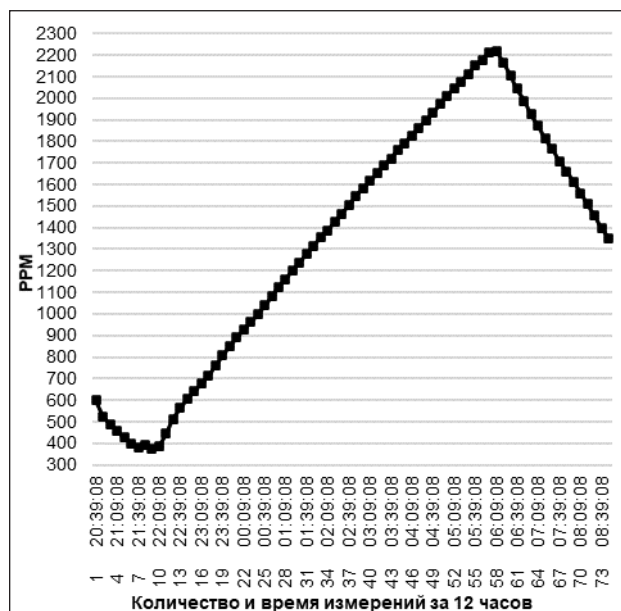


Рис. 3. Секвестрация CO₂ кукурузой в течение 12 ч с имитацией «день-ночь».

Таблица 2. Урожайность и биомасса растительных остатков сельскохозяйственных культур, ц/га

Культура	Урожайность	Биомасса					
		побочная продукция		поверхностные остатки		корни	
		сырая	сухая	сырая	сухая	сырая	сухая
Кукуруза на зеленую массу	350,0	-	-	45,6	15,9	12,4	4,6
Конопля посевная на семена	10,0	80,4	28,1	30,3	10,6	7,2	2,5
Яровая пшеница на зерно	30,0	35,1	10,6	10,8	3,2	26,2	9,1

конопли начальное содержание углекислого газа было меньше, чем под кукурузой и яровой пшеницей, что объясняется в первую очередь равномерным распределением листовой поверхности по всему растению. На кукурузе, напротив, верхние листья затеняют нижние, тем самым уменьшая их ассимиляционную способность. В варианте с яровой пшеницей отмечена параболическая схема ассимиляции и секвестрации углекислого газа растениями. Это связано с более коротким вегетационным периодом, переходом в фазу созревания и уменьшением фотосинтетической активности растения, что приводит к замедлению поглощения и увеличению значений CO_2 . По итогам замеров, наибольшее количество CO_2 в течение часа улавливала кукуруза – 563 ppm, далее конопля – 250 ppm и потом яровая пшеница – 81 ppm. То есть кукуруза за 1 мин. удерживает 9,38 ppm CO_2 , конопля – 4,16 ppm, яровая пшеница – 1,35 ppm.

Время суток также имеет значение в эмиссии и секвестрации углекислого газа. Ночью при отключении освещения происходит повышение CO_2 в камере изолятора с растениями до 2215 ppm, а днем (при включении досвечивания) – понижение (рис. 3).

Поступление растительных остатков в почву и их трансформация в гумусовые вещества и органо-минеральные комплексы представляет собой путь секвестрации углерода и снижения концентрации углекислого газа в атмосфере. Формирование надземной и подземной биомассы сельскохозяйственных растений обеспечивает поступление органического углерода в почву. По ее количеству исследуемые культуры можно расположить в следующий убывающий ряд: конопля > пшеница > кукуруза. При сушке свежей биомассы в среднем теряется от 65 до 80 % влаги, больше всего в побочной продукции, меньше всего в корнях (табл. 2).

Наибольшая часть биомассы конопли посевной и яровой пшеницы (без учета основной продукции, удаляемой с поля) поступает в почву в виде стеблей,

соломы, половы, листьев (побочная продукция). В дальнейшем она трансформируется в органическое вещество и гумус, в составе которого углерод находится в связанном состоянии и может храниться очень долго.

Выводы. Культуры в разные периоды развития по-разному поглощают

CO_2 . Наиболее интенсивную секвестрацию отмечали в фазе восковой спелости пшеницы и кукурузы, цветения конопли: в сосуде с кукурузой – 563 ppm в 1 ч, с коноплей посевной – 250 ppm в 1 ч, с яровой пшеницей – 81 ppm в 1 ч. Кукуруза удерживает 9,38 ppm CO_2 за 1 мин., конопля посевная – 4,16 ppm, яровая пшеница – 1,35 ppm CO_2 за 1 мин. В чистом от посевов сосуде эмиссия CO_2 составляет 800 ppm, а его секвестрация отсутствует. Время суток также оказывает влияние на эмиссию и секвестрацию CO_2 , ночью происходит увеличение его содержания в камере изолятора с кукурузой до 2215 ppm, а при включении досвечивания – понижение.

По поступлению в почву органической биомассы в сыром и сухом виде исследуемые культуры можно расположить в следующий убывающий ряд: конопля посевная > яровая пшеница > кукуруза. В целом их можно рекомендовать для включения в углерод депонирующий севооборот с учетом направления деятельности хозяйства и назначения производимой продукции.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа финансировалась за счет средств Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Оценка объема эмиссии и поглощения парниковых газов репрезентативными типами экосистем на участках Евразийского карбонового полигона и поиск оптимальных технологических решений для декарбонизации Республики Башкортостан» (FEUR-2024-0007). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

- Алешина М. А. Изменение характеристик экстремальных осадков в регионах России в условиях меняющегося климата: дисс. канд. географ. наук. М.: Институт географии РАН, 2023. 156 с.
- Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад / А. Ю. Иванов, Н. Д. Дурманов, М. П. Орлов и др. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
- Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор её супрессивности / М. С. Соколов, Ю. Я. Спиридонов, А. П. Глинушкин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 1. С. 4–12.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научные технологии, 2022. 124 с.
- Carbon pools, fluxes, and sequestration potential in soils of the former Soviet Union / T. Kolchugina, T. Vinson, G. Gaston, et al. // Soil management and greenhouse effect. Boca Raton, FL, USA: Lewis Publishers, 2018. P. 25–40.
- Soil carbon estimates and soil carbon map for Russia / V. A. Rozhkov, V. B. Wagner, B. M. Kogut, et al. // IIASA Working paper. Laxenburg, Austria: WP-96-60, 1996. P. 1–44. URL: <http://pure.iiasa.ac.at/4966> (дата обращения: 15.01.2016).
- Crop residue management in India: Stubble burning vs. other utilizations including bioenergy / G. K. Porichha, Y. Hu, K. T. V. Rao, et al. // Energies. 2021. Vol. 14. No. 14. Article 4281. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/14/4281> (дата обращения: 18.06.2024). doi: 10.3390/en14144281.
- The landscape of soil carbon data: Emerging questions, synergies and databases / A. Malhotra, K. Todd-Brown, L.

- E. Nave, et al. // *Progress in Physical Geography*. 2019. Vol. 43. No. 5. P. 707–719. doi: 10.1177/0309133319873309.
9. Crops for carbon farming / C. Jansson, C. Faiola, A. Wingler, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Article 636709. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.636709/full> (дата обращения: 03.04.2023). doi: 10.3389/fpls.2021.636709.
10. Влияние агробиотехнологий на запасы и состав органического вещества чернозема типичного слабоэродированного / Н. П. Масютенко, А. В. Кузнецов, М. Н. Масютенко и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 10. С. 45–50.
11. Амиров М. Ф. Интенсивность усвоения углерода полевыми культурами в зависимости от технологии возделывания в условиях Республики Татарстан // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 3 (63). С. 14–18.
12. Агротехнологический потенциал управления органическим углеродом чернозёмов обыкновенных в зернопаропашном севообороте / И. Т. Хусниев, В. А. Романенков, С. В. Пасько и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 3. С. 38–44.
13. Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia / E. Hobbey, B. Wilson, A. Wilkie, et al. // *Plant and Soil*. 2015. Vol. 390. No. 1-2. P. 111–127.
14. Schlesinger W. H. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2000. Vol. 82. P. 121–127. doi: 10.1016/S0167-8809(00)00221-8.
15. Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *European Journal of Soil Science*. 1996. Vol. 47. No. 2. P. 151–163.
16. El-Beltagy A., Madkour M. Impact of climate change on arid lands agriculture // *Agriculture and Food Security*. 2012. Vol. 1. Article 3. URL: <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/2048-7010-1-3> (дата обращения: 15.04.2024). doi: 10.1186/2048-7010-1-3.
17. Towards a global-scale soil climate mitigation strategy / W. Amelung, D. Bossio, W. de Vries, et al. // *Nature Communications*. 2020. Vol. 11. Article 5427. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18887-7> (дата обращения: 15.04.2024). doi: 10.1038/s41467-020-18887-7.
18. Lal R. Agricultural activities and the global carbon cycle // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2004. Vol. 70. P. 103–116. doi: 10.1023/B:FRES.0000048480.24274.0f.
19. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty / L. Poggio, L. M. de Sousa, N. H. Batjes, et al. // *Soil*. 2021. Vol. 7. P. 217–240. doi: 10.5194/soil-7-217-2021.
20. Иванова Т. Н., Багаутдинов Ф. Я., Асылбаев И. Г. Изменение содержания и состава гумуса чернозёмов выщелоченных (Luvic Chernozems) южной лесостепи Республики Башкортостан при сельскохозяйственном использовании // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2015. № 1 (33). С. 19–23.
21. Мирсаяпов Р. Р., Асылбаев И. Г. Запасы углерода в почвах Дмитриевского сельского совета Уфимского района Республики Башкортостан // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023. № 4. С. 58–73.
22. Soil carbon and nitrogen dynamics in a Vertisol following 50 years of no-tillage, crop stubble retention and nitrogen fertilization / P. Jha, K. M. Hati, R. C. Dalal, et al. // *Geoderma*. 2020. Vol. 358. Article 113996. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/geoderma/vol/358/suppl/C> (дата обращения: 15.04.2024). doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113996.
23. Soil carbon 4 per mille / B. Minasny, B. P. Malone, A. B. McBratney, et al. // *Geoderma*. 2017. Vol. 292. P. 59–86. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
24. Асылбаев И. Г., Мирсаяпов Р. Р. Пилотный карбоновый полигон: анализ запасов углерода в почвах сельскохозяйственных // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023. № 4 (72). С. 6–12.
25. Чимитдоржиева Э. О. Продуцирование диоксида углерода сухостельными почвами Забайкалья // *Агрохимический вестник*. 2010. № 4. С. 33–35.

References

1. Aleshina MA. *Izmenenie kharakteristik ekstremal'nykh osadkov v regionakh Rossii v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [Changes in the characteristics of extreme precipitation in Russian regions under changing climate conditions] [dissertation]. Moscow: Institut geografii RAN; 2023. 156 p. Russian.
2. Ivanov AYU, Durmanov ND, Orlov MP, et al. *Bitva za klimat: karbonovoe zemledelie kak stavka Rossii: ekspertnyi doklad* [Battle for the climate: Carbon farming as Russia's bet: Expert report]. Moscow: Izdatel'skii dom Vysshei shkoly ekonomiki; 2021. 120 p. Russian.
3. Sokolov MS, Spiridonov YuYa, Glinushkin AP, et al. [Organic fertilizer is an effective factor in soil health and an inducer of its suppressive properties]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018;32(1):4-12. Russian.
4. Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. *Obshchee rezyume* [Third assessment report on climate change and its consequences in the Russian Federation. General summary]. St. Petersburg: Naukoemkie tekhnologii; 2022. 124 p. Russian.
5. Kolchugina T, Vinson T, Gaston G, et al. Carbon pools, fluxes, and sequestration potential in soils of the former Soviet Union. In: *Soil management and greenhouse effect*. Boca Raton (USA): Lewis Publishers; 2018. p. 25-40.
6. Rozhkov VA, Wagner VB, Kogut BM, et al. Soil carbon estimates and soil carbon map for Russia. In: *IIASA Working paper* [Internet]. Laxenburg (Austria): WP-96-60; 1996 [cited 2016 Jan 15]. p. 1-44. Available from: <http://pure.iiasa.ac.at/4966>.
7. Porichha GK, Hu Y, Rao KTV, et al. Crop residue management in India: Stubble burning vs. other utilizations including bioenergy. *Energies* [Internet]. 2021 [cited 2024 Jun 18];14(14): Article 4281. Available from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/14/4281>. doi: 10.3390/en14144281.
8. Malhotra A, Todd-Brown K, Nave LE, et al. The landscape of soil carbon data: Emerging questions, synergies and databases. *Progress in Physical Geography*. 2019;43(5):707-19. doi: 10.1177/0309133319873309.
9. Jansson C, Faiola C, Wingler A, et al. Crops for carbon farming. *Frontiers in Plant Science* [Internet]. 2021 [cited 2024 Apr 3];12: Article 636709. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.636709/full>. doi: 10.3389/fpls.2021.636709.
10. Masyutenko NP, Kuznetsov AV, Masyutenko MN, et al. [Influence of agrobiotechnology on the reserves and composition of organic matter in typical slightly eroded chernozem]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021;35(10):45-50. Russian.
11. Amirov MF. [Intensity of carbon absorption by field crops depending on the cultivation technology under the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;16(3):14-8. Russian.
12. Khushniev IT, Romanenkov VA, Pas'ko SV, et al. [Agrotechnological potential of organic carbon management of ordinary chernozems in a grain-fallow-row crop rotation]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*. 2022;(3):38-44. Russian.
13. Hobbey E, Wilson B, Wilkie A, et al. Drivers of soil organic carbon storage and vertical distribution in Eastern Australia.

Plant and Soil. 2015;390(1-2):111-27.

14. Schlesinger WH. Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2000;82:121-7. doi: 10.1016/S0167-8809(00)00221-8.

15. Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 1996;47(2):151-63.

16. El-Beltagy A, Madkour M. Impact of climate change on arid lands agriculture. *Agriculture and Food Security [Internet]*. 2012 [cited 2024 Apr 15];1: Article 3. Available from: <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/2048-7010-1-3>. doi: 10.1186/2048-7010-1-3.

17. Amelung W, Bossio D, de Vries W, et al. Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. *Nature Communications [Internet]*. 2020 [cited 2024 Apr 15];11: Article 5427. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18887-7>. doi: 10.1038/s41467-020-18887-7.

18. Lal R. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2004;70:103-16. doi: 10.1023/B:FRES.0000048480.24274.0f.

19. Poggio L, de Sousa LM, Batjes N. H, et al. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*. 2021;7:217-40. doi: 10.5194/soil-7-217-2021.

20. Ivanova TN, Bagautdinov FYa, Asylbaev IG. [Changes in the content and composition of humus in leached chernozems (Luvic Chernozems) of the southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan under agricultural use]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;(1):19-23. Russian.

21. Mirsayapov RR, Asylbaev IG. [Carbon reserves in the soils of the Dmitrievsky village council of the Ufa district of the Republic of Bashkortostan]. *Vestnik NGAU*. 2023;(4):58-73. Russian.

22. Jha P, Hati KM, Dalal RC, et al. Soil carbon and nitrogen dynamics in a Vertisol following 50 years of no-tillage, crop stubble retention and nitrogen fertilization. *Geoderma [Internet]*. 2020 [cited 2024 Apr 15];358: Article 113996. Available from: <https://www.sciencedirect.com/journal/geoderma/vol/358/suppl/C>. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113996.

23. Minasny B, Malone BP, McBratney AB, et al. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*. 2017;292:59-86. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

24. Asylbaev IG, Mirsayapov RR. [Pilot carbon polygon: Analysis of carbon stocks in agricultural soils]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;(4):6-12. Russian.

25. Chimitdorzhieva EO. [Production of carbon dioxide by dry steppe soils of Transbaikalia]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2010;(4):33-5. Russian.

Поступила в редакцию 10.11.2024 После доработки 28.11.2024 Принята к публикации 18.12.2024

Требования к оформлению статей в журнале «Достижения науки и техники АПК»

В статье должно быть кратко изложено состояние дел по изучаемой проблеме со ссылками на публикации (желательно не менее трех ссылок). Затем указаны цели, задачи, условия и методы исследований. Подробно представлены результаты экспериментов и их анализ. Сделаны выводы и даны предложения производству. В статье следует по возможности выделять следующие блоки: введение; цель и задачи исследований; условия, материалы и методы исследований; результаты исследований; выводы.

Вместе со статьей должны быть представлены перевод названия на английский язык; аннотация (200-250 слов) на русском и английском языках; ключевые слова на русском и английском языках; полные почтовые адреса всех учреждений, в которых работают авторы, на русском и английском языке; ученые степени и должности авторов на русском и английском языке код УДК; библиографический список.

В тексте ссылка на источник отмечается соответствующей цифрой в квадратных скобках в порядке цитирования. В списке литературы приводятся только те источники, на которые есть ссылка в тексте. Использование цитат без указания источника информации запрещается.

Материал для подачи в журнал набирается в текстовом редакторе Word версия не ниже 97 файл с расширением *.rtf.

Объем публикации не менее 12 стр. машинописного текста (без учета резюме и списка литературы), набранного шрифтом Times New Roman, размер кегля 14 с полуторным интервалом. На 2,5 страницы текста допускается не более 1 рисунка или таблицы.

Статьи необходимо направлять с сопроводительным письмом с указанием сведений об авторах (фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, место работы и занимаемая должность) на русском и английском языке, контактных телефонов и адреса электронной почты для обратной связи.

На публикацию представляемых материалов необходимо письменное разрешение и рекомендация руководства организации, на средства которой проводились исследования. Его вместе с одним экземпляром рукописи, подписанным авторами, и статьей в электронном виде нужно отправлять по адресу: 101000, г. Москва, Моспочтамт, а/я 166, ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК». Для ускорения выхода в свет материалы в электронном виде можно направлять по адресу: agroark@mail.ru.

Плата за аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Несоответствие статьи по одному из перечисленных пунктов может служить основанием для отказа в публикации.

Все рукописи, содержащие сведения о результатах научных исследований, рецензируются, по итогам рецензирования принимается решение о целесообразности опубликования материалов.