

Как цитировать: Кенжегулова, С.О., Звягин, Г.А., Куришбаев, А.К., Алманова, Ж.С., Ержан, Д. (2026). Оценка эмиссии CO₂ в зависимости от способа обработки чернозёма обыкновенного Костанайской области. *Евразийский агротехнический журнал*, 2(130), 141-154. DOI: [https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2\(130\).2240](https://doi.org/10.51452/eaj.2026.2(130).2240)

УДК 631.458 :631.51.01

Исследовательская статья

Оценка эмиссии CO₂ в зависимости от способа обработки чернозёма обыкновенного Костанайской области

Кенжегулова С.О.¹ , Звягин Г.А.¹ , Куришбаев А.К.² , Алманова Ж.С.² , Ержан Д.² 

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина
Астана, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет
Алматы, Казахстан

Автор-корреспондент: Кенжегулова С.О.: saya_keng@mail.ru

Соавторы: (1: ГЗ) regor1984111@rambler.ru; (2: АК) akylbekkk_17@mail.ru

(3: ЖА) almanova44@mail.ru; (4: ЕД) Yerzhan.dilmurat@mail.ru

Получено: 15.05.2026 **Принято:** 29.06.2026 **Опубликовано:** 30.06.2026

Авторские права: Кенжегулова С.О. и др. Данная статья размещена в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Аннотация

Предпосылки и цель. Сельскохозяйственные почвы являются важным источником эмиссии диоксида углерода, интенсивность которой зависит от технологии обработки, уровня минерального питания и биологической активности почвы. В условиях Северного Казахстана изучение влияния различных агротехнологий на углеродный баланс приобретает особую актуальность в связи с задачами снижения выбросов парниковых газов и сохранения почвенного плодородия. Цель исследования – оценить динамику эмиссии CO₂ из чернозёма обыкновенного при различных системах обработки почвы и уровнях минерального питания.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2025 году на базе ТОО «Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция» (Костанайская область, Карабалыкский район, п. Научный). Объектом исследования служил чернозём обыкновенный среднемощный тяжелосуглинистый. Изучались традиционная и нулевая (No-Till) технологии обработки почвы на фоне внесения минеральных удобрений (N₃₀P₂₀) и без удобрений, а также паровой участок. Интенсивность почвенного дыхания определяли в течение вегетационного периода яровой твёрдой пшеницы методом Штатнова. Выполнен анализ сезонной динамики эмиссии CO₂ и корреляционных связей между почвенными показателями и интенсивностью выделения углекислого газа.

Результаты. Установлено, что эмиссия CO₂ характеризуется выраженной сезонной изменчивостью и зависит от способа обработки почвы, фазы развития растений и уровня минерального питания. Максимальная интенсивность выделения углекислого газа наблюдалась в фазу кущения яровой пшеницы, тогда как к периоду созревания показатели существенно снижались. Наибольшие значения эмиссии отмечены при традиционной технологии обработки почвы, а применение No-Till обеспечивало снижение углеродных потерь на протяжении всего вегетационного периода. Внесение минеральных удобрений в большинстве случаев способствовало уменьшению интенсивности эмиссии CO₂. Корреляционный анализ выявил слабую зависимость между содержанием гумуса и нитратного азота, что указывает на определяющую роль гидротермических условий и биологической активности почвы в формировании потоков углекислого газа.

Закключение. Технология обработки почвы оказывает существенное влияние на интенсивность эмиссии CO₂ из чернозёма обыкновенного. Применение нулевой технологии

способствует снижению углеродных потерь и стабилизации углеродного баланса агроэкосистем, а максимальные потери углерода наблюдались на паровых участках в весенний период. Полученные результаты подтверждают перспективность ресурсосберегающих технологий, как инструмента повышения экологической устойчивости агроландшафтов Северного Казахстана и сокращения выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: эмиссия; диоксид углерода; чернозем обыкновенный; органическое вещество; No-till; традиционная технология.

Введение

Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере связано, в первую очередь, с изменением климата, в связи с чем научное сообщество активно ищет эффективные методы сокращения их эмиссии. Как отмечает *Кудрявцев А.Е.* факторы, влияющие на секвестрацию, депонирование и эмиссию углекислого газа в агроценозах, играют ключевую роль в этом процессе [1]. В настоящее время многие страны пришли к пониманию о необходимости выбора пути к углеродной нейтральности в сельском хозяйстве с целью обеспечения нулевого баланса выбросов парниковых газов к 2050 году [2]. В этом контексте Республика Казахстан утвердила Стратегию достижения углеродной нейтральности до 2060 года, которая направлена на реализацию мер по снижению воздействия парниковых газов на климат и устойчивое развитие страны [3].

Углекислый газ (CO_2) является основным фактором возникновения парникового эффекта, обеспечивающим около 60% от общего количества парниковых газов, при этом растительность и почвенные экосистемы играют важную роль, как основные резервуары для его поглощения из атмосферы [4]. Концентрация CO_2 в атмосфере увеличивается примерно на $3,2 \times 10^{15}$ г углерода в год, при этом на сельское хозяйство приходится около 20% этих выбросов [5]. В новом докладе Всемирной метеорологической организации отмечены нарастающие климатические воздействия на концентрацию диоксида углерода атмосферы в 2023 году, где количество ее составляет 420,0 ppm, что на 151% больше доиндустриального уровня (в 1750 году) [6].

По данным ученого *Ковды В.А.*, углекислый газ атмосферы имеет почвенное происхождение на 90%, и ежегодное увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере в антропогенных почвах, усиливается при её не рациональном использовании, превращая агроценоз в источник углекислого газа, а повышение продуктивности и восстановление многолетней растительности способствует секвестрации атмосферного углекислого газа и снижению парникового эффекта [7, 8, 9].

Ежегодные выбросы углекислого газа из почв связаны с дыханием почвенной биоты и отсутствием достаточного количества фотосинтезирующей зелёной растительности. Существует достаточно много факторов, влияющих на выделение диоксида углерода в атмосферу. По данным большинства исследований различные виды обработки почвы, ирригация, внесение минеральных и органических удобрений, экспозиция склона, вид севооборота и погодные условия оказывают активизирующее действие на динамику потока углекислого газа из почвы [9, 10, 11].

По интенсивности эмиссии углекислого газа можно судить о направленности изменения количества органического вещества в почвах, балансе между процессами минерализации и гумификации органического вещества, а также уровнем биологической активности почвы [12].

Из-за высокого содержания органического вещества чернозёмы Северного Казахстана являются не только ценным сельскохозяйственным ресурсом, но и основным фактором глобальных климатических процессов. Интенсивное использование пахотных угодий ускоряет минерализацию органического вещества почвы и, как следствие, приводит к увеличению выброса значительных объёмов углекислого газа в атмосферу. В связи с этим, перед аграрным сектором остро стоит вопрос разработки и внедрения устойчивых способов эффективного использования почв, позволяющих сохранить их плодородие и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду [13, 14]. Одним из методов сохранения и повышения плодородия чернозёмных почв и регулирования углеродного баланса в агроэкосистемах является правильный выбор агротехнологий, снижающих выброс парниковых газов в атмосферу.

Целью исследований является изучение динамики и оценки эмиссии углекислого газа на черноземе обыкновенном Костанайской области на паровом участке и при возделывании

яровой пшеницы в условиях традиционной и нулевой систем обработки почвы на фоне внесения минеральных удобрений и без внесения.

Материалы и методы

Для изучения интенсивности и динамики эмиссии углекислого газа в почвах агроландшафтов, в вегетационный период 2025 года были проведены исследования на территории опытного участка ТОО «Карабалыкская сельскохозяйственная опытная станция» (Костанайская область, Карабалыкский район, п. Научный).

Объектом исследования является чернозём обыкновенный среднесуглинистый, расположенный в лесостепной почвенно-климатической зоне Республики Казахстан. Климат опытного участка обусловлен слабовлажной умеренно теплой агроклиматической зоной, характеризующейся среднегодовой температурой $+3,1^{\circ}\text{C}$ и среднегодовым количеством осадков 368 мм.

Научные исследования проводились в трёхкратной повторности согласно схеме опыта с традиционной и нулевой обработки почвы при возделывании твердой пшеницы с внесением удобрений аммиачной селитры и аммофоса в дозе $\text{N}_{30}\text{P}_{20}$ (и без удобрений (контроль)). В схеме опытного участка также рассматривался паровой участок без внесения минеральных удобрений. Деляночные участки по каждому варианту имели размер: 52 на 6 м, 0,0312 га, общая площадь опытных участков 0,2 га (рисунок 1).

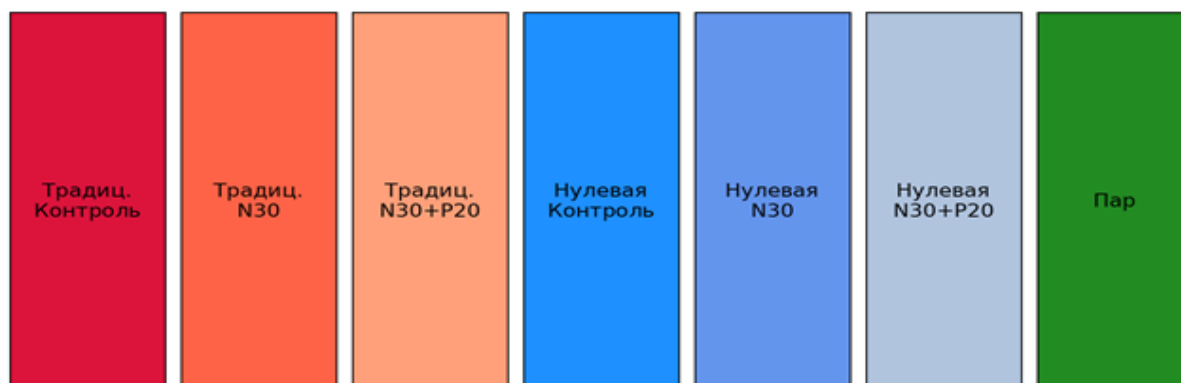


Рисунок 1 – Схема опытного участка

Полевые почвенные исследования проводились согласно ГОСТ 58595-2019 [15]. Общая площадь опытного участка составила 120 м², повторность в опыте – трехкратная.

Для определения почвенно-агрохимических показателей с глубины 0–20 см были отобраны почвенные образцы в количестве 21 проб с каждого варианта в разные периоды (до посева, фаза кущения, фаза колошения и после уборки урожая). В лабораторных условиях проводилось определение: гумуса – ГОСТ 26213-91; нитратного азота (NO_3) – ГОСТ 26951-86; подвижного фосфора (P_2O_5) и подвижного калия (K_2O) – по методу Мачигина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26205-91; pH почвенной среды – ГОСТ-26483-85 [15].

Эксперимент проводился в вегетационный период с мая по сентябрь по методу Штатнова. Замеры эмиссии $\text{CO}_2/\text{м}^2$ в каждом периоде вегетации растений в 2025 году делались на первые, третьи и пятые сутки. Данный метод позволяет фиксировать выделение CO_2 из почвы ($\text{г CO}_2/\text{м}^2$) титриметрическим методом по формуле 1:

$$D = \frac{(a-b)*K}{S*t}, \quad (1)$$

где

D – количество выделенного CO_2 из почвы, $\text{г CO}_2/\text{м}^2$;

a – количество 0,1 н. НС1 затраченного на титрование контрольной чаши с щелочью, мл;

b – количество 0,1 н. НС1 затраченного на титрование чаши с щелочью образца, мл;

K – коэффициент для перевода мл 0,1 н. щелочи в мг CO_2 , равный 2,2;

S – площадь сосуда, m^2 ;
 t – время экспозиции, ч [16].

Результаты

В изучаемом черноземе обыкновенном содержание гумуса колеблется от 4,40 до 4,68%; нитратного азота от 7,2 до 10,5 мг/кг; подвижных форм фосфора от 33,6 до 35,8 мг/кг; обменного калия от 692 до 757 мг/кг. Реакция почвенного раствора, определенная в водной вытяжке – 7,1–8,0, гранулометрический состав почвы – тяжелосуглинистый.

Изменчивость эмиссии углекислого газа зависит, как от изменения температуры воздуха, так и от температурного и водного режимов почвы, но в большей степени на выделение ее воздействует характеристика изучаемой почвы, растительный покров, микробиота [17]. Для изучаемого чернозёма обыкновенного характерна временная динамика выделения диоксида углерода по сезону и в течение суток.

При проведении исследований эмиссии углерода до посева в течении первых трех суток, как при традиционной, так и при нулевой обработке почвы выделение углекислого газа наблюдалась на одном уровне. По истечении пяти суток, на всех вариантах отмечается снижение содержания эмиссии диоксида углерода, но на варианте с нулевой обработкой почвы показатели ($2,7 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$) были выше, чем при традиционной обработке почвы ($1,6 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$), что может быть связано с особенностями распределения растительных остатков в верхнем слое почвы. В паровом поле, в этот период отмечались наибольшие потери углекислого газа после суток и через трое суток наблюдений, через пять суток эмиссия диоксида углерода была зафиксирована на уровне $1,5 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$ (рисунок 2).

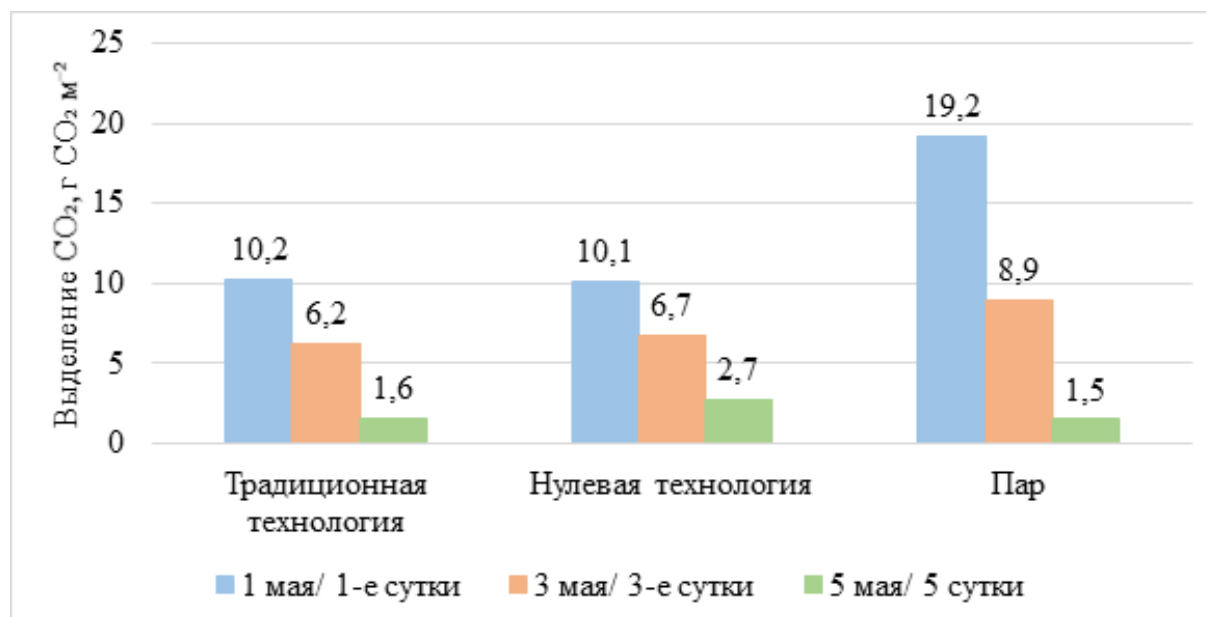


Рисунок 2 – Выделение углекислого газа из почвы перед посевом яровой пшеницы, $\text{г CO}_2/\text{м}^2$

Перед посевом сельскохозяйственной культуры снижение эмиссии углерода может быть обусловлено стабилизацией микробиологических процессов в почве, уменьшением доступности легкоразлагаемых органических соединений и возможным изменением влагообеспеченности и температуры верхнего почвенного горизонта. Более высокие начальные показатели на пару, свидетельствуют о более интенсивном процессе минерализации органического вещества в условиях отсутствия растительного покрова.

При измерении выделения углекислого газа из почвы при возделывании твердой пшеницы в фазу кущения интенсивность эмиссии CO_2 была выше чем до посева культуры (рисунок 3).

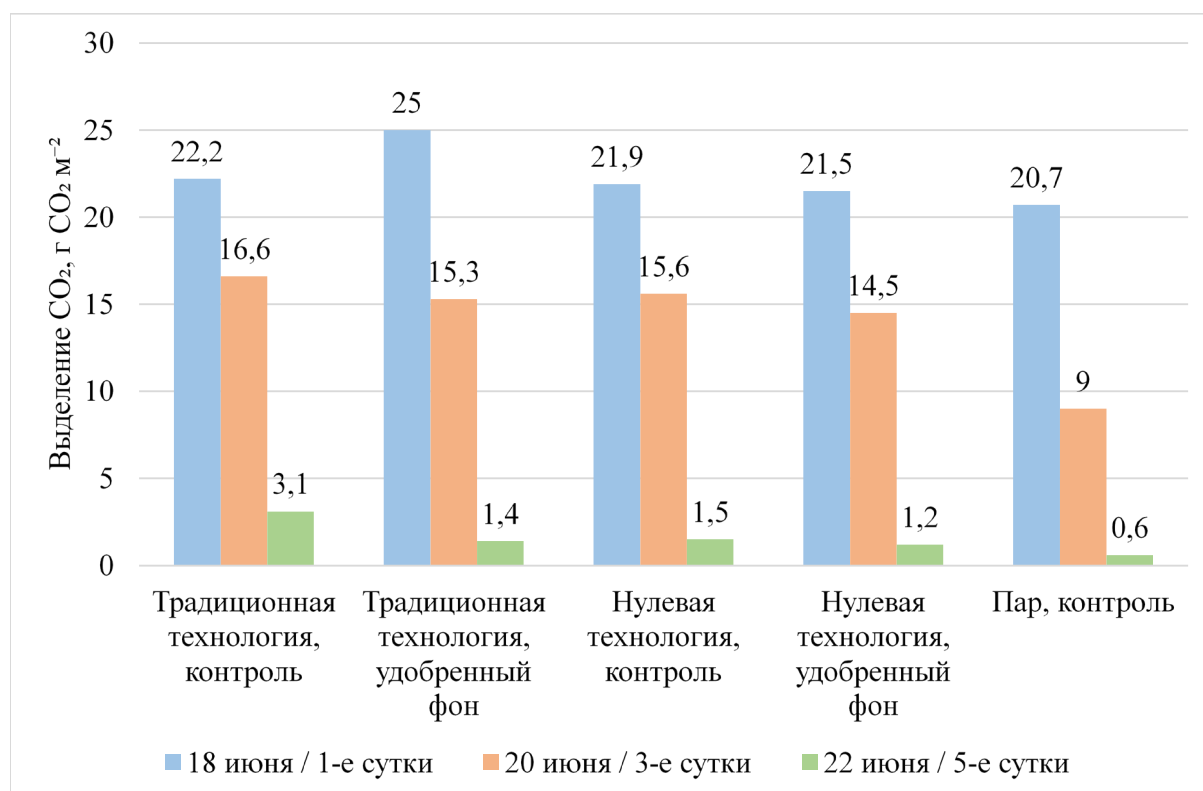


Рисунок 3 – Выделение углекислого газа из почвы в фазу кущения яровой твердой пшеницы, г $\text{CO}_2/\text{м}^2$

На первые сутки наблюдений наибольшая интенсивность выделения углекислого газа наблюдалась на удобренном варианте с традиционной обработкой, чем на удобренном участке с нулевой обработкой показатель, контрольных вариантах без внесения удобрений и паровом участке. Эти данные свидетельствуют о высокой микробиологической активности почвы на начальном этапе вегетации с/х растений, особенно в условиях внесения удобрений и механической обработки, что связано с разложением органического вещества и обеспечением микроорганизмов питательными веществами. Паровая обработка, где отсутствует растительный покров, показала наименьшую эмиссию среди всех вариантов, что связано с низкой микробиологической активностью почв.

На третий день наблюдений интенсивность выделения CO_2 снижается на всех участках. Снижение эмиссии CO_2 на третий день связано с уменьшением доступного органического вещества и частичной стабилизацией микробной активности. Разрыв между различными технологиями обработки почвы уменьшился, что отражает выравнивание условий микробиологической деятельности в почве.

К пятому дню выделение углекислого газа на участках без внесения удобрений и паровом участке было выше (1,5-3,1 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$), чем на удобренных фонах и паровом участке (0,6-1,4 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$). Эти результаты показали, что почвенное дыхание стабилизируется, активность микроорганизмов снижается, а различия между агротехнологиями стали минимальными.

Данные исследования демонстрируют, что в фазу кущения твердой пшеницы почвенное дыхание наиболее активно на начальных этапах, особенно на удобренных вариантах при традиционной обработке. Паровая обработка и нулевая технология замедляют выделение углекислого газа, особенно в первые сутки наблюдений. С течением времени интенсивность выделения CO_2 снижается, что отражает завершение активной фазы разложения органического вещества и стабилизацию биологической активности почвы.

По мере прогрессирования вегетации в фазу колошения твердой пшеницы интенсивность выделения углекислого газа из почвы постепенно снижается. Традиционная обработка и внесение удобрений обеспечивают более высокую биологическую активность на первые сутки, тогда как

паровые участки демонстрируют более низкие показатели на протяжении большинства периода. К пятому дню различия между вариантами обработки и удобрениями минимизируются, что отражает стабилизацию процессов почвенного дыхания и снижение активности микроорганизмов (рисунок 4).

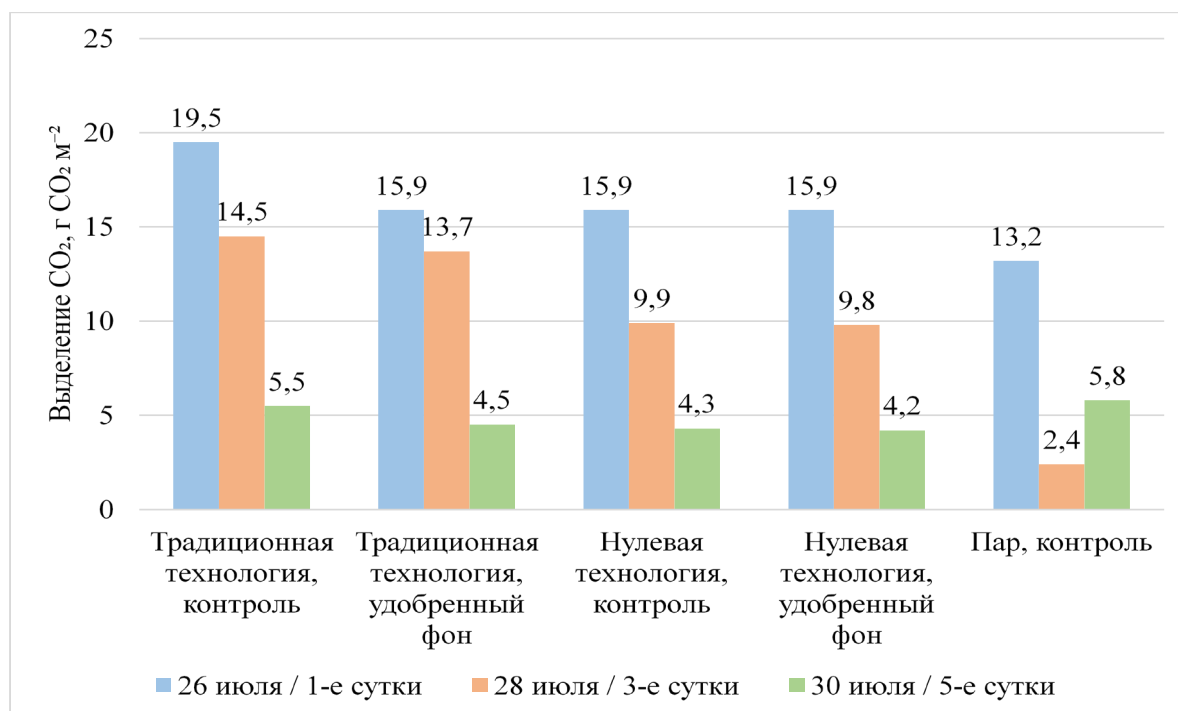


Рисунок 4 – Выделение углекислого газа из почвы в фазу колошения яровой твердой пшеницы, г CO₂/м²

На первый день изучения в фазу колошения твердой пшеницы наибольшая эмиссия CO₂ выявлена на варианте с традиционной обработкой, затем на варианте с нулевой технологией и потом на паровом поле. Данные свидетельствуют о том, что традиционная обработка почвы способствует более высокой активности микроорганизмов даже на более поздней фазе роста сельскохозяйственных растений, тогда как паровые участки продолжают демонстрировать относительно низкую интенсивность дыхания почвы. На удобренных вариантах при традиционной и нулевой обработке эмиссия CO₂ составила 15,9 г CO₂/м², что указывает на перераспределение биологической активности микроорганизмов за счет внесения минеральных удобрений, повышения температуры и снижения доступной влаги в почве.

На третий день интенсивность выделения CO₂ снижается. В контрольной группе традиционная обработка показала наибольшие выбросы CO₂/м², затем нулевая технология, а самые низкие выбросы отмечались на паровом поле. На удобренных участках показатели были аналогичные с неудобренными фонами. Данные изменения отражают постепенное снижение активности микроорганизмов по мере расходования легкоразлагаемой органики и стабилизацию почвенного дыхания. Паровые участки продолжают демонстрировать минимальные показатели, что объясняется отсутствием растительного покрова и низкой биологической активностью почвы. По мнению многих учёных интенсивность выделения углекислого газа зависит от дыхания экосистемы и наличия зелёной растительности [5], что объясняет снижение количества диоксида углерода в паровом поле, где эмиссия CO₂ была ниже по сравнению с другими вариантами.

На пятый день наблюдений в фазу колошения твердой пшеницы интенсивность выделения углекислого газа достигла минимальных значений в большинстве вариантов. Снижение эмиссии CO₂ к пятому дню говорит о завершении активной фазы микроорганизмов и стабилизации процессов разложения органического вещества в почве. Интересно отметить, что на паровых участках наблюдается незначительное повышение эмиссии к пятому дню, что может быть связано

с постепенным разложением остатков органики и накоплением продуктов минерализации в связи с более лучшей влагообеспеченностью почвы.

В завершении вегетационного периода (перед уборкой) твердой пшеницы было проведено исследование интенсивности выделения углекислого газа из почвы на всех вариантах была практически одинаковой и варьировала в пределах 2,4-2,7 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$. Внесение удобрений несколько повышало интенсивность эмиссии, особенно на традиционно обработанных участках. Эти результаты показывают, что к моменту уборки культуры активность микроорганизмов в почве значительно снизилась, однако удобрения повышают уровень биологической активности почв (рисунок 5).

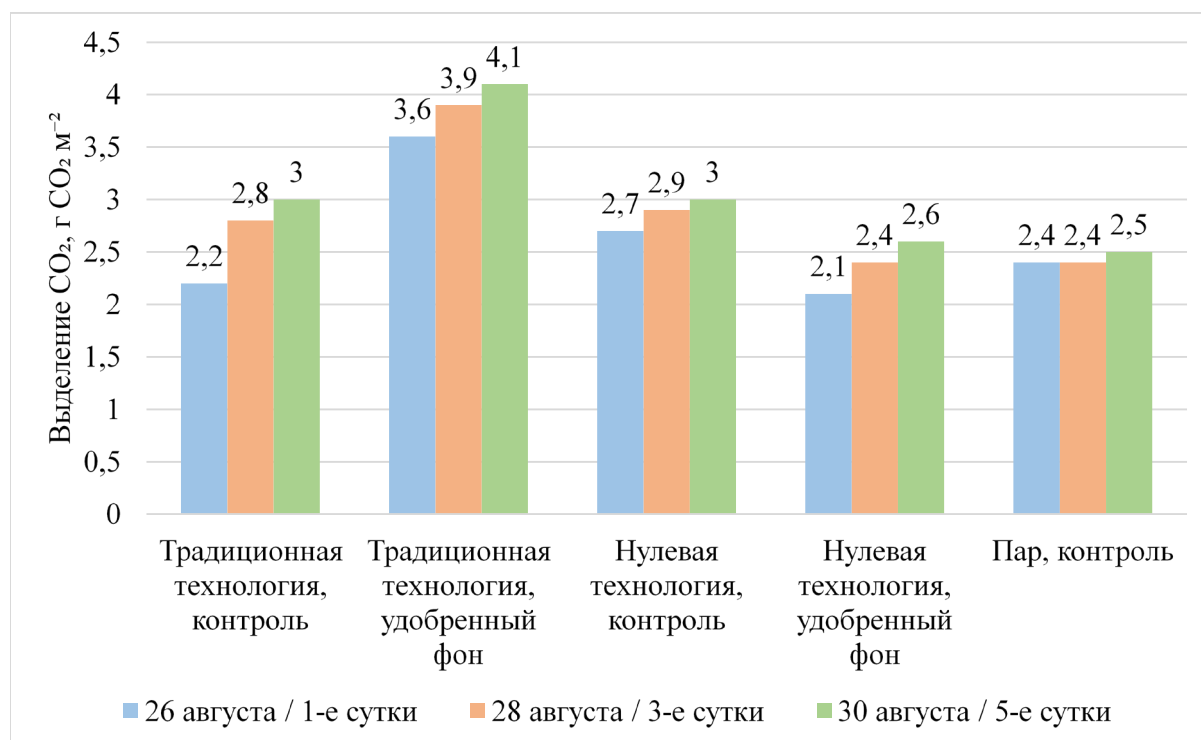


Рисунок 5 – Выделение углекислого газа из почвы перед уборкой твердой пшеницы, г $\text{CO}_2/\text{м}^2$

На третий день наблюдений интенсивность выделения углекислого газа незначительно повышается. Данная величина на варианте с традиционной обработкой почвы была ниже, чем с внесением удобрений, а на нулевой технологии наблюдалась обратная тенденция. Данные свидетельствуют о том, что даже в конце вегетационного периода при традиционной технологии, оставшиеся органические вещества под влиянием минеральных удобрений поддерживают биологическую активность микроорганизмов.

На пятый день наблюдений интенсивность выделения CO_2 оставалась низкой, отражая завершение активной фазы почвенного дыхания. В контрольной группе традиционная и нулевая обработки показали одинаковый уровень – 3,0 г $\text{CO}_2/\text{м}^2$. На участках с удобрениями значения были выше на традиционно обработанном участке и ниже на нулевой технологии. Эти показатели демонстрируют, что в осенний период различия между методами обработки постепенно нивелируются, а активность почвенных микроорганизмов ограничена остатками органического вещества.

По результатам исследований установлено, что способы обработки почвы и удобрения влияют на скорость продуцирования диоксида углерода.

Для выявления характера взаимосвязи между фазами развития яровой пшеницы и уровнем выделения углекислого газа из почвы был выполнен корреляционный анализ средних сезонных показателей (рисунок 6).

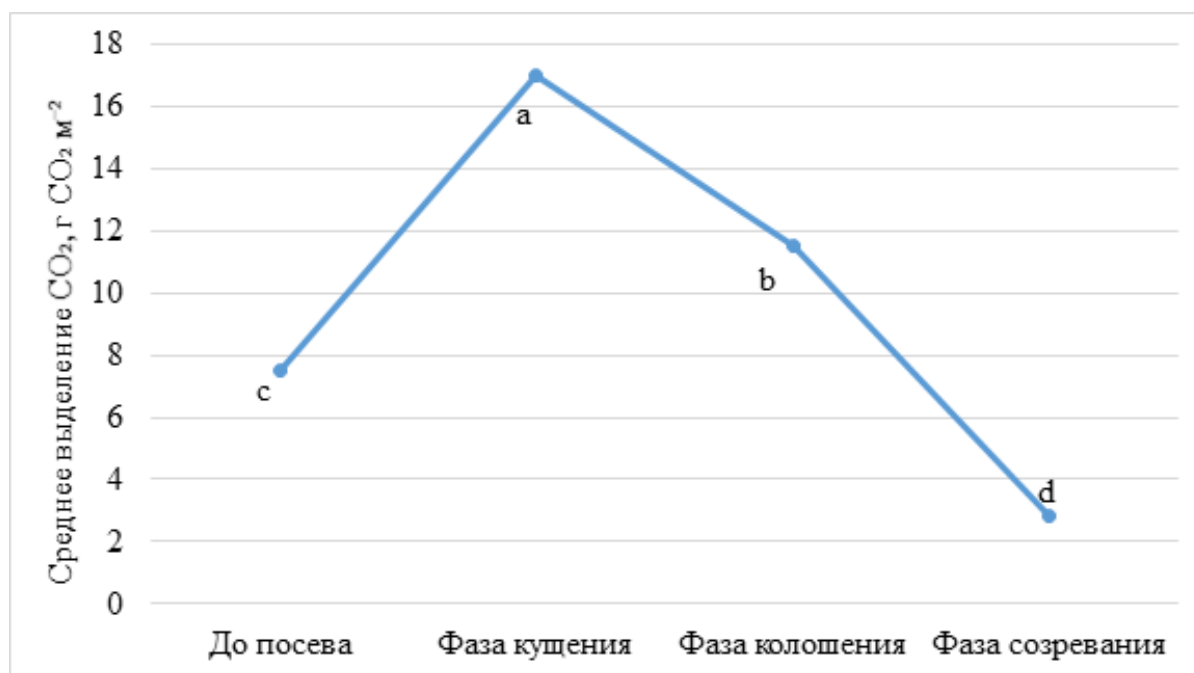


Рисунок 6 – Корреляционная зависимость между фазой вегетации яровой пшеницы и интенсивностью выделения CO₂ из почвы

Расчёт коэффициента Пирсона показал наличие умеренной обратной зависимости ($r = -0,42$) между фазами вегетации и интенсивностью эмиссии CO₂.

Полученный результат указывает на выраженную изменчивость почвенного дыхания в течение вегетационного периода. Наибольшая интенсивность выделения углекислого газа зарегистрирована в фазу кушения, что отражает активизацию микробиологических процессов и минерализацию органического вещества. По мере перехода растений к фазе созревания наблюдается постепенное снижение эмиссии CO₂.

Для выявления взаимосвязи между содержанием гумуса и концентрацией нитратного азота (N-NO₃) в почве был выполнен корреляционный анализ данных, полученных в различные фазы вегетации культуры при традиционной, нулевой технологиях обработки и в условиях пара. Построение корреляционной диаграммы показало, что связь между изучаемыми показателями выражена слабо и характеризуется различиями в зависимости от технологии обработки (рисунок 7).

При традиционной технологии коэффициент корреляции составил $r = 0,08$, что свидетельствует о практически отсутствии линейной зависимости между содержанием гумуса и нитратного азота. Это означает, что изменение гумусного состояния почвы в данном варианте не сопровождается закономерным увеличением или снижением содержания нитратов.

При нулевой технологии обработки выявлена слабая положительная корреляция ($r = 0,21$). Это указывает на тенденцию увеличения концентрации нитратного азота при повышении содержания гумуса, однако данная зависимость выражена незначительно и не носит устойчивого характера.

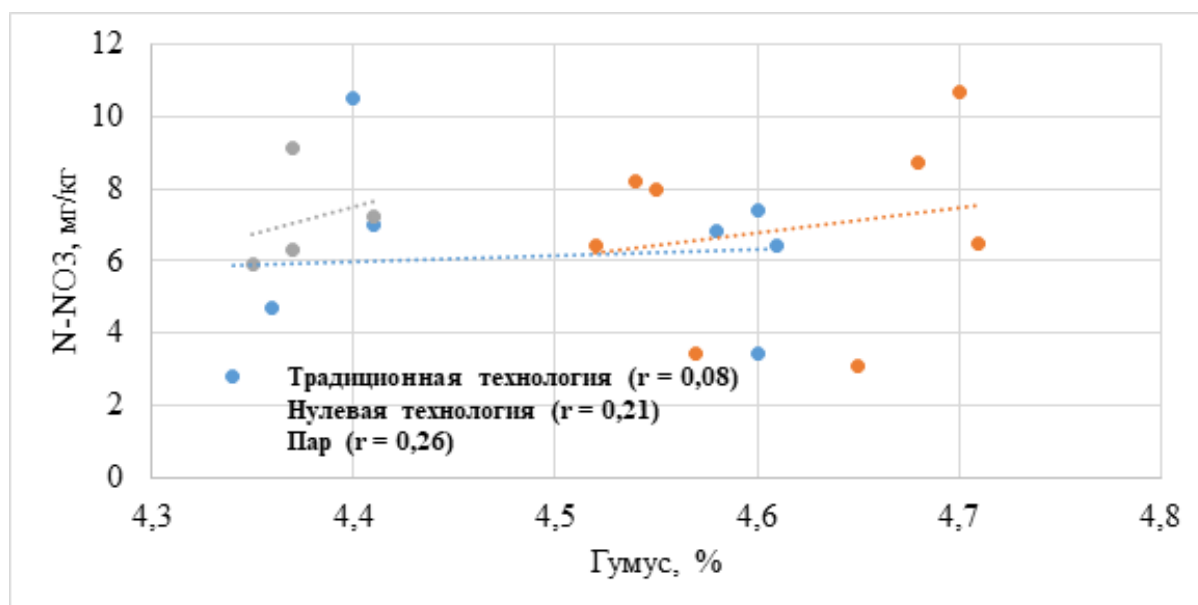


Рисунок 7 – Корреляционная зависимость между содержанием гумуса (%) и нитратного азота (N-NO₃, мг/кг) в почве при различных технологиях обработки

В условиях пара также установлена слабая положительная связь ($r = 0,26$). Вероятно, это связано с тем, что при отсутствии культуры происходит накопление доступных форм азота вследствие минерализации органического вещества и слабого расходования азота растениями.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что эмиссия CO₂ из чернозёма обыкновенного Костанайской области формируется под совместным влиянием технологии обработки почвы, фазы развития культуры, наличия растительного покрова, уровня минерального питания и гидротермических условий. В исследовании установлено, что максимальная интенсивность выделения CO₂ наблюдалась в фазу кущения яровой пшеницы, тогда как к фазе созревания показатели существенно снижались. Такая сезонная динамика согласуется с общими закономерностями почвенного дыхания, поскольку в ранние и средние фазы вегетации усиливаются корневое дыхание, активность ризосферной микробиоты и минерализация органического вещества.

Более высокие значения эмиссии CO₂ при традиционной обработке почвы объясняются механическим нарушением почвенной структуры, усилением аэрации и вовлечением растительных остатков в процессы микробного разложения. Это соответствует результатам международных исследований, где показано, что вспашка и интенсивная обработка ускоряют минерализацию органического вещества и повышают поток CO₂ из почвы [18].

Снижение эмиссии CO₂ при нулевой технологии в условиях опыта подтверждает её ресурсосберегающий и углеродосберегающий потенциал. В мета-анализе показано, что обработанные почвы в среднем характеризуются на 21% более высокой эмиссией CO₂ и на 10% меньшим содержанием органического углерода в верхнем слое по сравнению с необработанными почвами [19]. Следовательно, полученные данные по чернозёмам Северного Казахстана находятся в русле мировой научной позиции о том, что минимизация механического воздействия способствует стабилизации углеродного баланса агроэкосистем.

Особое значение имеют результаты по паровому участку. Высокая эмиссия до посева может быть связана с отсутствием растительного покрова, повышенной прогреваемостью поверхности и активной минерализацией доступного органического вещества. Однако в последующие фазы, особенно в период активного роста пшеницы на засеянных вариантах, пар демонстрировал более низкие показатели, что объясняется отсутствием корневого дыхания и меньшей ризосферной активности.

Слабая корреляционная связь между содержанием гумуса и нитратного азота показывает, что краткосрочная эмиссия CO_2 не может быть объяснена только запасами органического вещества или минерального азота. Более существенную роль играют температура, влажность, доступность легкоразлагаемых органических соединений и активность микробного сообщества.

В контексте Северного Казахстана полученные данные особенно важны, поскольку чернозёмы обыкновенные обладают высоким запасом органического вещества и одновременно подвержены риску ускоренной минерализации при интенсивной обработке этих почв.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что традиционная обработка усиливает краткосрочные потери углерода в форме CO_2 , тогда как нулевая технология способствует снижению эмиссии и стабилизации углеродного режима чернозёма.

Заключение

Проведённые исследования показали, что величина и динамика эмиссии углекислого газа из чернозёма обыкновенного Костанайской области в значительной степени определяются системой обработки почвы, фазами развития сельскохозяйственных культур и уровнем минерального питания. В течение всего вегетационного периода наиболее интенсивное выделение CO_2 фиксировалось при традиционной технологии обработки почвы, что обусловлено механическим нарушением почвенной структуры, усилением аэрации и активизацией процессов минерализации органического вещества. В то же время применение нулевой технологии способствует снижению эмиссии углекислого газа и стабилизации углеродного баланса агроэкосистемы.

Выявлена выраженная сезонная динамика почвенного дыхания: максимальные значения эмиссии CO_2 приходятся на фазу кушения, тогда как к периоду созревания культуры интенсивность выделения газа значительно снижается. Паровые участки характеризуются специфическими особенностями: высокими значениями эмиссии в начальный период и минимальными – в фазу активного роста растений, что связано с отсутствием растительного покрова и изменением микробиологической активности почвы.

Корреляционный анализ показал слабую зависимость между содержанием гумуса и нитратного азота, что свидетельствует о второстепенной роли данных показателей в формировании эмиссии CO_2 . В целом полученные результаты подтверждают целесообразность применения ресурсосберегающих технологий, таких как No-Till, для снижения углеродных потерь и повышения экологической устойчивости агроландшафтов Северного Казахстана.

Вклад авторов

ЖА, АК: постановка задачи, разработка методики исследования. СК, ГЗ: анализ данных и написание основной части статьи. ГЗ, ДЕ: проведение полевых исследований, обработка данных, участие в анализе результатов. Все авторы внесли вклад в обсуждение и редактирование рукописи.

Информация о финансировании

Статья выполнена в рамках проекта грантового финансирования МНВО РК на 2024–2026 гг РК AP23489663 «Разработка регулирования углеродного баланса почв агроландшафтов при интенсификации земель в условиях Северного Казахстана».

Список литературы

- 1 Кудрявцев, А.Е., Ваганов, Е.С., Канунников, С.В., Локтионов, В.А. (2024). Факторы, определяющие секвестрацию, депонирование, эмиссию углекислого газа в агроценозах. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 1(231), 37–44. DOI:10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080.
- 2 Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 - Hintergrundbericht. (2013). <http://www.uba.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050>.
- 3 Әділет. (2023). *Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>.

- 4 Franzluebbers, A.J., Doraiswamy, P.C. (2007). Carbon sequestration and land degradation. *Climate and land degradation*, 18, 343–358. DOI:10.1007/978-3-540-72438-4_18.
- 5 Rahman, M.M. (2013). Carbon Dioxide Emission from Soil. *Agricultural Research*, 2(2), 132–139. DOI:10.1007/s40003-013-0061-y.
- 6 Бюллетень ВМО по парниковым газам. (2024). https://mgmtmo.ru/edumat/wmo/ghg-bulletin_9_ru.pdf
- 7 Ларионова, А.А., Курганова, И.Н., Лопес де Гереню, В.О., Золотарева, Б.Н., Евдокимов, И.В., Кудеяров, В.Н. (2010). Эмиссия диоксида углерода из серых лесных почв при изменении климата. *Почвоведение*, 2, 186–195. DOI:10.31857/S0032180X22070085.
- 8 Galic, M., Bilandzija, D., Percin, A., Sestak, I., Mesic, M., Blazinkov, M., Zgorelec, Z. (2019). Effects of Agricultural Practices on Carbon Emission and Soil Health. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(3), 539–552. DOI: 10.13044/j.sdewes.d7.0271.
- 9 Асылбаев, И.Г., Мирсаяпов, Р.Р. (2023). Пилотный карбоновый полигон: анализ запасов углерода в почвах сельхозугодий. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, 4(72). DOI:10.31251/pos.v5i2.169.
- 10 Дёмин, Е.А., Миллер, С.С. (2024). Влияние различных способов обработки и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья. *Земледелие*, 4, 13-18. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18.
- 11 Камышенко, Г.А. (2007). Основные направления сокращения выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве. *Экологический вестник*, 3, 79–86.
- 12 Сергалиев, Н.Х., Нагиева, А.Г., Жиенгалиев, А.Т. (2018). Изменение эмиссии диоксида углерода на антропогенно-нарушенных угодьях Западно-Казахстанской области. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина*, 3(98), 92–101.
- 13 Funakawa, S., Nakamura, I., Akshalov, K., Kosaki, T. (2004). Soil Organic Matter Dynamics under Grain Farming in Northern Kazakhstan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(8), 1211–1218. DOI:10.1080/00380768.2004.10408596.
- 14 Алманова, Ж.С., Куришбаев, А.К., Жакенова, А.Т., Ержан, Д.Е., Какимбек, И.М., Бодрый, К.В. (2024). Интенсивность выделения CO₂ в период вегетации на черноземах обыкновенных Костанайской области. *Ізденістер, нәтижелер–Исследования, результаты*, 4(104), 101–107. DOI:10.37884/4-2024/10.
- 15 Аринушкина, Е.В. (1970). *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Изд-во МГУ, 491.
- 16 Штатнов, В.И. (1952). К методике определения биологической активности почвы. *Доклады ВАСХНИЛ*, 6, 27–33.
- 17 Горбов, С.Н., Васенев, В.И., Минаева, Е.Н., Тагивердиев, С.С., Скрипников, П.Н., Безуглова, О.С. (2023). Краткосрочная динамика эмиссии CO₂ и содержания углерода в городских конструкциях степной зоны. *Почвоведение*, 9, 1103–1115. DOI:10.31857/S0032180X23600282.
- 18 Zapata, D., Rajan, N., Mowrer, J. et al. (2021). Long-term tillage effect on within season variations in soil conditions and respiration from dryland winter wheat and soybean cropping systems. *Sci Rep.*, 11, 2344. DOI:10.1038/s41598-021-80979-1.
- 19 Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P., and Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, 13, 3619–3633. DOI:10.5194/bg-13-3619-2016.

References

- 1 Kudryavcev, A.E., Vaganov, E.S., Kanunnikov, S.V., Loktionov, V.A. (2024). Faktory, opredelyayushchie sekvstratsiyu, deponirovanie, emissiyu uglekislogo gaza v agrocenozah. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 1(231), 37–44. DOI:10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080. [in Russ].
- 2 Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 - Hintergrundbericht. (2026). <http://www.uba.de/publikationen/treibhausgasneutrales-deutschland-im-jahr-2050>.

- 3 Әділет. (2023). *Strategiya dostizheniya uglerodnoj nejtral'nosti Respubliki Kazahstan do 2060 goda*. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U23000001217>.
- 4 Franzluebbers, A.J., Doraiswamy, P.C. (2007). Carbon sequestration and land degradation. *Climate and land degradation*, 18, 343–358. DOI:10.1007/978-3-540-72438-4_18.
- 5 Rahman, M.M. (2013). Carbon Dioxide Emission from Soil. *Agricultural Research*, 2(2), 132–139. DOI:10.1007/s40003-013-0061-y.
- 6 Byulleten' VMO po parnikovym gazam. (2024). https://mgmtmo.ru/edumat/wmo/ghg-bulletin_9_ru.pdf
- 7 Larionova, A.A., Kurganova, I.N., Lopes de Gerenyu, V.O., Zolotareva, B.N., Evdokimov, I.V., Kudryarov, V.N. (2010). Emissiya dioksida ugleroda iz seryh lesnyh pochv pri izmenenii klimata. *Pochvovedenie*, 2, 186–195. DOI:10.31857/S0032180X22070085. [in Russ].
- 8 Galic, M., Bilandzija, D., Percin, A., Sestak, I., Mesic, M., Blazinkov, M., Zgorelec, Z. (2019). Effects of Agricultural Practices on Carbon Emission and Soil Health. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(3), 539–552. DOI: 10.13044/j.sdewes.d7.0271.
- 9 Asylbaev, I.G., Mirsayapov, R.R. (2023). Pilotnyi karbonovyi poligon: analiz zapasov ugleroda v pochvah sel'hozugodii. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 4(72). DOI:10.31251/pos.v5i2.169. [in Russ].
- 10 Dyomin, E.A., Miller, S.S. (2022/2024). Vliyanie razlichnyh sposobov obrabotki i temperatury pochvy na emissiyu uglekislogo gaza v posevah yarovoi pshenicy v usloviyah lesostepnoj zony Zaural'ya. *Zemledelie*, 13-18. DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-13-18. [in Russ].
- 11 Kamyshenko, G.A. (2007). Osnovnye napravleniya sokrashcheniya vybrosov parnikovyyh gazov v sel'skom hozyaistve. *Ekologicheskii vestnik*, 3, 79–86. [in Russ].
- 12 Sergaliev, N.H., Nagieva, A.G., Zhiengaliev, A.T. (2018). Izmenenie emissii dioksida ugleroda na antropogennno-narushennyh ugod'yah Zapadno-Kazahstanskoi oblasti. *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seifullina*, 3(98), 92–101. [in Russ].
- 13 Funakawa, S., Nakamura, I., Akshalov, K., Kosaki, T. (2004). Soil Organic Matter Dynamics under Grain Farming in Northern Kazakhstan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(8), 1211–1218. DOI:10.1080/00380768.2004.10408596.
- 14 Almanova, ZH.S., Kurishbaev, A.K., ZHakenova, A.T., Erzhan, D.E., Kakimbek, I.M., Bodryj, K.V. (2024). Intensivnost' vydeleniya SO₂ v period vegetacii na chernozemah obyknovennyh Kostanaiskoi oblasti. *Izdenister, náttjeler–Issledovaniya, rezul'taty*, 4(104), 101–107. DOI:10.37884/4-2024/10. [in Russ].
- 15 Arinushkina, E.V. (1970). *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv*. M.: Izd-vo MGU, 491. [in Russ].
- 20 Shtatnov, V.I. (1952) K metodike opredeleniya biologicheskoi aktivnosti pochvy. *Doklady VASKHNIL*, 66, 27–33. [in Russ].
- 16 Gorbov, S.N., Vasenev, V.I., Minaeva, E.N., Tagiverdiev, S.S., Skripnikov, P.N., Bezuglova, O.S. (2023). Kratkosrochnaya dinamika emissii SO₂ i sodержaniya ugleroda v gorodskih konstrukciyah stepnoi zony. *Pochvovedenie*, 9, 1103–1115. DOI:10.31857/S0032180X23600282. [in Russ].
- 17 Zapata, D., Rajan, N., Mowrer, J. et al. (2021). Long-term tillage effect on within season variations in soil conditions and respiration from dryland winter wheat and soybean cropping systems. *Sci Rep.*, 11, 2344. DOI:10.1038/s41598-021-80979-1.
- 18 Abdalla, K., Chivenge, P., Ciais, P., and Chaplot, V. (2016). No-tillage lessens soil CO₂ emissions the most under arid and sandy soil conditions: results from a meta-analysis. *Biogeosciences*, 13, 3619–3633. DOI:10.5194/bg-13-3619-2016.

Қостанай облысының кәдімгі қара топырағын өңдеу тәсілдеріне байланысты топырақтан көмірқышқыл газының бөлінуін бағалау

Кенжегулова С.О., Звягин Г.А., Куришбаев А.К., Алманова Ж.С., Ержан Д.

Түйін

Алғышарттар мен мақсат. Ауыл шаруашылығы топырағы көмірқышқыл газының шығарылуының маңызды көзі болып табылады, оның қарқындылығы өңдеу технологиясына, минералды қоректену деңгейіне және топырақтың биологиялық белсенділігіне байланысты. Солтүстік Қазақстан жағдайында әртүрлі агротехнологиялардың көміртегі балансына әсерін зерттеу парниктік газдар шығарындыларын азайту және топырақ құнарлылығын сақтау міндеттеріне байланысты ерекше өзектілікке ие болады. Зерттеудің мақсаты - әртүрлі топырақ өңдеу жүйелері мен минералды қоректену деңгейлеріндегі кәдімгі қара топырақтан CO_2 эмиссиясының динамикасын бағалау.

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер 2025 жылы «Қарабалық ауыл шаруашылығы тәжірибе станциясы» ЖШС (Қостанай облысы) базасында жүргізілді. Зерттеу нысаны ретінде ауыр құмбалшықты орташа қалыңдықты кәдімгі қара топырақ алынды. Тәжірибеде топырақты дәстүрлі және нөлдік (No-Till) өңдеу технологиялары минералдық тыңайтқыштарды ($\text{N}_{30}\text{P}_{20}$) енгізу және тыңайтқышсыз жағдайында, сондай-ақ сүрі танапта зерттелді. Топырақтың тыныс алу қарқындылығы жаздық қатты бидайдың вегетациялық кезеңінде Штатнов әдісімен анықталды. CO_2 эмиссиясының маусымдық динамикасы зерттеліп, топырақ көрсеткіштері мен көмірқышқыл газы бөлінуінің қарқындылығы арасындағы корреляциялық байланыстар анықталды.

Нәтижелері. Зерттеу нәтижелері CO_2 эмиссиясы айқын маусымдық өзгергіштікпен сипатталатыны және топырақты өңдеу әдісіне, өсімдіктердің даму фазасына және минералды қоректену деңгейіне байланысты екендігі анықталды. Көмірқышқыл газының ең жоғары бөліну қарқындылығы жаздық бидайдың түптену кезеңінде байқалса, пісіп-жетілу кезеңіне қарай бұл көрсеткіштер айтарлықтай төмендеді. Эмиссияның ең жоғары мәндері дәстүрлі өңдеу технологиясында тіркелді, ал No-Till технологиясын қолдану вегетация бойы көміртек шығындарының төмендеуіне ықпал етті. Минералдық тыңайтқыштарды енгізу көптеген жағдайларда CO_2 бөліну қарқындылығын азайтты. Корреляциялық талдау гумус мөлшері мен нитратты азот құрамының эмиссиямен байланысының әлсіз екенін көрсетті, бұл көмірқышқыл газы ағындарының қалыптасуында гидротермиялық жағдайлар мен топырақтың биологиялық белсенділігінің шешуші рөл атқаратынын дәлелдейді.

Қорытынды. Топырақты өңдеу технологиясы кәдімгі қара топырақтан CO_2 эмиссиясының қарқындылығына елеулі әсер етеді. Нөлдік технологияны қолдану көміртек шығындарын азайтып, агроэкожүйелердің көміртектік тепе-теңдігін тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Ал көктемгі кезеңде көміртекстің ең жоғары шығындары сүрі танапта байқалды. Алынған нәтижелер Солтүстік Қазақстан агроландшафттарының экологиялық тұрақтылығын арттыруда және парниктік газдар шығарындыларын қысқартуда ресурсты үнемдейтін технологиялардың жоғары әлеуетін растайды.

Кілт сөздер: эмиссия; көмірқышқыл газы; кәдімгі қара топырақ; органикалық зат; No-Till; дәстүрлі технология.

Assessment of soil carbon dioxide emissions depending on the tillage system of ordinary chernozem in the Kostanay region

Sayagul O. Kenzhegulova, Grigory A. Zvyagin, Akhyllbek K. Kurishbaev
Zhanna S. Almanova, Dilmurat Yerzhan

Abstract

Background and Aim. Agricultural soils are a significant source of carbon dioxide (CO_2) emissions, the intensity of which is influenced by tillage practices, mineral nutrient availability, and soil biological

activity. In Northern Kazakhstan, evaluating the effects of different agricultural technologies on the soil carbon balance has become increasingly important for mitigating greenhouse gas emissions and maintaining soil fertility. The aim of this study was to assess the dynamics of CO₂ emissions from ordinary chernozem under different tillage systems and mineral fertilization regimes.

Materials and Methods. The study was conducted in 2025 at the Karabalyk Agricultural Experimental Station LLP in Kostanay Region, Kazakhstan. The experimental soil was an ordinary medium-depth heavy loam chernozem. Conventional tillage and No-till systems were evaluated under fertilized (N₃₀P₂₀) and unfertilized conditions, as well as on a fallow plot. Soil respiration intensity was measured throughout the growing season of spring durum wheat using the Shtatnov method. Seasonal patterns of CO₂ emissions were analyzed, and correlations between soil properties and carbon dioxide fluxes were assessed.

Results. The results showed pronounced seasonal variability in CO₂ emissions, depending on tillage practice, crop growth stage, and mineral nutrition level. The highest rates of carbon dioxide release were recorded at the tillering stage of spring wheat, whereas a substantial decline was observed at maturity. The highest emission values were associated with conventional tillage, whereas the no-till system reduced carbon losses throughout the growing season. In most cases, mineral fertilization contributed to lower CO₂ emission rates. Correlation analysis revealed only weak relationships between CO₂ emissions and both humus content and nitrate nitrogen concentration, indicating that hydrothermal conditions and soil biological activity play a dominant role in regulating carbon dioxide fluxes.

Conclusion. Soil tillage practice significantly affects CO₂ emissions from ordinary chernozem. The adoption of No-till technology contributes to reduced carbon losses and improves the stability of the carbon balance in agroecosystems. The highest carbon losses were observed on fallow soil during the spring period. These findings highlight the potential of conservation agriculture technologies as an effective approach to improving the environmental sustainability of agricultural landscapes in Northern Kazakhstan and reducing greenhouse gas emissions.

Keywords: gas emissions; carbon dioxide; chernozem; organic matter; No-till; arable soils.