

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3>

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ CO₂ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ВВЕДЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ В ОБОРОТ И
ПРИРОДНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Научная статья

Бобренко И.А.¹, Коржова Л.В.^{2,*}, Дрофа О.В.³, Гоман Н.В.⁴, Бобренко Е.Г.⁵, Кадермас И.Г.⁶, Троценко И.А.⁷

¹ ORCID : 0000-0002-2496-0773;

² ORCID : 0009-0000-9585-0662;

³ ORCID : 0000-0002-8943-5531;

⁴ ORCID : 0000-0001-8959-5888;

⁵ ORCID : 0009-0005-8219-4869;

⁶ ORCID : 0009-0004-8650-9955;

⁷ ORCID : 0000-0003-0109-8460;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lv.korzhova[at]omgau.org)

Аннотация

Проведено исследование сезонной динамики почвенной эмиссии CO₂ при различных технологиях введения в оборот залежей в разных природно-климатических зонах Омской области: подтаежной, лесостепной и степной. Выбранные технологии введения в оборот залежей оказывают большое влияние на почвенную эмиссию углекислого газа. По сравнению с контролем она увеличилась при агротехнической технологии (обработка почвы) в 1,44 раза в подтаежной зоне, в 1,31 раза в лесостепной, 1,62 раза в степной. При комбинированной (обработка почвы + обработка гербицидами) соответственно в 1,27; 1,08; 1,33 раза. Агротехническая технология введения залежных земель в оборот способствовала большей эмиссии CO₂, чем комбинированная.

Ключевые слова: залежные земли, эмиссия углекислого газа, технология ввода в оборот.

SEASONAL CHANGES IN THE INTENSITY OF CO₂ FLUX DEPENDING ON THE TECHNOLOGY OF
INTRODUCTION OF DEPOSITS INTO CIRCULATION AND THE NATURAL ZONE OF WESTERN SIBERIA

Research article

Bobrenko I.A.¹, Korzhova L.V.^{2,*}, Drofa O.V.³, Goman N.V.⁴, Bobrenko Y.G.⁵, Kadermas I.G.⁶, Trotsenko I.A.⁷

¹ ORCID : 0000-0002-2496-0773;

² ORCID : 0009-0000-9585-0662;

³ ORCID : 0000-0002-8943-5531;

⁴ ORCID : 0000-0001-8959-5888;

⁵ ORCID : 0009-0005-8219-4869;

⁶ ORCID : 0009-0004-8650-9955;

⁷ ORCID : 0000-0003-0109-8460;

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russian Federation

* Corresponding author (lv.korzhova[at]omgau.org)

Abstract

The study of seasonal dynamics of soil CO₂ emission under different technologies of fallow land turnover in different natural-climatic zones of Omsk Oblast: sub-taiga, forest-steppe and steppe was carried out. The selected technologies of fallow land turnover have a great influence on soil emission of carbon dioxide. Compared to the control, it increased with agrotechnical technology (tillage) 1.44 times in the subtaiga zone, 1.31 times in the forest-steppe zone, 1.62 times in the steppe zone. At combined (tillage + herbicide treatment) respectively in 1,27; 1,08; 1,33 times. Agrotechnical technology of fallow lands introduction into turnover contributed to higher CO₂ emission than the combined one.

Keywords: fallow land, carbon dioxide emission, technology for reintroduction into circulation.

Введение

Обеспечение продовольственной безопасности – одно из стратегических направлений, предусматривающее введение в оборот залежей, которые не использовались в сельском хозяйстве. Введение в оборот залежей введет к активному выходу парниковых газов [1], [2].

Одной из функций почв является депонирование углерода [3]. Почвенная эмиссия парниковых газов зависит от множества факторов: температуры почвы, влажности, содержания органического вещества и других. Различные агротехнологии, агрохимические способы обработки почв и повышение почвенного плодородия также оказывают влияние на эмиссию парниковых газов [4], [5].

В связи с этим при выборе оптимальной технологии введения залежей в оборот необходимо учитывать тип почв и природно-климатическую зону для снижения углекислого газа в атмосферном воздухе [6], [7], [8], [9], [10].

Цель исследований – оценить сезонные изменения интенсивности потоков углекислого газа в зависимости от технологии введения залежей в оборот и природной зоны.

Методы и принципы исследования

Исследования проводились в трех природно-климатических зонах – подтаежной, лесостепной и степной в 2022 г. Исследования почвенного покрова и растительности на залежах проводилась во всех природно-климатических зонах на исследуемых участках. Характеристика почвенного покрова дана с использованием стандартных методик, описание растительности залежи проводили согласно геоботанического описания. Почвенный покров и растительность залежей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Почвенный покров участков исследований и растительный покров залежи

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.1>

Природная зона	Почвенный покров	Растительность залежи
Подтаежная зона	Серая лесная мощная суглинистая	Хвоцево-мятликово-разнотравные ассоциации: мятлик расставленный (<i>Poa remota</i>), хвоц лесной (<i>Equisétum sylvaticum</i>), горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i>), осот желтый (<i>Sonchus arvensis</i>) и другие
Лесостепная зона	Солонец лугово-черноземный корковый малонатриевый столбчатый тяжелосуглинистый и лугово-черноземная среднemocная и маломощная среднегумусовая тяжелосуглинистая почва	Разнотравно-мятликовая ассоциация с обильными включениями полыни селитрянной (<i>Artemisia nitrosa</i>), пырея ползучего (<i>Elytrigia répens</i>), земляники обыкновенной (<i>Fragária véscа</i>) и подорожника среднего (<i>Plantago media</i>)
Степная зона	Солонец лугово-черноземный осолоделый средним малонатриевым столбчатым тяжелосуглинистым; солонец лугово-черноземный корковый столбчатый тяжелосуглинистый и солодь луговая мелкодерновая малогумусовая тяжелосуглинистая возле березового колка	Ковыль перистый (<i>Stipa pennata</i>), овсяница ложноовечья (<i>Festuca pseudovina</i>), пырей ползучий (<i>Elytrigia répens</i>), мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i>); отдельными группами представлен: коострец безостый (<i>Bromus inermis</i>), полынь селитрянная (<i>Artemisia nitrosa</i>), подмаренник желтый (<i>Galium verum</i>), зопник клубненосный (<i>Phlomis tubérosa</i>)

Для изучения влияния технологий введения залежных земель в оборот на эмиссию парниковых газов проведены исследования в Тарском, Кормиловском, Черлакском районах Омской области. Проводились работы по осуществлению различных технологий введения залежных земель в оборот. Опыты закладывались на участках с возрастом залежей 5-10 лет. Первая технология предусматривает только агротехнические обработки (агротехническая технология), вторая – с химическими обработками гербицидом (комбинированная технология). Агротехника на каждом опытном участке адаптирована к зоне проведения исследований. Площадь опытных делянок 200-400 кв. метров.

Схемы опытов:

1. Подтаежная зона.

1.1. Контроль (без обработок).

1.2. Основная обработка почвы: отвальная вспашка плугом ПЛН 3-35 на глубину 20-22 см с последующим дискованием бороной БДТ -3 в два следа на глубину 10-12 см + вторая обработка: дискование бороной БДТ -3 в два-12 см.

1.3. Основная обработка почвы: отвальная вспашка плугом ПЛН 3-35 на глубину 20-22 см с последующим дискованием бороной БДТ -3 в два следа на глубину 10-12 см + химическая обработка гербицидом сплошного действия «Глифосат» в дозе 2 л/га по препарату + третья обработка: химическая обработка «Глифосат» в дозе 2 л/га по препарату.

Первая обработка проводилась 9.06, вторая – 11.07, третья 21.09.2022.

2. Лесостепная зона.

2.1. Контроль (без обработок).

2.2. Основная обработка почвы дискование в два следа на глубину 10-12 см дискатором БДМ 7х2П + вторая обработка см дискатором БДМ 7х2П на глубину 12-15 см.

2.3. Основная обработка: дискование в два следа дискатором БДМ 7х2 П на глубину 10-12 см + вторая обработка: химическая гербицидом «Глифосат» в дозе 2 л/га по препарату.

Первая обработка проводилась 9.07, вторая – 9.09.2022.

3. Степная зона.

3.1. Контроль (без обработок).

3.2. Основная обработка почвы: дискование дискатором БДМ 7х2П + вторая обработка: дискатором БДМ 7х2П на глубину 12-15 см.

3.3. Основная обработка дискатором БДМ 7х2П на глубину 10-12 см + вторая обработка: химическая гербицидом «Глифосат» в дозе 2 л/га по препарату.

Первая обработка проводилась 18.07, вторая – 8.09.2022.

Замеры проводили ежемесячно с интервалом 10-15 дней, начиная с мая месяца по октябрь. В качестве камер использовались пластиковые устройства – изоляторы, состоящие из основания высотой 10 см и цилиндрического сосуда с отверстием для забора почвенного воздуха высотой 20 см и диаметром 23,5 см.

Повторность трехкратная. Отбор газовых проб на содержание CO_2 в камерах проводили пробоотборником воздуха для почвенной камеры в герметично закрытые вакуумированные стеклянные флаконы (объем 30 мл) в течение суток через интервал в три часа. Анализ газовых проб проводили с использованием газового хроматографа.

Обсуждение

Сезонная динамика почвенной эмиссии углекислого газа зависит от природно-климатической зоны и технологий введения в оборот залежных земель. Опыты проводились на участках залежных земель с возрастом 5-10 лет, технология 1 (агротехническая – с большей интенсивностью обработок почвы) и технология 2 (комбинированная).

3.1. Подтаежная зона

Мониторинг почвенной эмиссии CO_2 в течение теплого сезона на залежи при введении в оборот с применением агротехнической технологии показал существенное варьирование ее размеров (рисунок 1) при наибольших показателях в июле (166,5 г) и наименьшими в сентябре (31,6 г $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$); на залежи при введении в оборот с применением комбинированной технологии соответственно 140,3 и 26,3. Причина этого – сезонная изменчивость температуры воздуха, температуры и влажности почвы. Агротехническая технология введения залежных земель в оборот способствовала большей эмиссии CO_2 , чем комбинированная. При этом различия в интенсивности потоков к сентябрю становятся существенно меньше.

Технологии введения залежных земель в оборот оказывают существенное влияние на эмиссию CO_2 . По сравнению с контролем она увеличилась при агротехнической технологии с 70,6 в контроле до 101,5, при комбинированной до 89,8 $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ (в среднем за период после начала обработок). При этом максимальное увеличение потока наблюдается в первые недели после первой обработки (таблица 2).

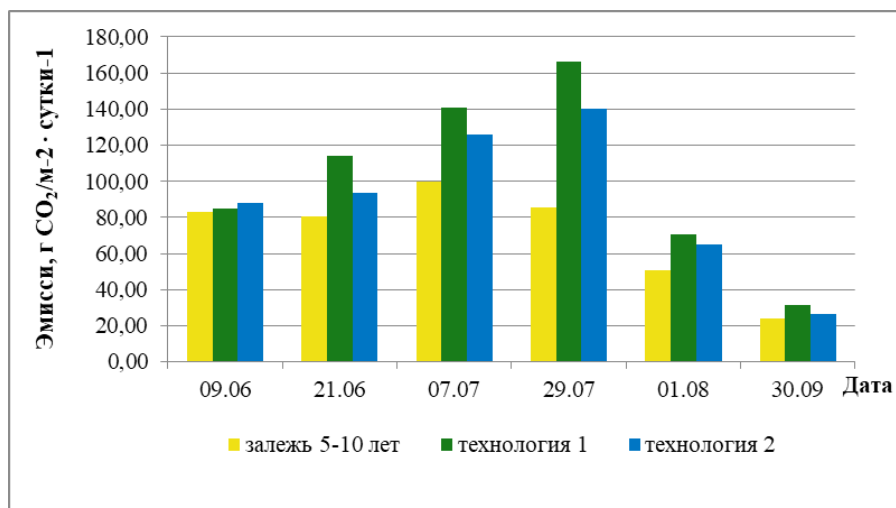


Рисунок 1 - Сезонная динамика почвенной эмиссии CO_2 при введении залежных земель в оборот в подтаежной зоне
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.2>

Таблица 2 - Интенсивность потока CO_2 при разных технологиях введения в оборот залежи в подтаежной зоне

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.3>

Период отбора проб	Контроль, г $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$	Технология 1, г $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$	Технология 2, г $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$
Июнь	81,96	99,55	90,56

Период отбора проб	Контроль, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 1, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 2, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹
Июль	92,55	153,72	133,26
Август	50,71	70,66	64,70
Сентябрь	23,85	31,59	26,25

3.2. Лесостепная зона

Мониторинг почвенной эмиссии CO₂ показал значительное изменение размеров углекислого газа (рисунок 2) при наибольших показателях в июле (53,1) и наименьшими в сентябре (27,1 г CO₂/м² · сутки⁻¹); на залежи при введении в оборот с применением комбинированной технологии соответственно 45,8 и 17,4 CO₂/м² · сутки⁻¹. Причина этого – сезонная изменчивость температуры воздуха, температуры и влажности почв. Агротехническая технология введения залежных земель в оборот способствовала большей эмиссии CO₂, чем комбинированная. При этом различия в интенсивности потоков меньше, чем в подтаежной зоне.

По сравнению с контролем, эмиссия CO₂ увеличилась с 31,4 в контроле до 41,2 при агротехнической технологии, а при комбинированной – до 33,9 CO₂/м² · сутки⁻¹ (в среднем за период после начала обработок) (таблица 3).

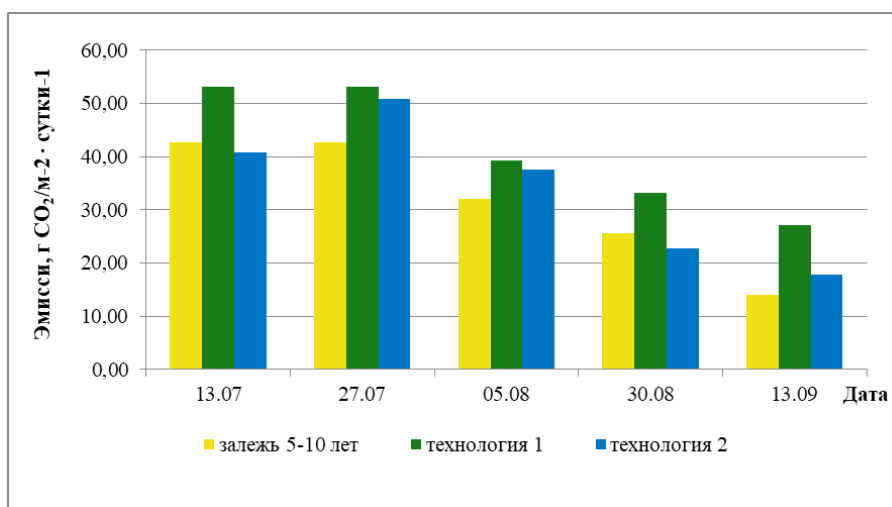


Рисунок 2 - Сезонная динамика почвенной эмиссии CO₂ при введении залежных земель в оборот в лесостепной зоне
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.4>

Таблица 3 - Интенсивность потока CO₂ при разных технологиях введения в оборот залежи в лесостепной зоне
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.5>

Период отбора проб	Контроль, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 1, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 2, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹
Июль	42,75	53,09	45,80
Август	28,83	36,27	30,17
Сентябрь	14,00	27,12	17,74

3.3. Степная зона

Мониторинг почвенной эмиссии CO₂ показал существенное варьирование размеров (рисунок 3) при наибольших показателях в июле (67,7) и наименьшими в сентябре (16,7 г CO₂/м² · сутки⁻¹); на залежи при введении в оборот с применением комбинированной технологии соответственно 54,4 и 14,1 CO₂/м² · сутки⁻¹. Агротехническая технология введения залежных земель в оборот способствовала большей эмиссии CO₂, чем комбинированная. При этом величина интенсивности потоков к сентябрю существенно уменьшается.

По сравнению с контролем поток диоксида углерода увеличился при агротехнической технологии с 21,3 в контроле до 34,5 CO₂/м² · сутки⁻¹, при комбинированной до 28,4 CO₂/м² · сутки⁻¹ (в среднем за период после начала обработок) (таблица 4).

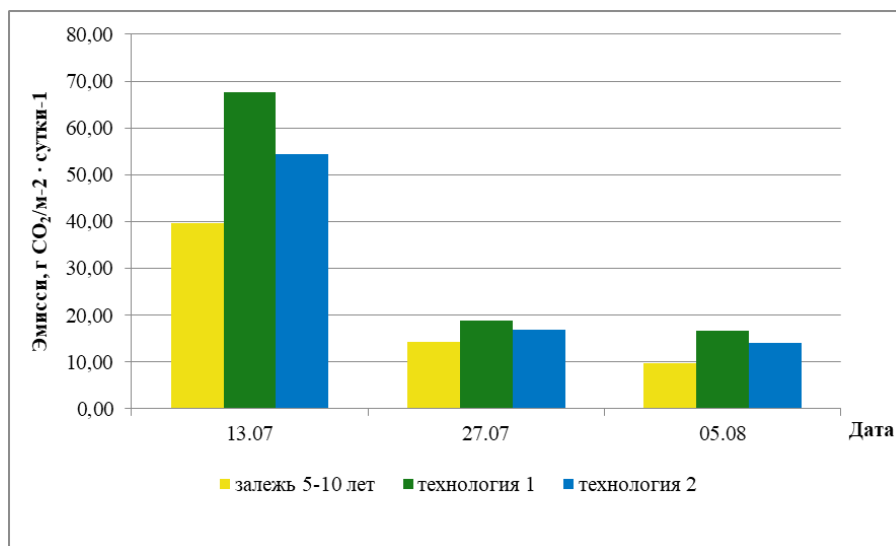


Рисунок 3 - Сезонная динамика почвенной эмиссии CO₂ при введении залежных земель в оборот в степной зоне
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.6>

Таблица 4 - Интенсивность потока CO₂ при разных технологиях введения в оборот залежи в степной зоне
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.54.3.7>

Период отбора проб	Контроль, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 1, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹	Технология 2, г CO ₂ /м ² · сутки ⁻¹
Июль	27,06	43,34	35,62
Август	9,77	16,70	14,10

Заключение

Технологии введения залежных земель в оборот оказывают существенное влияние на эмиссию CO₂. По сравнению с контролем она увеличилась при агротехнической технологии (обработка почвы) в 1,44 раза в подтаежной зоне, в 1,31 раза в лесостепной, 1,62 раза в степной. При комбинированной (обработка почвы + обработка гербицидами) соответственно в 1,27; 1,08; 1,33 раза. Агротехническая технология введения залежных земель в оборот способствовала большей эмиссии CO₂, чем комбинированная. Вероятно, основная причина этого – более высокая микробиологическая активность почвы при большем количестве обработок почвы, вследствие этого улучшается аэрация.

Финансирование

Научные исследования, положенные в основу публикации, проведены на средства гранта Российского научного фонда по приоритетному направлению «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (региональный конкурс), проведенного совместно с органами власти субъекта Российской Федерации (Омская область) по научному проекту: «Научно-обоснованная система мониторинга потоков парниковых газов при различных технологиях введения в оборот залежных земель», Соглашение № 22-17-20049.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The scientific research underlying this publication was carried out using funds from a grant from the Russian Science Foundation in the priority area of “Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by individual scientific groups” (regional competition), carried out jointly with the authorities of a constituent entity of the Russian Federation (Omsk Region) under the scientific project: “Scientifically based system for monitoring greenhouse gas flows under various technologies for introducing fallow lands into circulation”, Agreement No. 22-17-20049.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Комарова Т.В. Экологическая оценка сукцессионной динамики почвенных запасов углерода и потоков CO₂ в столетнем ряду зарастания залежи Центрально-Лесного заповедника / Т.В. Комарова, И.И. Васенев, Д.Р. Алилов [и др.] // *АгроЭкоИнфо*. — 2018. — № 3(33). — С. 30.
2. Бузылёв А.В. Пространственно-временное распределение влажности и динамики эмиссии парниковых газов из верхних почвенных горизонтов в пойменных залежных землях Башмаковского района Пензенской области / А.В. Бузылёв, М.В. Тихонова, А.И. Руденский // *АгроЭкоИнфо*. — 2022. — № 6(54). — С. 1–11. DOI: 10.51419/202126643.
3. Bhoobun R. Analysis of Carbon Dioxide Emission from Lawn Ecosystem with Contrasting Soil Profiles / B.R. Bhoobun, V.I. Vasenev, R.A. Hajiaghayeva // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. — 2016. — No. 4. — P. 10–17. DOI: 10.22363/2312-797X-2016-4-10-17.
4. Mosquera J. Precise Soil Management as a Tool to Reduce CH₄ and N₂O Emissions from Agricultural Soils / J. Mosquera, J.M. G. Hoi, C. Rappoldt. — Wageningen, 2007. — 42 p.
5. Сахабиев И.А. Оценка эмиссии углекислого газа при минерализации органического вещества различных агрегатных фракций залежных почв / И.А. Сахабиев, К.Г. Гиниятуллин, Е.В. Смирнова // *GREG 2022: Эмиссия парниковых газов сегодня и в геологическом прошлом: источники, влияние на климат и окружающую среду : сборник тезисов междунар. науч.-исслед. конф.* — Казань : Казан. фед. ун-т, 2022. — С. 40.
6. Иванов А.Л. Методологические подходы формирования единой Национальной системы мониторинга и учета баланса углерода и выбросов парниковых газов на землях сельскохозяйственного фонда Российской Федерации / А.Л. Иванов, И.Ю. Савин, В.С. Столбовой [и др.] // *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. — 2021. — Вып. 108. — С. 175–218. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218.
7. Bobrenko I. CO₂ at introduction of fallow into circulation on gray forest soil / I. Bobrenko, N. Goman, O. Drofa [et al.] // *BIO Web Conf.* — 2024. — No. 130. — P. 02002. DOI: 10.1051/bioconf/202413002002.
8. Азаренко Ю.А. Агроэкологическое состояние постагрогенных и введенных в пашню серых лесных почв Омского Прииртышья / Ю. А. Азаренко, С. Е. Зиненко // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. — 2024. — № 4. — С. 25–32.
9. Azarenko Y. Assessment of fallow grey forest soils fertility in sub-taiga zone of Omsk Priirtyshye / Y. Azarenko, Z. Alekseeva, S. Zinenko // *E3S Web of Conferences*. — 2023. — No. 462. — P. 03042.
10. Бобренко И.А. Мониторинг потоков диоксида углерода на разновозрастных залежах в различных природно-климатических зонах юга Западной Сибири / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, О.В. Дрофа [и др.] // *Экобиотех*. — 2024. — Т. 7. — № 2. — С. 129–140.
11. Азаренко Ю.А. Плодородие пахотных и залежных лугово-черноземных почв агроландшафтов южной лесостепи Омского Прииртышья / Ю. А. Азаренко, М. В. Бефус // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. — 2024. — № 1(53). — С. 5–15.
12. Azarenko Y. Saline fertility of fallow land massifs in the steppe zone of the Omsk Priirtyshye region / Y. Azarenko // *E3S Web of Conferences*. — 2023. — No. 462. — P. 02037.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Komarova T.V. Jekologicheskaja ocenka sukcesionnoj dinamiki pochvennyh zapasov ugleroda i potokov SO₂ v stoletnem rjadu zarastaniya zalezhi Central'no-Lesnogo zapovednika [Ecological assessment of successional dynamics of soil carbon stocks and CO₂ fluxes in a century-old succession of fallow land in the Central Forest Reserve] / T.V. Komarova, I.I. Vasenev, D.R. Aliilov [et al.] // *AgroEcoInfo*. — 2018. — No. 3(33). — P. 30. [in Russian]
2. Buzylyov A.V. Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie vlazhnosti i dinamiki jemissii parnikovyh gazov iz verhnih pochvennyh gorizontov v pojmennyh zaleznyh zemljah Bashmakovskogo rajona Penzenskoj oblasti [Spatio-temporal distribution of moisture and dynamics of greenhouse gas emissions from the upper soil horizons in floodplain fallow lands of the Bashmakovsky district of the Penza region] / A.V. Buzylyov, M.V. Tikhonova, A.I. Rudensky // *AgroEcoInfo*. — 2022. — No. 6(54). — P. 1–11. DOI: 10.51419/202126643. [in Russian]
3. Bhoobun R. Analysis of Carbon Dioxide Emission from Lawn Ecosystem with Contrasting Soil Profiles / B.R. Bhoobun, V.I. Vasenev, R.A. Hajiaghayeva // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. — 2016. — No. 4. — P. 10–17. DOI: 10.22363/2312-797X-2016-4-10-17.
4. Mosquera J. Precise Soil Management as a Tool to Reduce CH₄ and N₂O Emissions from Agricultural Soils / J. Mosquera, J.M. G. Hoi, C. Rappoldt. — Wageningen, 2007. — 42 p.
5. Sakhabiev I.A. Ocenka jemissii uglekislogo gaza pri mineralizacii organicheskogo veshhestva razlichnyh agregatnyh frakcij zaleznyh pochv [Assessment of carbon dioxide emissions during mineralization of organic matter in various aggregate fractions of fallow soils] / I.A. Sakhabiev, K.G. Giniyatullin, E.V. Smirnova // *GREG 2022: Jemissija parnikovyh gazov segodnja i v geologicheskom proshlom: istochniki, vlijanie na klimat i okruzhajushhuyu sredu : sbornik tezisov mezhdunar. nauch.-issled. konf. [GREG 2022: Greenhouse gas emissions today and in the geological past: sources, impact on climate and environment : Proceedings of the International Research Conference]*. — Kazan : Kazan Federal University, 2022. — P. 40. [in Russian]
6. Ivanov A.L. Metodologicheskie podhody formirovaniya edinoj Nacional'noj sistemy monitoringa i ucheta balansa ugleroda i vybrosov parnikovyh gazov na zemljah sel'skhozajstvennogo fonda Rossijskoj Federacii [Methodological approaches to the formation of a unified National System for Monitoring and Accounting of Carbon Balance and Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Lands of the Russian Federation] / A.L. Ivanov, I.Yu. Savin, V.S. Stolbovoy [et al.] // *Bjulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva [Bulletin of the Dokuchaev Soil Science Institute]*. — 2021. — Iss. 108. — P. 175–218. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-175-218. [in Russian]

7. Bobrenko I. CO₂ at introduction of fallow into circulation on gray forest soil / I. Bobrenko, N. Goman, O. Drofa [et al.] // *BIO Web Conf.* — 2024. — No. 130. — P. 02002. DOI: 10.1051/bioconf/202413002002.
8. Azarenko Yu.A. Agroekologicheskoe sostojanie postagrogennyh i vvedennyh v pashnju seryh lesnyh pochv Omskogo Priirtysh'ja [Agroecological state of post-agrogenic and newly cultivated gray forest soils of the Omsk Priirtyshye] / Yu.A. Azarenko, S.E. Zinenko // *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. — 2024. — No. 4. — P. 25–32. [in Russian]
9. Azarenko Y. Assessment of fallow grey forest soils fertility in sub-taiga zone of Omsk Priirtyshye / Y. Azarenko, Z. Alekseeva, S. Zinenko // *E3S Web of Conferences.* — 2023. — No. 462. — P. 03042.
10. Bobrenko I.A. Monitoring potokov dioksida ugleroda na raznovozrastnyh zalezah v razlichnyh prirodno-klimaticheskikh zonah juga Zapadnoj Sibiri [Monitoring of carbon dioxide fluxes in fallows of different ages in various natural and climatic zones of southern Western Siberia] / I.A. Bobrenko, N.V. Goman, O.V. Drofa [et al.] // *Ecobiotech.* — 2024. — Vol. 7. — No. 2. — P. 129–140. [in Russian]
11. Azarenko Yu.A. Plodorodie pahotnyh i zaleznyh lugovo-chernozemnyh pochv agrolandshaftov juzhnoj lesostepi Omskogo Priirtysh'ja [Fertility of arable and fallow meadow-chernozem soils in agro-landscapes of the southern forest-steppe of Omsk Priirtyshye] / Yu.A. Azarenko, M.V. Befus // *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Omsk State Agrarian University]. — 2024. — No. 1(53). — P. 5–15. [in Russian]
12. Azarenko Y. Saline fertility of fallow land massifs in the steppe zone of the Omsk Priirtyshye region / Y. Azarenko // *E3S Web of Conferences.* — 2023. — No. 462. — P. 02037.