



# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

<http://ecobiotech-journal.ru>


## МОНИТОРИНГ ПОТОКОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ЗАЛЕЖАХ В РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Бобренко И.А., Гоман Н.В., Дрофа О.В.\*,  
Бобренко Е.Г., Кадермас И.Г., Троценко И.А.,  
Коржова Л.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А.Столыпина», Омск, Россия  
\*E-mail: [ov.drofa@omgau.org](mailto:ov.drofa@omgau.org)

В работе отражена пространственно-временная изменчивость потоков CO<sub>2</sub> на залежных землях. Целью являлось определение почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> разновозрастными залежными землями с учетом природно-климатических зон юга Западной Сибири. Исследования проведены в трех природно-климатических зонах Омской области: степь, лесостепь, подтайга; в каждой зоне определены по три участка с разновозрастными залежными землями: 5-10, 10-20 и старше 20 лет. Почвенную эмиссию CO<sub>2</sub> измеряли с помощью экспозиционных камер с определением на газовом хроматографе. При сравнении интенсивности эмиссии CO<sub>2</sub> залежными землями в зависимости от природно-климатической зоны можно отметить, что в теплое время года максимальный уровень был в подтаежной зоне (в среднем за май-сентябрь 54,1 г CO<sub>2</sub> · м<sup>-2</sup> · сутки<sup>-1</sup>), затем следует величина потоков в лесостепной зоне (29,4), минимальный наблюдался в степной зоне (25,0). При этом максимум величины потоков отмечался в подтаежной зоне в июле, в лесостепной и степной – июне. Для более молодых залежей характерна большая величина почвенной эмиссии диоксида углерода по сравнению с более возрастными: в подтаежной зоне среднесезонная эмиссия залежами 5-10 лет в 1,30 раза выше, чем залежами возраста старше 20 лет, в лесостепной зоне соответственно в 1,51, степной – 1,63 раза. Суточная динамика почвенных потоков CO<sub>2</sub> имеет повышенный уровень в утренние и дневные часы, уменьшалась в вечерние и ночные часы не зависимо от зоны.

*Ключевые слова:* почвенные потоки ♦ углекислый газ ♦ залежные земли ♦ Западная Сибирь

Поступила в редакцию: 04.04.2024

[Цитировать | Cite as](#)

DOI: 10.31163/2618-964X-2024-7-2-129-140

## MONITORING OF CARBON DIOXIDE FLUXES IN DEPOSITS OF DIFFERENT AGES IN VARIOUS NATURAL AND CLIMATIC ZONES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Bobrenko I.A., Homan N.V., Drofa O.V.\*,  
Bobrenko E.G., Kadermas I.G., Trotsenko I.A.,  
Korzhova L.V.

Federal State Budgetary Educational Institution  
of Higher Education "Omsk State Agrarian University  
named after P.A.Stolypin", Omsk, Russia  
\*E-mail: [ov.drofa@omgau.org](mailto:ov.drofa@omgau.org)

The paper reflects the spatial and temporal variability of CO<sub>2</sub> fluxes on fallow lands. The aim was to determine the soil CO<sub>2</sub> emissions from fallow lands of different ages, taking into account the natural and climatic zones of the south of Western Siberia. The research was carried out in three natural and climatic zones of the Omsk region: steppe, forest-steppe, subtaiga; in each zone, three sites with different age fallow lands were identified: 5-10, 10-20 and older than 20 years. The soil CO<sub>2</sub> emission was measured using exposure chambers with determination on a gas chromatograph. When comparing the intensity of CO<sub>2</sub> emissions from fallow lands, depending on the natural and climatic zone, it can be noted that in the warm season the maximum level was in the subtaiga zone (on average for May-September 54.1 g of CO<sub>2</sub> · m<sup>-2</sup> · day<sup>-1</sup>), followed by the magnitude of flows in the forest-steppe zone (29.4), the minimum It was observed in the steppe zone (25.0). At the same time, the maximum value of the flows was observed in the subtaiga zone in July, in the forest-steppe and steppe zone in June. Younger deposits are characterized by a large amount of soil carbon dioxide emissions compared with older ones: in the subtaiga zone, the average seasonal emission of deposits 5-10 years old is 1.30 times higher than deposits older than 20 years, in the forest-steppe zone, respectively, 1.51, steppe – 1.63 times. The daily dynamics of soil CO<sub>2</sub> fluxes has an increased level in the morning and afternoon hours, decreased in the evening and night hours, regardless of the zone.

*Keywords:* soil flows ♦ carbon dioxide ♦ fallow lands ♦ Western Siberia

Принято в печать: 12.09.2024



EDN: TJEIKI

## ВВЕДЕНИЕ

В результате антропогенной деятельности происходит изменение климата за счет увеличения концентрации в атмосфере парниковых газов. Отрасль сельскохозяйственного землепользования способствует этому [Беляев и др., 2022; Курганова и др., 2019; Любимова, 2022; Люри и др., 2018; Строков и др., 2020].

В 1992 г. 154 странами была подписана рамочная Конвенция ООН об изменении климата, согласно которой, все страны, включенные в члены Организации экономического сотрудничества и развития и страны с переходной экономикой, обязаны предоставлять ежегодную отчетность по антропогенным выбросам парниковых газов на их территории [Кудеяров, 2018], а 16 февраля 2005 г. вступил в силу Киотский протокол.

Подготовка ежегодной отчетности и контроль эмиссии парниковых газов обуславливает необходимость разработки методологии и создания системы их мониторинга. Актуальной задачей перед агропромышленным комплексом стоит увеличение площади посевов за счет введения в оборот потенциально плодородных залежных земель [Стукач и др., 2020], в связи с чем остро стоит вопрос по оценке баланса углерода в агроэкосистеме [Васенев, Комарова, 2018; Ерохина и др., 2013; Карелин и др., 2015; Комарова, 2018, 2019].

Учитывая высокую степень неопределенности оценок биогенных эмиссий парниковых газов [Махныкина и др., 2018; Сорокин и др., 2021; Чимитдоржиева, Чимитдоржиева, 2011; Ananieva et al., 2016; Silva-Olaya et al., 2013] система мониторинга должна быть разработана и для оценки различных залежных земель в зависимости от природной зоны, почвенного покрова и рельефа [Bobrenko et al., 2021; Nezhevlyak et al., 2022a; Nezhevlyak et al., 2022b; Voronkova et al., 2020], а также технологий их введения в оборот. Это позволит уточнить общие оценки вклада залежных земель в депонирование и баланс углерода. Мониторинг по оценке разновозрастных залежных земель в различных природных зонах позволит принимать решения по управлению депонированием и балансом углерода.

Цель: определить почвенную эмиссию CO<sub>2</sub> разновозрастных залежных земель с учетом природно-климатических зон юга Западной Сибири.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

**Объекты исследований.** Объектами исследований являлись залежные земли различных групп возрастов в разных природно-климатических зонах юга Западной Сибири и размеры почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>. На ключевых участках залежных земель проведены научные исследования в трех природно-климатических зонах юга Западной Сибири в Омской области: степь (Черлакский район, д. Преображенка), лесостепь (Кормиловский район, д. Сосновка), подтайга (Тарский район, г. Тара); в каждой зоне определены по три участка с разновозрастными залежными землями: 5-10, 10-20 и старше 20 лет.

В подтаежной зоне территория исследований расположена в геоморфологическом районе Оше-Иртышской водораздельной равнины. Почва участка молодой залежи – серая

лесная мощная суглинистая, средневозрастной залежи – серая лесная среднemocная суглинистая.

Растительный покров участка молодой залежи с возрастом до 10 лет представлена мятликом расставленным (*Poa remota*), овсяницей красной (*Festuca rubra*), пыреем ползучим (*Elytrigia répens*), хвощом лесным (*Equisétum sylvaticum*), звездчаткой (*Stellária*), смолевкой белой (*Siléne latifolia*), лапчаткой гусиной (*Potentilla anserina*), щавельком малым (*Rumex acetosella*), горошком мышиным (*Vicia cracca*), осотом желтым (*Sonchus arvensis*), лютиком ползучим (*Ranunculus repens*), сурепкой обыкновенной (*Barbarea vulgaris*), зверобоем продырявленным (*Hypericum perforatum*). Растительность участка средневозрастной залежи (10-20 лет) была близка по видовому составу молодой залежи. Кроме перечисленных растений имелись единичные экземпляры канареечника тростниковидного (*Phalaris arundinacea*) и незабудки лесной (*Myosotis sylvatica*).

Обследованные залежные массивы лесостепной зоны (Кормиловский район) относятся к Западно-Барабинской плиоцен-четвертичной денудационно-аккумулятивной равнине. Почвенный покров залежного участка с возрастом до 10 лет представляет комплекс солонца лугово-черноземного коркового малонатриевого столбчатого тяжелосуглинистого и лугово-черноземной среднemocной и маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвы.

Растительность представлена разнотравно-мятливой ассоциацией: овсяница ложноовечья (*Festuca pseudovina*), полынь селитряная (*Artemisia nitrosa*), пырей ползучий (*Elytrigia répens*), земляника обыкновенная (*Fragária véscа*), зопник клубненосный (*Phlomis tubérosa*), синеголовник плоский (*Eryngium planum*), лютик ползучий (*Ranunculus repens*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*), молочай лозный (*Euphorbia virgata*), мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis*), подорожник средний (*Plantago media*).

Почвенный покров участка средневозрастной залежи с возрастом 10-20 лет сформирован лугово-черноземной маломощной среднегумусовой тяжелосуглинистой и лугово-черноземной среднemocной среднегумусовой тяжелосуглинистой почвами в комплексе с солонцом лугово-черноземным корковым столбчатым тяжелосуглинистым.

Растительный покров средневозрастной залежи был близок по видовому составу молодой залежи, а кроме вышеназванных растений произрастали кострец безостый (*Brōmus inērmis*) и ноннея темная (*Nonea pulla*).

На старозалежном участке с возрастом более 20 лет находятся солонец лугово-черноземный осолоделый мелкий столбчатый глинистый, солонцы лугово-черноземные корковые тяжелосуглинистые, луговая маломощная суглинистая почва.

На территории участка растительный покров состоит из овсяницы ложноовечьей (*Festuca pseudovina*), мятлика лугового (*Poa pratensis*), пырея ползучего (*Elytrigia répens*), полыни сизой (*Artemisia glauca*), молочая лозного (*Euphorbia virgata*), земляники обыкновенной (*Fragária véscа*), лабазника вязолистного (*Filipéndula ulmária*), звездчатки (*Stellária*), синеголовника плоского (*Eryngium planum*), мелколепестника канадского (*Erigeron canadensis*), лапчатки гусиной (*Potentilla anserina*), тысячелистника (*Achilléa millefólium*), костреца безостого (*Brōmus inērmis*), ноннеи темной (*Nonea pulla*).

Территория ключевых участков степной зоны (Черлакский район) приурочена к геоморфологическому району Курумбельской впадины, являющейся частью Западно-Барабинской плиоцен-четвертичной денудационно-аккумулятивной равнины.

При обследовании почв участка молодой залежи обнаружены солонец лугово-черноземный осолоделый средний малонатриевый столбчатый тяжелосуглинистый; солонец лугово-черноземный корковый столбчатый тяжелосуглинистый, а также солодь луговая мелкодерновая малогумусовая тяжелосуглинистая возле березового колка.

Растительность молодой залежи представлена овсяницей ложноовечьей (*Festuca pseudovina*), мятликом луговым (*Poa pratensis*), пыреем ползучим (*Elytrigia répens*), редко кострецом безостым (*Brōmus inērmis*), полынью селитряной (*Artemisia nitrosa*), лапчаткой гусиной (*Potentilla anserina*), подмаренником желтым (*Galium verum*), вероникой метельчатой (*Veronica spuria*), зопником клубненосным (*Phlōmis tubérosa*), астрой солончаковой (*Tripolium vulgare*), синеголовником плоским (*Eryngium planum*), икотником серо-зеленым (*Bertéroa incána*), ковылем перистым (*Stipa pennata*), земляникой обыкновенной (*Fragária véscа*), пустырником пятилопастным (*Leonúrus quinquelobátus*), чабрецом (*Thýmus serpyllum*), лабазником вязолистным (*Filipéndula ulmária*), тысячелистником белым (*Achillea umbellata*), лисохвостом луговым (*Alopecurus pratensis*), подорожником средним (*Plantago media*).

Почвы средневозрастного залежного участка (10-20 лет) представлены черноземно-луговыми тяжелосуглинистыми солонцами разных родов и видов: осолоделыми средним и глубоким столбчатыми, мелкими глыбистым и столбчатым.

Растительный покров средневозрастной залежи включал овсяницу ложноовечью (*Festuca pseudovina*), пырей ползучий (*Elytrigia répens*), полынь селитрянную (*Artemisia nitrosa*), астру солончаковую (*Tripolium vulgare*), ситник Жерара (*Júncus gerárdi*), лапчатку гусиную (*Potentilla anserina*), ковыль перистый (*Stipa pennata*). Встречаются кустарнички спиреи (*Spiraea*), тысячелистник белый (*Achillea umbellata*), вероника метельчатая (*Veronica spuria*), подмаренник желтый (*Galium verum*), чабрец (*Thýmus serpyllum*), кострец безостый (*Brōmus inērmis*), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), землянику обыкновенную (*Fragária véscа*).

На старозалежном участке (более 20 лет) почвенный покров сформирован солонцами черноземно-луговыми: мелким и средним столбчатыми тяжелосуглинистыми.

Растительность представлена овсяницей ложноовечьей (*Festuca pseudovina*), полынью сизой (*Artemisia glauca*) и селитряной (*Artemisia nitrosa*), ковылем перистым (*Stipa pennata*), астрой солончаковой (*Tripolium vulgare*), ситником Жерара (*Júncus gerárdi*). Встречается тысячелистник белый (*Achillea umbellata*), кермек обыкновенный (*Limonium vulgare*), вероника метельчатая (*Veronica spuria*). Растения находились в угнетенном состоянии в условиях засухи.

**Методы исследований.** Эмиссия диоксида углерода определялась на ключевых участках залежных земель 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 на каждой залежи была трехкратная. Из почвенных камер пробоотборником воздуха через 5, 10, 30 минут в течении суток (24 часа) через каждые три часа проводили отбор проб на содержание  $\text{CO}_2$  и закачивали их в герметично закрытые вакуумированные стеклянные флаконы (объем 30 мл). Конечное определение содержания  $\text{CO}_2$  проводили на газовом хроматографе Кристалл 5000.2.

Параллельно с отбором проб воздуха определяли температуру и влажность почвы (каждые 10 см до 100 см), температуру воздуха. Температуру почвы определяли при помощи почвенных термометров, влажность почвы – весовым методом. Расчет интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  из почвы производился по формуле [Курганова, 2010]:

$$\text{ИВ } \text{CO}_2 = (\text{C}_2 - \text{C}_1) \cdot \text{H}/\text{t},$$

где ИВ  $\text{CO}_2$  – эмиссия  $\text{CO}_2$ , мг  $\text{C}/\text{м}^2$  /час;  $\text{C}_2$  и  $\text{C}_1$  – конечная и начальная концентрации  $\text{CO}_2$  внутри изолятора, мг  $\text{C}/\text{м}^3$ ;  $\text{H}$  – высота изолятора над поверхностью почвы, м;  $\text{t}$  – время экспозиции, час.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Почвенная эмиссия  $\text{CO}_2$  – динамичный показатель, сильно варьирующий в зависимости от природно-климатической зоны, времени года (сезона) и суток [Комарова, 2019; Курганова, 2010; Махныкина и др., 2018; Неведров и др., 2022]. Проведенные исследования выявили значительную сезонную динамику и пространственную изменчивость почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$ .

Основными факторами, влияющими на почвенную эмиссию  $\text{CO}_2$  являются температура воздуха, температура и влажность почвы [Заварзин, Кудеяров, 2006; Саган-Тумэн и др., 2018; Сорокин и др., 2021].

На протяжении всего периода измерений средняя температура воздуха колебалась в подтаежной зоне от 0,5 °C в сентябре до 21,5 в июне, в лесостепи от 11,0 °C в мае до 24,5 °C в июле и в степной зоне от 13,0 °C до 24,0 °C в мае (рис. 1).

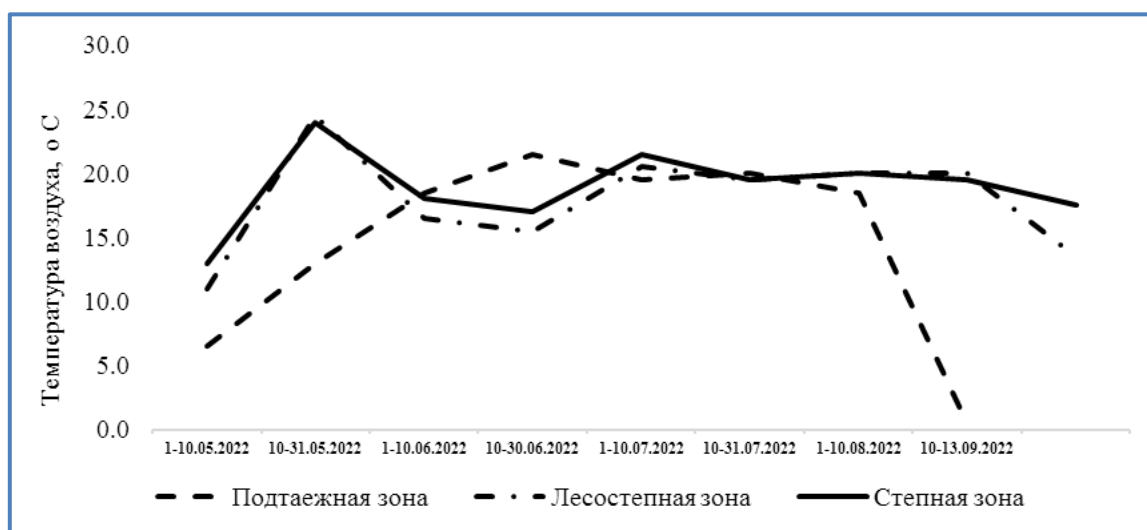


Рис. 1. Сезонная динамика температуры воздуха по природно-климатическим зонам Омской области.

Влажность почв варьировала в разных природно-климатических зонах на залежах разного возраста (рис. 2).

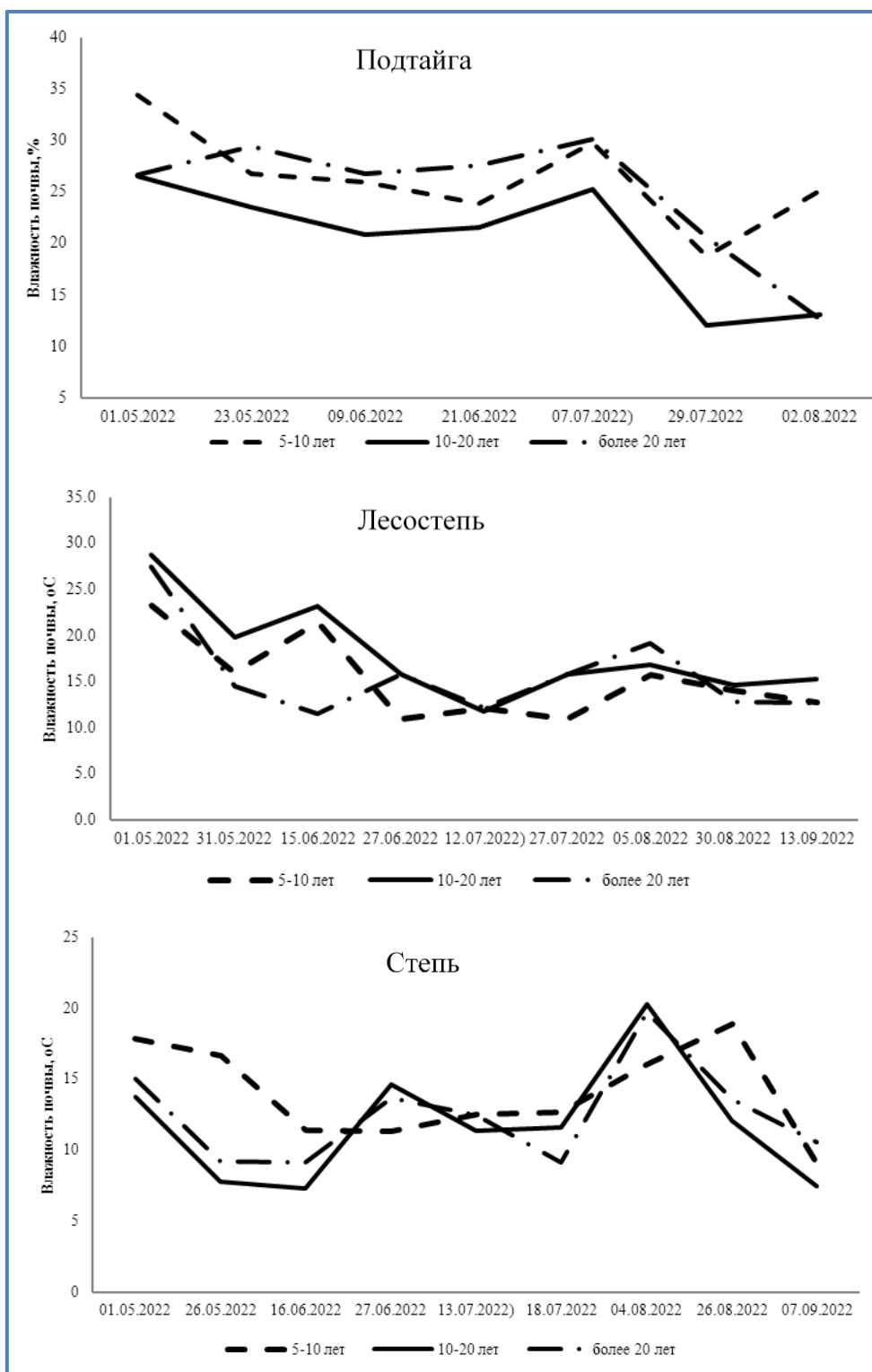


Рис. 2. Сезонная динамика влажности почвы по природно-климатическим зонам Омской области.

В подтаежной зоне за весь период наблюдений минимальное значение влажности почвы 12,6 % отмечено в августе на старой залежи (более 20 лет), а максимальное – 34,4 % на молодой залежи (5-10 лет) в первой декаде мая.

В лесостепи минимальное значение влажности почвы 11,0 % отмечалось с третьей декады июня по июль на молодой залежи, а максимальное – 28,8 % в первой декаде мая

на средней залежи и 23,3 % на залежи старше 20 лет. В степи наблюдалась обратная тенденция, что объясняется природно-климатическими условиями зоны. Максимальные значения этого показателя отмечались в августе от 18,9 % (молодая залежь) до 20,3 % на залежи среднего возраста (10-20 лет), минимальные значения – 7,3 % на залежных землях среднего возраста во второй декаде июня.

В целом, за весь период исследований, по всем природно-климатическим зонам повышенная влажность почв отмечается на залежах всех групп возрастов в первой декаде мая, далее по всем участкам идёт тенденция на снижение влажности и снова повышение этого показателя в июле-августе, вновь снижаясь в сентябре. Однако, на протяжении всего теплого периода влажность почвы возрастала с юга на север: от степной зоны, где она значительно ниже, к лесостепной и максимум в подтаежной зоне.

*Подтаежная зона.* Обследованная территория зоны расположена в геоморфологическом районе Оше-Иртышской водораздельной равнины. Почва участка молодой залежи – серая лесная мощная суглинистая (Luvic Greyzemic Phaeozems), средневозрастной и старовозрастной залежи – серая лесная среднемощная суглинистая (Luvic Greyzemic Phaeozems) [Nezhevlyak et al., 2022a; Voronkova et al., 2020].

На протяжении с мая по сентябрь динамика почвенных потоков  $\text{CO}_2$  (рис. 3) показала значительное их варьирование с отчетливыми максимумами в летние месяцы (33,1-99,6 г  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ ) и минимумами – весной (май) и осенью (сентябрь), соответственно 18,7-44,9 г и 10,5-23,8 г  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ . На сезонную динамику эмиссии  $\text{CO}_2$  существенное влияние оказало изменение влажности почв, температуры воздуха и почвы.

Отмечается отличие уровня размеров потоков  $\text{CO}_2$  между залежами в зависимости от их возраста. Средняя величина потока  $\text{CO}_2$  на залежи с возрастом 5-10 лет – 61,7, 10-20 лет – 52,9, старше 20 лет – 47,6  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

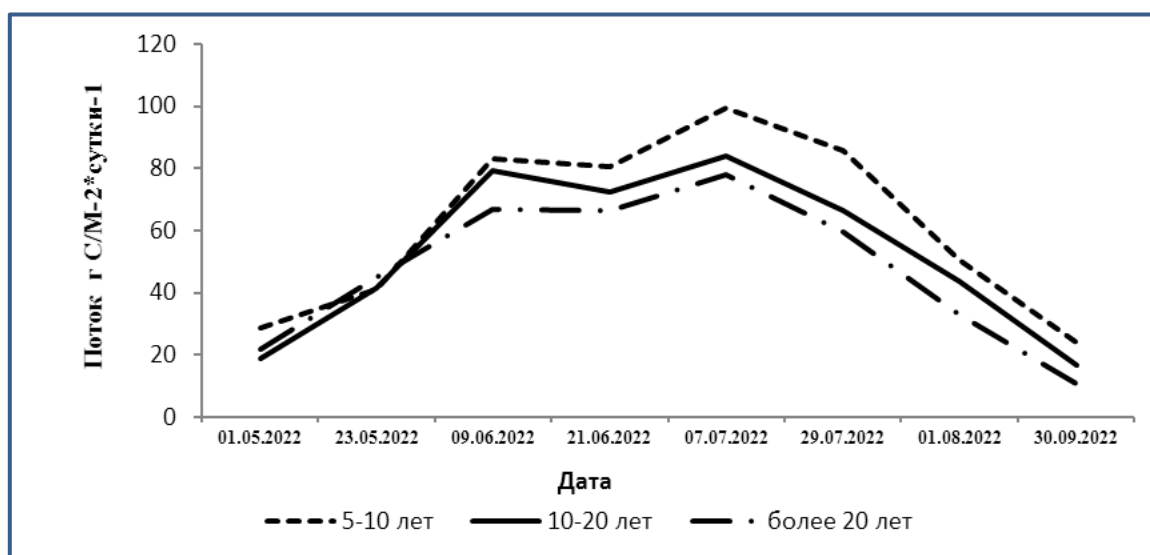


Рис. 3. Сезонная динамика почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  на разновозрастных залежах подтаежной зоны юга Западной Сибири (май-сентябрь, 2022 г.).

В течении суток почвенная эмиссия имела повышенный уровень в утренние и дневные часы, уменьшалась в вечерние и ночные часы.

*В подтаежной зоне,* наиболее выраженная суточная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  была в июле - от 69,4 г до 111,6 г  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$  на залежи возрастом до 10 лет, в июне – от 74,7 г до 85,6 г  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$  и в мае - от 34,8 г до 55,6 г  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ , при наиболее контрастных ночных и дневных значениях температуры воздуха и почвы при большей

интенсивности почвенных потоков  $\text{CO}_2$  в утренние и дневные часы и меньшей – в вечерние и ночные часы. Диапазон показателей почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  в течение суток несколько сокращался и в сентябре составил от 17,9 до 28,5  $\text{CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

**Лесостепная зона.** Обследованные залежные массивы лесостепной зоны относятся к Западно-Барабинской плиоцен-четвертичной денудационно-аккумулятивной равнине [Bobrenko et al., 2021; Nezhevlyak et al., 2022б]. Почвенный покров залежного участка с возрастом до 10 лет представляет комплекс солонца лугово-черноземного коркового малонатриевого столбчатого тяжелосуглинистого и лугово-черноземной среднетощей и маломощной среднетощей тяжелосуглинистой почвы (Gleyic Solonetz). Почвенный покров участка средневозрастной залежи с возрастом 10-20 лет сформирован лугово-черноземной маломощной и среднетощей среднетощей тяжелосуглинистой почвой в комплексе с солонцом лугово-черноземным корковым столбчатым тяжелосуглинистым (Gleyic Chernozems). На старозалежном участке с возрастом более 20 лет находятся солонец лугово-черноземный осолоделый мелкий столбчатый глинистый (Gleyic Solonetz Albic).

На залежах лесостепной зоны эмиссия  $\text{CO}_2$  была максимальная в период с мая по июль (21,5-47,6  $\text{г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ ) и минимальная в сентябре – 10,5-14,0  $\text{г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ . Сезонная динамика потоков диоксида углерода в существенной степени определялась изменениями абиотических факторов среды.

Отмечается определенная дифференциация потоков  $\text{CO}_2$  в зависимости от возраста залежами: чем она старше, тем меньше эмиссия. Средняя величина потока  $\text{CO}_2$  на залежи с возрастом 5-10 лет – 35,0, 10-20 лет – 29,9, старше 20 лет – 23,2  $\text{г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

В лесостепной зоне повышенный уровень эмиссии отмечался в утренние и дневные часы, пониженный – в вечерние и ночные часы. Максимальная суточная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  отмечена на залежи возрастом до 10 лет (рис. 4).

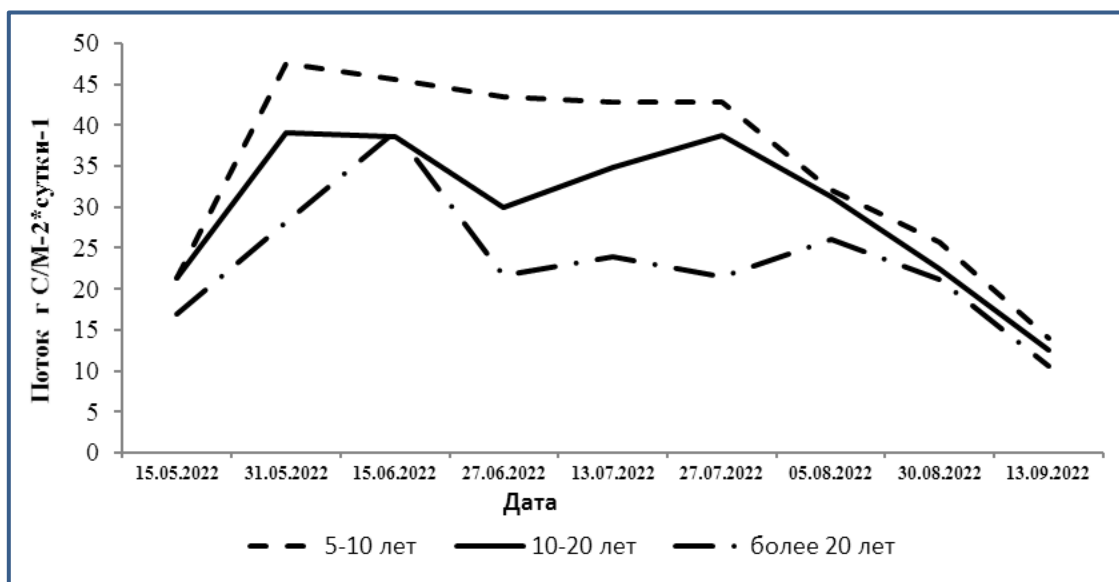


Рис. 4. Сезонная динамика почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  на разновозрастных залежах лесостепной зоны юга Западной Сибири (май-сентябрь, 2022 г.).

**Степная зона.** Территория ключевых участков степной зоны приурочена к геоморфологическому району Курумбельской впадины, являющейся частью Западно-Барабинской плиоцен-четвертичной денудационно-аккумулятивной равнины [Nezhevlyak et al., 2022б].

При обследовании почв участка молодой залежи обнаружены солонец лугово-черноземный осолоделый средний малонатриевый столбчатый тяжелосуглинистый



и солонец лугово-черноземный корковый столбчатый тяжелосуглинистый (Gleyic Solonetz Albic).

Почвы средневозрастного залежного участка (10-20 лет) представлены черноземно-луговыми тяжелосуглинистыми солонцами разных родов и видов: осолоделыми средним и глубоким столбчатыми, мелкими глыбистым и столбчатым (Gleyic Solonetz Albic).

На старозалежном участке (более 20 лет) почвенный покров сформирован солонцами черноземно-луговыми: мелким и средним столбчатыми тяжелосуглинистыми (Gleyic Solonetz Albic и Gleyic Solonetz).

Сезонная динамика почвенных потоков  $\text{CO}_2$  в степной зоне (рис. 5) показала значительное их варьирование в изучаемый период с отчетливыми максимумами с мая по июнь ( $20,7-52,2 \text{ г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ ) и минимумами – с июля по сентябрь ( $4,4-39,8 \text{ г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ ).

Констатировалась дифференциация интенсивности потоков  $\text{CO}_2$  между залежами в зависимости от их возраста. Средняя величина потока  $\text{CO}_2$  на залежи с возрастом 5-10 лет – 31,3, 10-20 лет – 24,5, старше 20 лет – 19,2  $\text{г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ .

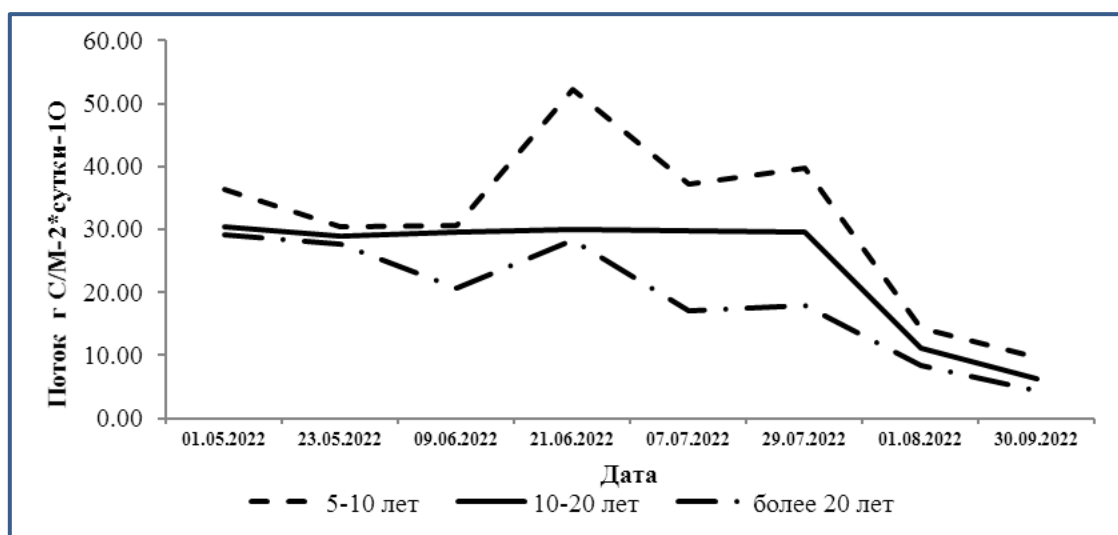


Рис. 5. Сезонная динамика почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  на разновозрастных залежах степной зоны юга Западной Сибири (май-сентябрь, 2022 г.).

В течении суток динамика почвенных потоков  $\text{CO}_2$  в степной зоне также, как и в других природно-климатических зонах, имеет повышенный уровень в утренние и дневные часы.

Суточная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  на ключевых участках степной зоны изменялась в зависимости от возраста залежи. Максимальная динамика эмиссии была отмечена на залежи возрастом до 10 лет в период июня месяца. С увеличением возраста залежи сезонная динамика потока уменьшалась. При сравнении суточного потока  $\text{CO}_2$  наименьшее значение он имел в августе и сентябре.

При сравнении интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  залежными землями юга Западной Сибири можно отметить, что в теплое время года максимальный уровень был в подтаежной зоне (в среднем за май-сентябрь  $54,1 \text{ г CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}^{-1}$ ), затем – в лесостепной зоне (29,4), минимальный наблюдался в степной зоне (25,0). При этом максимум величины потоков в подтаежной зоне отмечался в июле, в лесостепной и степной – июне. Одной из основных причин данной закономерности является увлажнение почвы: чем оно выше, тем интенсивнее выделение  $\text{CO}_2$ . Также существенное влияние оказывала температура воздуха: в степной зоне высокие температуры в мае-июне обеспечили прогрев почвы и хорошую микробиологическую активность и максимум почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$ .

Отмечается влияние возраста залежных земель на уровень почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>. Для более молодых залежей характерна большая величина почвенной эмиссии диоксида углерода по сравнению с более возрастными. Так в подтаежной зоне средне сезонная эмиссия залежами 5-10 лет в 1,30 раза выше, чем залежами возраста старше 20 лет, в лесостепной зоне соответственно в 1,51, степной – 1,63 раза.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> на ключевых участках исследуемых разновозрастных залежей Юга Западной Сибири в 2022 г. показал значительное варьирование показателей размеров потоков как в зависимости от природно-климатической зоны, так и в течение сезона.

Исследования показали существенную пространственно-временную изменчивость почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> на залежных землях. Ее размеры увеличиваются в различных природно-климатических зонах с юга на север и по мере уменьшения возраста залежи. Суточная динамика почвенных потоков CO<sub>2</sub> имеет повышенный уровень в утренние и дневные часы, уменьшалась в вечерние и ночные часы независимо от зоны.

На основе полученных данных эмиссии диоксида углерода из почвы были получены модели почвенной эмиссии CO<sub>2</sub>. Значимые корреляции ( $r > 0,35$ ) в условиях года были получены для эмиссии (y) почв ключевых участков с температурой почвы. Влажность почвы влияла на эмиссию, но в меньшей степени. Поэтому в уравнениях регрессии (таблица 1) в качестве независимой переменной для оценки эмиссии использовалась только температура почвы (°C) на глубине 10 см (x):

**Таблица 1. Зависимость почвенной эмиссии диоксида углерода от температуры почвы на разновозрастных залежных землях природно-климатических зон юга Западной Сибири**

Категория залежи (возраст, лет)	Природно-климатическая зона		
	подтаёжная	лесостепная	степная
Молодая (5-10)	$y = 2,68x - 1,13$ ( $r = 0,59$ )	$y = 1,59x - 8,66$ ( $r = 0,53$ )	$y = 0,95x + 0,78$ ( $r = 0,63$ )
Средневозрастная (10-20)	$y = 2,26x + 13,73$ ( $r = 0,41$ )	$y = 1,58x - 7,62$ ( $r = 0,37$ )	$y = 1,08x + 0,13$ ( $r = 0,61$ )
Старая (20-30)	$y = 1,41x + 6,10$ ( $r = 0,44$ )	$y = 1,25x - 7,17$ ( $r = 0,41$ )	$y = 0,54x + 2,51$ ( $r = 0,55$ )

Математические модели почвенной эмиссии диоксида углерода в зависимости от абиотических факторов окружающей среды позволят не только разработать принципы управления отдельными секторами углеродного цикла, но и научно обоснованно разработать модели сохранения почвенного плодородия при вводе в сельскохозяйственный оборот залежных земель.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

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.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев В.И., Варлагин А.В., Дридигер В.К., Курганова И.Н. и др.* Мировая климатическая повестка. Почвозащитное ресурсосберегающее (углеродное) земледелие как стандарт межнациональных и национальных стратегий по сохранению почв и аграрных карбоновых рынков // *International Agricultural Journal*. 2022. Т. 65, № 1. DOI: 10.55186/25876740-2022-6-1-26. EDN JNFHGT.
2. *Васенев, И.И., Комарова Т.В.* Сукцессионная динамика почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в хронологическом ряду зарастания залежи на дерново-палево-подзолистых почвах // Доклады ТСХА: Сборник статей, Москва, 05–07 декабря 2017 года. Том Выпуск 290, Часть IV. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2018. С. 382-384.
3. *Ерохина О.Г., Паникин К.М., Насыров Р.М.* Изменение запасов углерода в подземной биомассе и почвах Центральной части Казахского мелкосопочника при различных способах обработки // *Почвоведение и агрохимия*. 2013. № 2. С. 10-19. EDN CUTSPR.
4. *Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н.* Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник Российской академии наук*. 2006. Т. 76. № 1. С. 14-24. EDN: HSYMIZ
5. *Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лунин В.Н. и др.* Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в черноземной лесостепи // *Почвоведение*. 2015. № 11. С. 1354. DOI: 10.7868/S0032180X1511009X EDN: UIMGXP
6. *Комарова Т.В.* Экологическая оценка почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в сукцессионном ряду зарастания залежи на территории Центрально-Лесного заповедника: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Т.В. Комарова; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»], 2019. 159 с.
7. *Комарова Т.В.* Годовая динамика почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> при зарастании залежи на дерново-палево-подзолистых почвах // *Ломоносов-2018: Тезисы докладов XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Москва: ООО "МАКС Пресс". 2018. С. 81-82.
8. *Кудеяров В.Н.* Углеродный баланс наземных экосистем на территории России к 25-летию принятия рамочной конвенции ООН об изменении климата // *Вестник Российской академии наук*. 2018. Т. 88. № 2. С. 179-183. DOI: 10.7868/S0869587318020093
9. *Курганова И.Н., Семенов В.М., Кудеяров В.Н.* Климат и землепользование как ключевые факторы стабильности органического вещества в почвах // *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 489, № 6. С. 646-650. DOI: 10.31857/S0869-56524896646-650
10. *Курганова И.Н.* Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.27, 03.00.16 / И.Н. Курганова; [Место защиты: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Фак. почвоведения]. Москва, 2010. 48 с.
11. *Любимова И.Н.* Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // *Почвоведение*. 2022. № 10. С. 1301-1309.
12. *Люри Д.И., Некрич А.С., Карелин Д.В.* Изменение пахотных площадей в России в 1990-2015 гг. и почвенная эмиссия диоксида углерода // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2018. № 3. С. 70-76. EDN: WDJVHN
13. *Махныкина А.В., Полосухина Д.А., Кошурникова Н.Н., Прокушкин А.С.* Изменения почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> в таежных экосистемах Центральной Сибири: от суточной до межсезонной динамики // *Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем*. 2018. Т. 1, № 3. С. 205-210. DOI: 10.23885/2500-395x-2018-1-3-205-210

14. *Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И.* Пространственно-временная изменчивость эмиссии CO<sub>2</sub> из альфегумусовых песчаных почв лесостепной зоны на примере г. Курска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1366-1377. DOI: [10.31857/S0032180X22110090](https://doi.org/10.31857/S0032180X22110090) EDN: ASFGIT
15. *Саган-Тумэн, Д.Ж., Цыдыпов М.В., Малханова Е.В.* Динамика почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности аллювиальной луговой почвы залежного и агрофитоценозов // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 кн., Барнаул, 15–16 февраля 2018 года / ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет». Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2018. С. 98-99.
16. *Сорокин А.Е., Савич В.И., Жуланова В.Н., Мохаммади Ш. и др.* Агроэкологическая оценка депонирования CO<sub>2</sub> почвами сухостепной зоны // Плодородие. 2021. № 2 (119). С. 65-67. DOI: [10.25680/S19948603.2021.119.17](https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.119.17)
17. *Строков А., Денперманн А., Поташников В., Романовская А. И др.* Проблемы адаптации аграрной политики России к целям устойчивого развития // Экономическая политика. 2020. Т. 15, № 6. С. 140-165. DOI: [10.18288/1994-5124-2020-6-140-165](https://doi.org/10.18288/1994-5124-2020-6-140-165)
18. *Стукач В.Ф., Долматова О.Н., Евдохина О.С., Старовойтова Н.П.* Сельскохозяйственные земли региона: трансформация, тенденции последних лет, восстановление плодородия // Московский экономический журнал. 2020. № 3. С. 15. DOI: [10.24411/2413-046X-2020-10189](https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10189) EDN: MHWGNS.
19. *Чимитдоржиева Э. Чимитдоржиева Д.Г.* Эмиссия диоксида углерода из постагрогенных степных и сухостепных почв западного Забайкалья // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011. № 2. С. 93-102. EDN: OCRHLD
20. *Ananieva N.D., Rogovaya S.V., Ivashchenko K.V., Vasenev V.I. et al.* Carbon dioxide emission and soil microbial respiration activity of chernozems under anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems // Eurasian Journal of Soil Science. 2016. Т. 5. № 2. С. 146-154. DOI: [10.18393/EJSS.2016.2.146-154](https://doi.org/10.18393/EJSS.2016.2.146-154)
21. *Bobrenko I.A., Matveychik O.A., Bobrenko E.G., Popova V.I.* Changes in humus content in forest-steppe soils of Western Siberia // Earth and environmental science. 2021. V. 624 (1). Article 012219. DOI: [10.1088/1755-1315/624/1/012219](https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012219) EDN: QVJXJQ
22. *Nezhevlyak O., Bobrenko E., Dolgova D., Korolev A.* Agro-ecological assessment of the soil cover of the forest zone in Omsk region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA" 2022a. С. 012052.
23. *Nezhevlyak O., Bobrenko E., Korolev A., Dolgova D.* Agro-ecological characteristics of arable soils of the forest-steppe and steppe in Omsk region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA" 2022b. С. 012053 DOI: [10.1088/1755-1315/954/1/012053](https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012053) EDN: BHCANN
24. *Silva-Olaya A.M., Cerri C., La Scala N. (Jr.), Dias C., Cerri C.* Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane // Environ. Res. Lett. 2013. 8. Article 015014. DOI: [10.1088/1748-9326/8/1/015014](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014)
25. *Voronkova N.A., Bobrenko I.A., Nevenchannaya N.M., Popova V.I.* Efficiency of biologization of agriculture in Western Siberia (on the example of the Omsk region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020. № 548 (2). Article 022071. DOI: [10.1088/1755-1315/548/2/022071](https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022071) EDN: SEFGQH

Цитировать как

Бобренко И.А., Гоман Н.В., Дрофа О.В., Бобренко Е.Г., Кадермас И.Г., Троценко И.А., Коржова Л.В. Мониторинг потоков диоксида углерода на разновозрастных залежах в различных природно-климатических зонах юга Западной Сибири // Экобиотех, 2024, Т. 7 № 2. С. 129-140. DOI: [10.31163/2618-964X-2024-7-2-129-140](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2024-7-2-129-140) EDN: TJEIKI

Cited as

Bobrenko I.A., Homan N.V., Drofa O.V., Bobrenko E.G., Kadermas I.G., Trotsenko I.A., Korzhova L.V. Monitoring of carbon dioxide fluxes in deposits of different ages in various natural and climatic zones of the south of Western Siberia. *Ekobiotek*. 2024, V. 7 (2). P. 129-140. DOI: [10.31163/2618-964X-2024-7-2-129-140](https://doi.org/10.31163/2618-964X-2024-7-2-129-140) EDN: TJEIKI (In Rus.)