

УДК 574.42:504.7

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭМИССИИ CO<sub>2</sub> ИЗ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ г. КУРСКА

© 2022 г. Н. П. Неведров<sup>а, \*</sup>, Д. А. Саржанов<sup>б</sup>, Е. П. Проценко<sup>а</sup>, И. И. Васнев<sup>с</sup><sup>а</sup>Курский государственный университет, ул. Радищева, 33, Курск, 305000 Россия<sup>б</sup>Российский университет дружбы народов, ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198 Россия<sup>с</sup>РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550 Россия

\*e-mail: 9202635354@mail.ru

Поступила в редакцию 28.04.2022 г.

После доработки 30.05.2022 г.

Принята к публикации 30.06.2022 г.

Представлены данные, характеризующие пространственно-временную изменчивость эмиссии диоксида углерода из альфегумусовых песчаных почв лесостепи Среднерусской провинции (на примере г. Курска). Оценка проводилась *in situ* методом закрытых камер. Исследованы факторы, определяющие особенности суточной и сезонной вариабельности почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> для подзолов (Albic Podzol (Arenic)) и дерново-подзолов иллювиально-железистых песчаных (Albic Podzol (Arenic, Ochric)). Получены тренды, характеризующие трансформацию базовых биологических, морфологических, физических, химических и физико-химических свойств подзолов иллювиально-железистых песчаных в условиях сукцессионной смены хвойных лесонасаждений на широколиственные леса (дубравы). Суточная скорость эмиссии CO<sub>2</sub> из дерново-подзолов была в 1.8 раза больше, а при оценке сезонной динамики в 2.1 раза больше, чем из подзолов. Температура почв является фактором, определяющим сезонную вариабельность скорости потоков CO<sub>2</sub> из подзолов и дерново-подзолов песчаных, а влажность почв обуславливает ее пространственную вариабельность. Сукцессионные процессы, происходящие в сосновых лесонасаждениях, могут увеличивать углероддепонирующий потенциал почв. Запасы гумуса в Albic Podzols (Arenic) относительно (Albic Podzols (Arenic, Ochric)) г. Курска возростали с 17.2 до 38.4–56.2 т/га. Способность депонирования углерода в биомассе древесных пород лиственного леса увеличилась на 50% относительно соснового леса.

**Ключевые слова:** сосновые насаждения, микробиота, подзол иллювиально-железистый песчаный (Albic Podzol (Arenic)), дерново-подзол иллювиально-железистый песчаный (Albic Podzol (Arenic, Ochric)), влажность почв, температура почв

DOI: 10.31857/S0032180X22110090

### ВВЕДЕНИЕ

Песчаные почвы в лесостепи, как правило, занимают надпойменно-террасные ландшафты, образованные легкими древнеаллювиальными и флювиогляциальными отложениями. В надпойменных террасах, покрытых травянистой растительностью и лиственными лесами, присутствуют серогумусовые (дерновые) песчаные почвы (Eutric Arenosol (Ochric)) [14, 27], сформированные по дерново-степному механизму в течение всего голоцена на наносах климатогенной дефляции [4]. В настоящее время большая площадь этих ландшафтов в лесостепной зоне занята разновозрастными насаждениями сосны обыкновенной, которые были созданы в конце XIX, а также в начале и середине XX в. в ходе реализации

государственных программ по лесовосстановлению и лесоразведению [10, 19]. Площадь сосновых лесов в Курской области составляет около 26 тысяч гектаров – 11.9% лесного фонда региона [8]. Сосновые лесонасаждения выполняют защитную функцию для территорий, подверженных антропогенному воздействию, а также рекреационную функцию, являясь местом расположения санаторно-курортных комплексов и баз отдыха [15].

Высадка хвойных пород деревьев на песчаных отложениях рек в природно-климатических условиях лесостепи способствовала интенсификации подзолистого процесса и последующей трансформации серогумусовых (дерновых) песчаных почв в азональные альфегумусовые подзолы песчаные. Подзолы песчаные являются достаточно

редким типом почв в лесостепи, но стоит отметить, что они покрывают до 4% площади мировой суши, что сопоставимо с черноземами [27, 30].

В условиях глобальных климатических изменений и перехода современной экономики на низкоуглеродное развитие необходимо задействовать все имеющиеся ресурсы, которые позволят уменьшить эмиссию CO<sub>2</sub> в атмосферу, а также увеличить объемы поглощения CO<sub>2</sub> из атмосферы и депонирования органического углерода почвами [33, 34]. При этом изменение климата играет важную роль в динамике углеродного цикла [28]. Почвенная эмиссия CO<sub>2</sub> может составлять до 90% от общего объема эмиссии этого климатически активного газа в экосистемах [6, 13, 23, 35].

Для оптимизации антропогенной нагрузки на почвенный покров важно понимать, какой вклад вносит каждая почвенная разность в общую эмиссию CO<sub>2</sub> и как ее можно использовать в целях снижения темпов климатических изменений [16, 20, 32]. Согласно данным современных исследований, Курская область входит в число наиболее уязвимых к климатическим изменениям регионов РФ [3, 22, 24, 25]. Данные по оценке пространственно-временных вариаций эмиссии CO<sub>2</sub> из азональных почв могут экстраполироваться для регионов других природных зон. В глобальном аспекте детализированные данные по эмиссии CO<sub>2</sub> из почв различных экосистем позволят найти подходы и разработать механизмы ее регулирования с целью достижения углеродной нейтральности.

Приспевающие и спелые хвойные леса могут длительное время являться нетто-поглотителем CO<sub>2</sub>, но в условиях антропогенного воздействия (рубок, загрязнения, рекреационной нагрузки), массового поражения пород вредителями, а также при изменениях климатических условий такие леса могут становиться нетто-эмитентами [5, 9]. Согласно климатическому сценарию RCP8.5 [37], температура приземного слоя атмосферы к 2100 г. повысится на 4°C, что приведет к значительным сокращениям площадей хвойных лесов, которые будут замещаться листопадными лесами умеренной зоны [9, 37].

Растительный покров сосновых лесов сильно зависит от рельефа и количества выпадающих осадков. В более увлажненных понижениях рельефа в сосняках наблюдается заселение мелколиственных и широколиственных пород (дуба черешчатого, березы белой, клена остролистного) и травянистых видов (осоковых, злаковых). На сухих выровненных территориях под сомкнутыми кронами сосны растительный покров развит крайне слабо. Здесь наблюдается обилие мертвопокровных участков. На осветленных участках, где проективное покрытие крон низкое, господствуют лишайники и зеленые мхи [18]. Семенное

возобновление сосны практически не отмечается. Участки, поврежденные ветровалами и рубками, активно заселяются лиственными породами. По результатам проведенных ранее исследований выявлен отчетливый сукцессионный тренд, развивающийся по сценарию сосновый лес – смешанный лес – лиственный лес, скорость которого обусловлена рядом природных и антропогенных факторов [17]. Смена растительного покрова в ходе отмеченной естественной сукцессии приводит к трансформациям подзолов песчаных, которые подвергаются значимым преобразованиям за относительно короткие периоды [30].

Цель работы – оценить пространственно-временную динамику эмиссии CO<sub>2</sub> из подзолов песчаных в ходе сукцессионной смены лесобразующих пород.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в урочище “Горелый лес”, расположенном в Восточной части г. Курск. Выпадение осадков и температура воздуха за период исследований в 2021 г. находились в пределах климатической нормы (рис. 1).

Общая площадь урочища составляет 116 га. Хвойно-лиственным лесом покрыто 99.5 га [21]. Сейчас растительный покров урочища на 40% от общей площади лесного массива представлен естественной порослевой дубравой (средний возраст древостоя – 80 лет) и на 60% – насаждениями сосны обыкновенной возрастом 70 лет [2, 15]. Внутри урочища активно развивается естественная сукцессия, направленная на замещение насаждений сосны обыкновенной на дубраву. В рамках исследуемой территории выделялось 3 вида лесных экосистем, которые составляют сукцессионную серию: экосистемы с монодоминантными насаждениями сосны обыкновенной (далее: “сосновый лес”), экосистемы со смешанным лесом (сосна обыкновенная совместно с лиственными породами (далее: “смешанный лес”), и экосистемы с полным замещением сосны обыкновенной на лиственные породы (далее “лиственный лес”). В этих экосистемах проведена почвенная съемка, заложены почвенные разрезы и пробурены скважины с применением почвенного бура-пробоотборника Робур-Грунт. В каждой экосистеме заложено по 5 репрезентативных пробных площадок (рис. 2).

Диагностику и классификацию почв проводили согласно [26, 29]. Почвы ключевого участка “сосновый лес” представлены подзолами иллювиально-железистыми песчаными (Albic Podzol (Arenic)), участков “смешанный лес” и “лиственный лес” – дерново-подзолами иллювиально-железистыми песчаными (Albic Podzol (Arenic, Ochric)). Морфологические свойства исследуемых почв в рам-

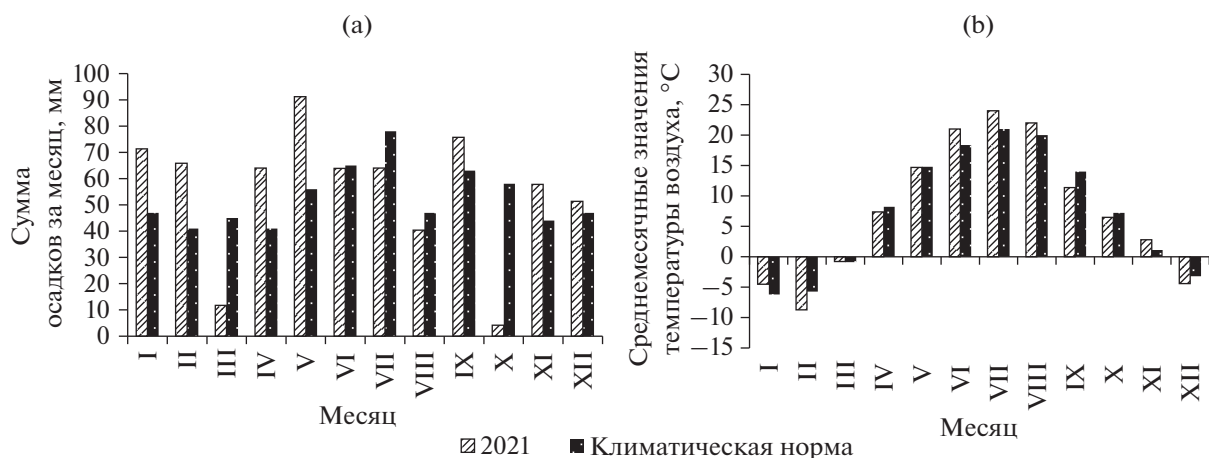


Рис. 1. Количество осадков (а) и температура воздуха (б) в 2021 г. на территории города Курска по сравнению с климатической нормой.

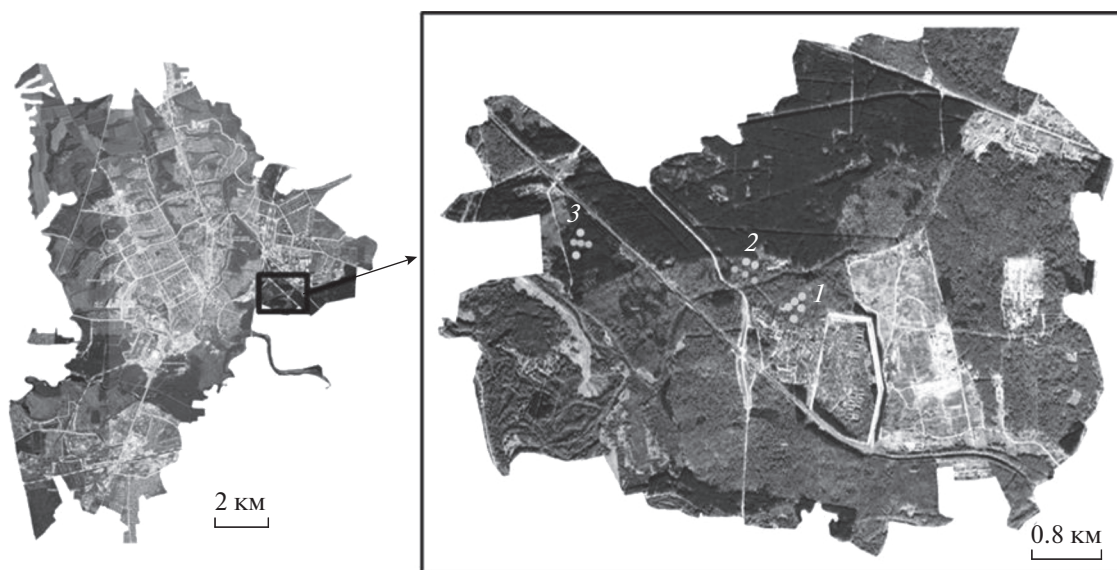


Рис. 2. Расположение участков исследования в урочище “Горелый лес”: 1 – сосновый лес, 2 – смешанный лес, 3 – лиственный лес.

ках серии сосновый лес – смешанный лес – лиственный лес отражены в описаниях разрезов, изложенных в [17].

В каждой экосистеме выполнено по 3 почвенных разреза и 2 скважины для уточнения мощности генетических горизонтов. Пробы почв отобраны сопряженно с генетическими горизонтами в соответствии с ГОСТ 17.14.3.01-83, ГОСТ 28168-89 и ГОСТ 14.4.4.02-84. С применением стандартных методик определены базовые физико-химические свойства почв: органическое вещество по Тюрину (ГОСТ 26213-91),  $pH_{KCl}$  (ГОСТ 26483-85), гидролитическая кислотность, легкогидролизуемый азот (по Корнфилду), подвижный фосфор

(ГОСТ 26204-91), обменный калий (ГОСТ 26204-91), обменные основания (ГОСТ 27821-88). В каждой точке измерением эмиссии  $CO_2$  определяли температуру (термометром Checktemp, Hanna, Германия; усреднение проведено для слоя 0–10 см) и влажность почвы (датчик SM300, Eijkelkamp, Нидерланды; интегрирован по глубине 0–7 см) внутри и снаружи каждого основания в трех повторениях, температура воздуха снаружи и внутри камеры.

Измерение потоков  $CO_2$  осуществлено *in situ* камерным методом с помощью высокоточного инфракрасного газоанализатора Li-820 (Licor Biosciences, USA) согласно методике [16, 20]. На

каждом участке напочвенные основания диаметром 20 см в восьмикратной повторности врезались в почву на глубину 5 см. С помощью зажимов на них закрепляли экспозиционную камеру объемом 7.2 л. Время экспозиции 5 мин. Измерения осуществляли с периодичностью 1 раз в 2 недели. Полученные скорости эмиссии CO<sub>2</sub> (г CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> сут) учитывались как средние для ближайших к дню замера 14 сут (7 предшествующих замеру и 7 следующих за замером) и использовались для расчета суммарной эмиссии CO<sub>2</sub> за вегетационный сезон. В рамках оценки сезонной динамики почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> измерения проводили 1 раз в сутки с 9.00 до 13.00 ч, поскольку именно этот промежуток времени оптимально отражает среднесуточные значения изучаемого показателя [16, 20]. При оценке суточной динамики эмиссии CO<sub>2</sub> из почв измерения проводили во второй декаде июня каждые 3 ч в течение пяти суток, в восьмикратной повторности в каждой экосистеме. Микробиологическую активность почв определяли путем выращивания основных групп почвенных микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицетов) на питательных средах (ГМФ-агар, среда Чапека, среда Гаузе I); отбор проб почв для определения микробиологической активности осуществляли в мае. Статистическую обработку данных проводили с применением Microsoft Excel (2010). Целлюлозолитическую активность определяли аппликационным методом. Плотные полиэтиленовые полоски 10 × 10 см, обшитые сухой стерильной льняной тканью, вертикально погружали в подготовленные разрезы верхнего горизонта почвы и плотно прижимали почвенной массой так, чтобы край полотна выступал на 1 см. Извлечение льняных полотен осуществляли 1 раз в месяц, после чего их отмывали от почвы и высушивали. Интенсивность целлюлозолитической активности определяли по изменению массы льняного полотна от момента его внесения до момента извлечения.

Данные по потокам представлены в виде среднего значения ± доверительный интервал за каждый день отбора с каждого участка. Корреляционный (коэффициент корреляции Пирсона при  $\alpha = 0.05$ ) и регрессионный анализ (линейный и нелинейный) проводились по 105-ти измерениям исследуемых параметров для каждой экосистемы. Значимость коэффициента корреляции Пирсона проверяли на основе *t*-критерия Стьюдента путем расчетов *t*-статистики ( $t_p$ ) и последующим сравнением с табличными значениями ( $t_r$ ) [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Трансформация базовых свойств почв.** Растительная сукцессия на ключевых участках с присутствием лиственных пород приводила к превалированию дернового процесса в почвенном

покрове и способствовала образованию дерново-подзолов песчаных. Эти процессы сопровождались активным накоплением гумуса в верхней части почвенного профиля с 0.5 до 1.8%. Аналогичная тенденция наблюдалась с показателем запаса гумуса в метровой толще почвы (табл. 1).

Почвенная сукцессия также сопровождалась отчетливыми изменениями физико-химических свойств почв. Диапазон варьирования показателя рН<sub>KCl</sub> в профиле дерново-подзолов был значительно меньше (0.2 единицы рН), чем в подзолах (0.5 единицы рН). Также прослеживалось накопление макроэлементов в серогумусовых горизонтах дерново-подзолов. Содержание подвижного фосфора возрастало на 45.4%, обменного калия — на 130%, легкогидролизуемых форм азота — на 200%. Для исследуемых почв характерна низкая (менее 50%) степень насыщенности основаниями, что является диагностическим признаком подзолистого процесса [1]. В горизонтах АУ дерново-подзолов песчаных обеспеченность основаниями возрастала, что говорит о затухании подзолистого процесса.

Анализ данных микробиологической активности почв показал, что в сукцессионном ряду сосновый лес — лиственный лес биомасса микромицетов уменьшается в 2.5 раза, в то время как биомасса бактериальной флоры и актиномицетов увеличивается в 26.1 и 4.2 раза соответственно (табл. 2).

Изменения микробиологической активности связаны со сменой видового состава фитоценоза, определяющего качество и количество растительного опада, и с изменением свойств почв (содержанием гумуса, азота, калия, фосфора, гидротермическими условиями). Стоит отметить, что в почвах участка “смешанный лес” численность бактерий и актиномицетов в весенний период значительно меньше, чем в почвах участков “сосновый лес” и “лиственный лес”, что, по-видимому, связано с межвидовыми конкурентными взаимоотношениями микроорганизмов, ассоциированных с лиственными породами и микроорганизмов, ассоциированных с сосной обыкновенной.

Более высокую активность микромицетов в почвах соснового и смешанного лесов по сравнению с почвами лиственного леса также подтверждают полученные данные по скорости разложения целлюлозы (рис. 3).

В почвах экосистем с присутствием сосны обыкновенной в составе лесобразующих пород скорость разложения льняного полотна в течение вегетационного сезона была больше на 7.0–26.2%, чем в почвах лиственного леса. Однако стоит отметить усиление целлюлозолитической активности дерново-подзолов лиственного леса в июле, что скорее всего обусловлено поступлени-

**Таблица 1.** Основные характеристики исследуемых подзолов и дерново-подзолов иллювиально-железистых песчаных

| Генетический горизонт   | Гумус, %    | pH <sub>KCl</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N щ.г. | S,<br>смоль(экв)/<br>кг | Запас гумуса,<br>т/га |
|---|-------------|-------------------|-------------------------------|------------------|--------|-------------------------|-----------------------|
|   |             |                   | мг/кг                         |                  |        |                         |                       |
| Подзол иллювиально-железистый песчаный (сосновый лес)           |             |                   |                               |                  |        |                         |                       |
| E   | 0.5 ± 0.1   | 4.7 ± 0.2         | 22 ± 1                        | 30 ± 2           | 28 ± 2 | 0.4 ± 0.2               | 17.2 ± 2.1            |
| Bf  | 0.2 ± 0.1   | 5.2 ± 0.1         | 33 ± 3                        | 30 ± 2           | 25 ± 2 | 3.2 ± 0.3               |                       |
| C   | 0.1 ± 0.1   | 5.2 ± 0.1         | 95 ± 5                        | 32 ± 3           | 12 ± 1 | 6.0 ± 1.1               |                       |
| Дерново-подзол иллювиально-железистый песчаный (смешанный лес)  |             |                   |                               |                  |        |                         |                       |
| AУ  | 1.2 ± 0.1   | 4.7 ± 0.2         | 18 ± 1                        | 42 ± 2           | 35 ± 1 | 0.8 ± 0.1               | 38.4 ± 3.7            |
| E   | 0.11 ± 0.1  | 4.6 ± 0.2         | 11 ± 3                        | 20 ± 2           | 28 ± 1 | 1.2 ± 0.2               |                       |
| Bf  | 0.12 ± 0.1  | 4.8 ± 0.1         | 55 ± 4                        | 25 ± 2           | 24 ± 2 | 1.2 ± 0.1               |                       |
| C   | 0.04 ± 0.01 | 4.8 ± 0.3         | 61 ± 6                        | 29 ± 4           | 23 ± 1 | 2.7 ± 0.4               |                       |
| Дерново-подзол иллювиально-железистый песчаный (лиственный лес) |             |                   |                               |                  |        |                         |                       |
| AУ  | 1.8 ± 0.1   | 4.5 ± 0.1         | 32 ± 2                        | 69 ± 3           | 84 ± 2 | 3.2 ± 0.3               | 56.2 ± 2.9            |
| E   | 0.4 ± 0.1   | 4.4 ± 0.1         | 20 ± 4                        | 25 ± 4           | 24 ± 2 | 0.4 ± 0.1               |                       |
| Bf  | 0.2 ± 0.1   | 4.6 ± 0.2         | 103 ± 7                       | 33 ± 2           | 20 ± 2 | 0.4 ± 0.1               |                       |
| C   | 0.06 ± 0.02 | 4.5 ± 0.1         | 84 ± 5                        | 24 ± 3           | 21 ± 3 | 4.6 ± 0.2               |                       |

**Таблица 2.** Численность основных групп почвенных микроорганизмов в подзолах и дерново-подзолах иллювиально-железистых песчаных на исследуемых участках

| № п/п | Участок        | Тип почвы (генетический горизонт) | Основные функциональные группы почвенных микроорганизмов, КОЕ/г почвы |                            |                             |
|-------|----------------|-----------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|
|       |                |                                   | бактерии  | грибы                      | актиномицеты                |
| 1     | Сосновый лес   | Подзол песчаный (E)               | $4.2 \times 10^8 \pm 0.4$   | $16.0 \times 10^2 \pm 1.1$ | $37.3 \times 10^8 \pm 1.0$  |
| 2     | Смешанный лес  | Дерново-подзол песчаный (AУ)      | $1.1 \times 10^8 \pm 0.1$   | $8.8 \times 10^2 \pm 0.7$  | $13.9 \times 10^8 \pm 0.4$  |
| 3     | Лиственный лес | Дерново-подзол песчаный (AУ)      | $109.5 \times 10^8 \pm 1.0$   | $6.4 \times 10^2 \pm 0.3$  | $155.3 \times 10^8 \pm 1.3$ |

ем свежего растительного опада и ростом биомассы грибной микрофлоры.

**Сезонная динамика потоков диоксида углерода из почвы.** Неоднородность структуры растительного покрова и базовых свойств почв, сформировавшаяся в ходе сукцессии сосновых лесонасаждений, определила пространственную вариабельность скорости потоков CO<sub>2</sub> из почв исследуемых участков. Значения показателя скорости эмиссии CO<sub>2</sub> из подзола на участке “сосновый лес” во все месяцы исследования были в 1.2–5.2 раза меньше таковых из дерново-подзола участка “лиственный лес” (рис. 4а).

Дерново-подзолы участка “смешанный лес”, как правило, обладали более высокими значениями скорости потока CO<sub>2</sub> (до 5.7 раза), чем подзолы соснового леса. В рамках исследуемой сукцессии альфегумусовых почв лесостепной зоны

(подзол → дерново-подзол) отмечается увеличение скорости и объема эмиссии CO<sub>2</sub>.

Скорость потоков CO<sub>2</sub> из исследуемых альфегумусовых почв сильно варьировала в течение сезона. Минимальная скорость на всех исследуемых участках была характерна для апреля (2.3–4.3 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут)) и ноября (0.9–4.3 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут)). Максимальные скорости эмиссии CO<sub>2</sub> приходились на летние месяцы (июнь, июль) и составляли порядка 12.8–29.1 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут), что объясняется благоприятными гидротермическими условиями. В целом сезонный ход скорости эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы для всех исследуемых участков был сходным — максимальные значения показателя наблюдались в летние месяцы.

Температура почвы в большей степени обуславливала сезонную динамику показателя скорости эмиссии CO<sub>2</sub> на каждом исследуемом

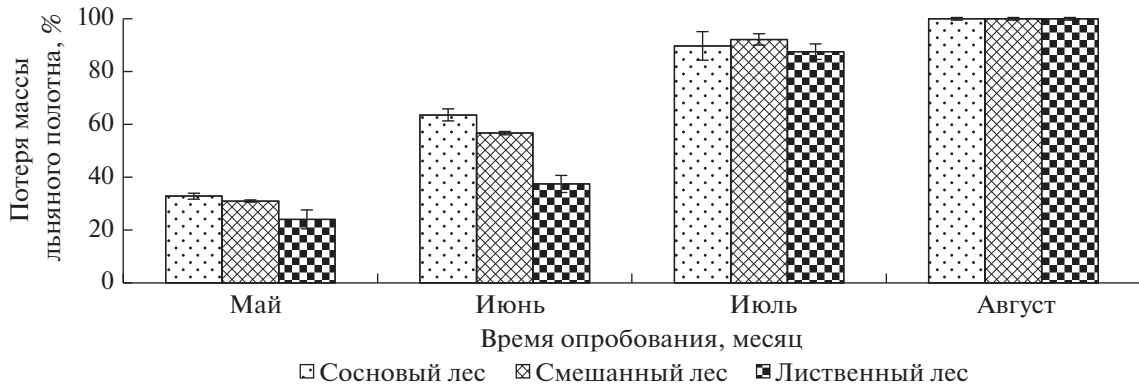


Рис. 3. Оценка скорости разложения целлюлозы в почвах исследуемых участков. Приведены средние и доверительные интервалы ( $n = 5$ ).

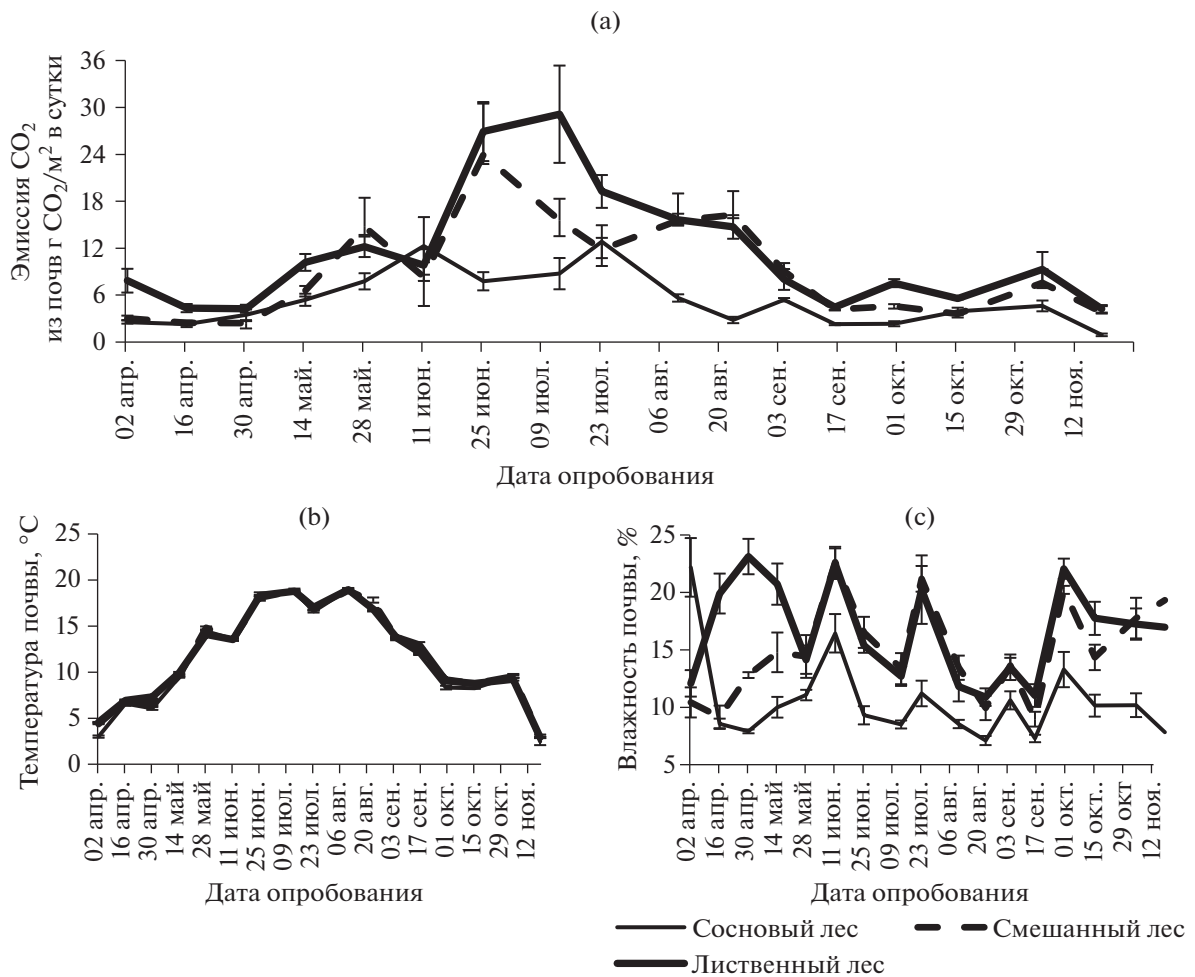


Рис. 4. Сезонная динамика скорости эмиссии CO<sub>2</sub> (a), температуры (b) и влажности (c) почв на исследуемых участках. Приведены средние и их доверительные интервалы ( $n = 8$ ).

**Таблица 3.** Регрессионная связь между скоростью эмиссии CO<sub>2</sub> и температурой почв исследуемых участков ( $n = 105$ ,  $y$  – скоростью эмиссии CO<sub>2</sub>,  $t$  – температура почвы)

| Участок        | Тип почвы (генетический горизонт) | Уравнение регрессии              | Коэффициент детерминации $R^2$ |
|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Сосновый лес   | Подзол песчаный (Е)               | $y = 0.632t^{0.823}$             | 0.45                           |
| Смешанный лес  | Дерново-подзол песчаный (АУ)      | $y = 1.5001e^{0.1255t}$          | 0.67                           |
| Лиственный лес | Дерново-подзол песчаный (АУ)      | $y = 0.122t^2 - 1.651t + 10.713$ | 0.58                           |

участке. Кривая сезонного хода температуры почвы имела конфигурацию аналогичную кривым скорости потоков CO<sub>2</sub> (рис. 4б).

В целом температурный режим почв между участками не имел существенных различий, что обусловлено их близким расположением (максимальная удаленность составляла 2.6 км) и почти одновременными измерениями.

Влажность почв значительно менялась как на протяжении всего периода исследования, так и каждого месяца (рис. 4с), что объясняется неравномерностью выпадения осадков (рис. 1). Преобладание влажности дерново-подзолов над подзолами в период с мая по ноябрь, по-видимому, можно объяснить более высокой водоудерживающей способностью дерново-подзолов и наличием лиственных пород, формирующих большую сомкнутость крон, чем сосновые насаждения. Напротив, в первой декаде апреля влажность подзолов под сосной была значительно больше, а их температура ниже, чем у дерново-подзолов. Это связано с тем, что ранней весной в сосновом лесу позднее исчезал снежный покров и почвы прогревались хуже, чем в лиственном, что уменьшало испаряемость влаги.

Корреляционный анализ позволил установить существенное влияние температуры почвы на сезонную динамику скорости эмиссии CO<sub>2</sub>. Для всех исследуемых участков скорость эмиссии CO<sub>2</sub> на среднем уровне коррелировала с температурой почвы: дерново-подзолы –  $r = 0.68$  ( $t_p = 9.41$  при  $n = 105$ ) –  $0.69$  ( $t_p = 9.67$  при  $n = 105$ ), подзолы –  $r = 0.51$  ( $t_p = 6.02$  при  $n = 105$ ).

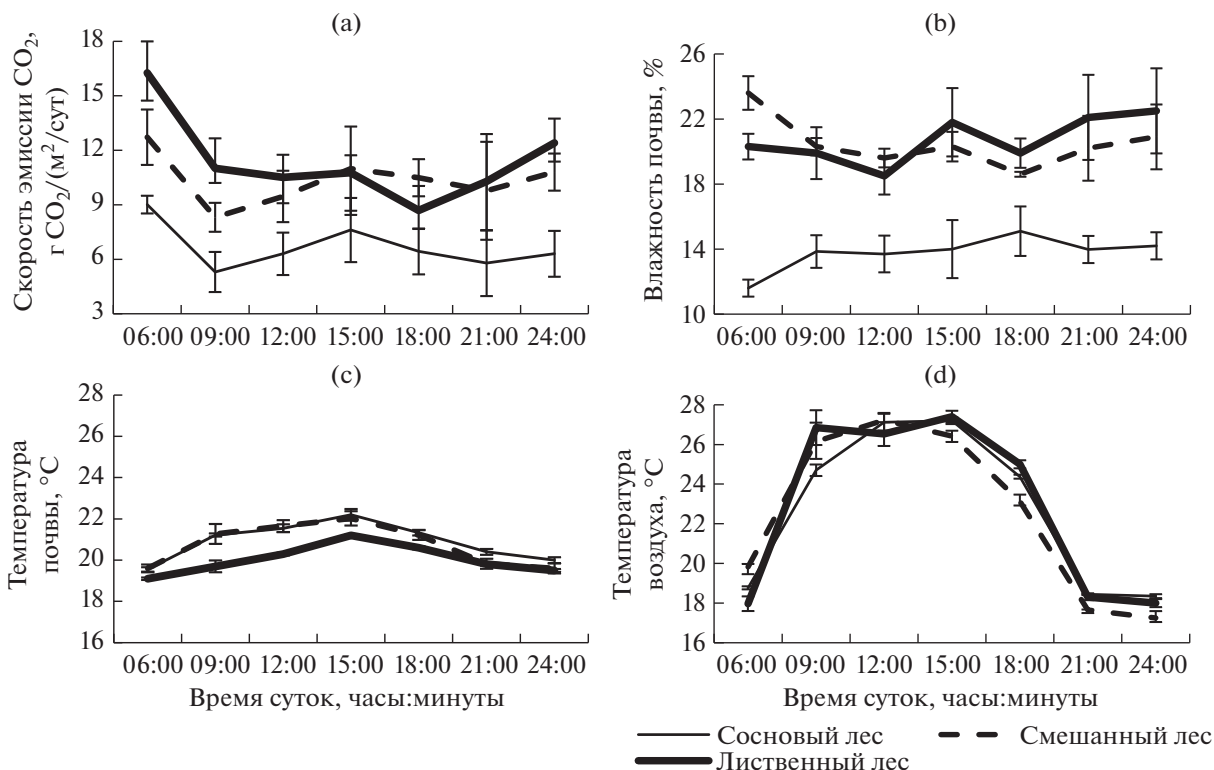
Корреляционная связь между влажностью почв и эмиссией CO<sub>2</sub> для каждого исследуемого участка была слабой. Для участков “сосновый лес” и “смешанный лес” отмечалась положительная корреляция –  $r = 0.20$  ( $t_p = 2.07$ ) и  $r = 0.14$  ( $t_p = 1.43$  при  $n = 105$ ) соответственно. Для дерново-подзола лиственного леса установлена отрицательная корреляция ( $r = -0.20$ ,  $t_p = 2.07$  при  $n = 105$ ) между показателями эмиссии CO<sub>2</sub> и влажности почвы, что связано с уменьшением эмиссии CO<sub>2</sub> при резком увеличении влажности дерново-подзолов во второй декаде июня и третьей декаде июля (рис. 4а, 4б).

Для исследуемых участков сразу несколько регрессионных моделей (квадратичная, экспоненциальная, степенная) подходят для описания зависимости эмиссии диоксида углерода из почвы от ее температуры. Для влажности почв статистически достоверных регрессионных связей с показателем эмиссии CO<sub>2</sub> не установлено (табл. 3).

Можно заключить, что температура почвы была определяющим фактором, обуславливающим изменчивость сезонной динамики эмиссии CO<sub>2</sub> для исследуемых участков, тогда как влажность почвы определяла пространственную вариабельность потоков диоксида углерода из исследуемых почв.

**Внутрисуточная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы** была в основном обусловлена температурами воздуха и почвы, а также ее влажностью. Суточные колебания потоков диоксида углерода из почв существенно варьировали относительно среднесуточных значений в пределах 19.7–51.6% для подзолов соснового леса (среднесуточное значение 6.3 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут)), 20.1–22.3% – для дерново-подзолов смешанного леса (10.4 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут)), 23.8–42.9% для дерново-подзолов лиственного леса (11.4 г CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> сут)). Среднесуточная скорость потоков CO<sub>2</sub> из дерново-подзолов была больше, чем из подзолов (для смешанного леса  $t_{ст} = 5.2$ , для лиственного леса  $t_{ст} = 4.6$  при  $n = 7$  и  $\alpha = 0.05$ ). Для дерново-подзолов лиственного леса в утренние часы эмиссия CO<sub>2</sub> достигала максимальных значений, с 9 до 18 часов показатель значительно уменьшался, а в вечерние часы скорость потоков CO<sub>2</sub> снова возрастала. Для почв соснового и смешанного лесов график суточного хода скорости эмиссии в целом был сходным, однако стоит отметить некоторый рост скорости эмиссии около 15 ч (рис. 5а).

Температуры почвы и воздуха возрастали – с 6 до 15 ч, а с 15 до 24 ч – снижались (рис. 5с, 5д). Отмечена отрицательная корреляция показателя эмиссии из дерново-подзола лиственного леса с температурой почвы ( $r = -0.70$ ,  $t_p = 7.20$  при  $n = 56$ ), отрицательная корреляция для дерново-подзола смешанного леса ( $r = -0.43$ ,  $t_p = 3.40$  при  $n = 56$ ) и для подзолов соснового леса ( $r = -0.28$ ,  $t_p = 2.14$  при  $n = 56$ ).



**Рис. 5.** Суточная динамика скорости почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> (а), влажности почв (б), температуры почв (с) и температуры воздуха (д) на исследуемых участках. Приведены средние и их доверительные интервалы ( $n = 8$ ).

Суточная динамика влажности почв имела довольно высокую пространственную вариабельность (рис. 5b). В дерново-подзолах влажность почв была достоверно больше, чем в подзолах. Установлена отрицательная корреляция эмиссии CO<sub>2</sub> с влажностью подзола ( $r = -0.71$ ,  $t_p = 7.40$  при  $n = 56$ ). Для дерново-подзолов участка “смешанный лес” между показателями эмиссии CO<sub>2</sub> и влажности почв наблюдалась положительная корреляция  $r = 0.67$  ( $t_p = 6.63$  при  $n = 56$ ). Для участка “лиственный лес” значимой корреляции между этими показателями не установлено.

Суточная динамика скорости эмиссии CO<sub>2</sub> из дерново-подзолов лиственного леса в большей степени определялась показателем влажности почв, а из подзолов соснового леса – температурой почвы. Для дерново-подзолов смешанного

леса выделить такой управляющий фактор эмиссии CO<sub>2</sub> не удалось.

**Эмиссия CO<sub>2</sub> и депонирование углерода исследуемыми экосистемами.** Исследуемая почвенная сукцессия, вызванная естественной сменой состава фитоценоза, сопровождается значительными изменениями эмиссии CO<sub>2</sub>. Суммарное количество эмитированного за период исследования CO<sub>2</sub> из подзолов и дерново-подзолов варьировало от 1.3 до 2.7 кг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>. Дерново-подзолы эмитировали большее количество CO<sub>2</sub>, чем подзолы (табл. 4).

В ходе трансформации почв в экосистемах со смешанным и лиственным лесом достоверно увеличивается депонирование органического углерода в почве. Так, запас гумуса в дерново-подзо-

**Таблица 4.** Суммарное количество и усредненная скорость эмитируемого CO<sub>2</sub> из почв на исследуемых участках за период исследования (апрель–ноябрь)

| Участок        | Усредненная за период исследования эмиссия CO <sub>2</sub> из почв, г CO <sub>2</sub> /(м <sup>2</sup> сут) ( $n = 14$ ) | Суммарное количество эмитированного почвами CO <sub>2</sub> за период исследования, кг/м <sup>2</sup> ( $n = 8$ ) |
|----------------|--|---|
| Сосновый лес   | 5.4 ± 0.5  | 1.3 ± 0.2   |
| Смешанный лес  | 9.0 ± 0.8  | 2.1 ± 0.2   |
| Лиственный лес | 11.4 ± 1.1   | 2.7 ± 0.3   |



лах увеличивался в 2.2 и 3.3 раза относительно подзолов в экосистемах с монодоминантными насаждениями сосны (табл. 1). Углероддепонирующая функция древесных пород на исследуемых участках также различалась. Запас древесины в пересчете на сухую массу древостоя на участке соснового леса 168 т/га, а на участке лиственного леса 252 т/га. Таким образом, потенциал к депонированию органического углерода у древостоя лиственного леса песчаных надпойменных террас лесостепной зоны на 50% больше, чем у насаждений сосны обыкновенной, произрастающих в аналогичных условиях. В то же время дуб черешчатый по сравнению с сосной обыкновенной обладает более длительным периодом хранения углерода в древесине, ввиду большей продолжительности жизни. Однако стоит отметить, что объемы поглощаемого деревьями диоксида углерода также зависят от динамики возрастной структуры фитоценоза. Нахождение закономерностей зависимости потенциальных объемов секвестрированного  $\text{CO}_2$  от возраста лесообразующих пород в изучаемых сукцессионных хронорядках может быть целью дальнейших исследований.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в ходе проведенного исследования значения скорости почвенного дыхания подзолов и дерново-подзолов значительно уступали по этому показателю фоновым для Курской агломерации черноземным ( $16.5 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \text{ сут})$ ) и серым ( $21.7 \text{ г CO}_2/(\text{м}^2 \text{ сут})$ ) почвам [16]. Также стоит отметить, что исследуемые альфегумусовые почвы лесостепной зоны характеризовались более низкими скоростями эмиссии  $\text{CO}_2$ , чем подзолы под искусственными насаждениями южной тайги Центральной Сибири [11] и подзолы иллювиально-железистые песчаные среднетаежной подзоны Центральной Сибири (Красноярский край) [12]. Однако суммарные потоки  $\text{CO}_2$  из подзолов Курской области были больше, чем из подзолов в лесных экосистемах Красноярского края,  $1.3 \text{ кг С м}^{-2}$  против  $0.3\text{--}0.8 \text{ кг С/м}^2$  за вегетационный сезон, что, очевидно, объясняется меньшей продолжительностью вегетационного сезона в Красноярском крае [11]. Также экспериментально полученное значение удельной эмиссии  $\text{CO}_2$  (в пересчете на  $\text{С--CO}_2$ ) за вегетационный сезон из подзолов иллювиально-железистых песчаных Курской области ( $3545 \text{ кг С/га}$ ) было значительно выше значений потока  $\text{CO}_2$  ( $900\text{--}1200 \text{ кг С/га}$ ) с поверхности почв, приводимых для глееподзолистых, глееподзолистых контактно-осветленных, подзолов и грануземов [13]. Такую разницу в эмиссии азональных подзолов песчаных можно объяснить различием условий почвообразования в разных природных зонах.

Сезонный ход почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  из подзолов и дерново-подзолов лесостепи, в целом, имел типичный вид для лесных экосистем умеренной и бореальной зон. Максимальные значения скорости эмиссии летом и низкие скорости весной и осенью обусловлены сезонной динамикой температурного режима почвы, определяющей активность почвенных автотрофов и гетеротрофов [11, 12]. Однако максимальные потоки в таежной зоне, как правило, приходятся на конец июля—начало августа [11], в то время как в Курской области на конец июня—начало июля [16, 20].

Потоки  $\text{CO}_2$  из песчаных почв смешанного леса были больше, чем из соснового леса, что можно объяснить рядом влияющих факторов: гидротермический режим, роль лесообразующих пород, биоразнообразие живого напочвенного покрова, активность почвенного микробиотического сообщества. Подобные результаты описаны в научных работах, выполненных в России и за рубежом [11, 36].

Температура и влажность почвы являются факторами, определяющими сезонную динамику эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв [11, 12, 16, 20]. В исследуемом сезоне 2021 г. установлено, что временную динамику почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$  в большей степени обуславливала температура почвы, что подтверждено результатами корреляционного и регрессионного анализов. Однако стоит отметить, что приведенные в статье экспериментальные данные относятся к одному вегетационному сезону, характеризующемуся нормальным климатическим режимом. Вероятно, более точное влияние влажности подзолов песчаных лесостепи на сезонную динамику эмиссии  $\text{CO}_2$  можно будет описать достоверными математическими моделями после проведения многолетних исследований, в которых появится возможность получить данные о скорости потоков  $\text{CO}_2$  из почв при разнообразных сочетаниях и продолжительностях засушливых и влажных периодов [11].

## ВЫВОДЫ

1. Сукцессия растительного покрова, направленная на замещение насаждений сосны обыкновенной лиственным лесом, вызывает выраженную трансформацию почвенного покрова. Почвообразовательные процессы в таких условиях приводят к преобразованию подзолов иллювиально-железистых песчаных в дерново-подзолы иллювиально-железистые песчаные. Эти процессы сопровождаются накоплением гумуса (с 0.5 до 1.8%) и макроэлементов (на 45.4—200%) в почвенном профиле, изменением вертикальной дифференциации кислотности, увеличением микробной биомассы (до 26.1 раза) и увеличением ее

активности (до 5.7 раза), выраженной в интенсификации почвенного дыхания.

2. Температура почв в большей степени определяет сезонную динамику, а влажность почв – пространственную вариабельность потоков диоксида углерода из подзолов и дерново-подзолов иллювиально-железистых песчаных.

3. Суточная динамика показателя эмиссии CO<sub>2</sub> из дерново-подзолов песчаных листового леса в большей степени зависит от влажности почв, в то время как суточная вариабельность эмиссии CO<sub>2</sub> из подзолов песчаных соснового леса в основном обусловлена температурным режимом почв.

4. Рассматриваемая почвенная сукцессия привела к увеличению скорости среднесуточной (до 1.8 раза) и усредненной за вегетационный сезон (до 2.1 раза) скорости эмиссии CO<sub>2</sub> и суммарного количества эмитированного CO<sub>2</sub> дерново-подзолами смешанного и листового лесов в 1.3–2.7 раза по сравнению с подзолами в сосновых насаждениях.

5. В надпойменных террасах лесостепи при замещении сосновых насаждений на экосистемы дубрав существенно возрастает способность к депонированию органического углерода в почвах (в 2.2–3.3 раза) и в надземной биомассе древесных пород (на 50%).

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект – МК-416.2021.1.4).

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апарин Б.Ф., Забоева И.В., Липкина Г.С., Ногина Н.А.* Подзолистые почвы центральной и восточной частей европейской территории СССР на песчаных почвообразующих породах. Л.: Наука, 1981. 203 с.
2. *Борисичев О.А., Неведров Н.П., Протасова М.В.* Особенности пространственного распределения гумуса и его качественные характеристики в подзолах песчаных иллювиально-железистых урочища Горелый лес // *Здоровые почвы – гарант устойчивого развития*. Курск, 2018. С. 111–114.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2014. 58 с.
4. *Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф.* Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
5. *Замолодчиков Д.Г., Кобяков К.Н., Кокорин А.О., Алейников А.А., Шматков Н.М.* Лес и климат. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. 40 с.
6. *Кудеяров В.Н.* Роль почв в круговороте углерода // *Почвоведение*. 2015. № 8. С. 915–923.
7. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
8. Лесной фонд Курской области. Администрация Курской области официальный сайт. Дата обращения 03.02.2021 г. URL: [https://adm.rkursk.ru/index.php?id=137&mat\\_id=543](https://adm.rkursk.ru/index.php?id=137&mat_id=543)
9. *Лискинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М. и Ленринк Б.* (ред.) Леса России и изменения климата. Что нам может сказать наука // *Европейский институт леса*. 2020. 140 с.
10. *Лобынцев Н.А.* Становление и развитие лесного хозяйства на территории Курской области в 1990-е гг. XX в. // *Ученые записки. Электронный научный журн. Курского гос. ун-та*. 2016. № 2(38). [Электронный ресурс. Режим доступа URL: <https://api-mag.kursksu.ru/media/pdf/043-008.pdf>]
11. *Матвиенко А.И., Макаров М.И., Меняйло О.В.* Биологические источники почвенного CO<sub>2</sub> под листовницей сибирской и сосной обыкновенной // *Экология*. 2014. № 3. С. 182–188.
12. *Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Меняйло О.В., Верховец С.В., Тычков И.И., Урбан А.В., Рубцов А.В., Кошурникова Н.Н., Ваганов Е.А.* Влияние климатических факторов на эмиссию CO<sub>2</sub> из почв в среднетаежных лесах Центральной Сибири: эмиссия как функция температуры и влажности почвы // *Экология*. 2020. № 1. С. 51–61. <https://doi.org/10.31857/S0367059720010060>
13. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, АСТ, 2011. 632 с.
14. *Неведров Н.П., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А., Попова Г.И.* Сукцессии микробиотических сообществ песчаных почв в разновозрастных сосновых насаждениях лесостепной зоны [Электрон. ресурс] // *Агро-ЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журн*. 2021. № 6. Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st\\_615.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_615.pdf). <https://doi.org/10.51419/20216615>
15. *Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васнев И.И.* Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почв города Курска // *Почвоведение*. 2021. № 1. С. 70–79. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010111>
16. *Неведров Н.П., Проценко Е.П., Иванова Е. В.* Фитоценоотические и антропогенные аспекты почвенных сукцессий присеймья г. Курска [Электронный ресурс] // *AUDITORIUM. Электронный научный журнал Курского гос. ун-та*. 2016. № 4(12). [Электронный ресурс. Режим доступа URL: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/012-004.pdf>].
17. *Неведров Н.П., Фомина М.Ю., Проценко Е.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Сапронова С.Г., Смицкая Г.И.* Почвенные сукцессии подзолов и дерново-подзолов песчаных лесостепи при смене лесобразующих пород [Электрон. ресурс] // *АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журн*. 2021. № 2. Режим доступа: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st\\_213.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf). <https://doi.org/10.51419/20212213>

18. *Полуянов А.В.* Флора Курской области. Курск: Курский гос. ун-т, 2005. 264 с.
19. *Рубцов В.И. и др.* Лесное хозяйство СССР за 50 лет. Государственный комитет лесного хозяйства Совета Министров СССР. М.: Лесная промышленность, 1967. 312 с.
20. *Саржанов Д.А., Васенев В.И., Сотникова Ю.Л., Тембо А., Васенев И.И., Валентини Р.* Краткосрочная динамика и пространственная неоднородность эмиссии CO<sub>2</sub> почвами естественных и городских экосистем Центрально-черноземного региона // Почвоведение. 2015. № 4. С. 469–478. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15040097>
21. Сводный план тушения лесных пожаров на территории Курской области на период пожароопасного сезона 2020 г. Администрация Курской области. Режим доступа: <http://www.kurskles.reg-kursk.ru/okhranalesov/Plan%20tusheniya/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BD%20%D1%82%D1%83%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%202020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf#:~:text=%D0%A3%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B8%D1%89%D0%B5%20%C2%AB%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B9%20%D0%BB%D0%B5%D1%81%C2%BB%20%D0%BA%D0%B2.%2023%2C.%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B7%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%B2%20%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B5>
22. *Семенов С.М.* Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет, 2012. 504 с.
23. *Смагин А.В.* Газовая функция почв // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1211–1223.
24. *Смолянинов В.М., Стародубцев П.П.* Комплексная мелиорация и орошение земель в Центрально-Черноземном регионе: состояние, условия развития. Воронеж: Истоки, 2011. 179 с.
25. *Суховеева О.Э., Золотухин А.Н., Карелин Д.В.* Климатообусловленные изменения запасов органического углерода в пахотных черноземах Курской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2(83). С. 72–79.
26. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
27. Britannica. The Editors of Encyclopaedia. “Podzol”. Encyclopedia Britannica, 16 Dec. 2010, Available at: <https://www.britannica.com/science/Podzol> (accessed 11.08.2021).
28. *Friedlingstein P., Dufresne J.L., Cox P.M., Rayner P.* “How positive is the feedback between climate change and the carbon cycle?” // Tellus. 2003. V. 55B. P. 692–700.
29. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No 106. Rome: FAO, 2014.
30. *Mokma D.L., Yli-Halla M., Lindqvist K.* Podzol formation in sandy soils of Finland // Geoderma. 2004. V. 120. P. 259–272.
31. *Nevedrov N., Fomina M., Smitskaya G.* Soil successions of Carbic Podzols (Arenic) under Scots Pine plantations in Kursk region // Environment, Energy and Earth Sciences Web of Conferences. 2021. V. 295. International Scientific Forum on Sustainable Development and Innovation (WFSDI 2021) URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/71/e3sconf\\_wfsdi2021\\_04001/e3sconf\\_wfsdi2021\\_04001](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/71/e3sconf_wfsdi2021_04001/e3sconf_wfsdi2021_04001). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129504001>
32. *Pouyat R.V., Yesilonis I.D., Nowak D.J.* Carbon storage by urban soils in the United States // J. Environ. Qual. 2006. V. 35. P. 566–575.
33. *Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D., Trunov A.A., Vertyankina V.Yu., Karaban R.T.* Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2019. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
34. *Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al.* Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation // Mitig Adapt Strateg Glob Change. 2020. V. 25. P. 661–687. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09885-2>
35. *Swift S.* Sequestration of carbon by soil // Soil Sci. 2011. V. 166. P. 858–871.
36. *Vincent G., Shahriari A.R., Lucot E. et al.* Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table // Soil Biology & Biochemistry. 2006. V. 38. P. 2527–2535. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.009>
37. *Yu M., Wang G., Parr D., Ahmed K.F.* Future changes of the terrestrial ecosystem based on a dynamic vegetation model driven with RCP8.5 climate projections from 19 GCMs // Climatic Change. 2014. V. 127. P. 257–271.

## Spatial and Temporal Dynamics of Carbon Dioxide Emission from Al-Fe-Humus Sandy Soils of the Forest-Steppe

N. P. Nevedrov<sup>1, \*</sup>, D. A. Sarzhanov<sup>2</sup>, E. P. Protsenko<sup>1</sup>, and I. I. Vasenev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kursk State University, ul. Radishcheva, 33, Kursk, 305000 Russia

<sup>2</sup>The Peoples' Friendship University of Russia, ul. Miklukho-Maclay, 6, Moscow, 117198 Russia

<sup>3</sup>Russian State Agrarian University—Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, 127550 Russia

\*e-mail: 9202635354@mail.ru

The article presents the data on spatial and temporal variation of the carbon dioxide efflux from Al-Fe-humus sandy soils of the forest-steppe in the Central Russian region (on the example of Kursk vicinities). The carbon dioxide emission was estimated *in situ* using the closed chamber technique. The controls of daily and seasonal

variability of the soil CO<sub>2</sub> emission for Albic Podzols (Arenic) and Albic Podzols (Arenic, Ochric) are under consideration. The transformation of the basic biological, morphological, and physicochemical properties of Albic Podzols (Arenic) under successional change of pine forest plantations to climax oak forests is analyzed. The research revealed that diurnal dynamics of flux rate of carbon dioxide from Albic Podzols (Arenic, Ochric) was 1.8 times greater than from Albic Podzols (Arenic), and seasonal dynamics – 2.1 times greater. Soil temperature determines the seasonal variability in the flux rate of CO<sub>2</sub> from Albic Podzols (Arenic) and Albic Podzols (Arenic, Ochric), whereas the soil moisture determines the spatial variability of the rate of CO<sub>2</sub> emission from these soils. Temporal changes in soil moisture and temperature have an ambiguous effect on the diurnal dynamics of CO<sub>2</sub> emission from *Al-Fe*-humus sandy soils in the forest-steppe. Natural succession in pine forest plantations can significantly increase the carbon storage potential of soils. Humus reserves in Albic Podzols (Arenic) relative to Albic Podzols (Arenic, Ochric) increased from 17.2 to 38.4–56.2 t/ha in Kursk. The capacity of carbon depositing in the biomass of tree species of deciduous forest increased by 50% relative to pine forest.

*Keywords* Pine plantations, river terraces, Albic Podzols (Arenic), Albic Podzols (Arenic, Ochric), soil moisture, soil temperature