

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 502.572

**Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение
CO₂ в лесном биогеоценозе**

Крамарева Т.Н.¹, Горбунова Н.С.², Моисеева Е.В.¹

¹*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова*

²*Воронежский государственный университет*

Аннотация

Лесные пожары различного происхождения и интенсивности очень существенно влияют на экологию ценозов, затрагивая круговорот важнейших биогенных элементов. Пожары в лесу инициируют новую сукцессию полога леса и, таким образом, регулируют аккумуляцию углерода, определяемую первичной продукцией. Пожары воздействуют, помимо этого, на тепловой режим почвы, что, в свою очередь, оказывает влияние на процессы дыхания почвы. В результате пирогенного воздействия, прежде всего на растительность, в почву попадает достаточное количество субстрата, которое активно используется разными физиологическими группами микроорганизмов. Для оценки интенсивности потребления субстрата микроорганизмами используют данные по скорости выделения диоксида углерода. Интерес к изучению изменения микробиологической активности в послепожарный период вызван обоснованием целесообразности применения плановых отжигов растительности и формированием углеродного баланса растительно-наземных экосистем после пожаров. Углеродный баланс зависит от многих показателей: типа растительности, типа почв, ее химических, физических и биологических свойств, климатических характеристик местности, типа и интенсивности пожаров. В нашей работе мы рассматривали влияние низового пожара слабой интенсивности в лесном ценозе на фоновое и субстрат-индуцированное дыхание почвенных организмов в темно-серой лесной почве. Низовые пожары слабой интенсивности так же, как и верховые, участвуют в изменении углеродного баланса как почвы, так и атмосферы. Они усиливают выделение углекислого газа за счет деятельности почвенных микроорганизмов, которые минерализуют поступающие в почву субстраты. Отмечено усиление выделения CO₂ спустя месяц после пожара. После 45 суток наблюдения было отмечено, что выделение диоксида углерода

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

стабилизировалось.

Ключевые слова: ПОЖАРЫ, ПИРОГЕННЫЙ ФАКТОР, ЛЕСНОЙ БИОГЕОЦЕНОЗ, МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ФОНОВОЕ ДЫХАНИЕ

Введение

По данным Росстата и Рослесхоза РФ в 2022 г. пожарами было охвачено 5,17 млн. га леса, в 2023- г. – 4,6 млн. га, а в 2024 г. уже более 7,5 млн. га [1]. Независимо от своего происхождения, антропогенного или естественного, пирогенный фактор ведет к нарушениям в структуре наземных биогеоценозов, а также в потоках некоторых веществ, в том числе и парниковых газов.

Огонь негативно влияет на биоразнообразие не только растительных сообществ, но и микроорганизмов. Зола и пепел уже давно в земледелии применяется как одно из первых удобрений. Однако в настоящее время мы не можем не учитывать возможное увеличение парникового эффекта вследствие усиления минерализационной активности почвенных микроорганизмов, вызванного поступлением в почву золы и пепла [2-9].

Лес играет важную биоценотическую роль в цикле круговорота углерода в природе. Лесные пожары нарушают естественное равновесие между отдельными компонентами биогеоценозов, часто определяя тип растительности и динамику растительных ассоциаций [10].

Почва, как неотъемлемая часть растительных сообществ, в полной мере испытывает на себе разностороннее влияние пожара. Одним из первых почвенных компонентов на пирогенный фактор реагирует микробиологический пул [11-17]. Отклик микробиологического сообщества выражается в изменении его структуры и функциональной активности.

Влияние пожаров на почвенный покров в первую очередь определяется непосредственным (прямым) воздействием высоких температур, косвенным действием поступления золы и послепожарной сукцессии растительности. Данных о воздействии пирогенного фактора на почвенную биоту и как следствие на изменение в потоках углерода пока недостаточно. В связи с этим целью данной работы было определение дыхательной активности почвенных микроорганизмов под лесным биогеоценозом после низового пожара.

Объекты и методы

Исследования дыхательной активности микроорганизмов почвы были проведены на участке широколиственного леса после однократного низового пожара средней интенсивности на территории Воронежской области. В качестве контроля были выбраны участки этого же леса, не затронутые огнем. Почвенные образцы отбирали методом «конверта» почвенным буром на глубину 0 – 10 см в первые сутки, а также на 10-е, 25-е, 45-е и 70-е сутки после пожара.

Почва: темно-серая лесная тяжелосуглинистая на лессовидном карбонатном суглинке. Содержание гумуса 4,68%, рН_{вод}=6,5.

Образцы почвы в лаборатории просеивали через сито с диаметром ячеек 3 мм, тщательно освобождались от органических включений. Лабораторные исследования проводили в день отбора образцов.

В рамках исследования проводили определение фонового (базального) и субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов.

Для определения скорости базального дыхания (дыхания небогатенной доступным субстратом почвы) – V_{basal} , навески почвы (2 г), предварительно увлажненной до 60% от КВ (капиллярная влагоемкость), помещали в пенициллиновые флаконы объемом 15 мл и инкубировали около часа при комнатной температуре, затем флаконы проветривали, чтобы избежать завышения скорости эмиссии CO₂, связанного с перемешиванием почвы при взятии навески [18]. После этого флаконы герметично закрывали и инкубировали при 22°C в течение 12-16 часов.

Скорость субстрат-индуцированного дыхания (V_{SIR}) определяли аналогично V_{basal} . После вентиляции флаконов с навесками в почву вместо воды добавляли раствор глюкозы оптимальной концентрации, подобранной предварительно. Результирующая влажность составляла 60-70% КВ. Флаконы герметично закрывали и инкубировали 2 - 3 часа в термостате при 22°C [19].

Концентрацию выделившегося CO₂ определяли на газовом хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.

Для определения капиллярной влагоемкости пробы почв отбирали в алюминиевые стаканы с сетчатым дном. Взвешивали на весах и помещали в кристаллизационную чашку с водой, покрывающей стакан слоем 3-5мм от дна. После появления влаги на поверхности

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

почвы, стакан вынимали из кристаллизационной чашки, вытирали капли воды со стенок и взвешивали.

Вариационно-статистическая обработка полученных аналитических данных проводилась с использованием программ STATISTICA 13 и Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В результате низового пожара в лесу был уничтожен напочвенный покров и подстилка из прошлогодних листьев. Наблюдения проводили так же по датам отбора образцов почвы на протяжении 70-ти суток. Результаты измерений фонового дыхания микроорганизмов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Фоновое (базальное) дыхание темно-серой лесной почвы в лесном биоценозе до и после пожара

Дни наблюдений (сутки)	Контроль		Усиление фонового дыхания после пожара	Горельник	
	Скорость базального дыхания мкг CO ₂ -C* г ⁻¹ П* ч ⁻¹	Стандартное отклонение		Скорость базального дыхания мкг CO ₂ -C* г ⁻¹ П* ч ⁻¹	Стандартное отклонение
1	2,14	0,27	0,06	2,2	0,26
10	1,20	0,03	0,74	1,94	0,03
25	2,74	0,13	-0,68	2,06	0,02
45	3,53	0,13	0,94	4,47	0,30
70	6,41	0,24	-0,71	5,70	0,04

В первые сутки величины базального дыхания контрольного и горелого вариантов лесной почвы не различались достоверно и составили 2,14 и 2,2 мкг С-CO₂ г⁻¹ ч⁻¹ соответственно. Но на 10-е сутки происходило достоверное уменьшение интенсивности фонового дыхания как в контрольном, так и в горелом вариантах соответственно до значений 1,20 и 1,94 мкг С-CO₂ г⁻¹ ч⁻¹. Такое падение скорости базального дыхания может быть результатом изменения влажности почвы при высоких дневных температурах воздуха.

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

К концу наблюдений, на 70-е сутки происходило увеличение базального дыхания в контроле - 6,41 мкг С-CO₂ г⁻¹ ч⁻¹ и в горелой почве - 5,70 С-CO₂ г⁻¹ ч⁻¹.

Достоверно более высокое фоновое дыхание в горелом варианте по сравнению с контролем наблюдали на 10-е и 45-е сутки, а на 25-е и 70-е сутки оно было достоверно более низким, чем в контроле. Анализ данных для лесного ценоза показал, что на 10-е сутки после отжига в почву поступил дополнительный углерод – 0,38 г С/100 г/ почвы, из которого минерализовали микроорганизмы 1751,8 мкг С. На 25-сутки в почве содержание дополнительного углерода составило 2,74 г С/100 г/ почвы, но в контрольном варианте больше выделилось углекислого газа, поскольку различия были достоверными, скорее всего, здесь повлияли циклы развития растительности.

На 45-е сутки углерод, поступивший в результате действия огня, содержался в количестве 1,6 г С/100 г/ почвы, из которых почвенные микроорганизмы минерализовали 156720 мкг С. После сорока пяти суток постпожарная эмиссия прекратилась в лесном биогеоценозе, достоверно большим было выделение диоксида углерода из контрольной почвы, при этом дополнительного углерода в почве уже не было. То есть, на этот период микроорганизмы использовали весь дополнительный субстрат. С 10-е по 25-е сутки из контрольной почвы выделилось на контрольной почве 70920 мкг С, а из горелого варианта – 72000. За 25-е-45-е сутки из контрольной почвы выделилось 150480 мкг С, а в горелом варианте 156720 мкг С. Таким образом, за 45 суток в лесу выделилось 261480 мкг С, а в почве сгоревшего леса – 277680 мкг С. Разница между контролем и горелой почвой составила 6,19 %.

Динамика субстрат-индуцированного дыхания в почве под лесом носила неравномерный характер. Если в первые сутки после пожара интенсивность субстрат-индуцированного дыхания в контроле была больше значений в горелом варианте - 22,18 (контроль) и 21,62 мкг С-CO₂ г⁻¹ ч⁻¹, то уже на 25-е и 45-е сутки величины СИ-дыхания горелого варианта были больше контрольных величин на 16,3% и 7,16% (табл. 2). Именно на 45-е сутки приходится максимум интенсивности СИ-дыхания. Это говорит о том, что микроорганизмы преодолели стресс, вызванный высокими температурами, активно минерализовали глюкозу и выделяли CO₂. На 70-е сутки происходило снижение значений в контрольном и горелом варианте.

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Достоверных отличий между показателями СИД-дыхания на 70-е сутки в контрольном варианте и после пожара не было выявлено. Однако, снижение этого показателя на горелом варианте выражено сильнее и составило 58,6%, в то время как на контроле – 33,6%. Это может означать, что в контроле микроорганизмы более устойчивы к климатическим изменениям, а в горелом варианте стали более чувствительны к внешним воздействиям.

Таблица 2. Скорость субстрат-индуцированного дыхания темно-серой лесной почвы в лесном биоценозе до и после пожара

Дни наблюдений (сутки)	Контроль		Горельник	
	Скорость СИД мкг CO ₂ -C* г ⁻¹ П* ч ⁻¹	Стандартное отклонение	Скорость СИД мкг CO ₂ -C* г ⁻¹ П* ч ⁻¹	Стандартное отклонение
1	22,18	0,08	21,62	0,97
10	17,70	1,20	16,60	1,07
25	19,61	1,80	22,81	0,27
45	27,36	0,54	29,32	1,20
70	18,18	0,28	12,20	1,39

Воздействие огня сказывалось и на микробной биомассе почвы. Микробную биомассу рассчитывают исходя из скорости субстрат-индуцированного дыхания. Содержание микробной биомассы рассчитывали по формуле, предложенной Anderson and Domsch, 1978 [2]:

$$MB (\text{мкг C г}^{-1}) = 40,04 * V_{SIR} (\text{мкл CO}_2 \text{ г}^{-1} \text{ч}^{-1}) + 0,37 \quad (1)$$

Расчет микробной биомассы для темно-серой лесной почвы лесного ценоза показал следующие результаты: в первые сутки после пожара микробная биомасса в контрольном участке превышала значения в горелом варианте и составляли 1798 мкг C/г почвы и 1751 мкг C/г почвы соответственно. На 25-е и 45-е сутки величины микробной биомассы стали увеличиваться в почве после пожара и оказались больше контрольных на 16,3% и 7,16%. На 70-е сутки рост микробной биомассы в обоих вариантах прекратился и уменьшился до значений - в контроле 1475 мкг C/г и 989 мкг C/г. (рис. 1).

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO_2 в лесном биоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

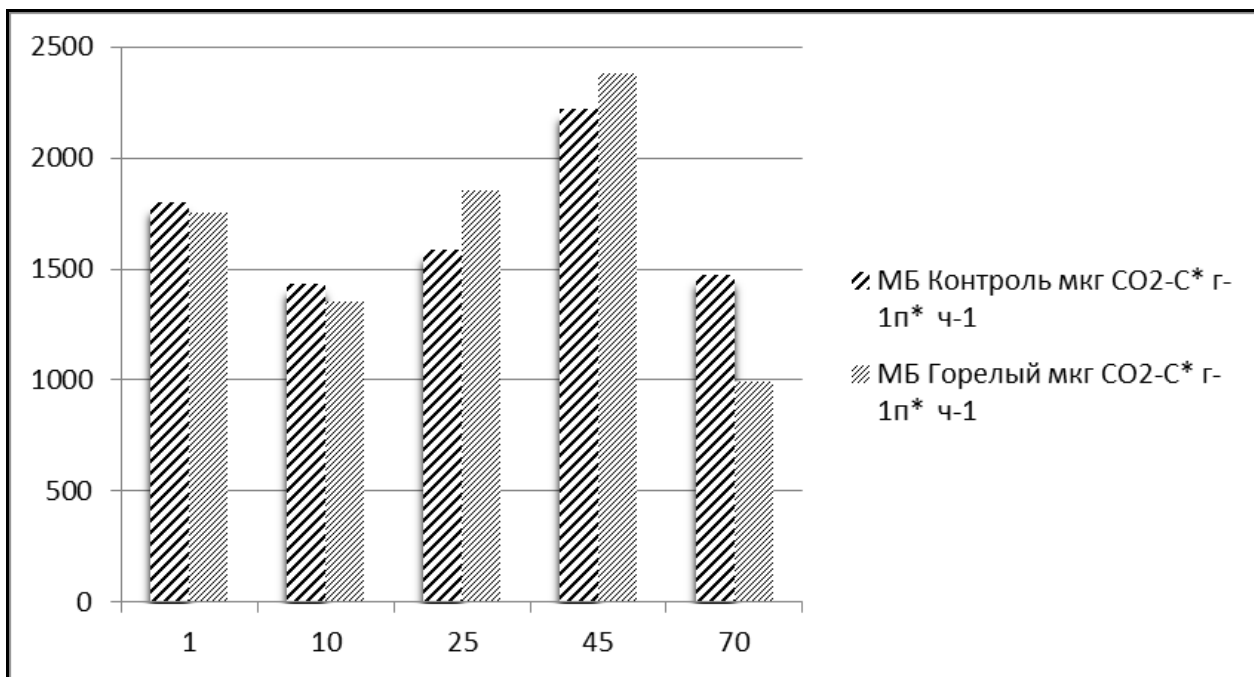


Рис. 1. Динамика микробной биомассы в темно-серой лесной почве в лесном биоценозе

Согласно данным по микробной биомассе, в лесном биоценозе в динамике наблюдалось две волны падения. На 10-е сутки приходилась первая волна падения биомассы, а вторая волна падения попала на 70-е сутки. Однако, это падение наблюдается на всех вариантах, и мы не можем делать вывод о влиянии пожара в этих случаях.

Заключение

В результате полученных данных, можно сделать следующие выводы:

1) Оценка непосредственного влияния огня на фоновое дыхание и биомассу микроорганизмов лесного ценоза показала, что эмиссия CO_2 в день пожара обуславливается последствиями процесса горения растительного материала.

2) Низовой пожар оказывает влияние на баланс углерода и экологическую обстановку. Динамические наблюдения за постпожарной активностью микроорганизмов позволяют сделать вывод о стадийном ходе постпирогенного выделения углекислого газа: активная минерализация, замедление послепожарной эмиссии (затухание) и прекращение. Период активной минерализации, поступившего в почву субстрата происходил с первых по 25-е и 45-е сутки. С начала 45-х и на 70-е сутки процессы минерализации затухали в лесном ценозе.

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

3) Анализ биомассы и флористического разнообразия показал, что постпожарных сукцессионных изменений растительности не было обнаружено. Возможно, что для сукцессии видов необходимы более жесткие условия – высокая температура или систематичность возгораний. В горелом варианте леса добавились такие виды как крапива двудомная (*лат. Urtica dioica*) (которая считается показателем антропогенного вмешательства).

Пожары приводят к изменению углеродного баланса почвы и атмосферы. В результате пожаров в почву попадает растительные материалы в виде пепла, золы и мертвых растений, которые погибли от огня и не сгорели. Низовые пожары слабой интенсивности «пополняют» углеродный баланс в результате биологических и биохимических преобразований растительного материала (не сгоревшего), в атмосферу «стадийно» поступает CO₂, то есть по мере минерализации микроорганизмами субстрата.

Список использованных источников:

1. Лесные пожары 2024 года: статистика, основные причины [электронный ресурс]. – URL: <https://forestcomplex.ru/rf-protection/lesnye-pozhary-2024-goda-statistika-jsnovnye-prichiny/>
2. Вилкова В.В., Привизенцева Д.А., Казеев К.Ш. Лесные пожары и их влияние на эмиссию углекислого газа почвами Западного Кавказа // Угрозы и риски на Юге России в условиях геополитического кризиса. Достижения и перспективы научных исследований молодых ученых Юга России. Материалы научных мероприятий: Всероссийской конференции с международным участием; XIX Ежегодной молодежной научной конференции. - Ростов-на-Дону – 2023 - С. 129. eLIBRARY ID: [54400337](https://elibrary.ru/54400337)
3. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Хабиров И.К., Сидорова Л.В., Назырова Ф.И., Простякова З.Г., Котлугалямова Э.Ю. Влияние низовых пожаров на свойства и эрозию лесных почв Южного Урала (Башкирский государственный природный заповедник) // Почвоведение. – 2019 - № 4 - С. 412-421. - <https://doi.org/10.1134/S0032180X19040075>
4. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение – 2019 - № 12 - С. 1513-1523. - <https://doi.org/10.1134/S0032180X19120049>
5. Сапронов Д.В., Шульгина М.А., Крамарева Т.Н. Разложение пшеничной соломы, древесины сосны и их углистых остатков в серой лесной почве // Агрохимия – 2018 - № 7 - С. 65-72. - <https://doi.org/10.1134/S0002188118070116>

6. Смирнова Е.В., Гиниятуллин К.Г., Окунев Р.В., Валеева А.А., Рязанов С.С. Оценка направленности и механизмов влияния внесения биоугля на субстрат-индуцированное дыхание почв в длительном лабораторном эксперименте // Почвоведение. - 2023. - № 9. - С. 1190-1202. <https://doi.org/10.31857/S0032180X23600312>
7. Ефремова Т.Т., Пименов А.В., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Влияние лесоторфяных пожаров на почвы и потери углерода в фитогенных микроповышениях горных болот юга Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. - 2021. - Т. 28. - №3. - С. 351-363. - <https://doi.org/10.15372/SEJ20210307>
8. Шульгина М.А., Крамарева Т.Н., Сапронов Д.В. Динамика эмиссии углекислого газа из серой лесной почвы при разложении в ней растительных и углистых остатков // Матер. междунар. научно-практ. конф., посвященной году экологии в России. - 2017. - С. 35-42.
9. Jin Q., Wang W., Zheng W., Innes J.L., Wang G., Guo F Dynamics of pollutant emissions from wildfires in Mainland China // Journal of Environmental Management - 2022-09-01 - <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115499>
10. Гераськина А.П., Тебенькова Д.Н., Ершов Д.В., Ручинская Е.В., Сибирцева Н.В., Лукина Н.В. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функции лесных экосистем // Вопросы лесной науки. - 2021. - Т. 4. № 2. - <https://doi.org/10.31509/2658-607x-202142-11>
11. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Нижельский М.С., Привизенцева Д.А., Федоренко А.Н., Колесников С.И., Шхапацев А.К. Влияние пожаров на ферментативную активность коричневых почв и буроземов Западного Кавказа // Почвоведение. - 2024. - № 2. - С. 275-285. - <https://doi.org/10.31857/S0032180X24020064>
12. Гродницкая И.Д., Карпенко Л.В., Пашкеева О.Э., Гончарова Н.Н., Старцев В.В., Батурина О.А., Дымов А.А. Влияние лесных пожаров на микробиологические свойства торфяных олиготрофных почв и торфяно-подзолов глеевых в болотах северной части Сым-Дубчесского междуречья (Красноярский край) // Почвоведение. - 2022. - № 4. - С. 454-468. - <https://doi.org/10.31857/S0032180X22040098>
13. Климчик Г.Я., Ефремов А.Л. Влияние пожаров на микробиоту почв сосновых лесов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. - 2007. - № 4. - С. 27-31.
14. Нижельский, М., Казеев, К., Горовцов, А., Вилкова, В., Федоренко, А., Колесников, С. Воздействие дыма от огня на почвенные микроорганизмы: результаты модельного эксперимента // Эконаука. – 2024 - 31(1–2). – С. 2–10. <https://doi.org/10.1080/11956860.2024.2334980>
15. Титова А.М., Чекмарева О.В., Холодилина Т.Н. Влияние низовых пожаров разной интенсивности на микробные сообщества почв // Матер. III Всероссийской научно-практ. конф. «Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности». –Оренбург - 2021. - С. 157-160.

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В.

Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

16. Девятова Т.А., Горбунова Ю.С., Крамарева Т.Н., Сорокина Н.А. Трансформация биохимических свойств почв после пирогенного воздействия // В книге: Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны. Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. Ответственные редакторы: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. - 2016. - С. 115-116.

17. Zhongpan Zhu, Yuanfan Ma, Mulualem Tigabu, Guangyu Wang, Zhigang Yi, Futao Guo. Effects of forest fire smoke deposition on soil physico-chemical properties and bacterial community // Science of The Total Environment – 2024 – Vol. 909 – 168592 – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168592>.

18. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil // Soil Biol. and Biochemistry. - 1978. - Vol. 10. - No.3. - P. 215-221

19. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты определение скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // Почвоведение. - 1994. - № 3. - С. 101-107. <https://doi.org/10.1134/S0032180X>

Цитирование:

Крамарева Т.Н., Горбунова Н.С., Моисеева Е.В. Влияние пожара на дыхание почвенных микроорганизмов и выделение CO₂ в лесном биогеоценозе [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/1/st_119.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202151119>.