

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

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

УДК 631.433.3

**Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной
микробиоты в потоки CO₂ из подзолов и дерново-подзолов песчаных в
надпойменных террасах реки Сейм**

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.

Курский государственный университет

Аннотация

В статье приведены данные о вкладе корневого и микробного дыхания в общий поток диоксида углерода с поверхности подзолов и дерново-подзолов песчаных Курской области. Применялось три метода раздельного определения дыхания корней и почвенных микроорганизмов: 1 – исключения корней, 2 – интеграции компонентов, 3 – субстрат-индуцированное дыхание (СИД). Корневое дыхание в песчаных почвах надпойменных террас р. Сейм определяло от 13,9 до 35,0% общего потока CO₂ с почвенной поверхности, микробное – 65 – 86,1%. Интенсивность дыхания корней и ризосферной микробиоты в дерново-подзолах песчаных была на 59,1% больше, чем в подзолах песчаных. Наибольшие значения вклада микробного дыхания в общий поток CO₂ были получены при использовании метода СИД.

Ключевые слова: АВТОТРОФНОЕ ДЫХАНИЕ, ГЕТЕРОТРОФНОЕ ДЫХАНИЕ, РИЗОСФЕРНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ, АЛЬФЕГУМУСОВЫЕ ПОЧВЫ, СОСНЯК МЕРТВОПОКРОВНЫЙ

Введение

Достижение углеродной нейтральности – центральная задача, на решение которой ориентирована современная экологическая политика. Почвы одномоментно являются источником и депо углерода в биосфере. По имеющимся оценкам почвенная эмиссия может составлять до 90% от экосистемной эмиссии этого климатически активного газа –

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

второй по величине поток углерода в наземных экосистемах [1-5]. В тоже время в почвах нашей планеты содержится 1550 Гт С (органического углерода), а глобальный потенциал депонирования углерода почвами оценивается в пределах от 0,4 до 1,2 Гт С год⁻¹ [6, 7].

Разработка и реализация мероприятий по повышению связывания CO₂ в сухопутных экосистемах основывается на математическом моделировании процессов круговорота углерода на различных структурно-функциональных уровнях. Надежные данные о вкладе источников диоксида углерода, определяющих почвенную эмиссию CO₂, позволят решать проблемы экологической повестки на более высоком качественном уровне. Основными источниками CO₂ в почвах являются корни растений (автотрофное дыхание) и почвенные микроорганизмы (гетеротрофное дыхание). Вклад этих источников в потоки CO₂ из почв сильно варьируется и зависит от ряда факторов: генезис почв; видовой состав биоценоза, его сезонная и многолетняя динамика; гидротермический режим, антропогенная нагрузка и др. [8-10].

Существует ряд методов отдельного определения корневого и микробного дыхания, которые имеют общий недостаток – сопряженность с существенными нарушениями в системе: почва – растения – микроорганизмы. Применение этих методов не позволяет проводить отдельные замеры корневого и микробного дыхания в условиях, максимально приближенных к естественным. К тому же данные, получаемые при использовании различных методов (даже на одном объекте) значительно отличаются, что не позволяет проводить их сравнительную оценку [8-10]. В целях установления вклада корневого и микробного дыхания в почвах необходимо одновременно применять несколько методов отдельного определения дыхания корней растений и почвенной микробиоты. Такой подход позволит дать более точную количественную оценку вкладу источников диоксида углерода в общий поток CO₂ из почв и предоставит возможность проводить сравнительную оценку получаемых данных в разных экосистемах.

Цель работы состояла в определении корневого и микробного дыхания в подзолах и дерново-подзолах иллювиально-железистых песчаных, функционирующих в надпойменных террасах реки Сейм на территории Курской области.

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в первой декаде июня 2022 года в сосновых лесонасаждениях Курской области. Лесные массивы расположены в надпойменных террасах реки Сейм на территориях Курского (урочище «Горелый лес») и Курчатовского (с. Дичня) районов Курской области. Средний возраст насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) составляет около 70 лет. В течение периода с момента высадки сосны и до настоящего времени на данных территориях сформировались лесные сообщества сосняков зеленомошных и сосняков мертвопокровных. Также в исследуемых лесонасаждениях отмечены естественные сукцессионные процессы, направленные на смену породного состава первого яруса древостоя сосны обыкновенной на лиственные породы, преимущественно дуба черешчатого (*Quercus robur*). В сосновых лесах Курского и Курчатовского районов можно выделить следующие типы экосистем: экосистемы, где сосна является монодоминантом (сосняк мертвопокровный, зеленомошный небольшими фрагментами); экосистемы с доминированием сосны, в которых сформирован плотный подлесок из лиственных пород; экосистемы со смешанным древостоем в первом ярусе и экосистемы с полным доминированием лиственных пород. Исследование проводилось на контрастных участках, представленных выделами сосняка мертвопокровного и дубравы, расположенных во вторых надпойменных террасах р. Сейм. Под сосновым лесонасаждением функционируют подзолы иллювиально-железистые песчаные на флювиогляциальных и древнеаллювиальных песчаных отложениях (Albic Podzols (Arenic)), под дубравой – дерново-подзолы иллювиально-железистые песчаные на флювиогляциальных и древнеаллювиальных песчаных отложениях (Albic Podzols (Arenic, Ochric)). Описание почвенных разрезов и их физическо-химические свойства приведены в [11]. Для получения репрезентативных данных, которые возможно было бы экстраполировать на аналогичные ландшафты региона, в исследуемых лесных массивах были выбраны максимально схожие экосистемы сосняков мертвопокровных и экосистемы лиственных лесов (дубрав).

Полученные данные с аналогичных участков в урочище «Горелый лес» и с. Дичня усреднялись парно (сосновый лес – сосновый лес, лиственный лес – лиственный лес) при расчетах вклада корневого и микробного дыхания в поток диоксида углерода с поверхности почвы. Размер участков исследования составлял 50×50 метров.

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
 Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
 подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»



Рис. 1. Ключевые участки исследования: А) сосняк мертвопокровный, Б) дубрава.

Раздельное определение корневого и микробного дыхания на всех участках осуществлялось тремя методами:

а) *Метод извлечения корней*, заключающийся в определении скорости эмиссии CO₂ in situ с поверхности почвы с предварительно удаленными корнями. Корни извлекались из объема почвы 25×25×25 см³ путем просеивания почвы через сито 2 мм. Просеянная почва помещалась обратно. Определение скорости эмиссии CO₂ (микробного дыхания) проводилось через 24 часа после выполнения работ по извлечению корней растений. Замеры проводились камерным методом с использованием инфракрасного газоанализатора. На каждом участке напочвенные основания диаметром 20 см в пятикратной повторности врезались на глубину 5 см в почву лишенную корней, и неповрежденную почву на расстоянии 10 см друг от друга. С помощью зажимов на них закреплялась экспозиционная камера объемом 7,2 литров. Время экспозиции – 5 мин. Скорость корневого дыхания определяли по формуле (1):

$$(V_{\text{кор}} = V_{\text{общ}} - V_{\text{мик}}), \quad (1)$$

где, $V_{\text{кор}}$ – поток CO₂, определяемый дыханием корней, $V_{\text{общ}}$ – поток CO₂ с поверхности неповрежденной почвы, $V_{\text{мик}}$ – поток CO₂ с поверхности почвы с предварительно удаленными корнями.

б) *Метод интеграции компонентов*. Из объема почвы 25×25×25 см³ извлекались все корни растений (в пятикратной повторности на каждом участке), слегка встряхивались с целью отделения от остатков почвы и взвешивались (для учета биомассы при расчетах

интенсивности дыхания). Отмывание корней не проводили для учета дыхания ризосферных микроорганизмов. Затем проводилось измерение интенсивности дыхания с помощью инфракрасного газоанализатора. Для этого корни помещались в цилиндрический сосуд объемом 1055 мл, который герметично закрывался крышкой с вмонтированным в неё газоанализатором CO₂. Интенсивность корневого дыхания рассчитывали по разнице концентраций CO₂ внутри камеры в начале и в конце измерения (время измерения – 5 мин). Полученный результат пересчитывали на площадь почвы равную площади напочвенного основания диаметром 20 см, т.е. приравнивали его к значениям скорости почвенной эмиссии CO₂ с поверхности почвы, определяемой корневым дыханием. Повторность измерения скорости корневого дыхания для каждой отдельной пробы – трёхкратная. Данные скорости корневого дыхания сравнивали с данными скоростей эмиссии CO₂ с поверхности неповрежденной почвы и с поверхности почвы лишенной корней.

в) *Метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД)*. В почву на глубину 5 см врезали четыре напочвенных основания диаметром 20 см, расстояние между которыми составляло 10-15 см. Два основания врезались в ненарушенную почву (с корнями), а два других в нарушенную (с извлеченными корнями до глубины 25 см). Далее, в два основания (с ненарушенной и нарушенной почвой) вносилась вода, а в два других (с ненарушенной и нарушенной почвой) – раствор сахарозы в расчете 3 мг сахарозы на 1 г почвы. Объем жидкости, который обеспечивал равномерное промачивание 25-ти см слоя исследуемых почв, составил 0,5 л. Измерение потока CO₂ с поверхности почв проводилось через 24 часа после внесения жидкостей. Микробное дыхание рассчитывали по разнице эмиссии диоксида углерода из почвы с глюкозой и водой в ненарушенных (с корнями) и нарушенных (без корней) вариантах по формуле (2):

$$V_{\text{мик}} = (V_2 - V_1) / (k_{\text{мик}} - 1), \quad (2)$$

где $V_{\text{мик}}$ – микробное дыхание почвы, V_1 – дыхание почвы до внесения сахаров, V_2 – дыхание почвы после внесения сахаров, $k_{\text{мик}}$ – коэффициент увеличения дыхания почвы при внесении сахарозы. Коэффициент увеличения рассчитывали по формуле (3):

$$k_{\text{мик}} = V_{2\text{mic}} / V_{1\text{mic}}, \quad (3)$$

где $V_{1\text{mic}}$ и $V_{2\text{mic}}$ – скорости выделения CO₂ из почвы освобожденной от корней, до и после внесения сахара, соответственно [8, 12-14].

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
 Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
 подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Определение скорости микробного и корневого дыхания тремя методами проводилось одновременно в течение трёх суток при ясной погоде в интервале времени с 9:00 до 13:00. Скорость корневого и микробного дыхания, а также скорость эмиссии CO₂ выражали в г CO₂ / м² в сут.

Статистическая обработка данных проводилась с применением средств пакета анализа прикладных программ Microsoft Office 2010 (Microsoft Excel).

Результаты

Значения скорости потока CO₂ с поверхности неповрежденных подзолов были сопоставимы с полученными в 2018 году данными на этих же объектах [15]. Скорость эмиссии CO₂ из почв исследуемых экосистем сосновых и лиственных лесов значимо не различалась, что по-видимому обусловлено равными гидротермическими условиями - температура и влажность почв (табл. 1.).

Таблица 1. Эмиссия CO₂ из подзолов и дерново-подзолов песчаных соснового и лиственного лесов надпойменных террас р. Сейм Курской области, измеренная методами раздельного и совместного определения

Метод определения скорости почвенной эмиссии CO ₂		Источник CO ₂	Скорость дыхания, г CO ₂ / м ² в сут.	
			Сосновый лес (подзол)	Лиственный лес (дерново-подзол)
Раздельное определение дыхания почвенной микробиоты и корней растений	Исключение корней	Микробиота	7,4±0,7	7,7±0,5
	Интеграции компонентов	Корни	2,2±0,4	3,5±0,6
Определение общего потока CO ₂	Прямое измерение потока с поверхности неповрежденной почвы	Микробиота + корни	9,4±1,1	9,9±1,0
Расчетное значение общего потока CO ₂ (∑V _{кор} и V _{мик} , измеренных отдельно)		Микробиота + корни	9,6	11,2

Раздельное определение корневого и микробного дыхания подзолов позволило получить результат максимально близкий к значениям потока CO₂ с поверхности неповрежденной почвы. В то время как в дерново-подзоле расчетные значения несколько отличались от данных, полученных при реальном измерении потока на неповрежденной почве. При определении корневого дыхания методом интеграции компонентов (без отмывания извлеченных корней), выделение CO₂ осуществляется как самими корнями,

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
 Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
 подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

Электронный научно-производственный журнал
 «АгроЭкоИнфо»

так и ризосферной микробиотой [10]. Биомасса корней с ризосферной микробиотой извлеченных из дерново-подзолов была заметно выше, чем корней извлеченных из подзолов, 106,8±18,6 против 62,0±11,2 соответственно. При анализе полученных результатов было установлено, что скорость дыхания собственно корней и ризосферной микробиоты, извлеченных из дерново-подзолов была на 59,1% выше ($p \leq 0,05$), чем у этих же источников CO₂, извлеченных из подзолов. Этим также объясняется полученное эмпирически относительное равенство значений скорости микробного дыхания. По-видимому из дерново-подзолов с большей биомассой корней извлекалось и больше ризосферных микроорганизмов, что могло занизить значения скорости потока (табл. 1).

Полученные данные с использованием методов извлечения корней и интеграции компонентов дают неоднозначную оценку вклада корневого и микробного дыхания в эмиссию CO₂ с поверхности дерново-подзолов. Согласно данным, полученным с применением этих методов вклад корней в эмиссию CO₂ из дерново-подзолов варьировался в пределах от 22,5 до 35%. В то время как в подзолах значения корневого дыхания, полученные при раздельном определении, колебались менее значительно – от 21,5 до 23,8% (рис. 2).

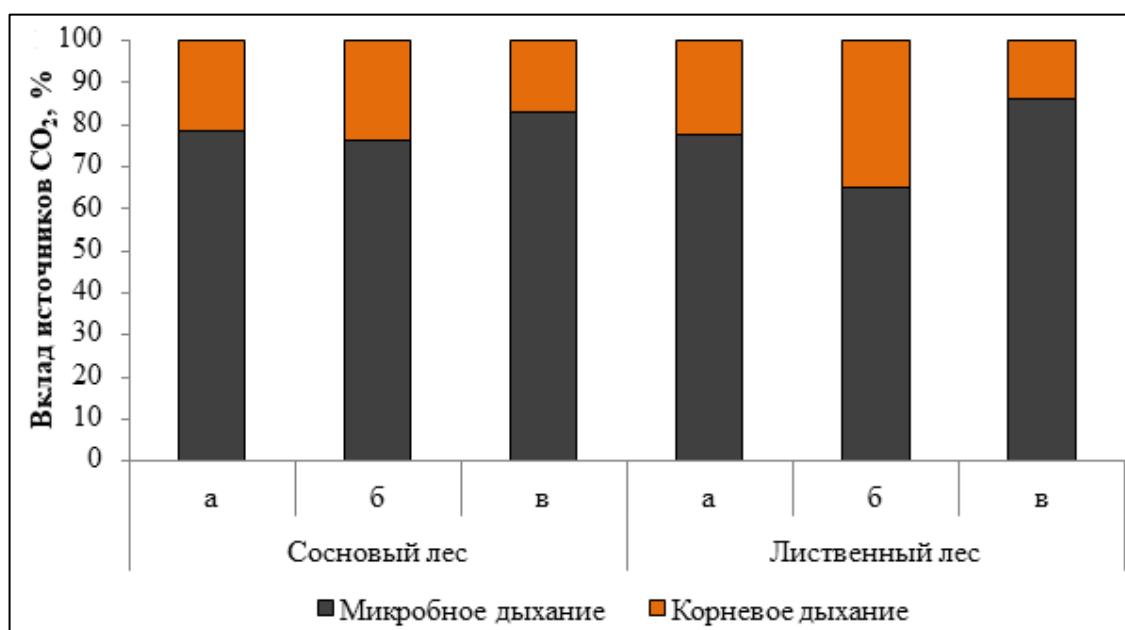


Рис. 2. Вклад дыхания корней и почвенных микроорганизмов в эмиссию CO₂ с поверхности почвы, определенный: а) методом извлечения корней, б) методом интеграции компонентов, в) методом СИД.

Микробное дыхание почв составило 76,2 – 78,5% в подзолах и 65,0 – 77,5% в дерново-подзолах. Стоит отметить, что как в исследуемых экосистемах сосновых лесов, так и в экосистемах лиственных лесов, функционирующих в надпойменных террасах р. Сейм, метод извлечения корней с последующим определением корневого дыхания *ex situ* свидетельствует о более высоком вкладе корневого дыхания, чем метод извлечения корней с последующим определением скорости эмиссии CO₂ *in situ* с поверхности поврежденной почвы. Это может быть связано с возникновением стресса у корней и ризосферной микробиоты, спровоцированного повреждением и резким изменением условий среды (перенос в среду насыщенную кислородом), что возможно, привело к временному локальному ускорению процессов метаболизма.

Результаты, полученные при использовании метода СИД, несколько отличались от вышеописанных. В почвах исследуемых экосистем вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ с поверхности почвы был на 6,6 – 21,1% меньше, чем при определении методами исключения корней и интеграции компонентов, он составлял 17,2% для подзола соснового леса, и 13,9% для дерново-подзола лиственного леса. Это можно объяснить наименьшим среди применяемых в работе методов физическим воздействием на почвы. Применение метода СИД отчасти решало проблему прямого физического повреждения (нарушение структуры, сложения почвы, изъятие корней с ризосферной микробиотой) [8, 10]. Вклад дыхания почвенной микробиоты, согласно методу СИД, составлял 82,8% в подзолах соснового леса и 86,1% в дерново-подзолах лиственного леса. Различия в величинах вклада микробного дыхания в поток CO₂, по-видимому, объясняются более значительным размером пула почвенной микробной биомассы (в т.ч. ризосферной) и её активностью в дерново-подзолах.

Обсуждение

Раздельное определение корневого и микробного дыхания различными методами с целью установления их вклада в поток CO₂ с поверхности подзолов и дерново-подзолов песчаных Курской области позволило получить неоднозначные данные. Ввиду физического нарушения почвенного покрова либо изменения гидротермического режима и химических свойств не представляется возможным провести измерения дыхания в реальных условиях среды. Однако используемые методы позволяют определить

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм
.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

диапазонные значения вклада источников диоксида углерода в эмиссию из почв. Очевидно, что одновременное применение разнообразных методов определения корневого и микробного дыхания в почвах даст максимально точные границы таких диапазонов для корней и микробиоты. Такой подход несомненно увеличит надежность и достоверность получаемых эмпирических данных, позволит использовать их в практике экологической оценки почвенных потоков диоксида углерода.

В надпойменных террасах реки Сейм на территории Курской области вклад микробного дыхания в общий поток CO₂ с поверхности почв (в летнее время – июнь) для подзолов иллювиально-железистых песчаных может составлять от 76,2 до 82,8%, для дерново-подзолов иллювиально-железистых песчаных – от 65,0 до 86,1%. Согласно данным, полученным при использовании метода исключения корней, для фоновых темно-серых почв и черноземов типичных Курской области микробное дыхание определяло 60% и 65% почвенной эмиссии CO₂ соответственно [16]. Таким образом вклад корневого дыхания в поток CO₂ из азональных альфегумусовых песчаных почв был несколько ниже, чем из зональных почв региона. Это можно объяснить тем, что фитоценозы, сформированные на плодородных темно-серых почвах и черноземах, как правило имеют богатое видовое разнообразие и высокую биомассу корней, значительно превосходящие аналогичные показатели в бедных песчаных почвах.

Полученные диапазонные значения вклада корневого дыхания в общий поток CO₂ с поверхности подзолов и дерново-подзолов Курской области сопоставимы с результатами, характерными для лесных экосистем. Например, в работе [8] отмечено что вклад корней, определенный методами интеграции компонентов и СИД, в поток из дерново-слабоподзолистой супесчаной и серой лесной среднесуглинистой почв лесных биоценозов Московской области составлял от 21 до 33%. Однако, в исследованиях проведенных в Западной Сибири (Ямало-Ненецкий автономный округ) отмечается, что для подзола языковатого в сосняках лишайниковых вклад корневого дыхания составил 30%, а для подбура оподзоленного в сосняках кустарничково-зеленомошных – 60%. В обоих случаях определение вклада осуществлялось методом исключения корней [17].

В модельных экспериментах с Loamy Harpic Luvisol при определении корневого и микробного дыхания (методы: исключение корней, отдельная инкубация, импульсное мечение растений ¹⁴C) было установлено, что вклад корней и ризосферных

микроорганизмов в поток CO₂ с почвенной поверхности зависел от метода его определения и изменялся от 18 до 50%. Вклад собственно корней тоже сильно варьировал в диапазоне 8 – 19% [10].

Различия значений вклада источников CO₂ в общий поток из почв могут быть обусловлены не только почвенными факторами (физические и химические свойства, гидротермические условия), типом растительности, климатом, антропогенным воздействием, но и временем года в момент проведения исследований. В течение вегетационного сезона растения находятся в различных фенологических фазах, от которых зависит физиологическое состояние растений и интенсивность их дыхания (дыхание поддержания и дыхание роста). К примеру летом, во время активного роста корневых систем, интенсивность их дыхания, а соответственно и вклад в общий поток CO₂ с поверхности почвы, значительно выше чем при относительно сопоставимых значениях температуры и влажности почв в осенний период [18].

Выводы:

1. Величина вклада источников CO₂ в общий поток с почвенной поверхности, определенная разными методами может существенно различаться, что несколько ограничивает возможность проведения сравнительных анализов.

2. Одновременное применение нескольких методов определения корневого и микробного дыхания может способствовать повышению надежности получаемых результатов.

3. Вклад корневого дыхания в общий поток CO₂ из дерново-подзолов составил 13,9 – 35%, микробного – 65 – 86%. Для подзолов 17,2 – 23,8% почвенной эмиссии определялось дыханием корней, а 76,2 – 82,8% – дыханием микроорганизмов.

4. Значения вклада корней в эмиссию CO₂ с поверхности почвы, определенного методом СИД были на 6,6 – 21,1% меньше чем при определении методами исключения корней и интеграции компонентов.

5. Интенсивность дыхания корней и ризосферной микробиоты в дерново-подзолах песчаных была на 59,1% больше чем в подзолах песчаных.

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
 Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
 подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

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

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

Список использованных источников

1. Кудеяров В.Н. Роль почв в круговороте углерода // Почвоведение. 2015. № 8. С. 915–923.
2. Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель, АСТ, 2011. – 632 с.
3. Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94 // Global Change Biol. 2002. V. 8. P. 800–812.
4. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate // Tellus B. 1992. V. 44. P. 81–99.
5. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and the global carbon cycle // Biogeochem. 2000 V. 58 P. 7–20.
6. Lal R. C sequestration // Philos Trans R Soc Lond Ser B Biol Sci 2008. V. 363(1492). P. 815–830. DOI: 10.1098/rstb.2007.2185
7. Meena R.S., Kumar S., Yadav G.S. Soil Carbon Sequestration in Crop Production. Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Springer, Singapore. 2020. P. 39. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_1
8. Евдокимов И.В., Ларионова А.А., Шмитт М., Лопес де Гереню В.О., Бан М. Определение вклада дыхания корней растений в эмиссию CO₂ из почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2010. № 3. С. 349–355.
9. Кузяков Я.В., Ларионова А.А. Вклад ризомикробного и корневого дыхания в эмиссию CO₂ из почвы (обзор) // Почвоведение. 2006. № 7. С. 842–854.
10. Сапронов Д.В., Кузяков Я.В. Разделение корневого и микробного дыхания: сравнение трех методов // Почвоведение. 2007. № 7. С. 862-872.
11. 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 лесообразующих пород [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_213.pdf.
12. Ларионова А.А., Сапронов Д.В., Лопес де Гереню В.О., Кузнецова Л.Г., Кудеяров В.Н. 2006 Вклад дыхания корней травянистых и древесных растений в эмиссию CO₂ из почвы // Почвоведение. № 10 С. 1248–1257.
13. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Васенев В.И., Саржанов Д.А.

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А.
 Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из
 подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
 =====

14. Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях // Агрофизика. 2016. № 4. С. 17-23.

15. Ananyeva, N.D., Sushko, S.V., Ivashchenko, K.V. et al. Soil Microbial Respiration in Subtaiga and Forest-Steppe Ecosystems of European Russia: Field and Laboratory Approaches // Eurasian Soil Sc. 2020. V. 53. P. 1492–1501. <https://doi.org/10.1134/S106422932010004X>

16. Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Сезонная динамика эмиссии CO₂ из почв города Курска // Почвоведение. 2021. № 1. С. 70–79

17. Саржанов Д.А., Васенев В.И., Сотникова Ю.Л., Тембо А., Васенев И.И., Валентини Р. Краткосрочная динамика и пространственная неоднородность эмиссии CO₂ почвами естественных и городских экосистем Центрально-черноземного региона // Почвоведение. 2015. № 4. С. 469–478.

18. Гончарова О.Ю., Матышак Г.В., Тимофеева М.В., Сефилян А.Р., Бобрик А.А., Тархов М.О. Автотрофное и гетеротрофное дыхание почв криолитозоны: оценка вкладов и методические подходы (на примере почв севера Западной Сибири) // Сибирский экологический журнал. 2019. № 6. С. 654–667. DOI: 10.15372/SEJ20190603

19. Головки Т.К. Система показателей в исследованиях роли дыхания в продукционном процессе // Физиология растений. 1985. Т. 32. Вып. 5. С. 1004—1013.

=====

Цитирование:

Неведров Н.П., Протасова М.В., Довидович Е.Д., Кузнецова Е.А., Байдак Е.А. Экологическая оценка вклада дыхания корней растений и почвенной микробиоты в потоки CO₂ из подзолов и дерново-подзолов песчаных в надпойменных террасах реки Сейм [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_407.pdf.