

# Известия

5(37).2012

Оренбургского государственного  
аграрного университета

Теоретический и научно-практический журнал  
основан в январе 2004 года.

Выходит один раз в два месяца.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору  
за соблюдением законодательства в сфере массовых  
коммуникаций и охране культурного наследия.

Свидетельство о регистрации СМИ

ПИ №ФС77–49199 от 30 марта 2012 г. г. Москва

Стоимость подписки – 250 руб. за 1 номер журнала.

Индекс издания 20155. Агентство «Роспечать»,  
«Газеты и журналы», 2011–2012 гг.

Отпечатано в Издательском центре ОГАУ.

## Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный  
аграрный университет»

460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18

## Главный редактор:

В.В. Каракулев, д.с.-х.н., профессор

## Зам. главного редактора:

Г.В. Петрова, д.с.-х.н., профессор

## Члены редакционной коллегии:

В.И. Авдеев, д.с.-х.н.

Е.М. Асманкин, д.т.н.

Н.И. Востриков, д.с.-х.н.

А.А. Гурский, д.с.-х.н.

Н.Н. Дубачинская, д.с.-х.н.

Е.М. Дусаева, д.э.н.

Н.Д. Заводчиков, д.э.н.

Г.М. Залозная, д.э.н.

Л.П. Карташов, д.т.н.

А.В. Кислов, д.с.-х.н.

Г.Л. Коваленко, д.э.н.

М.М. Константинов, д.т.н.

В.И. Косилов, д.с.-х.н.

А.И. Кувшинов, д.э.н.

О.А. Ляпин, д.с.-х.н.

В.М. Мешков, д.в.н.

С.А. Соловьёв, д.т.н.

А.А. Уваров, д.ю.н.

Б.П. Шевченко, д.биол.н.

*Редактор – Т.Л. Акулова*

*Начальник редакционного отдела – С.И. Бакулина*

*Технический редактор – М.Н. Рябова*

*Корректор – В.П. Зотова*

*Вёрстка – А.В. Сахаров*

*Перевод – М.М. Рыбакова*

Подписано в печать – 28.09.2012 г.

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 34,87.

Тираж 1100. Заказ № 4621.

Почтовый адрес Издательского центра ОГАУ и редакционного  
отдела: 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18.

Тел.: (3532) 77-61-43, 77-59-14. E-mail: reduniver@yandex.ru

© ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный  
аграрный университет», 2012.

# Izvestia

5(37).2012

Orenburg State Agrarian  
University

Theoretical and scientific-practical journal  
founded in January 2004.

The journal is published every other month.

Registered by the Federal Legislation Supervision  
Service in the Sphere of Mass Communications  
and Protection of Cultural Heritage

MM Registration Certificate:

PI #FS77–49199 of March 2012, Moscow

Subscription cost – 250 rbl. per issue

Publication index – 20155 «Rospechat» Agency,  
«Newspapers and Journals», 2011–2012

Printed in the OSAU Publishing Centre.

## Constituter and Publisher

FSBEI HPE «Orenburg State  
Agrarian University»

18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014,

## Editor-in-Chief:

V.V. Karakulev, Dr. Agr. Sci., professor

## Deputy Editor-in-Chief:

G.V. Petrova, Dr. Agr. Sci., professor

## Editorial Board:

V.I. Avdeev, Dr. Agr. Sci.

Ye.M. Asmankin, Dr. Tech. Sci.

N.I. Vostrikov, Dr. Agr. Sci.

A.A. Gursky, Dr. Agr. Sci.

N.N. Dubachinskaya, Dr. Agr. Sci.

Ye.M. Dusayeva, Dr. Econ. Sci.

N.D. Zavodchikov, Dr. Econ. Sci.

G.M. Zaloznaya, Dr. Econ. Sci.

L.P. Kartashov, Dr. Tech. Sci.

A.V. Kislov, Dr. Agr. Sci.

G.L. Kovalenko, Dr. Econ. Sci.

M.M. Konstantinov, Dr. Tech. Sci.

V.I. Kosilov, Dr. Agr. Sci.

A.I. Kuvshinov, Dr. Econ. Sci.

O.A. Lyapin, Dr. Agr. Sci.

V.M. Meshkov, Dr. Vet. Sci.

S.A. Solovyov, Dr. Tech. Sci.

A.A. Uvarov, Dr. Law. Sci.

B.P. Shevchenko, Dr. Biol. Sci.

*Editor – T.L. Akulova*

*Head of Editorial Department – S.I. Bakulina*

*Technical editor – M.N. Ryabova*

*Corrector – V.P. Zotova*

*Make-up – A.V. Sakharov*

*Translator – M.M. Rybakova*

Publishing House and Editorial Department Address:

18 Chelyuskintsev St. Orenburg 460014,

Tel.: (3532) 77-61-43, 77-59-14. E-mail: reduniver@yandex.ru

© FSBEI HPE «Orenburg State Agrarian University», 2012

## Влияние промышленного загрязнения тяжёлыми металлами на дыхание лесной подстилки\*

*И.А. Сморкалов, к.б.н., Е.Л. Воробейчик, д.б.н., Институт экологии растений и животных УрО РАН*

Подстилка — ключевой компонент лесных экосистем, отражающий баланс поступления и разложения органического вещества. Именно в ней сосредоточена основная часть микроорганизмов, участвующих в трансформации органики. Лесная подстилка — это биогеохимический барьер на пути поступления поллютантов в минеральные почвенные горизонты, поэтому при

промышленном загрязнении именно её свойства меняются в первую очередь. В районах действия заводов цветной металлургии неоднократно отмечали увеличение мощности подстилки в 2—4 раза [1], связывая это с подавлением первичных деструкторов органики (крупных почвенных сапрофагов) и её основных минерализаторов.

Почвенное дыхание (эмиссия  $\text{CO}_2$  с поверхности почвы) — важное звено цикла углерода в наземных экосистемах; его определяет метаболическая активность почвенной микрофлоры,

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-05-01218), президиума РАН (проект 12-П-4-1057) и президиума УрО РАН (конкурс инновационных молодёжных проектов 11-4-ИП-345)

корневых систем растений и почвенной фауны. При измерении *in situ* этот показатель интегрально характеризует интенсивность и продукционных, и деструкционных процессов [6, 7]. В немногочисленных исследованиях отмечено как его снижение, так и отсутствие изменений при промышленном загрязнении [2, 8, 9]. С другой стороны, в лабораторных условиях при увеличении содержания тяжёлых металлов обычно регистрировали резкое снижение удельной дыхательной активности (УДА) почвы, т.е. скорости выделения  $\text{CO}_2$  в расчёте на единицу массы субстрата [10]. В связи с комплексной природой почвенного дыхания важен дифференциальный анализ изменения его компонентов в градиентах действия различных факторов. Негативное влияние тяжёлых металлов на почвенную микрофлору и её деструкционную активность подробно обсуждается в литературе [11, 12]. Но нам неизвестны работы, в которых бы раздельно оценивали дыхание минерального слоя почвы и подстилки для природных экосистем, подверженных промышленному загрязнению. Лишь единичные исследования посвящены определению УДА подстилки (проведены только в лабораторных условиях и на незагрязнённых объектах).

Цель работы — оценить изменение дыхания лесной подстилки в градиентах сильного промышленного загрязнения от крупных точечных источников атмосферных выбросов. Ранее мы показали отсутствие зависимости величины общего почвенного дыхания от уровня загрязнения в исследуемых районах [2]. Мы предполагали, что анализ дыхания подстилки может пролить свет на причины этой стабильности.

**Материал и методы исследований.** Работы выполнены возле двух предприятий цветной металлургии — Среднеуральского (СУМЗ) и Карабашского (КМЗ) медеплавильных заводов. В обоих районах хорошо выражены фоновая (20–30 км от завода), буферная (4–15 км) и импактная (до 2–5 км) зоны, характеризующие последовательные стадии техногенной дигрессии лесных экосистем. В каждом районе выбрали по 10 участков: возле СУМЗ — к западу от завода, КМЗ — к северу и югу. На каждом участке заложено по 3 пробные площади размером 625 м<sup>2</sup>. В районе СУМЗ работы проведены в ельниках-пихтарниках, в фоновой зоне — неморально-кисличных, буферной — разнотравно-злаковых, импактной — мохово-хвощовых и мертвopoкpoвных. В фоновой зоне мощность подстилки равна 2–3 см, буферной — 5–7 см, импактной — до 10–15 см. В районе КМЗ работы проведены в производных березняках, образовавшихся на месте сосновых лесов, в фоновой зоне — разнотравных, буферной — разнотравно-злаковых, импактной — мёртвopoкpoвных. В фоновой

и буферной зонах мощность подстилки равна 1–4 см, в импактной — до 8–10 см, на техногенной пустоши подстилка отсутствует.

Скорость потока  $\text{CO}_2$  измеряли полевым респирометром SR1LP (Qubit Systems, Канада), работающим по принципу закрытого динамического камерного метода [7]. Измерения проведены в июле — августе 2011 г. Для определения дыхания подстилки использовали оригинальную методику [3]: в месте измерения дыхания предварительно удаляли зелёные части сосудистых растений, далее камерой от прибора (диаметр 10 см) вырезали подстилку, аккуратно переносили её в открытый пластиковый пакет и в этом пакете помещали на исходное место. Чтобы уменьшить погрешность, вызванную увеличением выделения  $\text{CO}_2$  из-за неизбежного нарушения подстилки, пакет оставляли открытым на 30 мин. Затем камеру респирометра помещали в пакет, плотно прижимали для исключения поступления воздуха извне и измеряли поток в течение 3–4 мин. Сходным образом дыхание подстилки определяли в работе [13]. После измерения подстилку помещали в пакет, переносили в лабораторию, сушили до воздушно-сухого состояния, взвешивали с точностью до 0,01 г.

Интенсивность потока  $\text{CO}_2$  (мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$ ) рассчитывали по наклону кривой накопления газа в камере с учётом объёма системы, площади основания камеры и температуры почвенного воздуха. УДА подстилки (мг  $\text{CO}_2/\text{г}/\text{ч}$ ) вычисляли как отношение интенсивности потока к запасу абсолютно сухой подстилки в точке измерения (в пересчёте на 1 м<sup>2</sup> с учётом величины гигроскопической влаги).

Для оценки уровня загрязнения использовали концентрации подвижных форм тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cd) в лесной подстилке. Для каждой пробной площади использовали по 5 смешанных образцов (каждый составлен из пяти индивидуальных). Металлы экстрагировали 5-процентной  $\text{HNO}_3$  (отношение подстилки к экстрагенту равно 1:10), концентрации измерены на атомно-абсорбционном спектрометре AAS 6 Vario (Analytik Jena, Германия).

**Результаты и их обсуждение.** Дыхание подстилки составило 108–651 мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$  в районе СУМЗ и 72–514 мг  $\text{CO}_2/\text{м}^2/\text{ч}$  в районе КМЗ (рис.). Выбросы медеплавильных заводов — один из наиболее сильных видов загрязнения, негативно влияющий на почвенный микробиоценоз и растительность; поэтому мы ожидали, что при приближении к заводу эмиссия  $\text{CO}_2$  будет резко снижаться. Однако оказалось, что на загрязнённой территории она почти не выходит за пределы варьирования, обусловленного естественными причинами. Разница между фоновыми и импактными участками сводится к тому, что в последнем



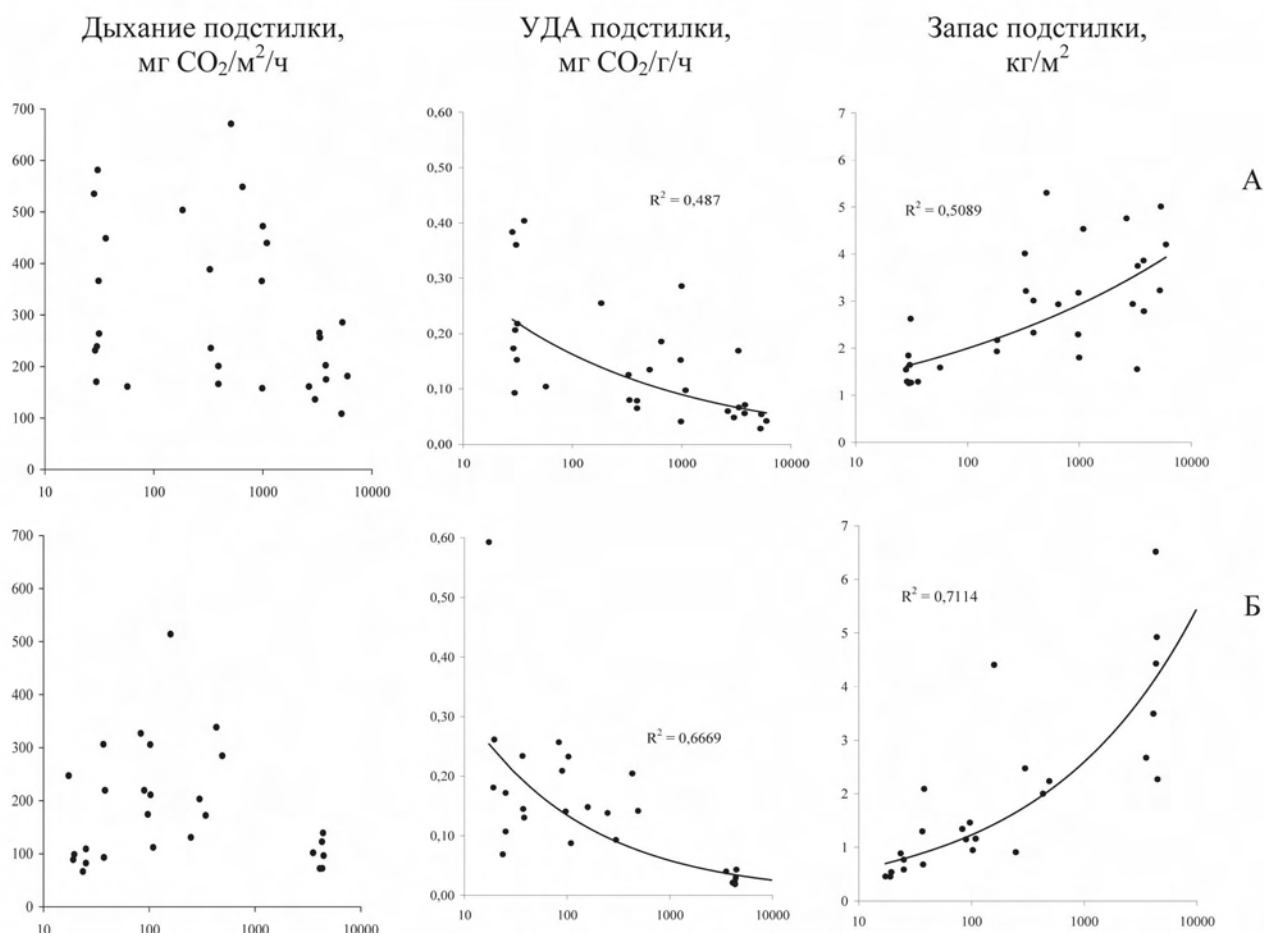


Рис. – Зависимость удельной дыхательной активности (УДА) лесной подстилки, её запаса и дыхания от содержания подвижной формы Cu (мкг/г) в районе Среднеуральского (А) и Карабашского (Б) медеплавильных заводов. Каждая точка – среднее значение на площадку ( $n = 15$  для запаса подстилки и показателей её дыхания,  $n = 5$  для содержания Cu в подстилке); линия – аппроксимация зависимости степенным уравнением

случае нет высоких значений интенсивности дыхания, которые наряду с низкими отмечены в фоновой зоне. В результате среднее значение дыхания в импактных зонах оказывается лишь в 1,5–1,7 раза ниже по сравнению с фоновыми (ANOVA, СУМЗ:  $F_{2;27} = 4,3$ ,  $p = 0,025$ , КМЗ:  $F_{2;24} = 6,3$ ,  $p = 0,006$ ). В большинстве случаев не было обнаружено связи дыхания подстилки с содержанием в ней металлов ни на уровне отдельных пробных площадей, ни участков. В то же время УДА тесно связана с содержанием металлов. Разница между импактной и фоновой зонами по УДА существенно больше разницы по дыханию (2,5–32 раза).

Сопоставление трендов изменения дыхания, запаса и УДА подстилки позволяет понять причины относительной стабильности потока  $\text{CO}_2$  в градиенте загрязнения. Оказалось, что мы наблюдаем два разнонаправленных процесса: с одной стороны, при росте загрязнения существенно увеличивается запас подстилки (из-за подавления деструкционных процессов), с другой – резко падает её УДА; результирующая же этих двух процессов – собственно дыхание подстилки – уменьшается не очень сильно.

Причинами снижения УДА подстилки могут быть как уменьшение её коренасыщенности, так и снижение численности и/или активности почвенных микроорганизмов. Известно, что тяжёлые металлы оказывают сильное токсическое действие и на функционирование микробов, и на рост корневых систем растений [4, 14]. Неоднократно продемонстрировано снижение численности почвенной микрофлоры вблизи промышленных предприятий [9]. К сожалению, очень мало информации о биомассе / продукции корней в лесах, подверженных загрязнению [14]. Установлено, что при загрязнении может происходить перераспределение корней из подстилки в минеральные горизонты [5]. Из-за неопределённости в оценке действия токсикантов на почвенную биоту и растения невозможно однозначно судить о реакции отдельных агентов почвенного дыхания на загрязнение. Прямое же разделение вкладов автотрофов и гетеротрофов в общее дыхание представляет собой чрезвычайно сложную методическую задачу [6]; в разных условиях их соотношение сильно варьирует. Поэтому без дополнительных исследований невозможно точно определить

причину снижения УДА подстилки под действием загрязнения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что почвенное дыхание — консервативная характеристика, в значительной степени инвариантная к структурным изменениям экосистем. При очевидных сильных изменениях в структуре биоты, вызванных загрязнением, относительную стабильность дыхания можно рассматривать как подтверждение гипотезы о функциональной избыточности биотических сообществ.

### Литература

1. Воробейчик Е.Л. Реакция лесной подстилки и её связь с почвенной биотой при токсическом загрязнении // Лесоведение. 2003. № 2. С. 32–42.
2. Сморгалов И.А., Воробейчик Е.Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.
3. Сморгалов И.А. Методические проблемы разделения потоков углекислого газа из почвы в полевых условиях: определение вклада дыхания подстилки // Экология: сквозь время и расстояние. Екатеринбург, 2011. С. 185–186.
4. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 1997. 210 с.
5. Веселкин Д.В. Распределение тонких корней хвойных деревьев по почвенному профилю в условиях загрязнения выбросами медеплавильного производства // Экология. 2002. № 4. С. 250–253.
6. Kuzyakov Y. Sources of CO<sub>2</sub> efflux from soil and review of partitioning methods // Soil Biol. Biochem. 2006. V. 38. № 3. P. 425–448.
7. Luo Y., Zhou X. Soil respiration and the environment. Burlington: Academ. Press, 2006. 316 p.
8. Kozlov M.V., Zvereva E.L., Zverev V.E. Impacts of point polluters on terrestrial biota: Comparative analysis of 18 contaminated areas. Dordrecht: Springer, 2009. 466 p.
9. Ramsey P.W., Rillig M.C., Feris K.P., Gordon N.S., Moore J.N., Holben W.E., Gannon J.E. Relationship between communities and processes; new insights from a field study of a contaminated ecosystem // Ecol. Lett. 2005. V. 8. № 11. P. 1201–1210.
10. Akerblom S., Beeth E., Bringmark L., Bringmark E. Experimentally induced effects of heavy metal on microbial activity and community structure of forest mor layers // Biol. Fert. Soils. 2007. V. 44. P. 79–91.
11. Beeth E. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review) // Water, Air, Soil Pollut. 1989. V. 47. P. 335–379.
12. Giller K.E., Witter E., McGrath S.P. Heavy metals and soil microbes // Soil Biol. Biochem. 2009. V.41. P.2031–2037.
13. Atarashi-Andoh M., Koarashi J., Ishizuka S., Hirai K. Seasonal patterns and control factors of CO<sub>2</sub> effluxes from surface litter, soil organic carbon, and root-derived carbon estimated using radiocarbon signatures // Agric. Forest Meteorol. 2012. V. 152. P. 149–158.
14. Kocourek R., Bystrican A. Fine root and mycorrhizal biomass in norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) forest stands under different pollution stress // Agric. Ecosys. Env. 1990. V. 28. P. 235–242.