

4. Уральский опыт лесоустройства, накопленный за предыдущий период, целесообразно использовать при разработке перспективных систем организации лесного хозяйства.

УДК 574.4:546.26

В.А. Мухин*, **П.Ю. Воронин****,
Г.А. Хононзон***, **Д.К. Диярова******
V.A. Mukhin*, P.Yu. Voronin**,
G.A. Chononzon***, D.K. Diyarova****

(* Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

** Институт физиологии растений РАН, Москва,

*** ООО Микросенсорная техника, Москва,

**** Уральский государственный университет, Екатеринбург)



Мухин Виктор Андреевич родился в 1949 г. Окончил Уральский государственный университет в 1972 г. Доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биоразнообразия растительного мира и микобиоты Института экологии растений и животных УрО РАН, заведующий кафедрой ботаники УрГУ (по совместительству). Автор 200 печатных работ. Область научных интересов – экология процессов разложения органических веществ в лесных экосистемах, микология, экологическая физиология грибов.



Воронин Павел Юрьевич родился в 1960 г. Окончил Московский физико-технический институт в 1986 г. Доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева. Автор 43 печатных работ. Область научных интересов – физиология растений, углеродный цикл лесных экосистем.



Хононзон Григорий Аронович родился в 1938 г. Окончил Институт нефти и химии в г. Баку в 1964 г. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. Заместитель генерального директора по научной работе ООО «Микросенсорная техника», г. Москва. Автор 51 печатной работы. Область научных интересов – разработка хроматографических методик анализа газовых смесей, конструирование и производство хроматографов и газоанализаторов.



Диярова Дарья Камилевна родилась в 1988 г. Студентка 4-го курса биологического факультета Уральского государственного университета. Область научных интересов – экологическая физиология грибов.

ЭМИССИЯ МЕТАНА ИЗ ЖИВОЙ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ (METHANE EMISSION FROM LIVING TRUNK WOOD)

Приведены экспериментальные данные, показывающие, что лиственная и хвойная древесина является источником биогенного метана, образующегося в результате развития в древесных тканях анаэробного бактериального консорциума. Это придает древесному ярусу лесных экосистем статус нового глобально значимого источника эмиссии биогенного метана в атмосферу.

Experimental data demonstrate bio-produced methane emission has to be formed in result the anaerobic bacterial society activity inside of trunks woody plants. It means the methane emission into the atmosphere by trunk wood allowed for the forest ecosystems to be considered as a new source of the global significance of the greenhouse gas.

В настоящее время активно обсуждается вопрос о способности растений эмитировать в окружающую среду метан. Отправной точкой в дискуссиях стала статья Кеплера с сотр. (Kepler *et al*, 2006), где были приведены экспериментальные данные, свидетельствующие, что зеленые растения выделяют метан. В последующие годы это нашло подтверждение и в работах других исследователей (Wang *et al*, 2008; Nisbet *et al*, 2009). Однако все имеющиеся на этот счет данные основываются на изучении преимущественно (Kepler *et al*, 2006; Wang *et al*, 2008) или исключительно (Nisbet *et al*, 2009) травянистых растений.

Вместе с тем еще в 70-х годах прошлого столетия Zeikus, Ward (1974) установили, что в визуально здоровой древесине лиственных присутствует метан и метаногенные археи: род *Methanobacterium*. Нами в ходе работ по изучению метаногенной активности древесного дебриса также было показано, что живая древесина выделяет метан (Мухин, Воронин, 2009). В настоящей работе приведены новые данные, касающиеся этого интереснейшего феномена.

Методика и объекты исследований

Исследования проведены с натурными образцами (15-17 см длиной и 4-5 см в диаметре) живой стволовой древесины *Betula pendula* Roth, *Padus avium* Mill., *Pinus sylvestris* L., заготовленными в предлесостепных сосново-березовых лесах Среднего Урала в ноябре 2009 г. В первой серии экспериментов по изучению динамики эмиссии CH_4 и H_2 образцы помещали в герметичные стеклянные камеры объемом 1,68-2,53 л, находившиеся при комнатной температуре (20°C), и периодически проводили оценку концентрации исследуемых газов в единицах ppm. Во второй серии экспериментов по изучению температурной зависимости метаногенной активности живой древесины камеры с образцами в открытом виде помещали в термостат на 8-10 ч (за это время образцы нагревались до требуемой температуры), затем камеры герметично закрывали и оставляли в термостате на 24 ч при заданной температуре. После этого измеряли концентрацию газов в камерах в единицах ppm.

Содержание метана и водорода измеряли на хроматографе АХТ-ТИ (Россия, «Микросенсорная техника» – www.microsensor.ru). Газ-носитель – воздух, скорость потока – $8\text{ см}^3/\text{мин}$, стабилизирована системой авторегулирования. Управление хроматографом и обработка информации осуществляется встроенной микро-ЭВМ с выводом цифрового материала и хроматограмм на дисплей. Дополнительно данные обрабатывали с использованием специальной компьютерной программы «Analyser». Погрешность измерений ± 5 ppm.

Результаты и обсуждение

Как показывают результаты исследований, образцы живой древесины всех трех анализируемых видов древесных выделяют метан и водород (таблица). На анаэробно-бактериальное происхождение «древесного» метана указывает значимая продукция H_2 , необходимого для восстановления CO_2 до CH_4 метаногенными археями (Воробьева, 2007).

Соотношение CH_4/H_2 варьирует в зависимости от длительности экспозиции и вида древесины, но в среднем составляет 6:1 (1-2-е сутки экспонирования образцов) – 5:1 (4-е сутки экспонирования). Другими словами, активность эмиссии метана из живой древесины в разы превышает аналогичный показатель для водорода. Процессы эмиссии CH_4 и H_2 имеют кумулятивный характер – оба газа накапливаются в замкнутом пространстве – и протекают синхронно. Так, концентрация CH_4 на 2-е сутки в 2,6 раза выше, чем в 1-е сутки. Во столько же раз возросла и концентрация H_2 – в 2,5 раза. Аналогичная картина и на 4-е сутки: концентрация метана по сравнению с 1-ми сутками возрастает в 4,9 раза, водорода – в 5,7 раза (см. таблицу).

Концентрация CH_4 и H_2 в экспозиционных камерах с образцами живой стволовой древесины, ppm

Древесина (влажность, %)	Длительность экспозиции, сут.		
	1	2	4
<i>Betula pendula</i> (43)	88/12	408/37	910/183
<i>Padus avium</i> (47)	322/60	679/138	1022/203
<i>Pinus sylvestris</i> (43)	120/17	277/52	630/125
В среднем	176/30	455/75	854/170

На бактериальное происхождение «древесного» метана указывают также результаты эксперимента по измерению выделения метана образцами живой древесины, предварительно в течение 60 суток высушенными до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. В воздушно-сухом состоянии (влажность 6,2-7,3 %) древесина всех трех тестируемых видов древесных полностью утрачивала метаногенную активность. При этом в отношении водорода образцы проявляли следовую активность. Однако после выдерживания образцов в течение 24 ч в дистиллированной воде (влажность 22-37 %) уже через 4 ч эмиссия метана возобновлялась и на 4-е сутки составляла от 20 (образцы березы) до 52 % (образцы черемухи) от уровня, характерного для свежей живой древесины соответствующих видов (рис. 1). Эти данные свидетельствуют о том, что эмиссия метана из живой древесины не связана с его поступлением в древесные ткани из почвы с водой, как это полагают Nisbet et al. (2009).



Рис. 1. Накопление CH_4 (светлая колонка) и H_2 (темная колонка) при экспонировании натуральных образцов древесины березы (А), черемухи (Б) и сосны (В) в герметичных камерах. Варианты опыта представлены 24-часовой экспозицией образцов древесины, высушенных до воздушно-сухого состояния (1), а также 4-часовой (2), 24-часовой (3), 48-часовой (4), 96-часовой (5) и 120-часовой (6) экспозициями тех же образцов после увлажнения дистиллированной водой

CH₄ эмиссионная активность живой древесины определяется не только влажностью древесины, но и её температурой (рис. 2). Несмотря на разнообразие температурных кривых, представленных на рисунке, можно отметить общие характерные черты. Во-первых, активность эмиссии метана во всех случаях возрастает с ростом температуры, а ее максимум наблюдается при 40 (древесина березы) – 50⁰С (древесина сосны и черемухи). Во-вторых, во всех случаях минимальная активность эмиссионных процессов приходится на диапазон низких температур (7-10⁰С), при превышении которых эмиссионная активность возрастает в 2 (древесина березы) – 3 (древесина черемухи) – 5 раз (древесина сосны). В-третьих, во всех случаях наблюдается высокая сопряженность процессов эмиссии метана и водорода. Так, активность обоих процессов синхронно меняется в зависимости от температуры окружающей среды, а их температурные максимумы, как правило, совпадают. Наконец, сходный характер эмиссионной динамики метана и водорода подтверждают и результаты корреляционного анализа. Коэффициенты корреляции составляют: 0,80 – для древесины сосны, 0,87 – для древесины черемухи и 0,96 – для древесины березы. В среднем соотношение CH₄/H₂ в исследуемом диапазоне температур составляет: 6:1 – для древесины березы и черемухи и 8:1 – для древесины сосны. Такое же соотношение газов отмечали и в опытах по изучению динамики выделения метана и водорода образцами живой древесины при комнатной температуре (см. таблицу).

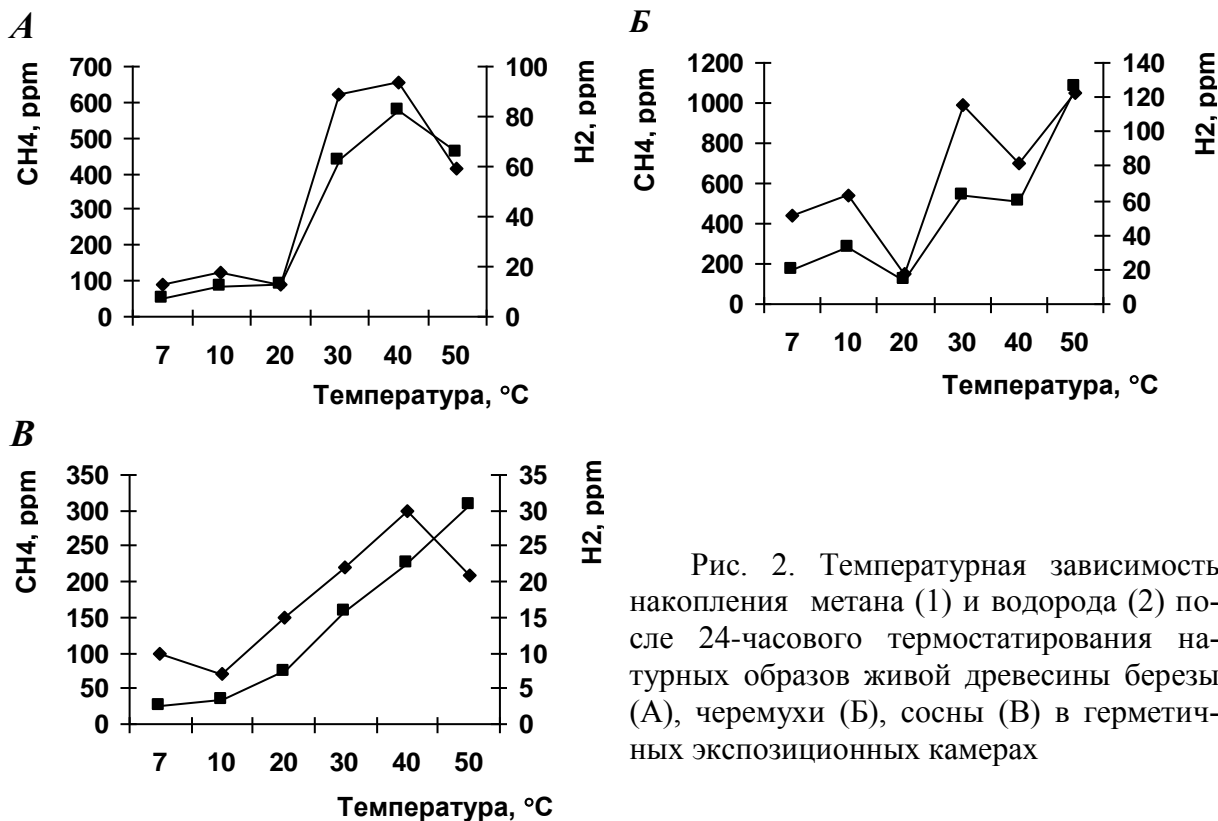


Рис. 2. Температурная зависимость накопления метана (1) и водорода (2) после 24-часового термостатирования натуральных образцов живой древесины березы (А), черемухи (Б), сосны (В) в герметичных экспозиционных камерах

Результаты анализа температурной зависимости метаногенной активности живой стволовой древесины показывают, что эмиссионная активность древесных растений и древесного яруса лесных экосистем должна обладать выраженной сезонной ритмикой: минимальной в межсезонье и максимальной в летние месяцы. С учетом данных экспериментов с воздушно-сухими и увлажненными образцами стволовой древесины древесных пород можно заключить, что максимальную эмиссию метана следует ожидать в теплые и влажные периоды вегетационного сезона, а в засушливые – её существенное снижение.

Таким образом, не только древесный детрит, но и живая стволовая древесина лиственных и хвойных пород обладают выраженной метаногенной активностью, уровень которой зависит от влажности и температуры окружающей среды. Тесно сопряженный характер эмиссии CH_4 и H_2 , в которой водород является минорной фракцией, позволяет рассматривать его в качестве промежуточного продукта брожения анаэробного бактериального консорциума, приводящего в итоге к синтезу метана. Это придает древесному ярусу лесных экосистем статус нового глобально значимого источника биогенного метана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 09-04-00638), Президиума УрО РАН (Программа интеграционных и междисциплинарных проектов), а также Программы развития научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279), программы 4 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 6.3).

Библиографический список

Воробьева Л.И. Археи: учеб. пособие для вузов. М.: Академкнига, 2007. 447 с.

Мухин В.А., Воронин П.Ю. Метаногенная активность в древесных растениях // Физиология растений. 2009. Т.56. № 1. С. 152 - 154. (DOI: 10.1134/S1021443709010208)

Kepler F. et al. The methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions / F. Kepler, J.T.G. Hamilton, M. Braß, T. Röckmann // Nature. 2006. V. 439. P. 187-191. (DOI:10/1038/nature04420)

Nisbet R.T.R. et al. Emission of methane from plants / R.T.R. Nisbet, R. Fisher, R.H. Nimmo, D.S. Bendall [et al] // Proc. R. Soc. B. 2009. V. 276. N. 1660. P. 1347-1354. (DOI: 10.1098/rspb. 2008. 1731)

Wang Zhi-Ping et al. Aerobic Methane Emission from Plants in the Inner Mongolia Steppe / Zhi-Ping Wang, Xing-Guo Han, G. Geoff Wang [et al] // Environ. Sci. Technol. V. 42. P. 62-68. (DOI: 10.1021/es0712241)

Zeikus. J.G., Ward J.C. Methane formation in living trees: a microbial origin // Science. 1974. V. 184. N. 4142. P. 1181 – 1183. (DOI: 10.1126/science.184.4142.1181)