

РАДИАЦИЯ И БИОСФЕРА

УДК 581.5+581.134.5:581.824+582.475+551.510.534

## Вариации содержания и давления газовых компонентов в древесине спилов ствола и корня некоторых хвойных деревьев

Б.Г. Агеев<sup>1</sup>, А.Н. Груздев<sup>2</sup>, В.А. Сапожникова<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

<sup>2</sup>Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

Поступила в редакцию 28.03.2016 г.

Измерения содержания CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, вакуумно десорбированных из древесины годичных колец спилов хвойных деревьев, показывают, что погодичные распределения содержания этих компонентов характеризуются определенной цикличностью. Более того, цикличность обнаружена и в погодичной вариации полного давления десорбированных из годичных колец газовых проб. Можно предположить, что поступление CO<sub>2</sub> из стволов деревьев в атмосферу за счет диффузии также испытывает периодические изменения. Рассматриваются две гипотезы появления цикличности в распределениях CO<sub>2</sub> в годичных кольцах хвойных деревьев.

*Ключевые слова:* хвойные деревья, цикличность, CO<sub>2</sub>, поздняя древесина, корень сосны; conifers, cyclicity, CO<sub>2</sub>, latewood, pine root.

### Введение

Окружающая среда влияет на плотность, структуру и химический состав годичных колец деревьев [1]. Исследования поведения газовых компонентов, извлекаемых под вакуумом из древесины годичных колец спилов деревьев, дают возможность получить дополнительную информацию о жизнедеятельности дерева в разные периоды его жизни. Распределения по кольцам таких газовых компонентов, как CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, можно рассматривать как новый дендрохронологический параметр, который, в комплексе с другими характеристиками колец, позволяет изучать отклик дерева на изменение внешних условий [2]. Наши предыдущие исследования показали, что погодичные распределения содержания CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в спилах хвойных деревьев связаны с вариациями осадков и температуры и, вероятно, подвержены влиянию 11-летнего цикла солнечной активности [3, 4]. Распределения CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O по годичным кольцам отражают также влияние особенностей места произрастания деревьев [5].

Углекислый газ, являясь одним из основных газов, участвующих в метаболических процессах живого дерева, образуется живыми паренхимными клетками в процессе дыхания [6]. В растворенном виде образованный при дыхании ствола CO<sub>2</sub> вместе с ксилемным соком поднимается вверх к кроне дерева.

Содержание CO<sub>2</sub> в стволе может достигать 20%, и в процессе жизнедеятельности дерева часть его может быть использована фотосинтетическими клетками самой древесины и листьями, а другая часть может диффундировать в атмосферу [7]. Свой вклад в стволовой CO<sub>2</sub> привносит также и корневая система. До сих пор вопрос о роли корневой системы в переносе CO<sub>2</sub> в ствол дерева остается дискуссионным [8]. Известно, что почва обогащается CO<sub>2</sub> за счет процессов автотрофного (корни и ризосферные организмы) и гетеротрофного (распад неживых органических материалов) дыхания [9].

Особое внимание при изучении процессов дыхания и переноса CO<sub>2</sub> в стволах уделяется роли воды. Взаимодействие древесины с H<sub>2</sub>O исследуется давно [10]. Известно, что в живом дереве стенки клеток насыщены водой и вода в люменах клеток (свободная вода) может находиться в трех состояниях: жидком, в виде паров воды и в смеси воды и пара [11]. Гидроксильные группы полимеров древесины активно взаимодействуют с молекулами H<sub>2</sub>O, образуя поверхностный слой так называемой связанной воды. Считается, что диффузия связанной воды очень медленная по сравнению с диффузией паров в пористой структуре древесины и вклад связанной воды в водный транспорт незначителен. Изменение влажности древесины тесно связано с диффузией паров воды [11].

Среди работ о поведении CO<sub>2</sub> и воды в древесной структуре отсутствуют работы по исследованию особенностей распределения этих компонентов по кольцам деревьев. Мы неоднократно указывали

\* Борис Григорьевич Агеев (ageev@asd.iao.ru); Александр Николаевич Груздев (a.n.gruzdev@mail.ru); Валерия Александровна Сапожникова (sapo@asd.iao.ru).

на существование циклических в найденных экспериментально хронологиях  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  [3, 4, 12]. По-видимому, капиллярная система годичных колец дерева способна даже после смерти дерева сохранять особенности погодичного распределения этих компонентов, так как пористая структура древесины способна ежегодно сорбировать воду (связанная вода) и растворенный в ней  $\text{CO}_2$ .

В настоящей статье представлены результаты анализа вариаций содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  и давления в годичных кольцах спилов ствола и корня некоторых хвойных деревьев. Информация о сохранении и поведении  $\text{CO}_2$  в древесине колец может быть интересна как для дендрохронологов и дендроэкологов, так и для специалистов, занимающихся проблемами баланса углерода и оценкой потоков  $\text{CO}_2$  между биосферой и атмосферой. Всестороннему анализу потоков углерода придается большое значение [13, 14], и новые экспериментальные результаты могли бы внести определенный вклад в изучение этого вопроса. Кроме того, исследование поведения двух компонентов с высокой взаимной корреляцией ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) [4] дает возможность по-новому взглянуть на процессы диффузии  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в пористой древесной структуре.

## Материалы и методы

В статье приводятся результаты анализа погодичного поведения  $\text{CO}_2$  и давления пробы, десорбированной из древесины колец спилов ряда хвойных деревьев и древесины корня сосны. Исследуемая часть корня была отделена от корня пня сосны, спиленной год назад, с глубины около 20 см. Диаметр корня около 8 см, длина ~22 см. Все спилы были взяты возле г. Томска (56°26' с.ш., 85°03' в.д.). Исследуемые спилы (кроме свежего спила сосны) длительное время хранились в лабораторных условиях, поэтому материал можно считать комнатно-сухим. Свежий спил сосны был взят от сломанной ветром весной 2011 г. сосны, и измерения проводились немедленно. Полученные ряды измерений соответствуют временным интервалам длиной от 26 до 287 лет для спилов деревьев и 47 лет для корня. При работе с древесиной корня из-за узости колец не всегда возможно было точно отделить древесину данного года, поэтому ошибку в датировке колец корня мы задаем как  $\pm 1$  год.

Для измерений содержания газов в древесине колец применялся лазерный оптико-акустический (ОА) метод с использованием автоматизированного газоанализатора на базе перестраиваемого  $\text{CO}_2$ -лазера [12]. Результатом исследования газовой пробы, извлеченной под вакуумом из древесины годичного кольца (десорбированная проба), служит файл с записью величины ОА-сигналов поглощения пробы на длинах волн излучения лазера. Предварительная калибровка ОА-детектора позволяет определять парциальное давление исследуемых газов. Навески древесины помещались в экспозиционные камеры, в которых создавался кратковременный вакуум. Давление десорбированной пробы газа в каждой экспозиционной камере фиксировалось манометром.

Для проверки того, что исследуемый  $\text{CO}_2$  не привносится из атмосферы, а образован в самом дереве, был проведен изотопный анализ углерода  $\text{CO}_2$ , десорбированного из нескольких колец древесины. Известно, что наземные растения характеризуются величиной  $\delta^{13}\text{C} = (-22) \div (-32)\%$ , в то время как средняя величина  $\delta^{13}\text{C}$  для атмосферы равна  $-8,5\%$  [15]. Отношение стабильных изотопов углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) древесного  $\text{CO}_2$  было измерено в аккредитованной лаборатории изотопных методов (г. Томск) на масс-спектрометре DELTA V Advantage с погрешностью не выше  $\pm 0,5$  при доверительной вероятности 0,95. Ширина годичных колец измерялась на зашлифованной поверхности спила на полуавтоматической установке LINTAB с точностью 0,01 мм.

Для исследования погодичного изменения плотности древесины производилось сканирование части спила кедр ( $S \times L = 1 \times 1 \times 12 \text{ см}^3$ ) методом компьютерной рентгеновской томографии (РТ) [16]. Известно, что максимальная плотность поздней древесины, образующейся в кольце в конце лета, является интегральным показателем температуры периода вегетации и, с одной стороны, отражает условия того времени, когда формируется кольцо, а с другой – находится под гормональным контролем начала вегетационного периода [17]. Для оценки периодических вариаций в хронологиях  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в кольцах спилов использовался метод быстрого преобразования Фурье (FFT) из пакета графической программы ORIGIN, а также спектральный и кросс-спектральный анализ высокого разрешения по методу максимальной энтропии [18, 19].

## Результаты экспериментов

### Циклические составляющие $\text{CO}_2$ -хронологий

Рис. 1, а иллюстрирует вариации оптико-акустического сигнала, характеризующие изменение содержания  $\text{CO}_2$  и ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) в годичных кольцах спила кедр (*Pinus sibirica* Du Tour) [5]. Видно, что погодичное изменение этих параметров носит циклический характер. Применение к полученным результатам методов вейвлетного, спектрального и кросс-спектрального анализа высокого разрешения позволило подтвердить существование в них циклических процессов и выделить 2- и 4-летний циклы (рис. 1, б) [20]. На рис. 1, а следует отметить видимый рост  $\text{CO}_2$  в кольцах спила кедр последних лет. Такой же рост должен был бы наблюдаться в вариациях суммарного содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , однако сигнал от суммы этих компонентов не увеличивался. Этому есть простое объяснение: часть  $\text{H}_2\text{O}$  была вытеснена смолой на данном участке спила.

Рис. 2 представляет результаты анализа методом быстрого преобразования Фурье некоторых хронологий  $\text{CO}_2$  в кольцах спилов. В целом анализ был выполнен для спилов сосны (*Pinus sylvestris* L.), ели и лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) [12].

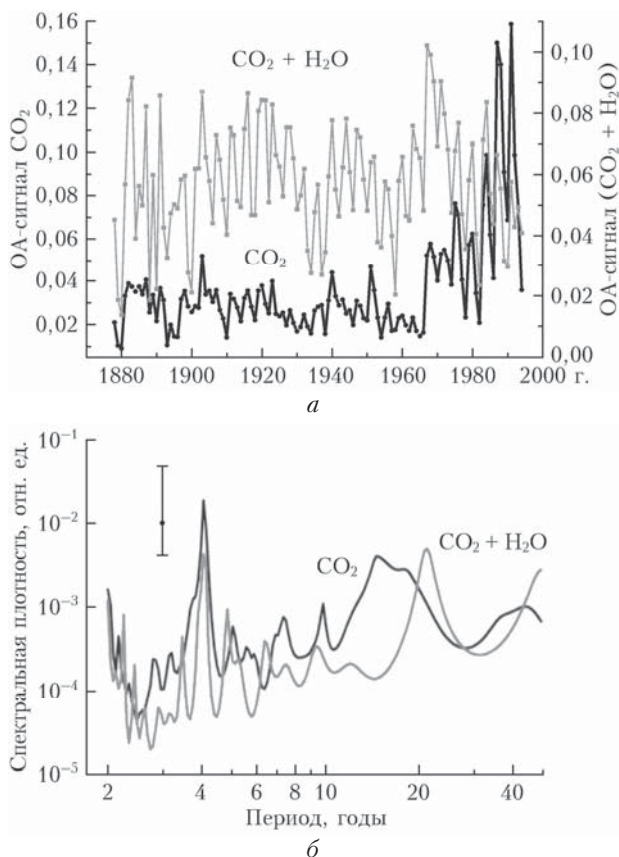


Рис. 1. Погодичные вариации содержания  $\text{CO}_2$  и  $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$  в древесине колец кедр (а) и спектры мощности их флуктуаций (б). Вертикальный отрезок — 95%-й доверительный интервал

Приведенные рисунки указывают на наличие в хронологиях  $\text{CO}_2$  из колец спилов хвойных деревьев, произраставших в одном регионе (Западная Сибирь), отчетливых 2- и 4-летних циклов. Заметим, что в  $\text{CO}_2$ -хронологиях для спилов пихт этого же региона такие циклы отсутствуют, а сами  $\text{CO}_2$ -хронологии характеризуются слабой погодичной вариабельностью. По-видимому, через тонкую кору пихты диффузия  $\text{CO}_2$  происходит легче и меньшая доля  $\text{CO}_2$  сохраняется в древесине колец. Из семи хронологий  $\text{CO}_2$  для спилов пихт только в двух случаях удалось обнаружить 3-летний цикл.

### Результаты рентгеновской томографии участка спила кедр

Можно предположить, что циклический характер изменения исследуемых компонентов может быть обусловлен циклическими изменениями плотности поздней древесины, которая препятствует свободной диффузии газов. Для проверки этой гипотезы была сделана рентгеновская томография плотности спила сибирского кедр. Известно, что каждое годичное кольцо характеризуется четкими зонами роста: ранней и поздней древесиной. При этом ранняя древесина, возникающая в весенний период, занимает ос-

новную часть ширины годичного кольца (до 80%). К осени рост клеток замедляется, они становятся мельче, плотнее и образуют позднюю древесину кольца, выделяющуюся темной окраской и большей плотностью. Увеличение плотности поздней древесины хвойных деревьев может вызываться засухой [21].

Применение компьютерной рентгеновской томографии дает возможность получить РТ-спектр плотности колец и проследить погодичные изменения плотности поздней древесины. Для начала мы провели оцифровку полученного РТ-спектра в предположении линейной зависимости диаметра ствола от времени. Однако, так как увеличение толщины дерева нелинейно во времени, необходимо было соотнести линейный масштаб РТ-спектра с хронологией колец с учетом того, что последнее кольцо датируется годом, когда дерево срубили (2008 г.). Рис. 3, а показывает привязку шкалы РТ-спектра с временной шкалой годичных колец спила. Найденное соответствие между РТ-шкалой и годом произрастания кольца дало возможность проследить погодичную вариацию поздней древесины (т.е. максимальной плотности). На рис. 3, б представлены погодичные вариации плотности поздней древесины колец исследуемого участка спила кедр.

На рис. 4, а приведен Фурье-спектр значений плотности поздней древесины. На нем отсутствуют максимумы с 2- и 4-летним периодами, но имеется максимум с периодом около 3 лет. Результаты аналогичного анализа РТ-спектра минимальной плотности древесины годичных колец также не выявили 2- и 4-летнего циклов, но указывают на вероятное существование вариаций с периодами в окрестности 11 и 22 лет (рис. 4, б).

Заметим, что коэффициент линейной корреляции между шириной годичных колец и плотностью поздней древесины в кольцах составляет  $-0,34$  с уровнем статистической значимости 0,002.

Отсутствие 2- и 4-летних циклов в спектре максимальной плотности колец не подтверждает выдвинутую выше гипотезу о зависимости циклическостей в содержании  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в годичных кольцах от вариации плотности поздней древесины. Поэтому мы выдвигаем другое предположение: циклы в хронологиях  $\text{CO}_2$  спилов могут отражать погодичные изменения давления в древесине колец корня дерева.

### Исследование характеристик корня сосны

В наших прежних работах были представлены результаты измерений изотопного состава углерода исследуемого  $\text{CO}_2$  [4]. Такой же анализ был проведен и для древесины нескольких внешних колец корня. Содержание изотопа углерода  $\delta^{13}\text{C}$  в корне оказалось равным  $-30\%$  для основной части корня и  $-27\%$  для ответвления корня. Очевидно, что исследуемый  $\text{CO}_2$  образуется самим корнем, а не привносится из атмосферы, так как, по данным работы [21], отношение изотопов углерода  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет в среднем  $-8,5\%$ .

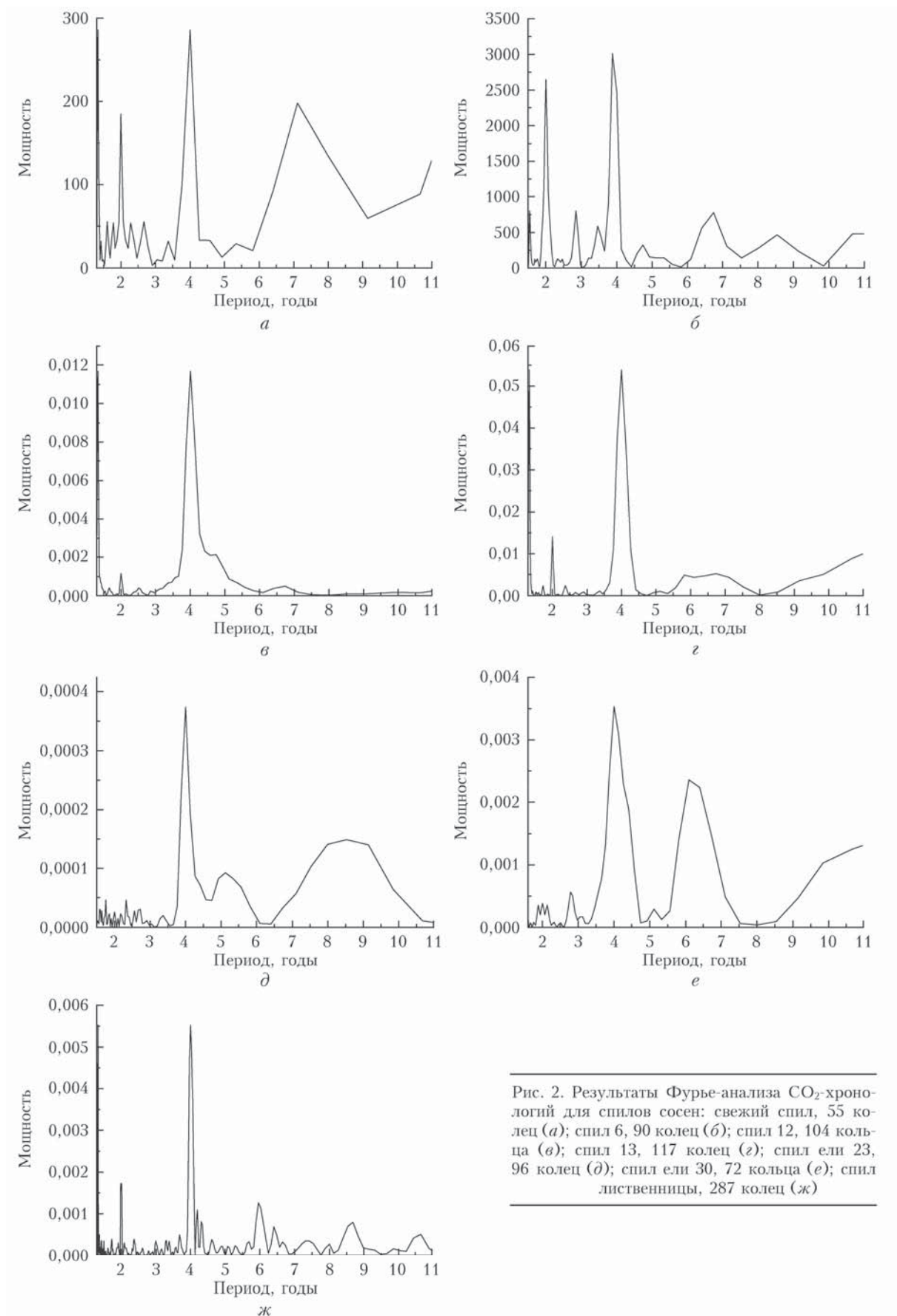


Рис. 2. Результаты Фурье-анализа CO<sub>2</sub>-хронологий для спилов сосен: свежий спил, 55 колец (а); спил 6, 90 колец (б); спил 12, 104 кольца (в); спил 13, 117 колец (г); спил ели 23, 96 колец (д); спил ели 30, 72 кольца (е); спил лиственницы, 287 колец (ж)

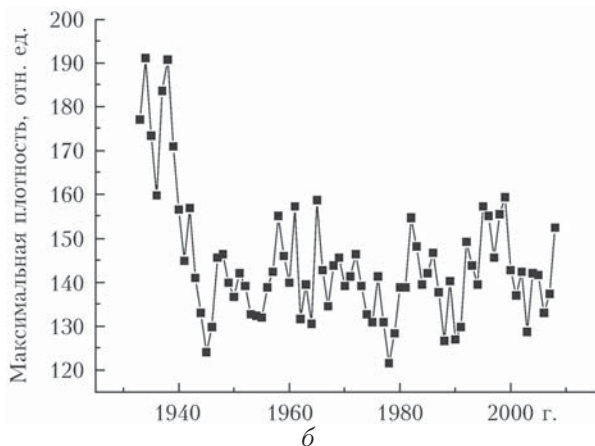
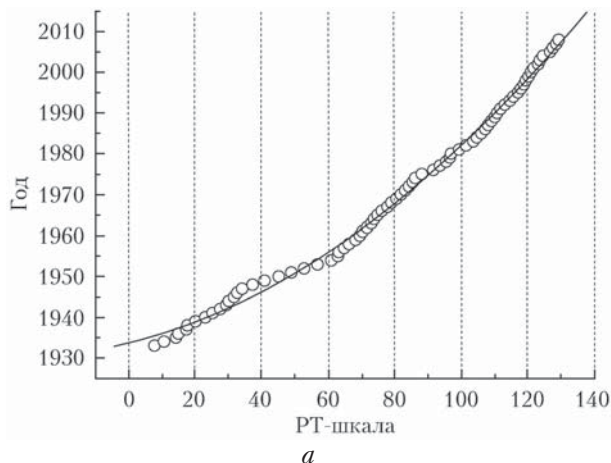


Рис. 3. Соответствие между РТ-шкалой и хронологической шкалой поздней древесины колец кедр (50-й профиль) и его аппроксимация полиномом 2-го порядка  $R = 0,996$ ,  $N = 76$ ,  $P < 0,0001$  (а); изменение плотности поздней древесины годичных колец кедр в зависимости от времени (50-й профиль) (б)

Исследование хронологий  $\text{CO}_2$  и давления для корня сосны было выполнено с применением спектрального и кросс-спектрального анализа. На рис. 5 приведены спектры содержания  $\text{CO}_2$  и давления в корне сосны. Их общие особенности – спектральные пики на периодах около 4,5 и 11 лет. Последний соответствует периоду цикла солнечной активности. В спектре  $\text{CO}_2$  присутствует также спектральный максимум на периоде около 7 лет, отсутствующий в спектре давления.

Кросс-спектральный анализ содержания  $\text{CO}_2$  и давления показывает высокую степень когерентности их колебаний с периодом около 4,5 лет, при этом колебания содержания  $\text{CO}_2$  запаздывают относительно колебаний давления примерно на  $\pi/2$ .

В связи с наличием в спектрах на рис. 5 максимумов на периоде 11-летнего солнечного цикла мы выполнили кросс-спектральный анализ содержания  $\text{CO}_2$  и давления с потоком радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см, который служит удобным и надежным индексом солнечной активности ( $F_{10,7}$ ). Результаты представлены на рис. 6, где приведены взаимный спектр, спектр когерентности и фазовый спектр. Фазовый спектр показывает фазовый сдвиг

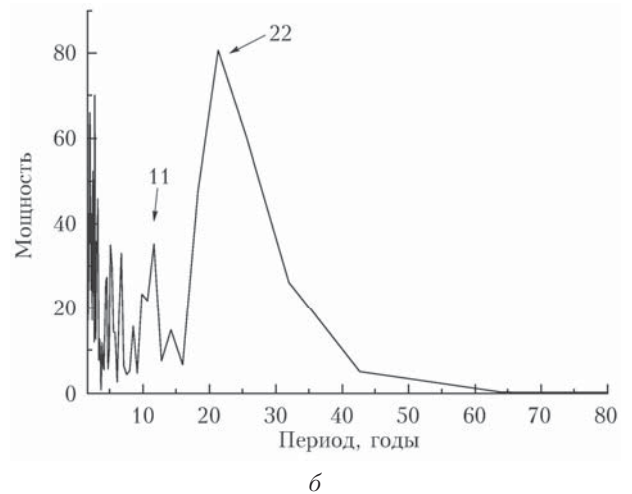
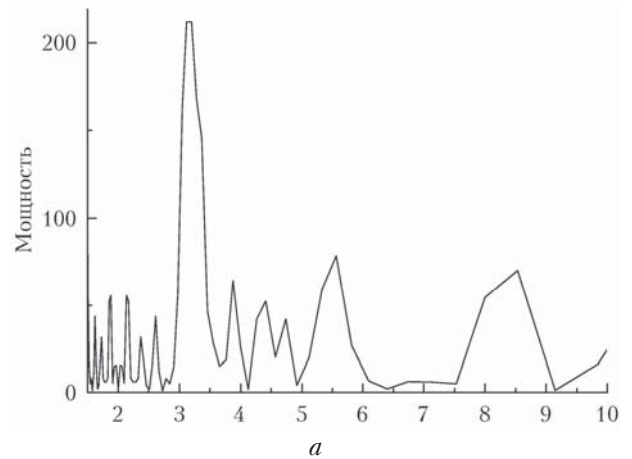


Рис. 4. Фурье-спектры хронологий максимальной плотности (поздняя древесина) (а) и минимальной плотности древесины кедр (б)

между двумя анализируемыми сигналами в зависимости от частоты (периода). Спектральную когерентность можно интерпретировать как коэффициент корреляции между двумя сигналами на данной частоте при смещении сигналов относительно друг друга на величину фазового сдвига.

Рис. 6 показывает, что изменения содержания  $\text{CO}_2$  и давления на временном масштабе солнечного цикла когерентны с колебаниями уровня солнечной активности. При этом изменения содержания  $\text{CO}_2$  происходят примерно в фазе с солнечным циклом, а изменения давления опережают его на  $\sim \pi/2$  (это соответствует тому, что максимумы 11-летних вариаций давления запаздывают на  $\pi/2$  относительно минимумов уровня солнечной активности).

Из разности фазовых сдвигов на рис. 6, а и б следует, что 11-летние вариации содержания  $\text{CO}_2$  отстают от аналогичных вариаций давления примерно на  $\pi/2$ . Таким образом, фазовые задержки вариаций содержания  $\text{CO}_2$  относительно вариаций давления на периоде 4,5 лет и на периоде солнечного цикла примерно одинаковы. При этом временные задержки на этих двух периодах составляют примерно 1 и 3 года соответственно.

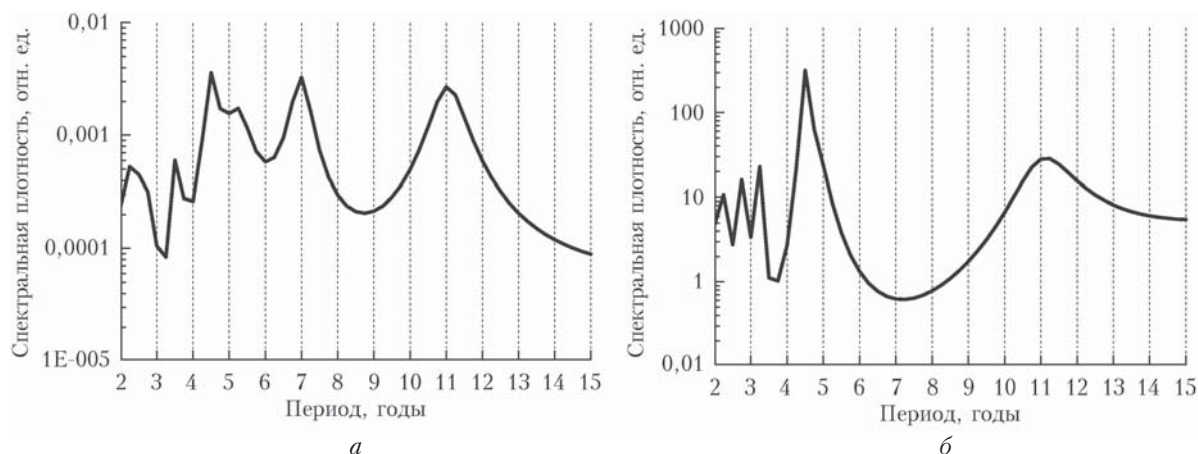


Рис. 5. Спектры мощности флуктуаций содержания  $\text{CO}_2$  (а) и давления (б) в корне сосны

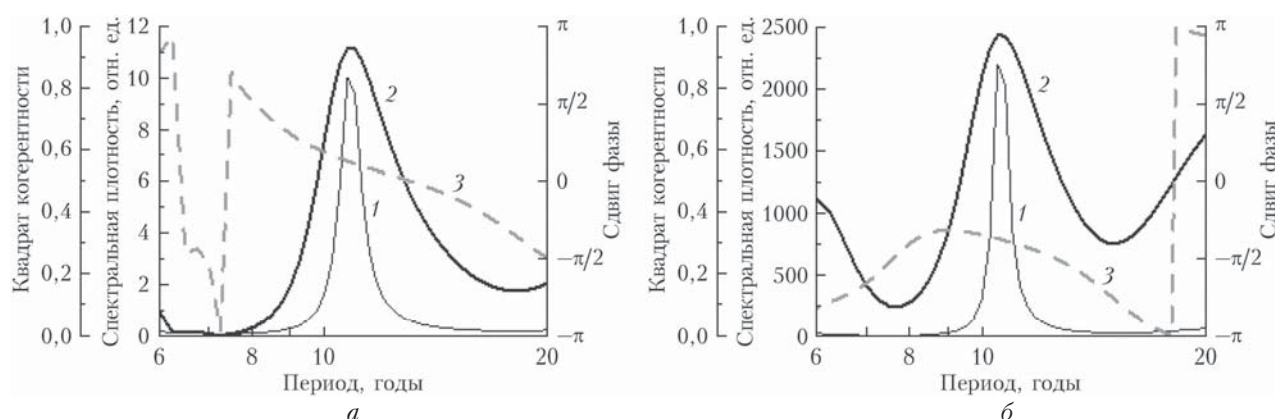


Рис. 6. Взаимная спектральная плотность, квадрат когерентности и фазовый спектр для содержания  $\text{CO}_2$  и индекса  $F_{10.7}$  (а); для давления и индекса  $F_{10.7}$  (б): 1 – взаимная спектральная плотность; 2 – когерентность; 3 – сдвиг фазы

## Обсуждение результатов экспериментов

Роль растений в круговороте  $\text{CO}_2$  изучается постоянно (см., например, [14, 22, 23]). Известно, что  $\text{CO}_2$ , выделяемый при дыхании растениями, претерпевает суточные и сезонные колебания, которые дают вклад в содержание атмосферного  $\text{CO}_2$ . В [24] приведены сведения о дополнительных периодичностях приземного содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, полученных по результатам измерений концентрации  $\text{CO}_2$  в пробах воздуха методом Фурье-спектроскопии, и сделан вывод, что «фоновое содержание  $\text{CO}_2$  формируется в основном равновесным обменом между атмосферой и биосферой и изменяется в зависимости от внешних, как правило периодических, геофизических условий». Можно допустить, что обнаруженные в [24] вариации фоновой концентрации с периодами в диапазоне от 2 до 126 мес (1,7; 4; 5,2; 6,4; 10,5 лет) отражают цикличности выделения  $\text{CO}_2$  деревьями этого региона.

Так как существует связь между полученными нами хронологиями  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и общим давлением в пробах, извлекаемых вакуумным методом из древесины годичных колец, и они имеют циклический характер [4], то можно предположить, что и диффу-

зия  $\text{CO}_2$  из ствола дерева в атмосферу будет испытывать циклические вариации, приводя к циклическому изменению вклада выдыхаемого растением  $\text{CO}_2$  в фоновую атмосферную концентрацию  $\text{CO}_2$ .

Из анализа хронологий древесины колец корня становится понятным, что полученные нами ранее результаты о связи  $\text{CO}_2$ -хронологий спилов ствола с зимними осадками, освещенностью и т.п. [3, 12] отражают влияние этих внешних факторов на поведение корневой системы дерева. Можно предположить, что квазичетырехлетний цикл увеличения давления в корне может влиять на плодоношение кедра из-за циклического усиления питания. Заметим, что цикличность 3,9–4,4 года отмечается у многих дендрохронологических рядов [25], в частности, изменчивость радиального прироста сосны характеризуется цикличностью 2–3, 4 года и 7–8 лет [26].

## Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

Двухлетний и четырехлетний циклы содержания  $\text{CO}_2$ , суммарного содержания  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  и общего давления в газовых пробах, извлекаемых вакуумным способом из древесины годичных колец хвойных деревьев, не удастся объяснить вариациями

плотности поздней древесины колец. Наличие этих циклов в плотности поздней древесины могло бы модулировать диффузию газовых компонентов из ствола дерева в атмосферу и таким образом влиять на содержание газов в годичных кольцах. Однако такие циклы не были обнаружены в вариациях плотности древесины, определявшейся с помощью рентгеновской томографии.

Анализ содержания CO<sub>2</sub> и полного давления в газовых пробах древесины из годичных колец корня сосны показал наличие вариаций этих параметров и в кольцах корня. В хронологии CO<sub>2</sub> выявлены вариации с периодами около 4,5, 7 и 11 лет для CO<sub>2</sub>, а в хронологии давления – с периодами около 4,5 и 11 лет. Можно допустить, что цикличность с периодом около 4 лет в годичных кольцах спила ствола сосны связана с периодом около 4,5 лет в кольцах корня.

Вариации содержания CO<sub>2</sub> и давления в корне сосны с периодом около 11 лет когерентны с 11-летним циклом солнечной активности.

Анализ изотопного состава углерода в извлекаемом из корня CO<sub>2</sub>, для которого получено значение  $\delta^{13}\text{C} = (-27) \div (-30)\text{‰}$ , указывает на то, что исследованный CO<sub>2</sub> не привнесен из атмосферы.

В целом, полученные в работе результаты могут быть полезны для изучения роли выдыхаемого растением CO<sub>2</sub> в физиологических процессах ствола хвойного дерева и для оценки его вклада в биосферно-атмосферный обмен.

Выражаем глубокую признательность сотрудникам лаборатории изотопных методов (Томск, Россия) за проведение изотопного анализа, к.ф.-м.н. В.И. Сердюкову за предоставление корня, к.ф.-м.н. Д.А. Савчуку за помощь в измерениях ширин колец.

Работа выполнена в рамках Проекта VIII.80.1.3 Программы фундаментальных исследований государственных академий наук.

1. Trotter R.T., Cobb N.S., Whitham T.G. Herbivory, plant resistance, and climate in the tree ring record: Interactions distort climatic reconstructions // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 2002. V. 99, N 15. P. 10197–10202.
2. Зуев В.В., Савчук Д.А., Агеев Б.Г., Бондаренко С.Л., Сапожникова В.А. Новый дендрохронологический параметр как результат оптико-акустических измерений концентрации CO<sub>2</sub> в годичных кольцах деревьев // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19, № 5. С. 465–468.
3. Сапожникова В.А., Груздев А.Н., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А. Связь вариаций содержания CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O в годичных кольцах кедров сибирского с вариациями метеорологических параметров // Докл. АН. 2013. № 5. С. 592–598.
4. Ageev B.G., Gruzdev A.N., Sapozhnikova V.A. The special features of tree ring gas chronologies // Proc. SPIE. 2015. V. 9680 (12 p.).
5. Агеев Б.Г., Зотикова А.П., Падалко Н.Л., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А., Сапожникова В.А., Черников Е.В. Вариации содержания воды, CO<sub>2</sub> и изотопного состава углерода CO<sub>2</sub> в годичных кольцах кедров сибирского // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 2. С. 149–154; Ageev B.G., Zotikova A.P., Padalko N.L., Ponomarev Yu.N., Savchuk D.A., Sapozhnikova V.A., Chernikov E.V. Variation of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> isotope composition in tree rings of Siberian

- Stone Pine // Atmos. Ocean. Opt. 2011. V. 24, N 4. P. 397–402.
6. Pruyn M.L., Gartner B.L., Harmon M.E. Within-stem variation of respiration *Pseudotsuda menziensis* (Douglas fir) trees // New Phytol. 2002. V. 154, N 2. P. 359–372.
7. Teskey R.O., Saveyn A., Steppe K., McGuire M.A. Origin, fate and significance of CO<sub>2</sub> in tree stems // New Phytol. 2008. V. 177, N 1. P. 17–32.
8. Trumbore S.E., Angert A., Kunert N., Muhr J., Chambers J.Q. What's the flux? Unraveling how CO<sub>2</sub> fluxes from trees reflect underlying physiological processes // New Phytol. 2013. V. 197, N 2. P. 353–355.
9. Bloemen J., McGuire M.A., Aubrey D.P., Teskey R.O., Steppe K. Transport of root-respired CO<sub>2</sub> via the transpiration stream affects aboveground carbon assimilation and CO<sub>2</sub> efflux in trees // New Phytol. 2013. V. 197, N 2. P. 555–565.
10. Aubrey D.P., Teskey R.O. Root-derived CO<sub>2</sub> efflux via xylem stream rivals soil CO<sub>2</sub> efflux // New Phytol. 2009. V. 184, N 1. P. 35–40.
11. Engelund E.T., Thygesen L.G., Svensson S., Hill C.A.S. A critical discussion of the physics of wood–water interactions // Wood Sci. Technol. 2013. V. 47, N 1. P. 141–161.
12. Ageev B., Ponomarev Yu., Sapozhnikova V., Savchuk D. A laser photoacoustic analysis of residual CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in larch stems // Biosensors. 2015. V. 5, N 1. P. 1–12.
13. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.
14. Bellassen V., Luyssaert S. Managing forests in uncertain times // Nature (Gr. Brit.). 2014. V. 506, N 7487. P. 153–155.
15. Rubino M., Etheridge D., Trudinger C., Francey R. A revised 1000 year atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$ -CO<sub>2</sub> record from Law Dome and South Pole, Antarctica // J. Geophys. Res. 2013. V. 118, N 15. P. 8482–8499.
16. Stuchebrov S., Batranin A., Bondarenko S., Sapozhnikova V. X-ray computed tomography in dendrochronology studies // 9th Int. Topical Meeting on Industrial Radiation and Radioisotope Measurement Applications (IRRMA-9). Book of Abstracts. Valencia (Spain), 6–11 July 2014. P. 256.
17. Соломина О.Н., Долгова Е.А., Максимова О.Е. Реконструкция гидрометеорологических условий последних столетий на Северном Кавказе, в Крыму и на Тянь-Шане по дендрохронологическим данным. Москва–Санкт-Петербург: Нестор-История, 2012. 232 с. URL: <http://nestorbook.ru/uCat/item/693>
18. Gruzdev A.N., Schmidt H., Brasseur G.P. The effect of the solar rotational irradiance variation on the middle and upper atmosphere calculated by a three-dimensional chemistry-climate model // Atmos. Chem. Phys. 2009. V. 9, N 2. P. 595–614.
19. Gruzdev A.N., Bezverkhny V.A. Two regimes of the quasi-biennial oscillation in the equatorial stratospheric wind // J. Geophys. Res. D. 2000. V. 105, N 24. P. 29435–29443.
20. Ageev B.G., Gruzdev A.N., Bondarenko S.L., Sapozhnikova V.A. Long-term H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> trends in conifer disc tree rings and meteorological parameters // JLS. 2013. N 9. P. 1002–1008.
21. Domec J.-C., Gartner B.L. How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood? // J. Exp. Botany. 2002. V. 53, N 379. P. 2369–2379.
22. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., Phillips O.L., Shvidenko A., Lewis S.L., Canadell J.G., Ciais P., Jackson R.B., Paca-

- la S.W., McGuire A.D., Piao S., Rautiainen A., Sitch S., Hayes D.* A large and persistent carbon sink in the world's forests // *Science*. 2011. V. 333, N 6045. P. 988–993.
23. *Schimel D., Stephens B.B., Fisher J.B.* Effect of increasing CO<sub>2</sub> on the terrestrial carbon cycle // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2015. V. 112, N 2. P. 436–441.
24. *Арефьев В.Н., Каменоградский Н.Е., Кашин Ф.В., Шилкин А.В.* Фоновая составляющая концентрации двуокси-  
 си углерода в приземном воздухе (станция мониторинга «Обнинск») // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2014. Т. 50, № 6. С. 655–662.
25. *Шиятов С.Г., Мазена В.С.* Дендрохронология верхней границы леса на Урале. М.: Наука, 1986. 136 с.
26. *Глызин А.В., Размахнина Т.Б., Корсунов В.М.* Дендрохронологические исследования в контактной зоне «лес–степь» как источник информации о ее динамике // *Сиб. экол. ж.* 2005. Т. 12, № 1. С. 79–83.

*B.G. Ageev, A.N. Gruzdev, V.A. Sapozhnikova.* **Variations of gas components and total pressure in stem and root disc wood of conifer species.**

The content of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O in vacuum-extracted tree-ring wood of stem and root discs of certain conifer species was measured. Annual distributions of these gas components were found to exhibit cyclic behavior. Moreover, distinct cyclicity was also revealed in interannual variations of the total pressure of the vacuum-extracted tree-ring gas samples. It may be safely suggested that diffusion of stem CO<sub>2</sub> into the atmosphere will show the same periodic variability. Two hypotheses about the origin of the cyclicity in the tree-ring CO<sub>2</sub> distributions are examined.