

Циклические вариации газовых компонентов в древесно-кольцевых хронологиях как отражение климатических циклов.

В.А.Сапожникова^{1,*}, Б.Г.Агеев^{1,**}, А.Н.Груздев^{2,***}, Ю.Н.Пономарев^{1,****}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева
Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, 634021, пл. Академика Зуева, 1, Томск,

* e-mail: sapo@iao.ru , **e-mail: ageev@asd.iao.ru , **** e-mail: yupon@iao.ru ,

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова
Российской академии наук, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, e-mail: a.n.gruzdev@mail.ru



Цель работы:

показать особенность поведения газовых компонентов CO_2 , ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$), сохранившихся в годичных кольцах спилов стволов и корней некоторых хвойных деревьев .

Для этого было необходимо:

- провести изотопный состав углерода извлекаемого CO_2 ;
- получить хронологии извлекаемых под вакуумом из древесины колец CO_2 , ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$).
- проследить погодичные вариации полного давления извлекаемых под вакуумом проб;
- провести анализ полученных хронологий на существование циклических вариаций.



Был проведен изотопный анализ углерода CO₂, десорбированного из нескольких колец древесины.

Известно, что наземные растения характеризуются величиной $(\delta^{13}\text{C}) = (-22) \div (-32) \text{ ‰}$, в то время как средняя величина $(\delta^{13}\text{C})$ для атмосферы равна **-8,5 ‰**.

Отношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) древесного CO₂ было измерено в аккредитованной Лаборатории изотопных методов (г. Томск) на масс спектрометре DELTA V Advantage с погрешностью не выше ± 0.5 при доверительной вероятности 0.95.

Результаты исследования 85 образцов газов, десорбированных из спилов стволов и корней различных хвойных деревьев показали, что изотопный состав углерода извлекаемого CO₂ варьируется в пределах : **(- 25.3) \div (- 36.4) ‰**.

Очевидно, что газ образуется самими деревьями, а не привносится из атмосферы

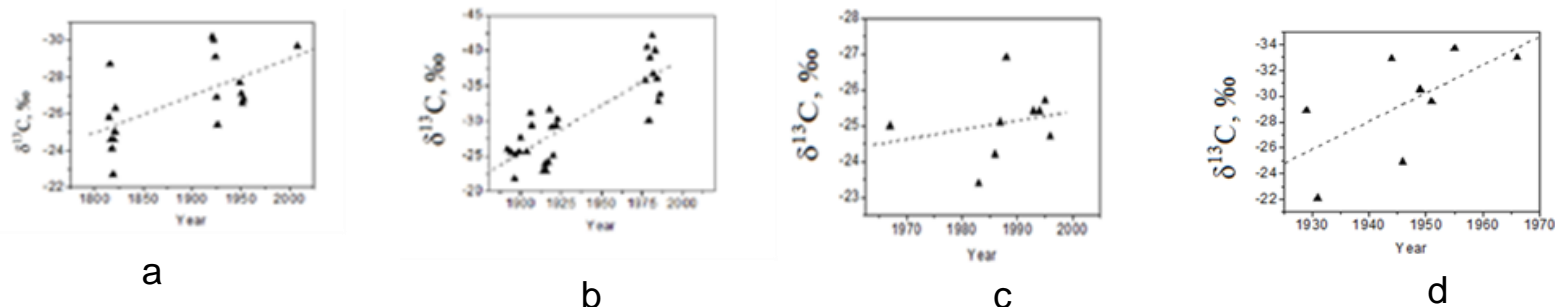


Рис.1 а, b, c, d.

Изменение изотопного состава углерода CO₂ в спилах лиственницы (а), кедра (b), ели (c), сосны (d).

Хорошо известно, что:

- 1) древесина даже после сушки сохраняет **10-12% воды**;
- 2) углекислый газ образуется живыми паренхимными клетками в процессе дыхания растения и хорошо растворяется в воде;
- 3) древесина гигроскопична, а гидроксильные группы полимеров древесины активно взаимодействуют с молекулами воды, образуя поверхностный слой так называемой **«связанной воды»**.

Мы полагали, что сохранившаяся влага древесины кольца может удерживать долю выдыхаемого клетками CO_2 и, извлекая воду с растворенным в ней CO_2 , мы можем получить картину погодичной вариации CO_2 или $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$ в спиле и уникальную картину вариации давления извлекаемых проб.



Методы



Рис.2. Приготовление навесок.

Навески древесины помещались в экспозиционные камеры, в которых создавался кратковременный вакуум для выхода из древесины газов и через 20 минут проводились измерения а) давления пробы, б) концентрации CO₂ (или CO₂+H₂O)

Для измерений содержания газов в древесине колец применялся лазерный оптико-акустический метод с использованием автоматизированного газоанализатора на базе перестраиваемого CO₂-лазера. Измерения на длинах волн излучения лазера: 10 **P** (20, 16, 14), совпадающих с линиями поглощения CO₂ и на линии 10 **R**(20), совпадающей с линиями поглощения CO₂ +H₂O.

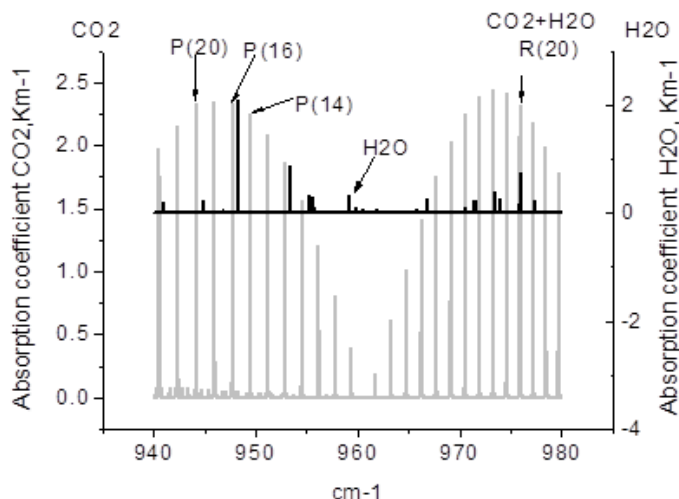


Рис.3. Совпадение линий генерации CO₂ лазера с линиями поглощения газовых проб.

В работе приводятся результаты анализа хронологий CO₂, (CO₂+H₂O) и общего давления в пробах, десорбированных под вакуумом из древесины колец спилов стволов и корней различных хвойных деревьев из района г. Томска (56°26'N, 85°03'E).

К настоящему времени мы исследовали более 2000 образцов газовых проб из колец спилов хвойных деревьев. Спилы хранились от 6 месяцев до нескольких лет в лабораторных условиях, поэтому древесину можно считать комнатно-сухой.

Используемый метод позволяет использовать даже очень старые спилы, так как в древесных кольцах всегда сохраняется часть транспирационной воды с растворенным в ней CO₂ и условия хранения спилов на это не влияют.



Наши исследования представлены результатами для спилов **сосны** (*Pinus sylvestris* L.), **ели** (*Picea obovata* Ledeb.) , **лиственницы** (*Larix sibirica* Ledeb.), и **кедра** (*Pinus sibirica* Du Tour), т.е. основных представителей хвойных пород деревьев нашего региона.

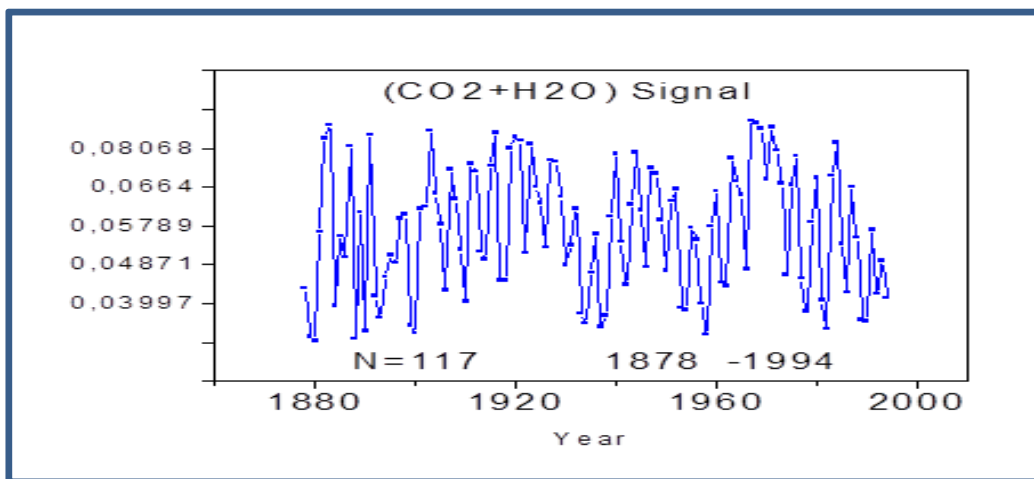
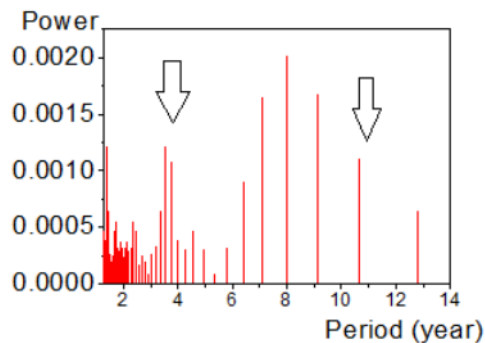
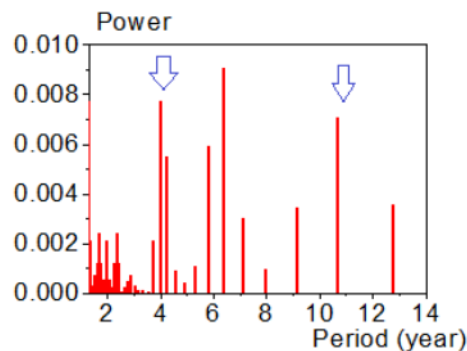


Рис.4. Вариации оптико-акустического сигнала на линии R(20) для спила кедра (*Pinus sibirica* Du Tour.) N=117. (Средние вариации CO₂ от 500 до 2000ppm)

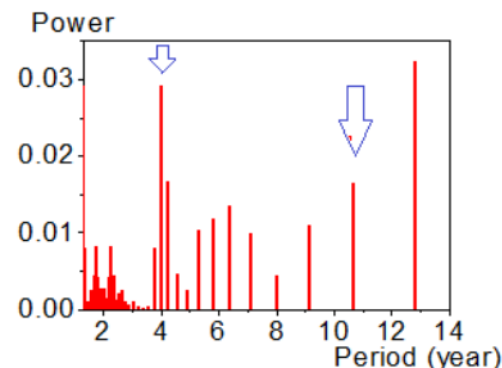
Для оценки периодических вариаций в хронологиях (CO₂+H₂O) в кольцах спилов использовался метод быстрого преобразования Фурье (FFT) из пакета графической программы ORIGIN, а также спектральный и кросс-спектральный анализ высокого разрешения по методу максимальной энтропии.



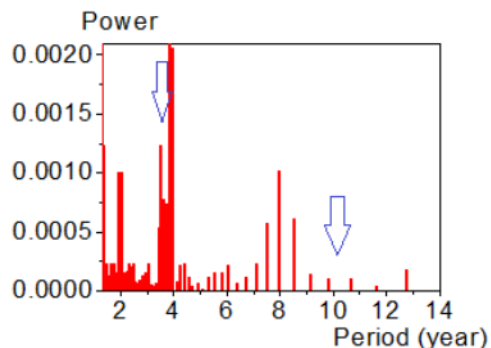
a) N=36, 1979-2014



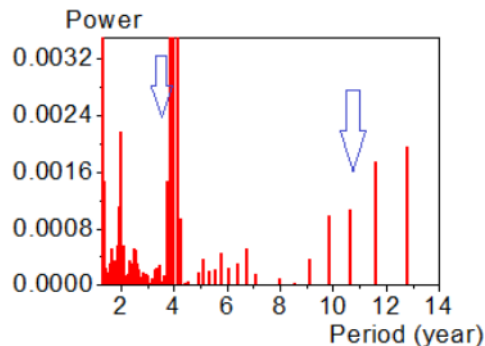
b) N=48, 1968-2015



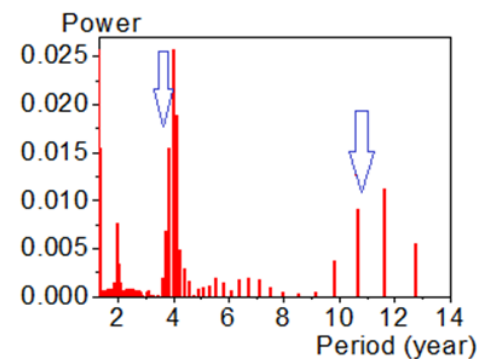
c) N=55, 1956-2010(живая сосна)



d) N=90, 1916-2005, (сосна №6)



e) N=104, 1902-2005(сосна №12)



f) N=128, 1878-2005(сосна №13)

Рис.5 .Результаты Фурье анализа хронологий ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), для древесины колец различных спилов сосен на линии R(20) оптико-акустического газоанализатора: $\text{POWER} = f(\text{PERIOD (YEAR)})$. Видно, что во всех рядах присутствует 4-летний и близкий к 11-летнему период(Тренд убран)

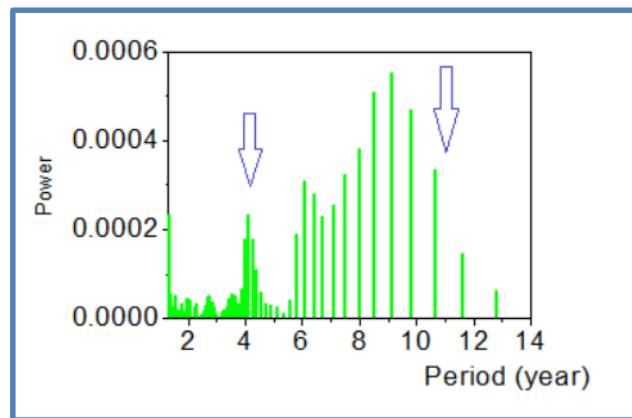
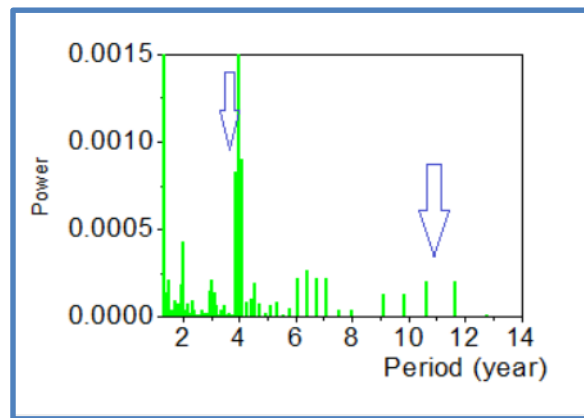
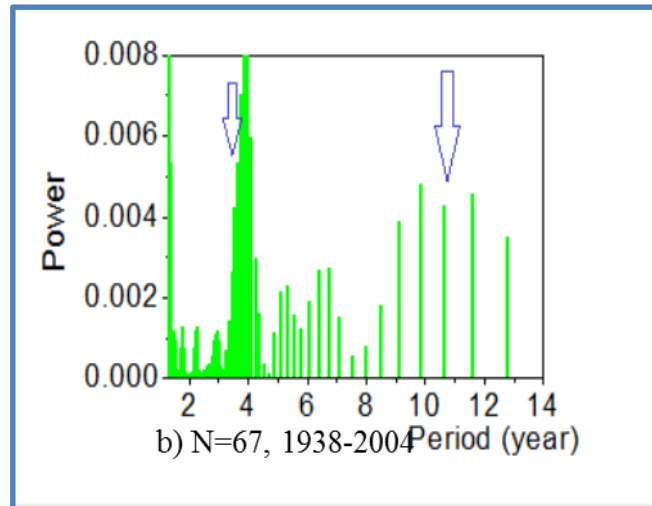
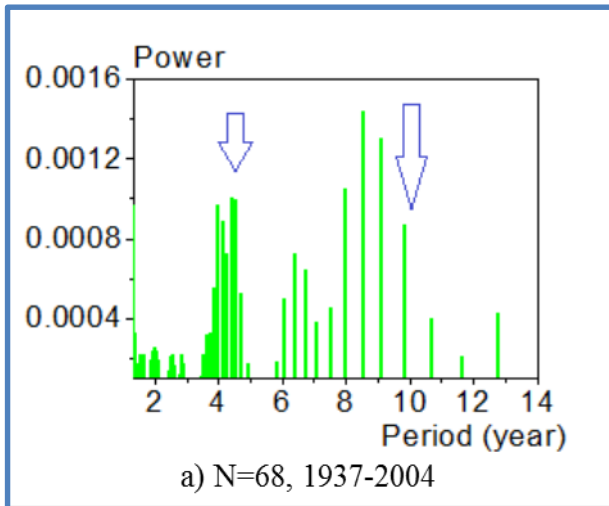


Рис.6. Результаты быстрого преобразования Фурье (FFT) хронологий (CO₂+N₂O) для древесины колец спилов елей (Тренд убран) .

Результаты 4. Кедр и лиственница.

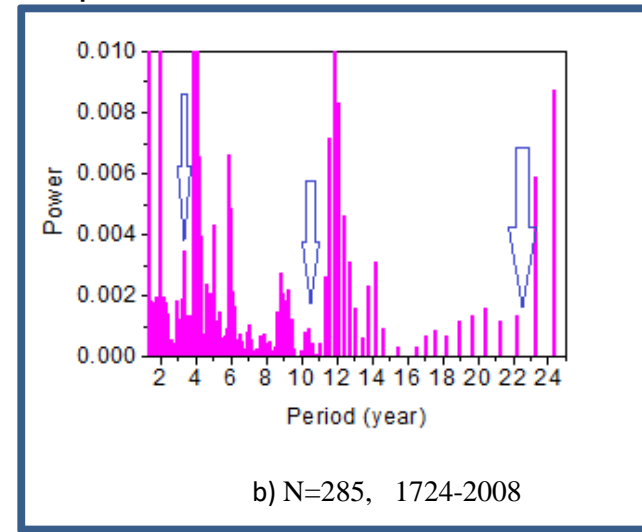
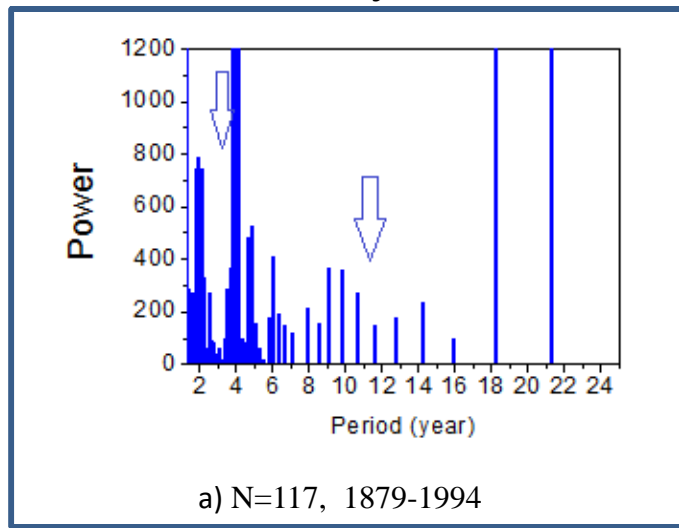


Рис.7. Результат Фурье-анализа (FFT) хронологий ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) для кедра (a) и лиственницы (b).

Рисунки 4 -6 показывают, что хронологии ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) хвойных деревьев, растущих в одном регионе (Западная Сибирь, Россия) характеризуются циклами с периодами, **близкими 4 годам , 6-8 лет, ~10-12 лет.**

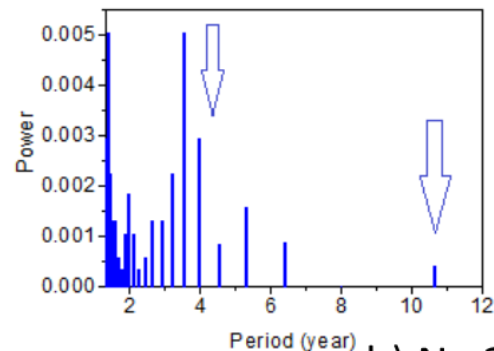
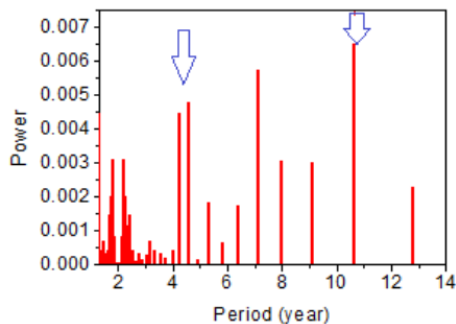


Рис.8. Результат Фурье-анализа (FFT) хронологий ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) для **корня сосны** (a) и **корня кедра** (b) . Тренд удален.

Результаты 5. Вариации давления в извлекаемых пробах спилов стволов.

Было зафиксировано также аналогичное циклическое поведение общего давления извлекаемой пробы

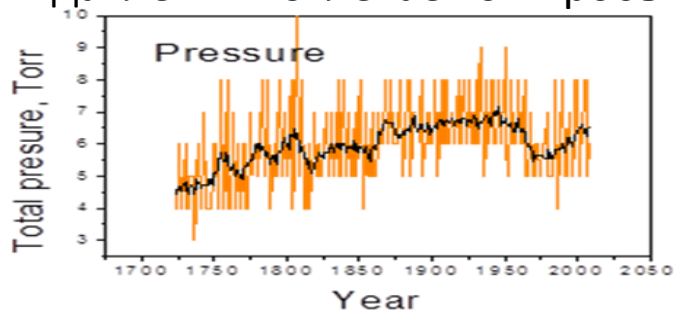


Рис.9

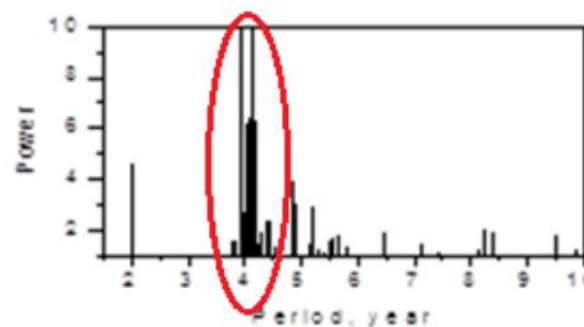


Рис.10

Рис.9, 10 Вариации давления в пробах, извлеченных под вакуумом из древесины колец ствола лиственницы и Фурье-спектр.

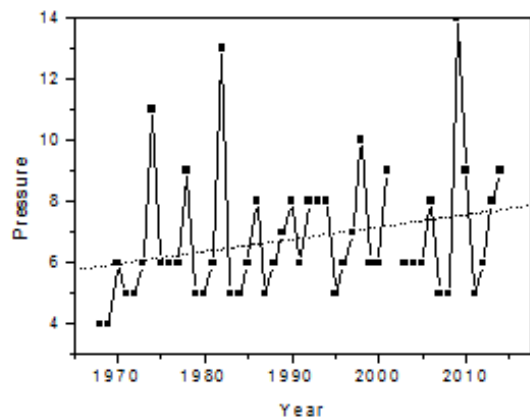


Рис.11

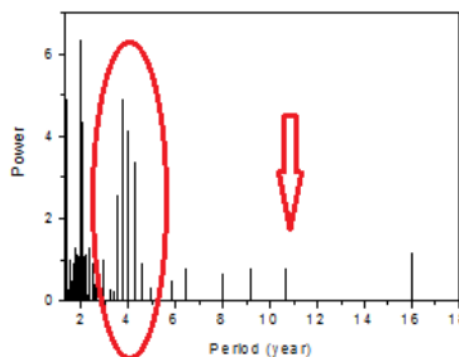


Рис.12

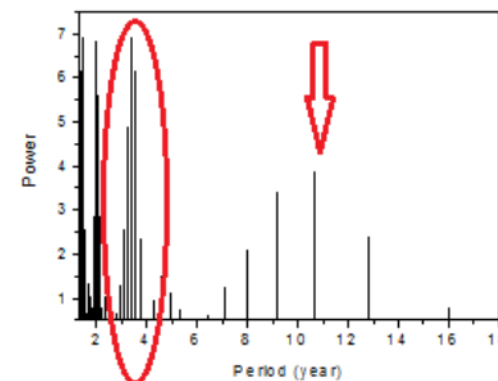
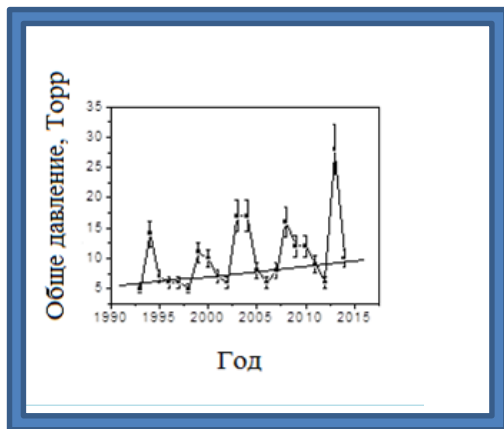


Рис.13

Рис. 11,12,13 Вариации давления в кольцах спилов стволов сосен пос.Тимирязево и Фурье-спектры

Результаты 6.

Корень.



Изменение общего давления в пробах газа.

Корень сосны.

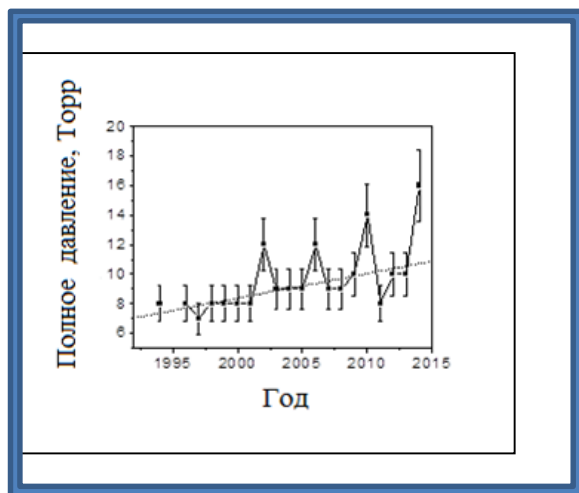
Рис.14 а ,б.

а)



б)

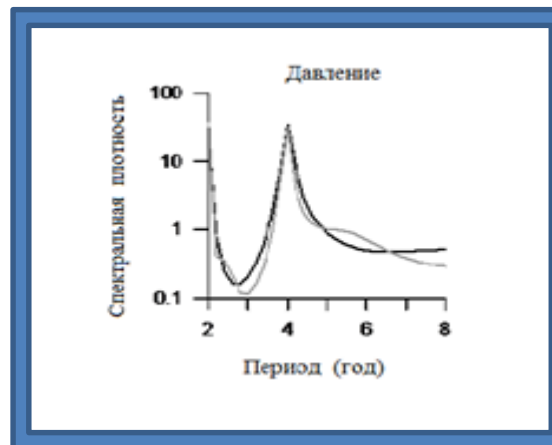
Спектр мощности вариаций давления в корне сосны.



Изменение общего давления в пробах газа.

Корень кедр.

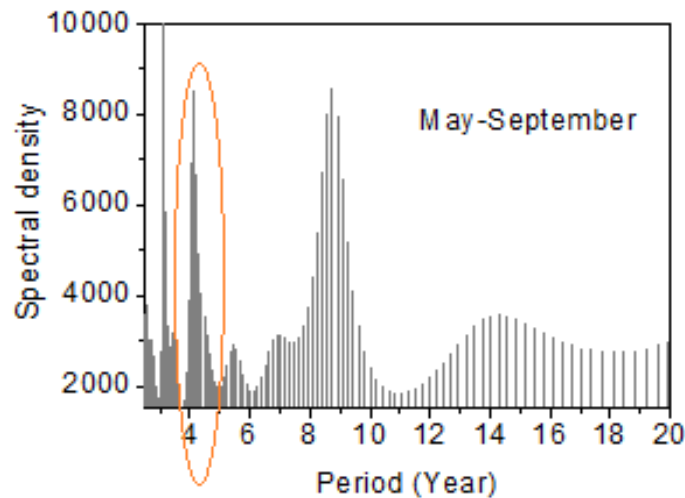
а)



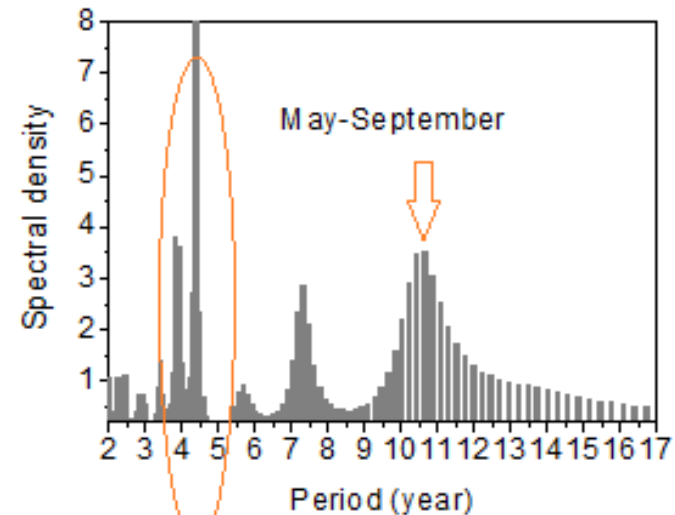
б)

Спектры мощности вариаций общего давления в корне кедр.

Рис.15 а, б.

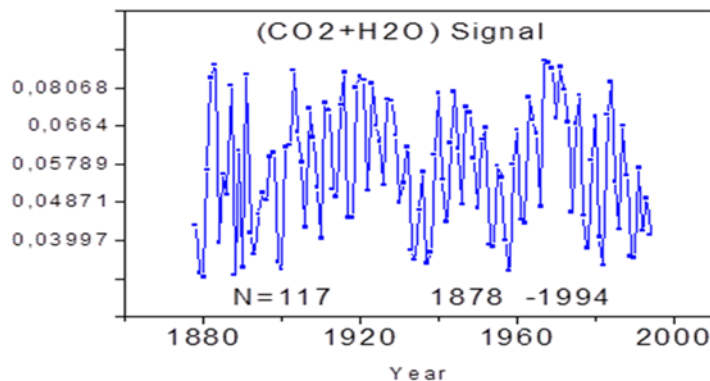


a)



b)

Рис. 16. Спектры осадков (а) и температуры (б) в Томске, рассчитанные методом максимальной энтропии по данным, осредненным за вегетационный период года с мая по сентябрь



Можно сказать, что ритм выделения клетками CO_2 задается климатическим ритмом. Кедр – классический пример циклического изменения дыхания при циклическом «затоплении»

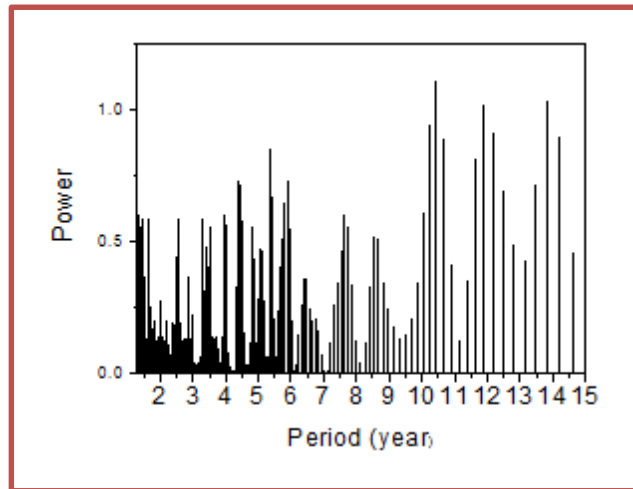
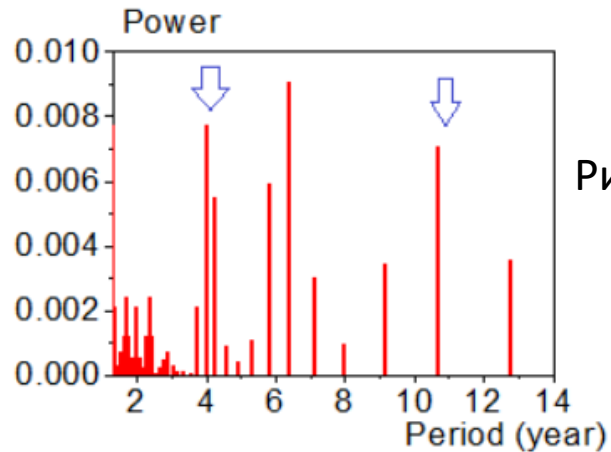
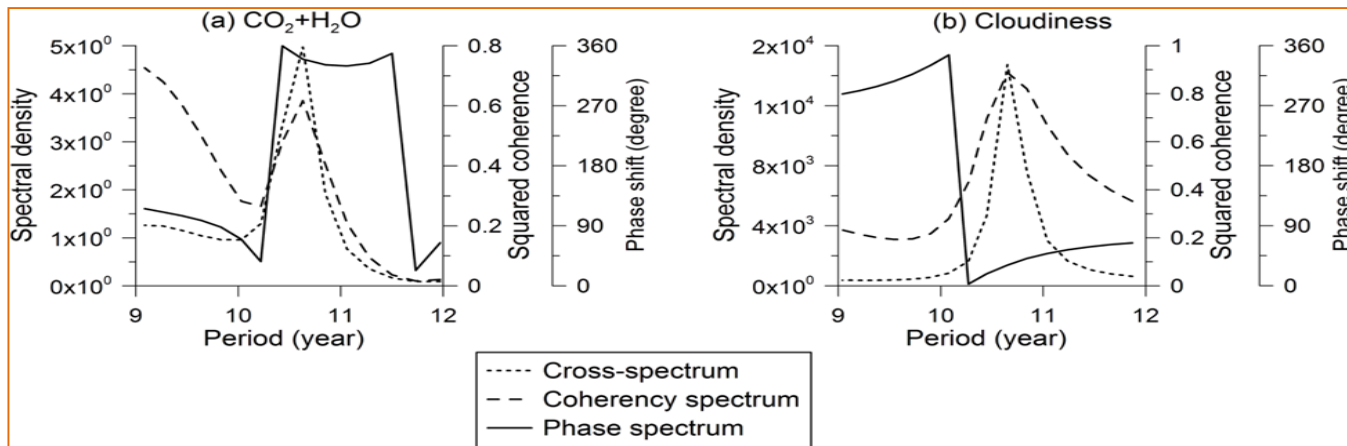


Рис.17. Результат Фурье-анализа ширины колец

Почти 100 лет назад астроном Дуглас ,(Douglass, A. E. *Climatic Cycles and Tree-Growth. Washington : Carnegie Institution. 1919*), предположил, что в хронологиях **ширин** древесных колец должен быть климатический сигнал, по которым можно восстановить солнечные циклы.

Рис.18. Результат Фурье-анализа газовой компоненты (CO₂+H₂O)

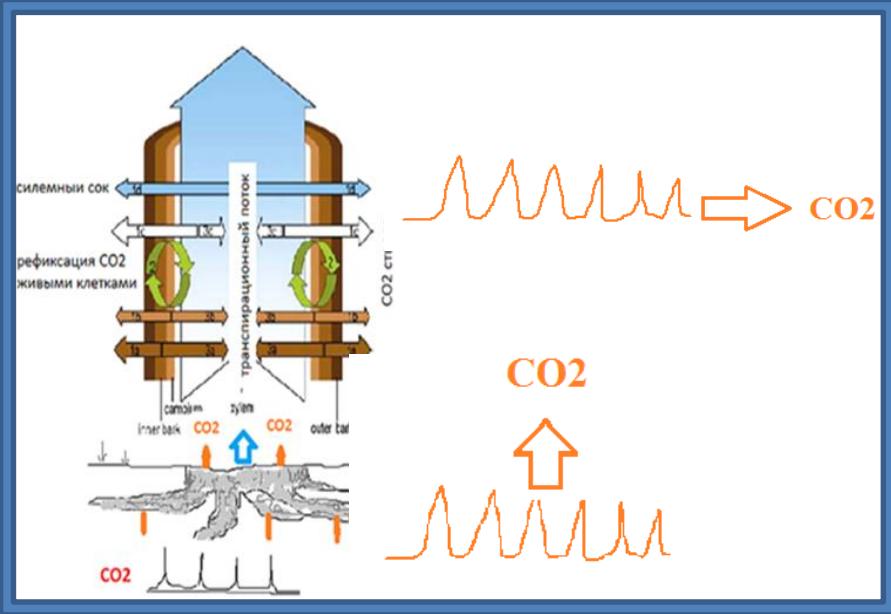


На рис.19 представлены результаты кросс-спектрального анализа содержания ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) в пробах из годовичных колец **кедра сибирского** и **числа солнечных пятен (а)** и среднего за теплый период **балла облачности** над Томском (б), с одной стороны, и числа солнечных пятен, с другой стороны.

Рисунок 19 демонстрирует максимумы спектральной плотности и когерентности на периоде солнечного цикла, что указывает на статистическую связь квази-десятилетних вариаций ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) в годовичных гольцах кедра с 11-летним солнечным циклом. Фазовый спектр показывает, что вариации ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) происходят в фазе с солнечным циклом (фазовый сдвиг $\sim 360^\circ = 0^\circ$).

Кросс-спектр и спектр когерентности указывают на связь облачности с солнечным циклом, при этом вариации облачности, происходят примерно в фазе с солнечным циклом. Вариации облачности модулируют интенсивность солнечной радиации на уровне земли путем экранирования прямой и усиления рассеянной солнечной радиации, и это могло бы быть причиной вариаций ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$) на масштабе периода солнечного цикла.

ВЫВОДЫ

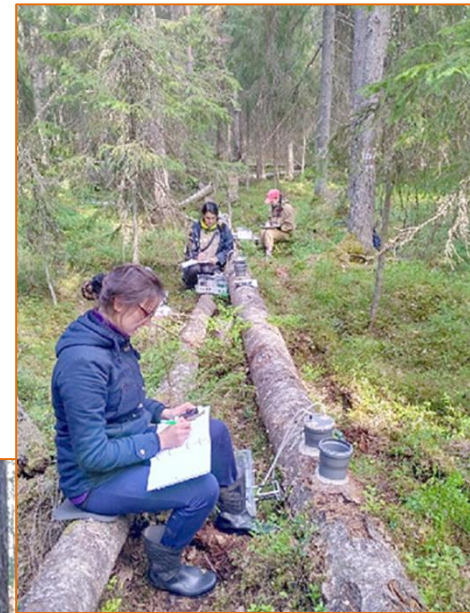


1. Погодичное распределение CO_2 и $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ в кольцах спилов исследуемых хвойных имеет ряд естественных циклов, среди которых выделяется 4-х летние вариации.

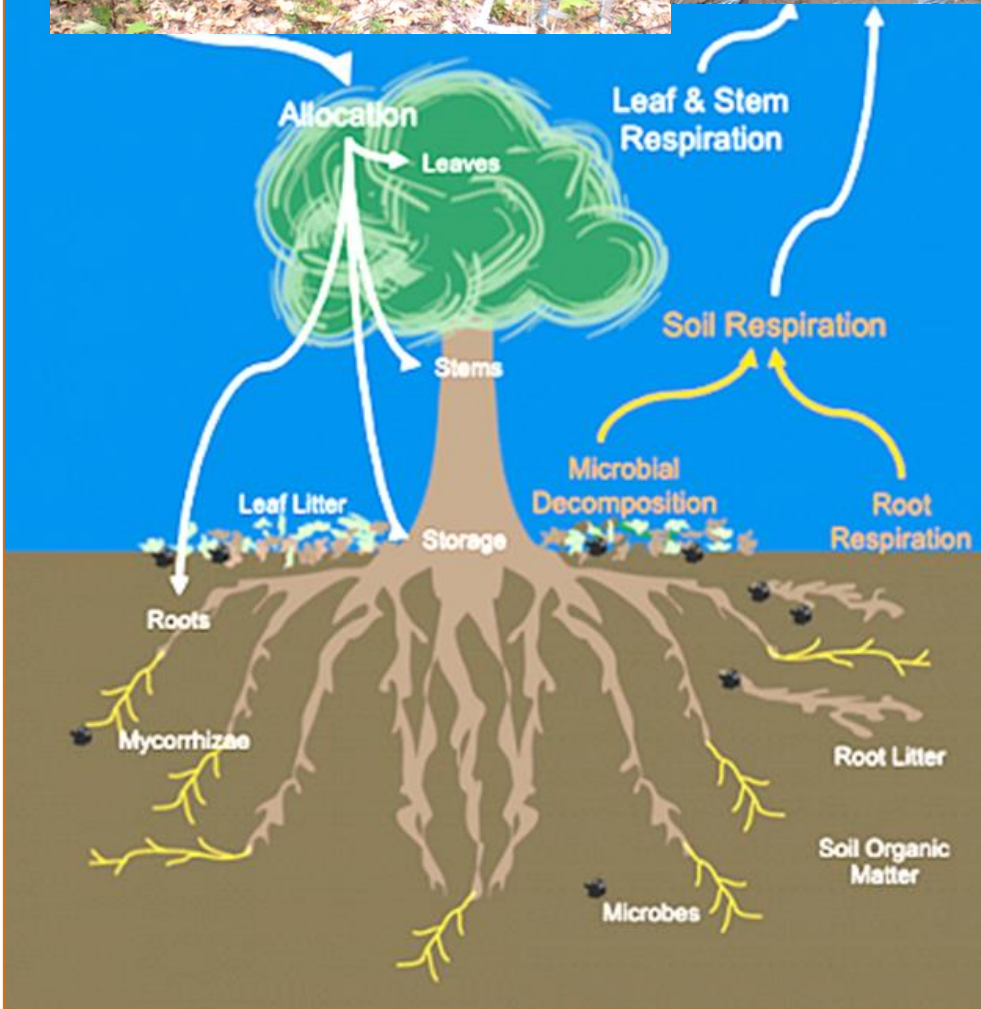
2. Распределения содержания CO_2 и $(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$ в стволах и корнях хвойных деревьев отражают вариации осадков и температуры и, вероятно, подвержены влиянию 11-летнего цикла солнечной активности.

3. Найденное циклическое изменение давления в стволах и корнях хвойных деревьев означает, что диффузное выделение CO_2 из стволов и древесных корней в атмосферу носит также циклический характер. Поэтому, для корректной оценки выделения CO_2 деревьями, необходимо создавать длинные ряды измерений, не ограничиваясь одним годом.

6. Хронологии CO_2 , отражающие дыхание растения, являются новым дендрохронологическим параметром. Создание портативного CO_2 газоанализатора дало бы возможность контролировать вариации CO_2 в кернах *in vivo*, дополняя данные по ширинам колец.



Ph



Если не учитывать того, что выделение крупными корнями CO₂ циклично, то можно сделать выводы, которые были сделаны в статье :

Ben Bond-Lamberty and Allison Thomson. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // **Nature**, 2010. Vol. 464. No 7288. P. 579-582.

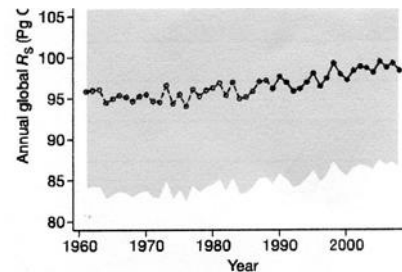
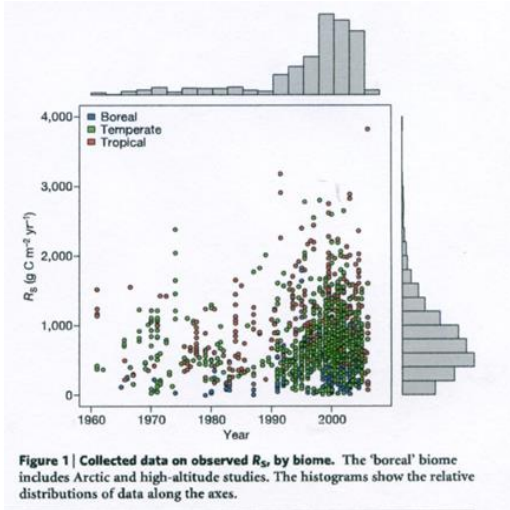
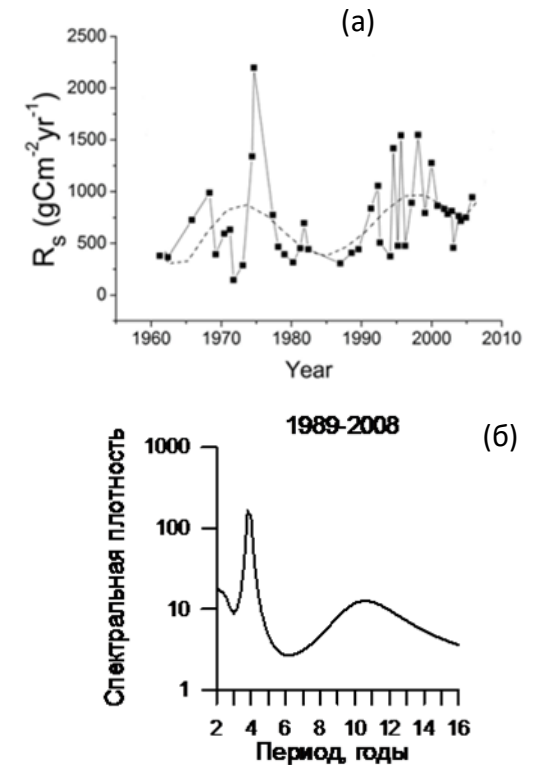


Figure 2 . Estimated annual global R_s . The dashed line indicates results outside the time period covered by main data set, S1 (1989–2008), but within the period covered by the entire R_s database, S0 (1961–2008), and should be considered speculative. The grey region shows the standard deviation of the Monte Carlo simulations ($N = 1,000$).

Возможно, что полученный результат может быть простым совпадением с результатами нашей работы. Важно отметить, что поток CO₂ из почвы в атмосферу испытывает межгодовые вариации с периодом в несколько лет, причиной которых может быть дыхание крупных корней.

Таким образом, анализ погодичных изменений содержания почвенного CO₂ дает возможность выделить квазициклическую составляющую общего потока почвенного CO₂, которая может характеризовать дыхание таких автотрофов, как крупные корни.

Рисунки оцифрованы



Временной ход средних значений данных работы для бореальных лесов (а) и результат спектрального анализа оцифрованных данных рис. 2 о глобальном потоке CO₂ из почвы в атмосферу (б) (тренд убран).

Благодарности:

Выражаем глубокую признательность

- сотрудникам лаборатории изотопных методов (Томск, Россия), за проведение изотопного анализа;
- к.ф-м.н. Д.А.Савчуку за постоянную помощь в работе.
- Работа выполнена в рамках Проекта IX.138.1.1 Программы фундаментальных исследований Государственных академий наук.



