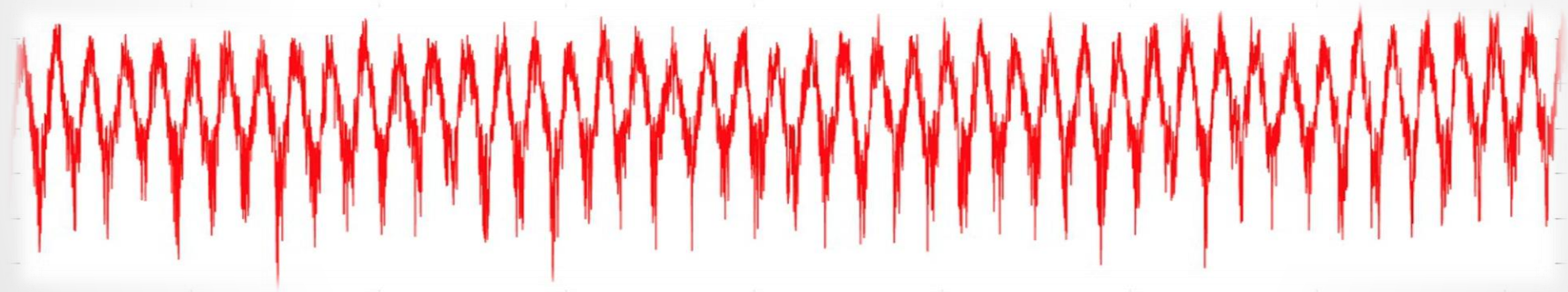


19-я Всероссийская конференция
с международным участием
«Математические методы распознавания образов»

Исследование рядов динамики
метеорологических показателей методами
вейвлет-анализа



Зюзина Н.А., Газарян В.А., Курбатова Ю.А.,
Шапкина Н.Е. Чуличков А.И.

Введение

Данные метеорологической станции - упорядоченная совокупность значений переменных, измеряемых через постоянный временной промежуток (временной ряд) .

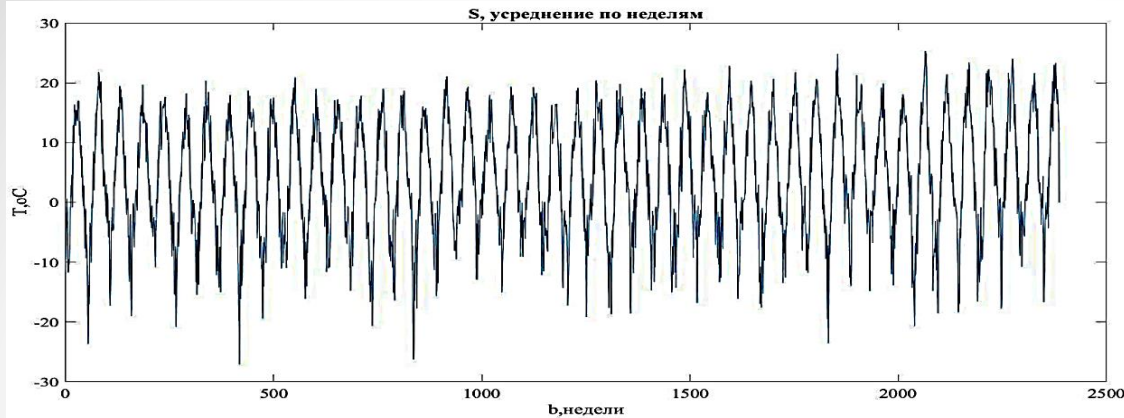
Цель исследования – определение статистических параметров ряда, и сравнение результатов, полученных различными методами.

Метеорологические параметры:

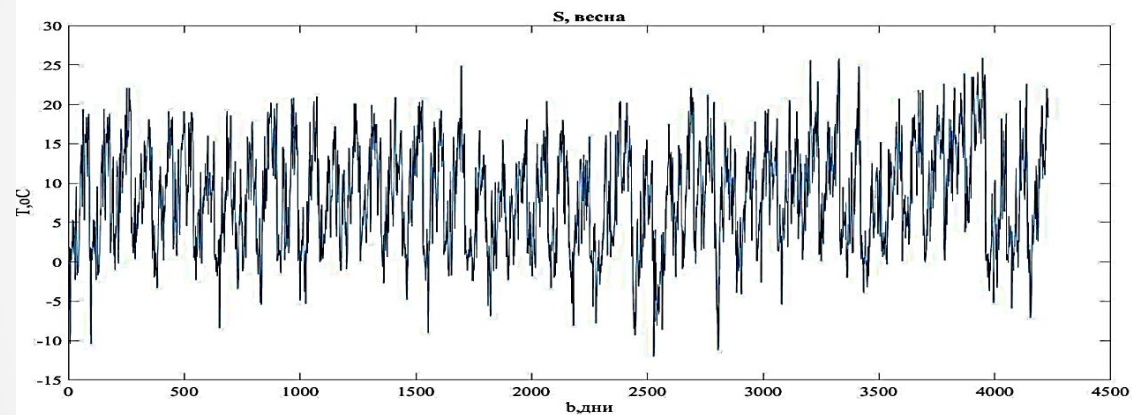
- Температура воздуха (регистрируется в градусах Цельсия каждые 4 часа с последующим усреднением до среднесуточных значений), станция Заповедник, Тверская область, Россия (1971- 2016гг)
- Концентрация углекислого газа (регистрируется посекундно в миллионных долях (ppm), станция “AsiaFlux”, Вьетнам (2011-2018 гг)

Данные получены из института
проблем экологии и эволюции
им. А. Н. Северцова РАН.

Температура



Показатели среднесуточной температуры, усреднение по неделям



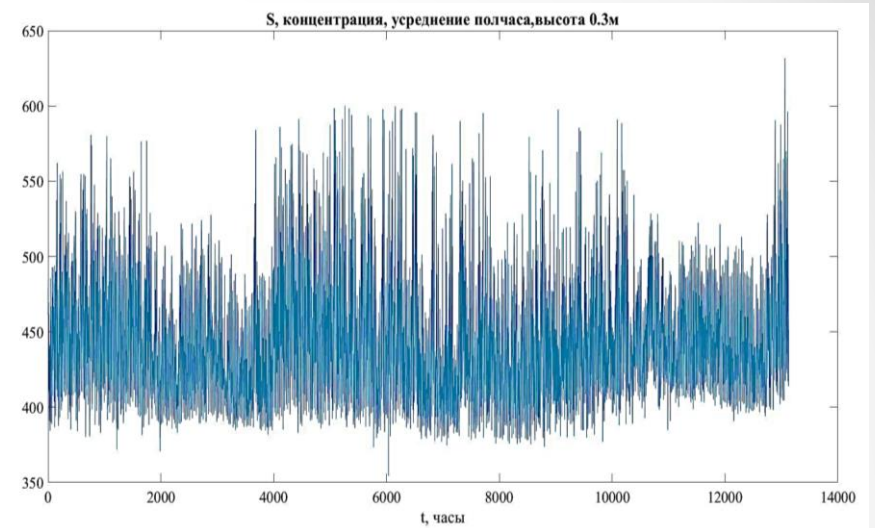
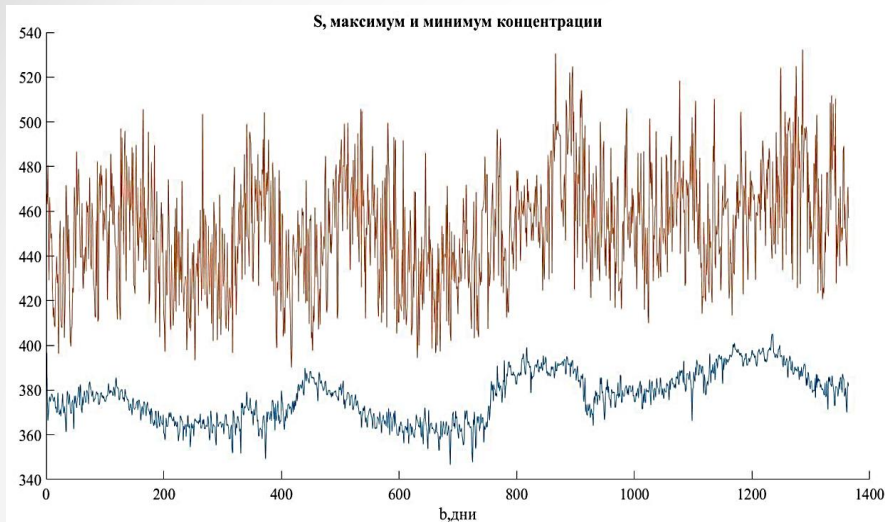
Показатели среднесуточной температуры, метеорологическая весна

Предмет исследования:

Временной ряд (ряд динамики)

- показатели среднесуточной температуры, усредненные по неделям (Тверская область, Россия);
- показатели среднесуточной температуры, относящиеся к метеорологической весне (Тверская область, Россия);

Углекислый газ



Предмет исследования:

Временной ряд (ряд динамики)

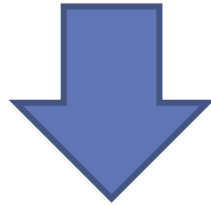
- показатели (максимумы и минимумы) дневной концентрации CO_2 на разных высотах, 0.3 м. и 46 м. от земли, (Вьетнам);
- показатели концентрации CO_2 за полтора года, усредненные с периодом в 30 минут (Вьетнам).

Преобразование Фурье и вейвлет-анализ

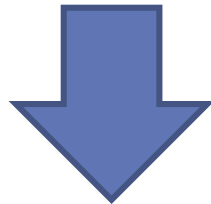
Преобразование Фурье



Удобно для стационарных временных рядов



Оконное Преобразование Фурье



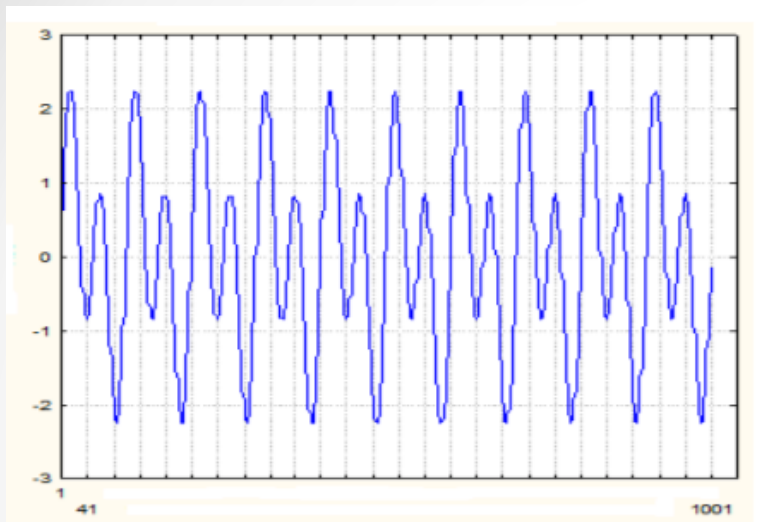
Вейвлет-анализ



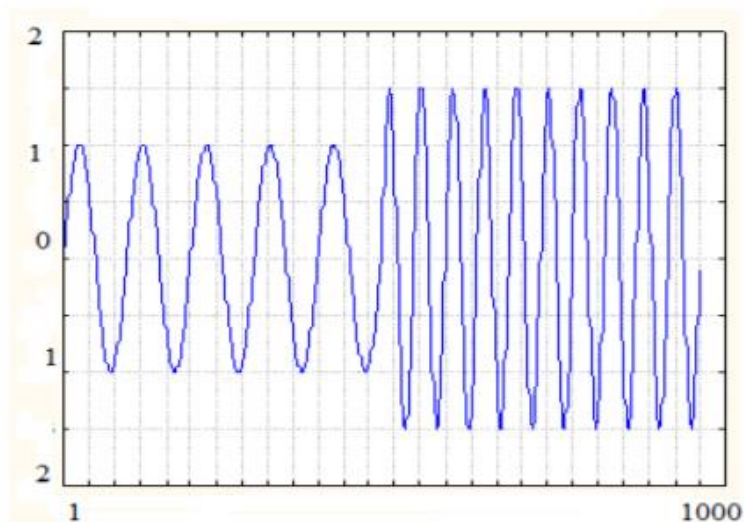
Удобно для нестационарных временных рядов, которые демонстрируют эволюцию во времени своих основных статистических параметров (среднего значения, дисперсии, периодов, амплитуды и тд)

Также используются статистические методы, преобразование Гильберта-Хуанга, фрактальный анализ и др.

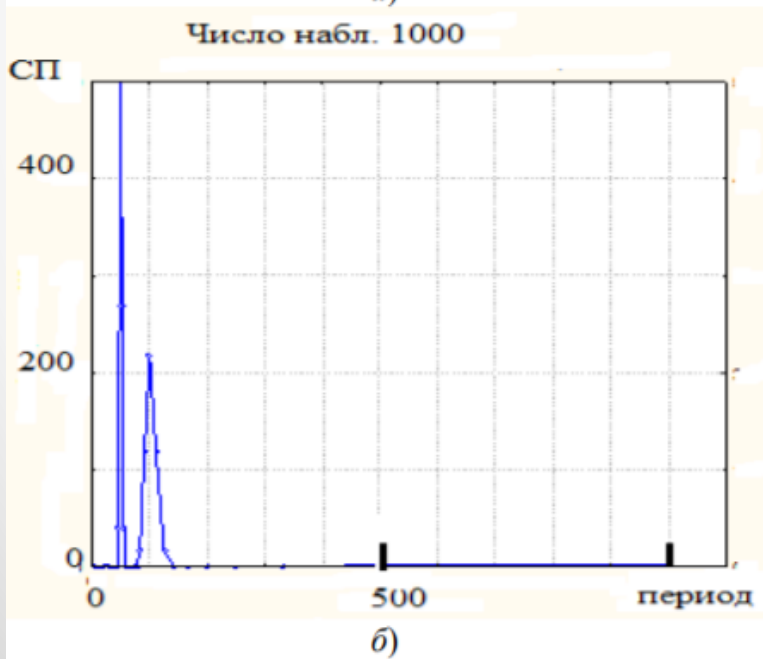
Недостатки Преобразования Фурье



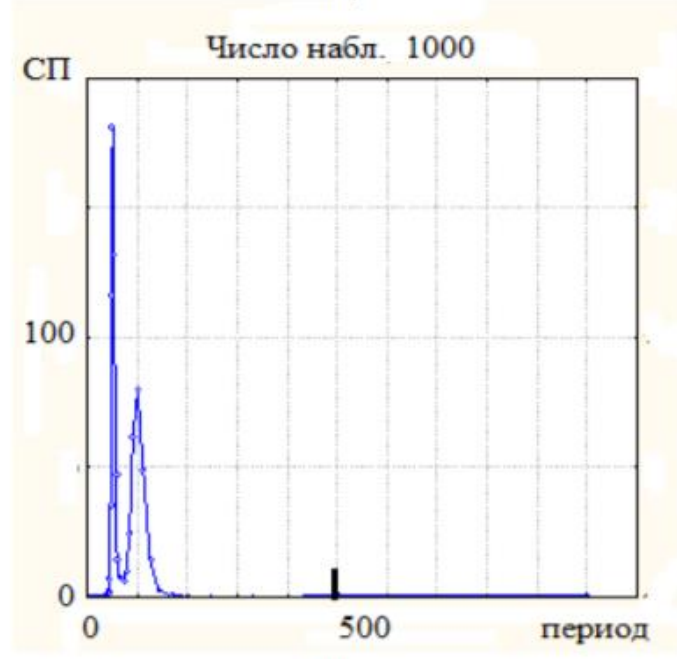
a)



a)

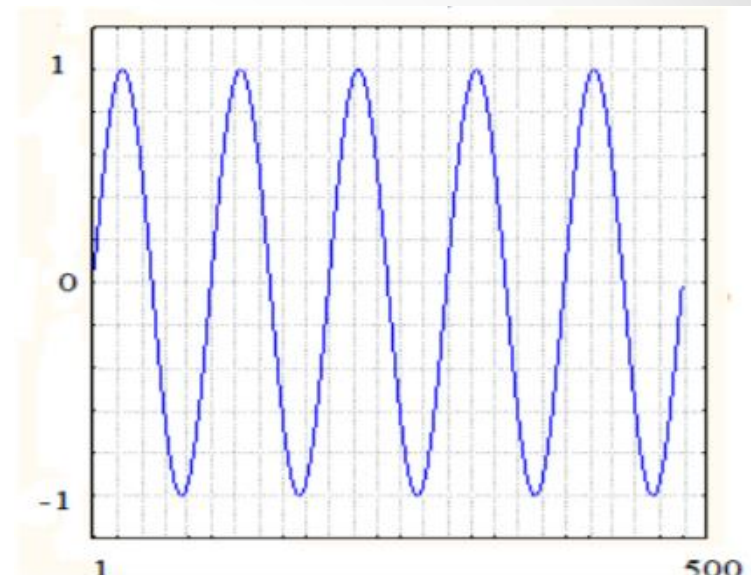
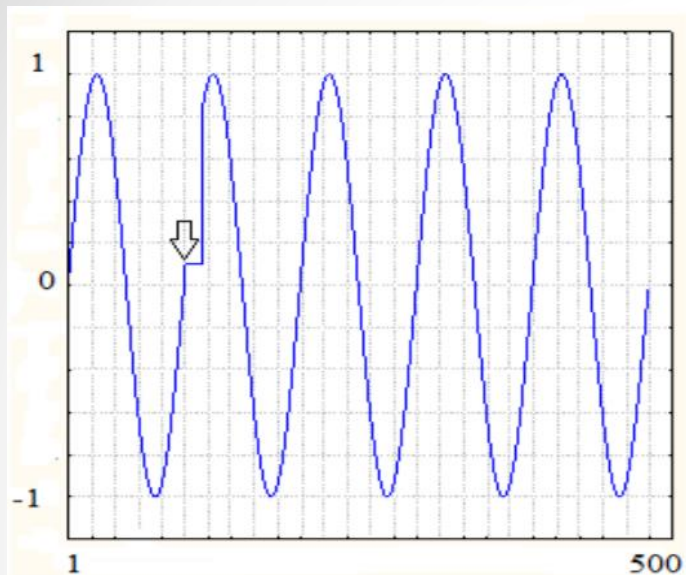


б)

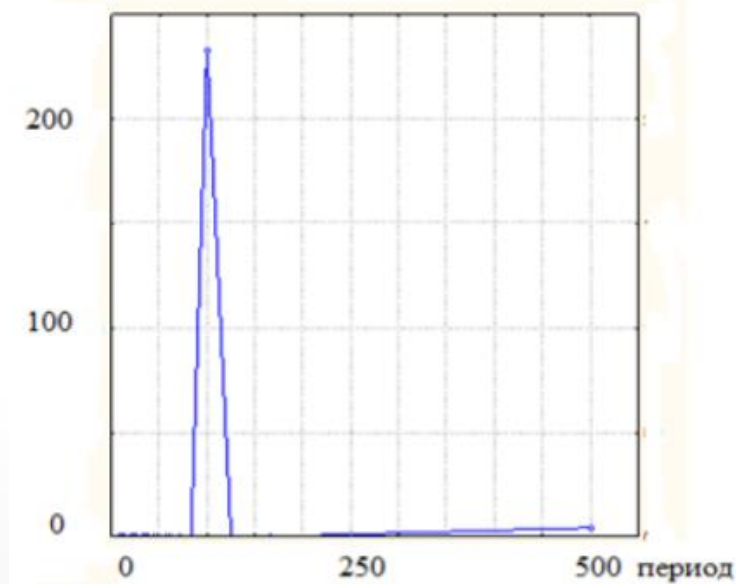


б)

Недостатки Преобразования Фурье



Числ набл. 500



Вейвлет-преобразование

С помощью материнского вейвлета, функции $\psi(t)$, определяется вейвлет-функция $\psi_{a,b}(t)$:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right).$$

Непрерывное вейвлет-преобразование:

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \psi_{a,b}^* dt,$$

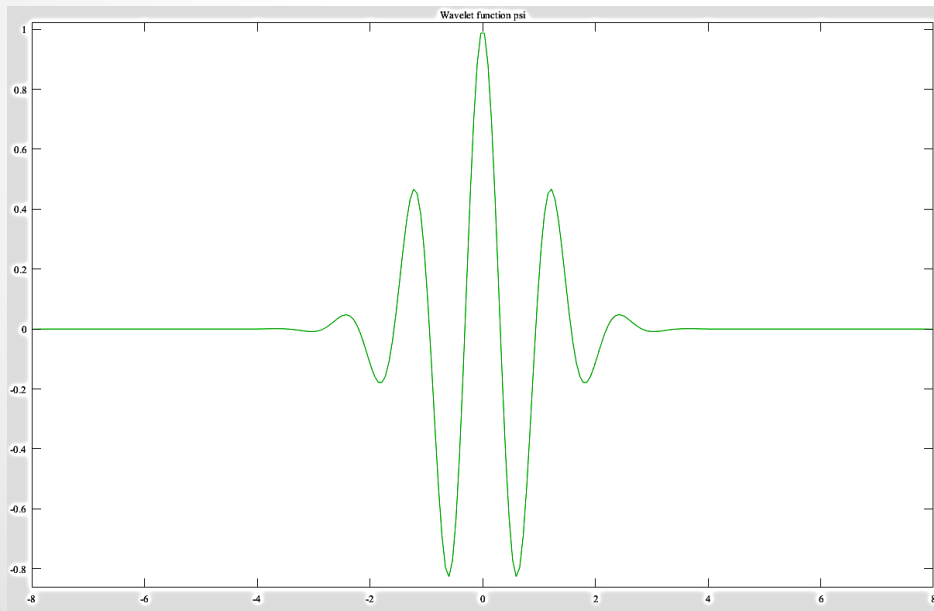
где $s(t)$ – исследуемый ряд динамики, а $*$ обозначает комплексное сопряжение.

Интегральный спектр:

$$S(a) = \int_{a1}^{a2} |W(a, b)|^2 db$$

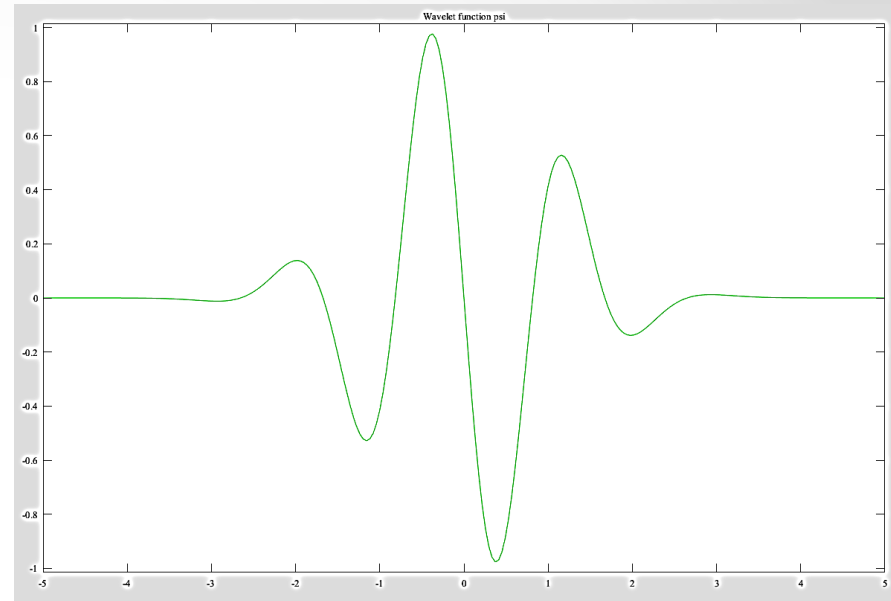
Проверка исследуемого ряда на стационарность осуществляется посредством расширенного теста Дикки-Фуллера, который показал, что оба ряда температуры и показателей минимумов и максимумов концентрации углекислого газа на разных высотах - нестационарны, тем самым обосновано применение вейвлет-анализа.

Выбор материнского вейвлета



Вейвлет Морле

$$\psi(x) = e^{-x^2/2} \cos(5x)$$



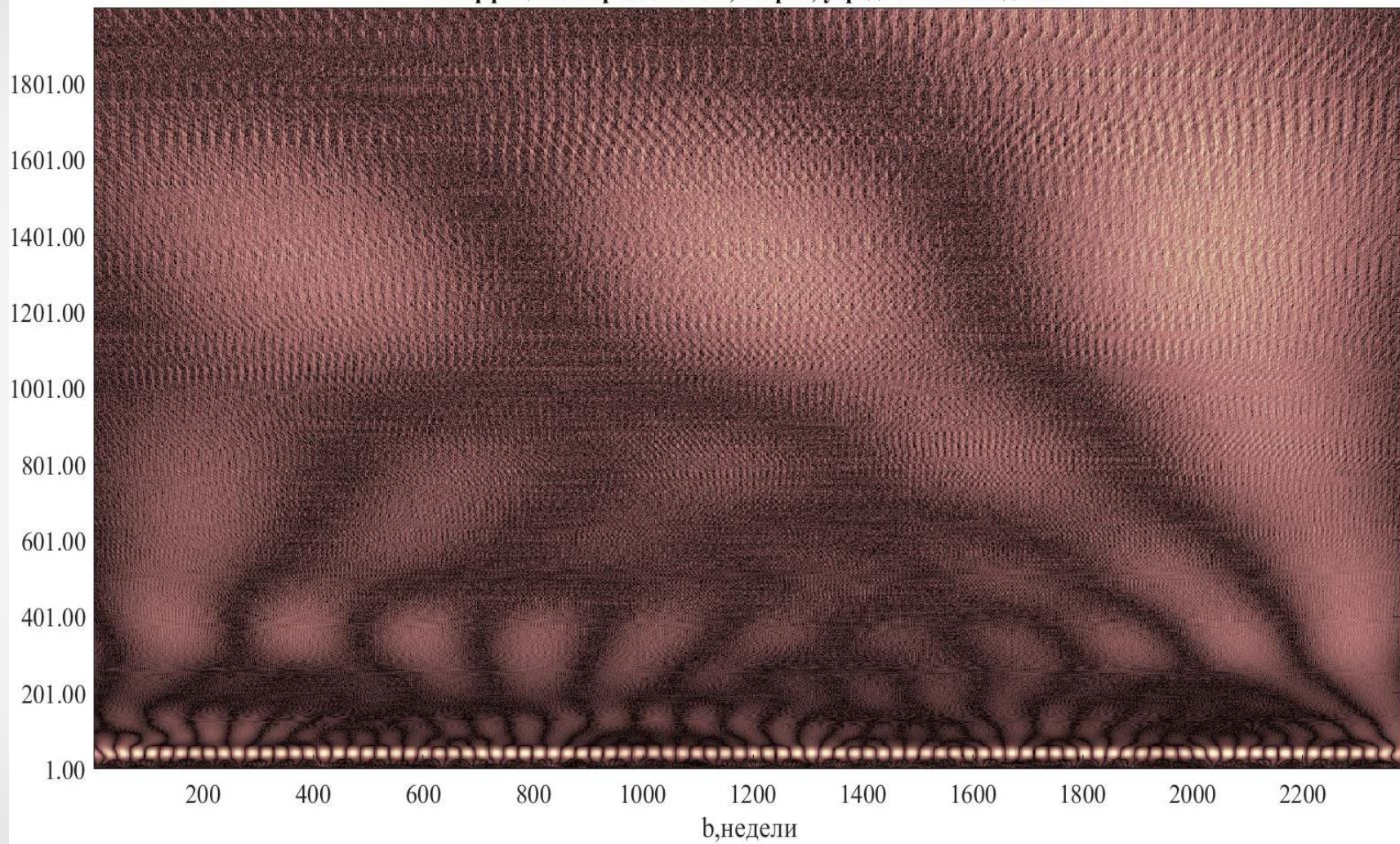
Вейвлет Гаусса 7

Нормированная 7 производная
функции Гаусса

$$F(x) = e^{-x^2}$$

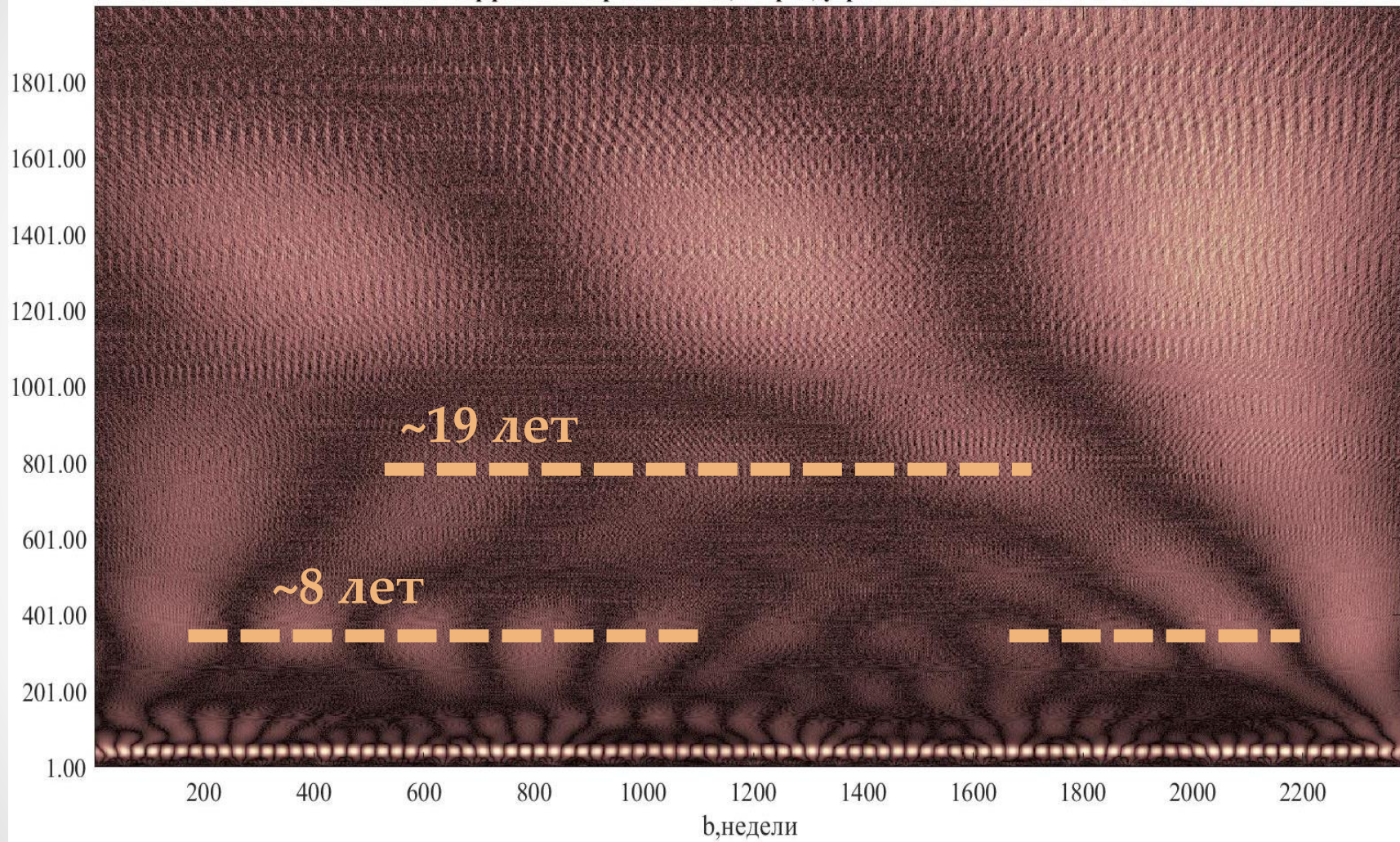
Спектр, температура, вейвлет Морле, усреднение по неделям

Коэффициенты разложения, Морле, усреднение по неделям

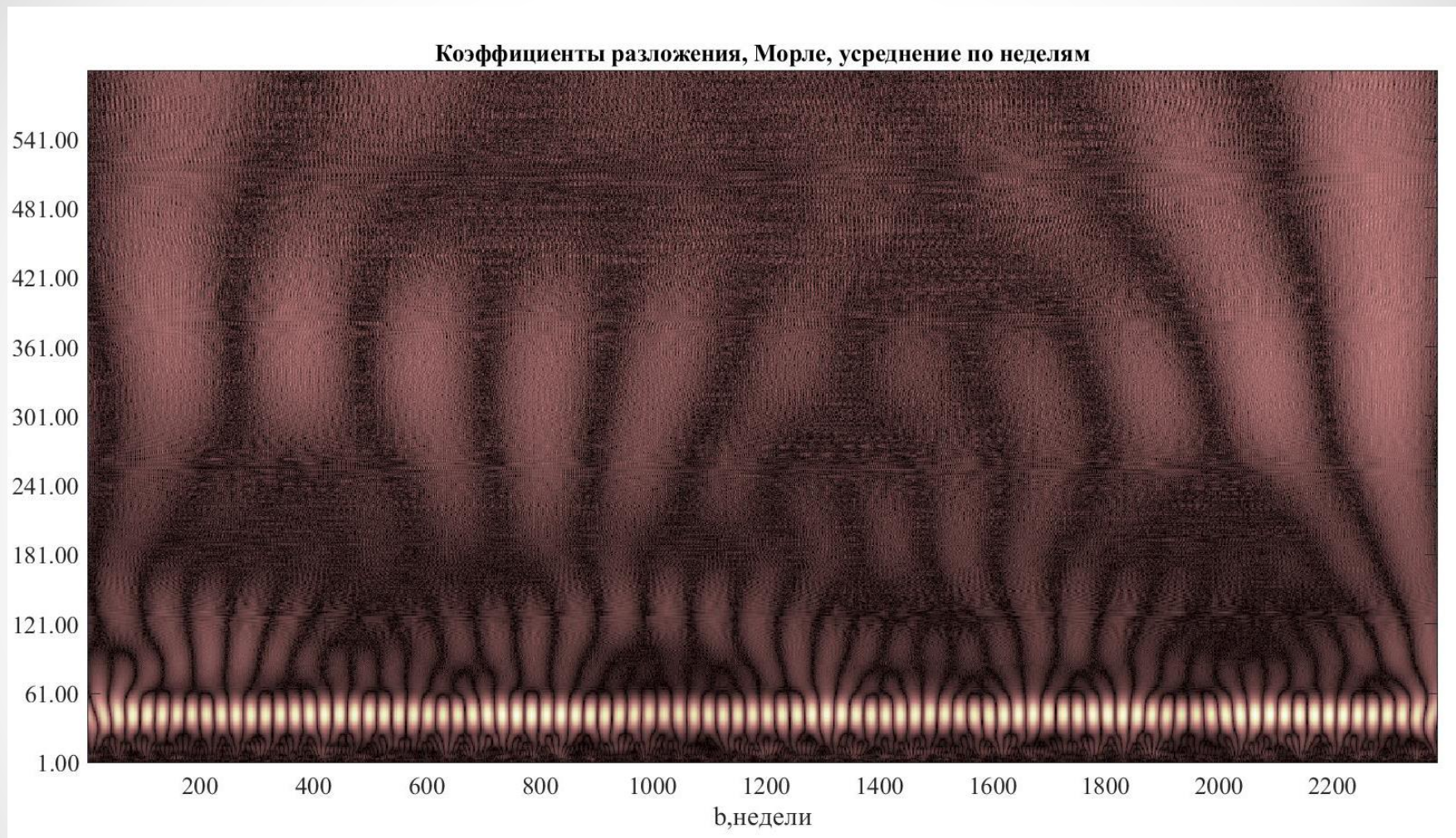


Спектр, температура, вейвлет Морле, усреднение по неделям

Коэффициенты разложения, Морле, усреднение по неделям

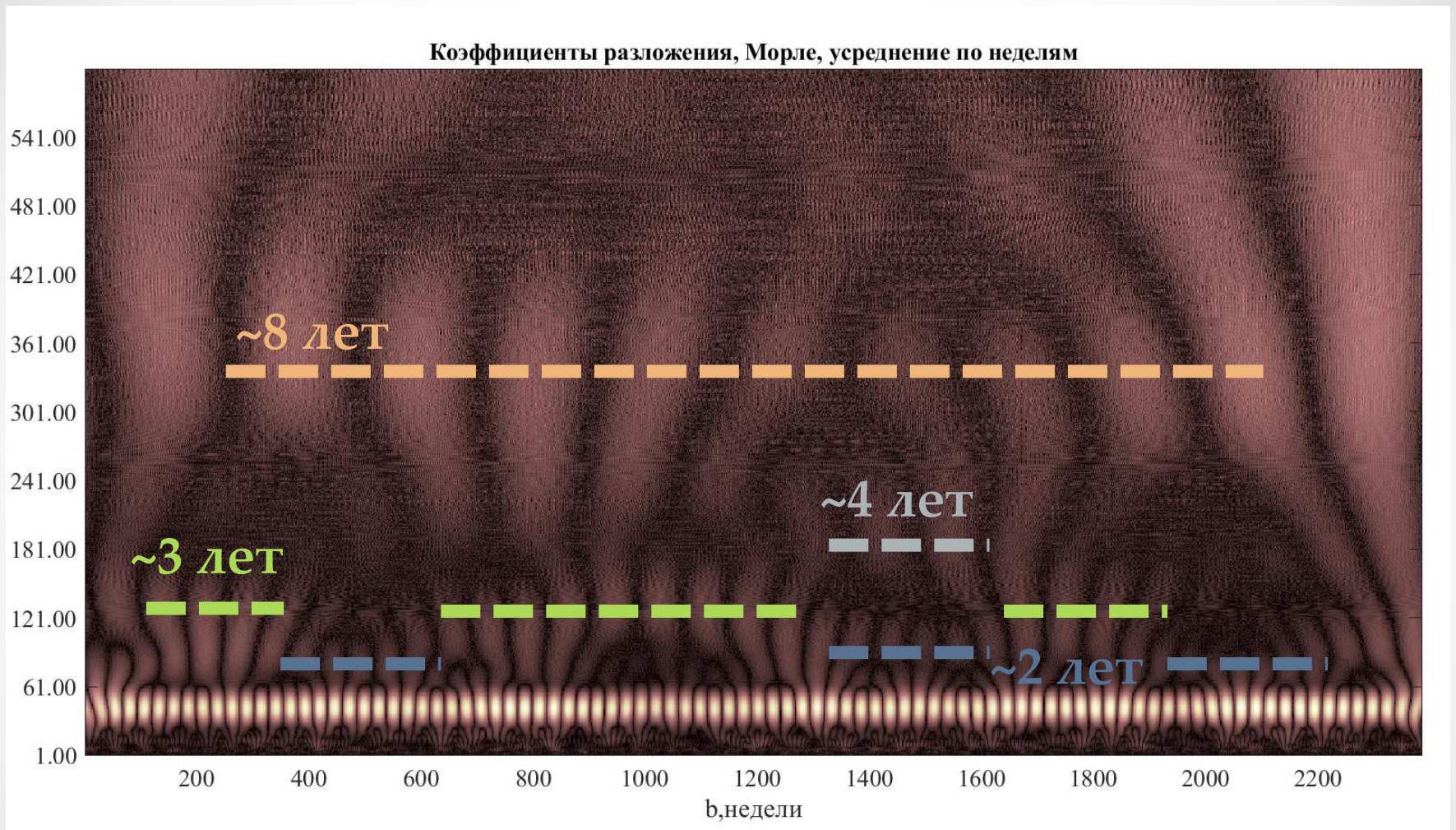


Спектр: вейвлет Морле, усреднение по неделям



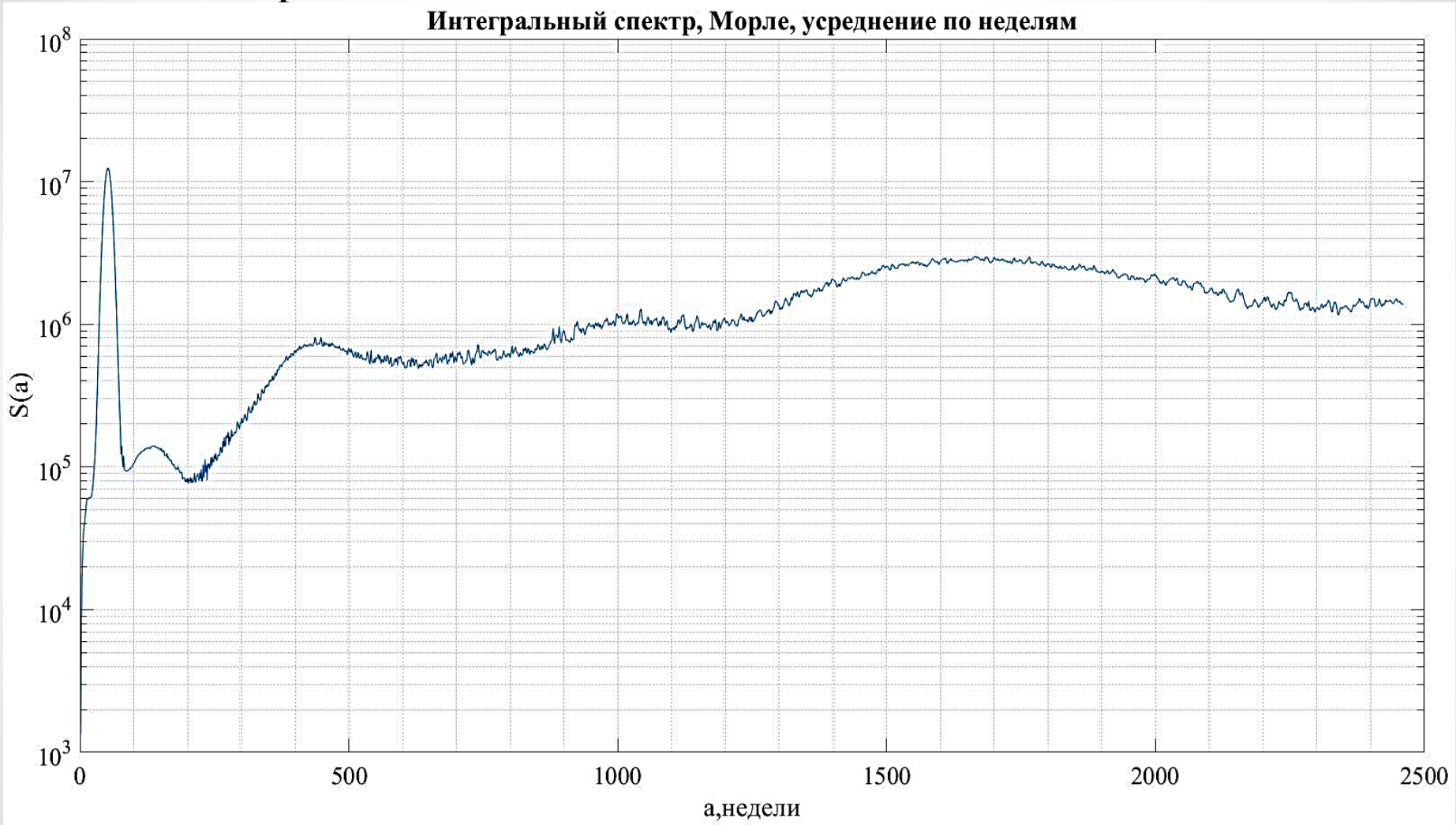
Яркая светлая линия – цикл в 1 год

Спектр: вейвлет Морле, усреднение по неделям



Яркая светлая линия – цикл в 1 год

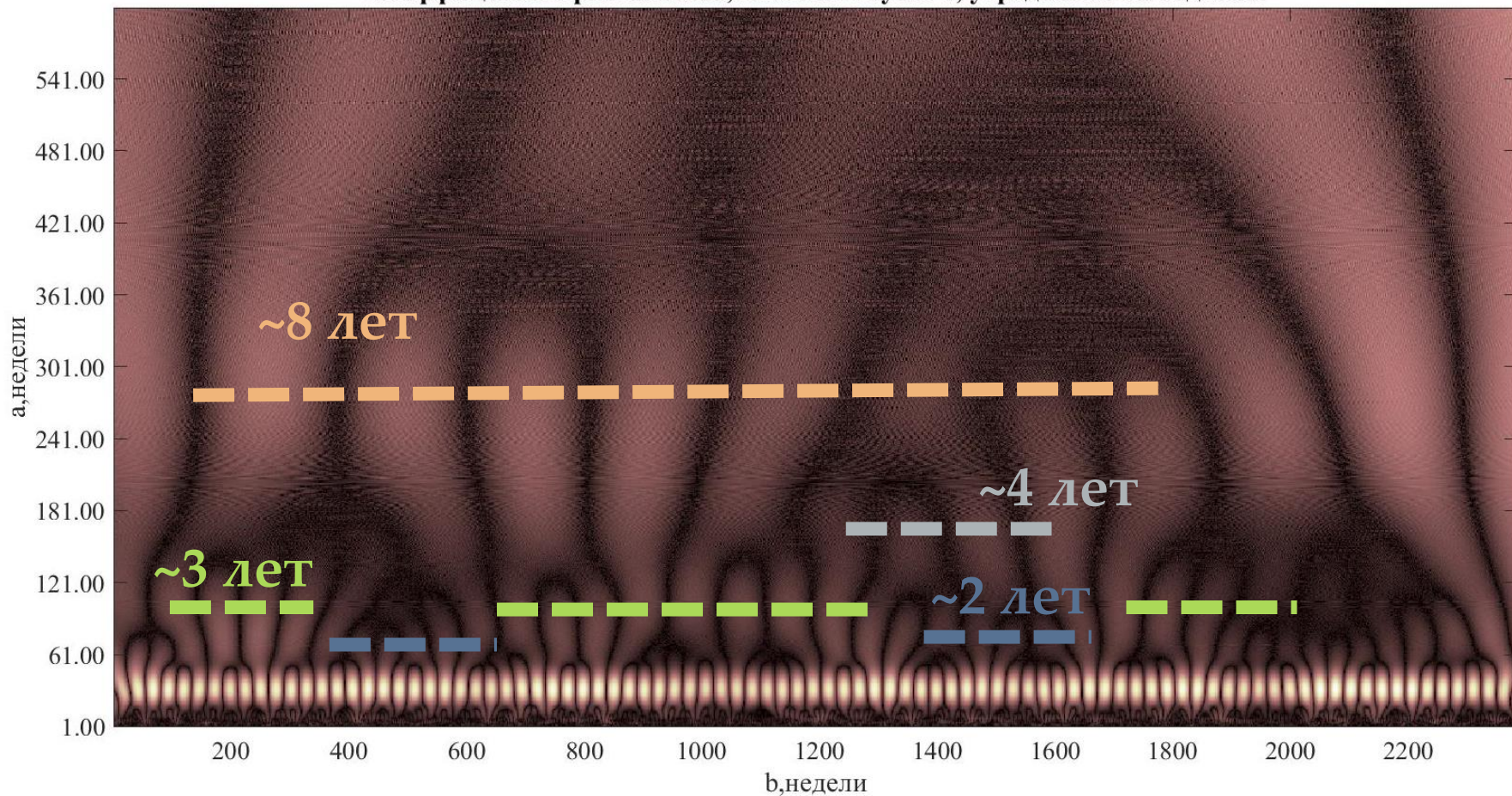
Интегральный спектр, температура, усреднение по неделям, вейвлет Морле



1 год (52.2 недели), 2.7 лет, 8.4 лет, 19.5 лет (почти половина ряда, недостаточно данных)

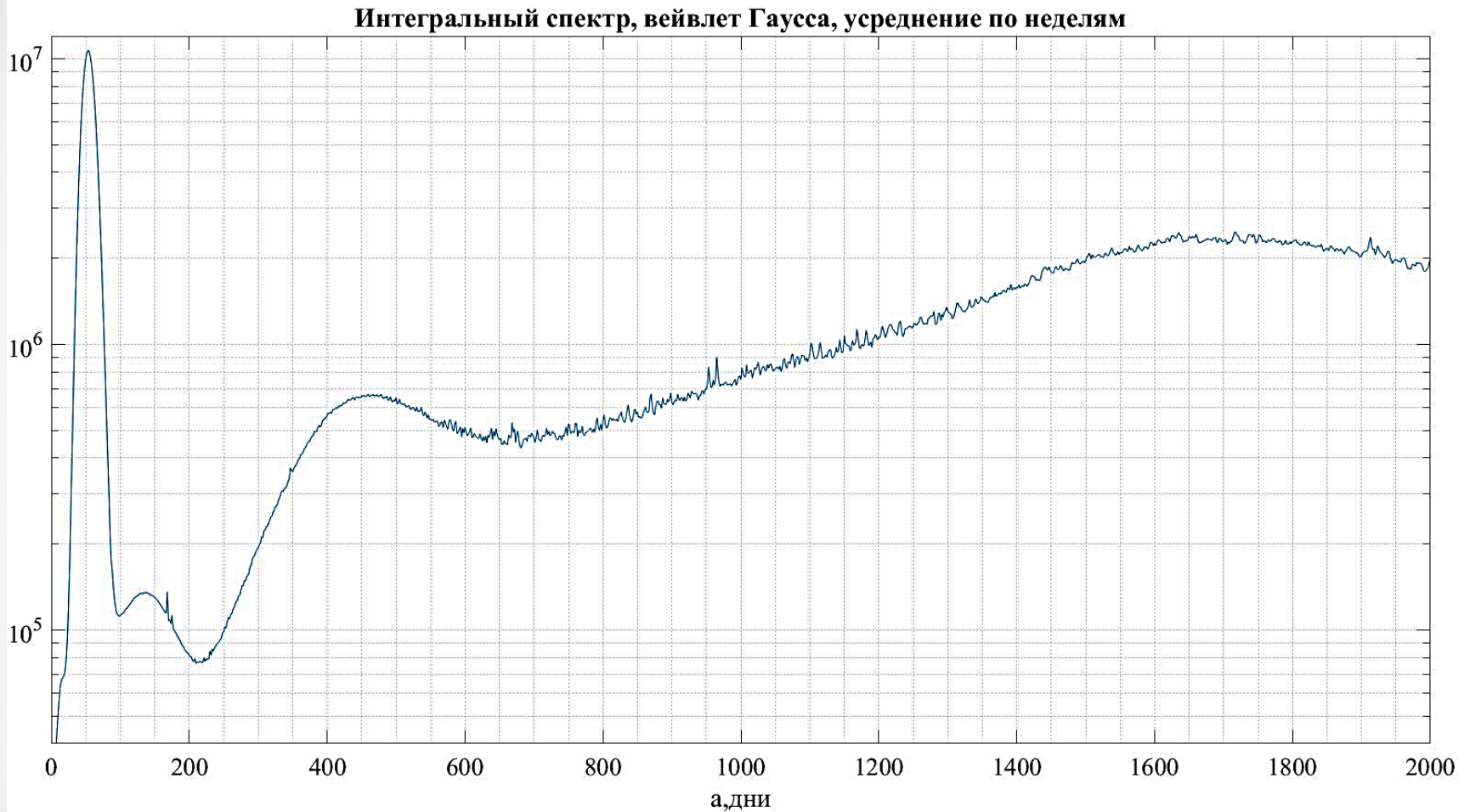
Спектр, температура, вейвлет Гаусса 7, усреднение по неделям

Коэффициенты разложения, вейвлет Гаусса 7, усреднение по неделям



Яркая светлая линия – цикл в 1 год

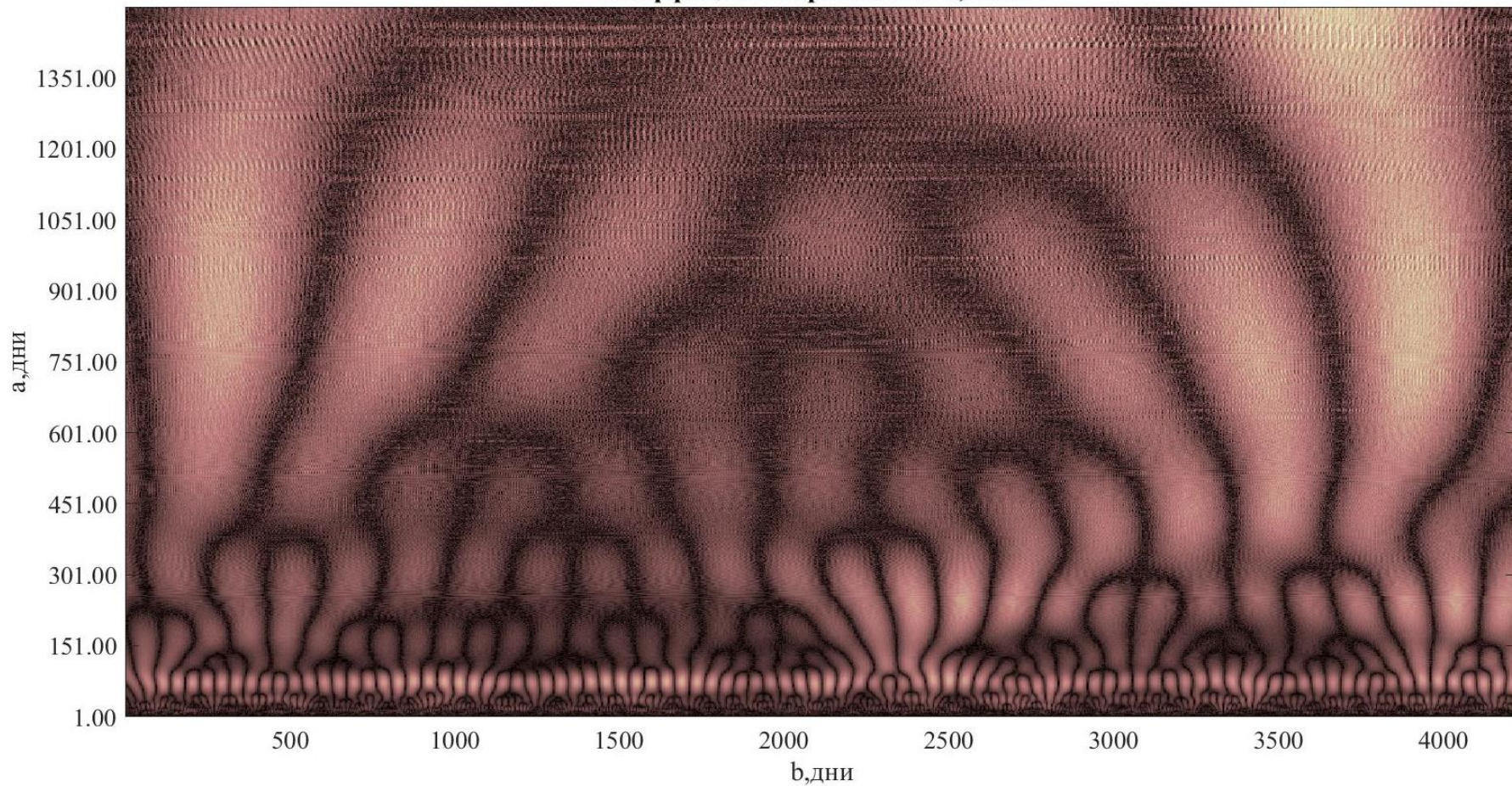
Интегральный спектр, температура, вейвлет Гаусса 7



1 год (52.2 недели), 2.7 лет, 8.6 лет

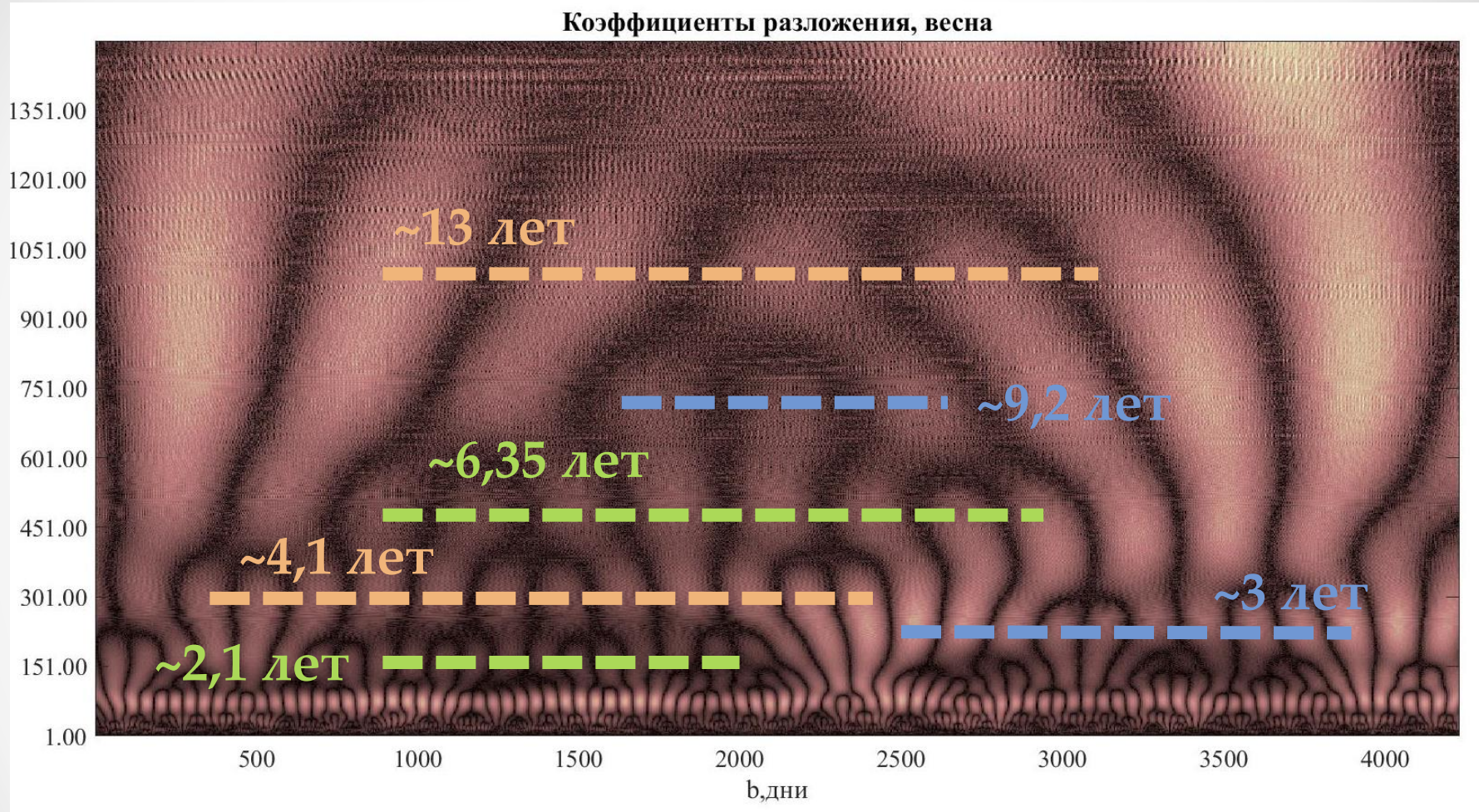
Спектр, температура, весна: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, весна



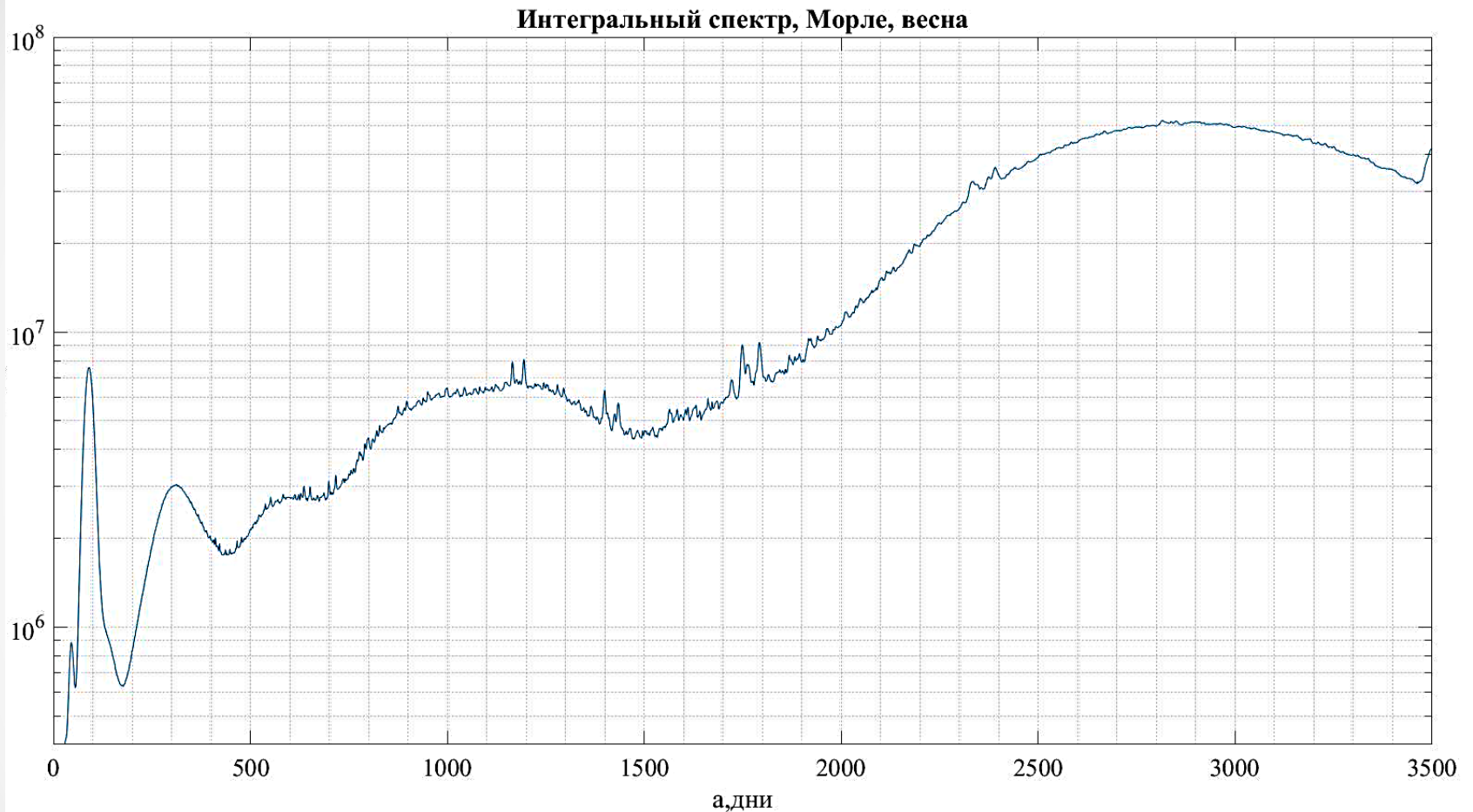
Яркая светлая линия – цикл в 1 год

Спектр, температура, весна: вейвлет Морле



Яркая светлая линия – цикл в 1 год

Интегральный спектр, весна: вейвлет Морле

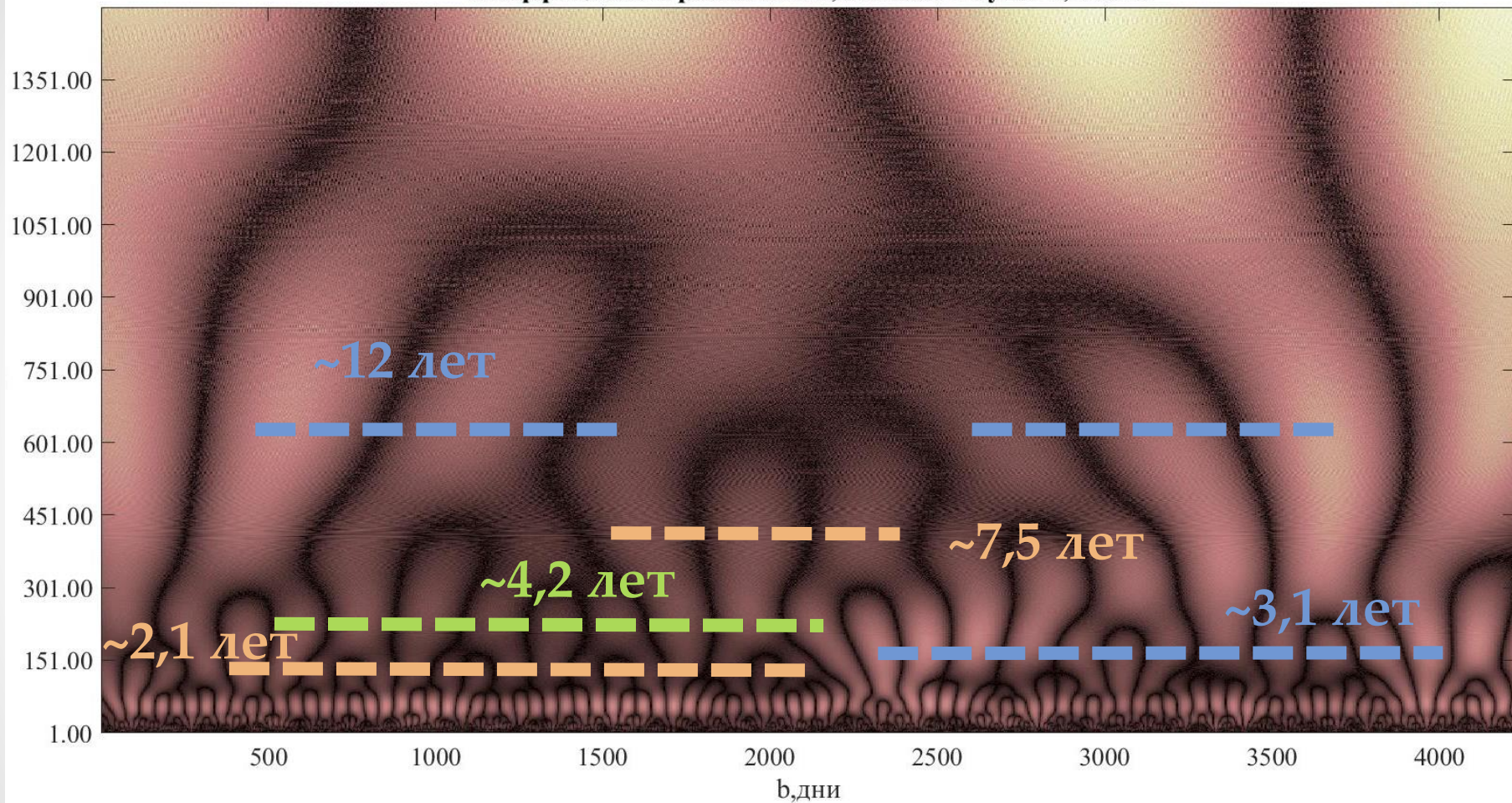


1 год (90 дней), 3.5 года, 6.4 (слабый пик) и около 12 лет.

Высокий пик – 32 года, при данных, длиной в 45 лет использовать нельзя.

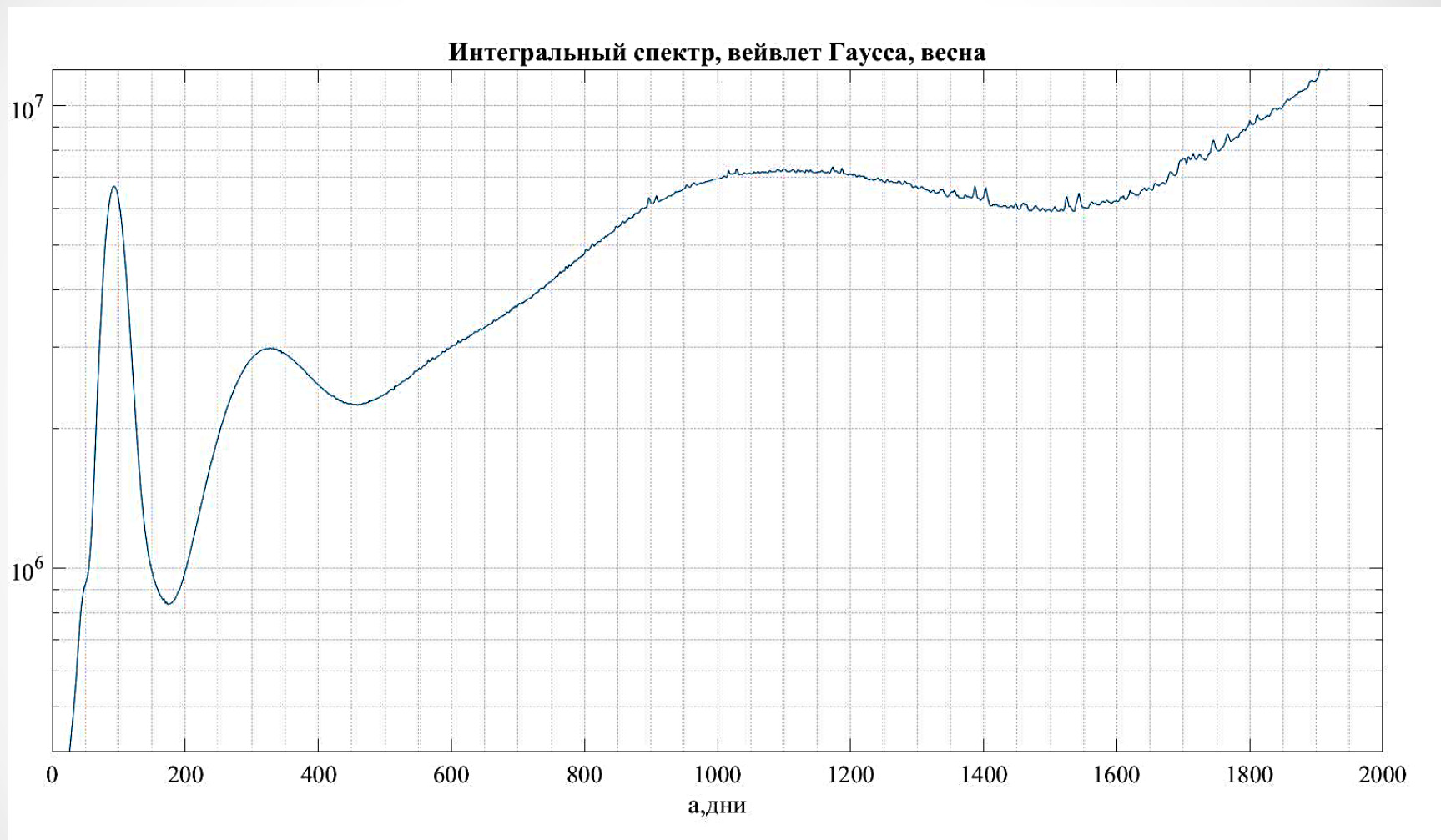
Спектр, температура, весна: вейвлет Гаусса 7

Коэффициенты разложения, вейвлет Гаусса 7, весна



Яркая светлая линия – цикл в 1 год

Интегральный спектр, температура, весна: вейвлет Гаусса 7



1 год (90 дней), 3.6 лет, около 12 лет.

Заключение, температура

Материнский вейвлет/метод	Усреднение по неделям	Весна
Вейвлет Морле	2.7 лет и 8.4 лет	3.5 года, 6.4 (слабый пик) и около 12 лет.
Вейвлет Гаусса	2.7 лет и 8.6 лет	3.6 лет, около 12 лет.
Статистические методы	3 года, 8 лет	
Оконное преобразование Фурье	3.5 года и 8.5 лет.	

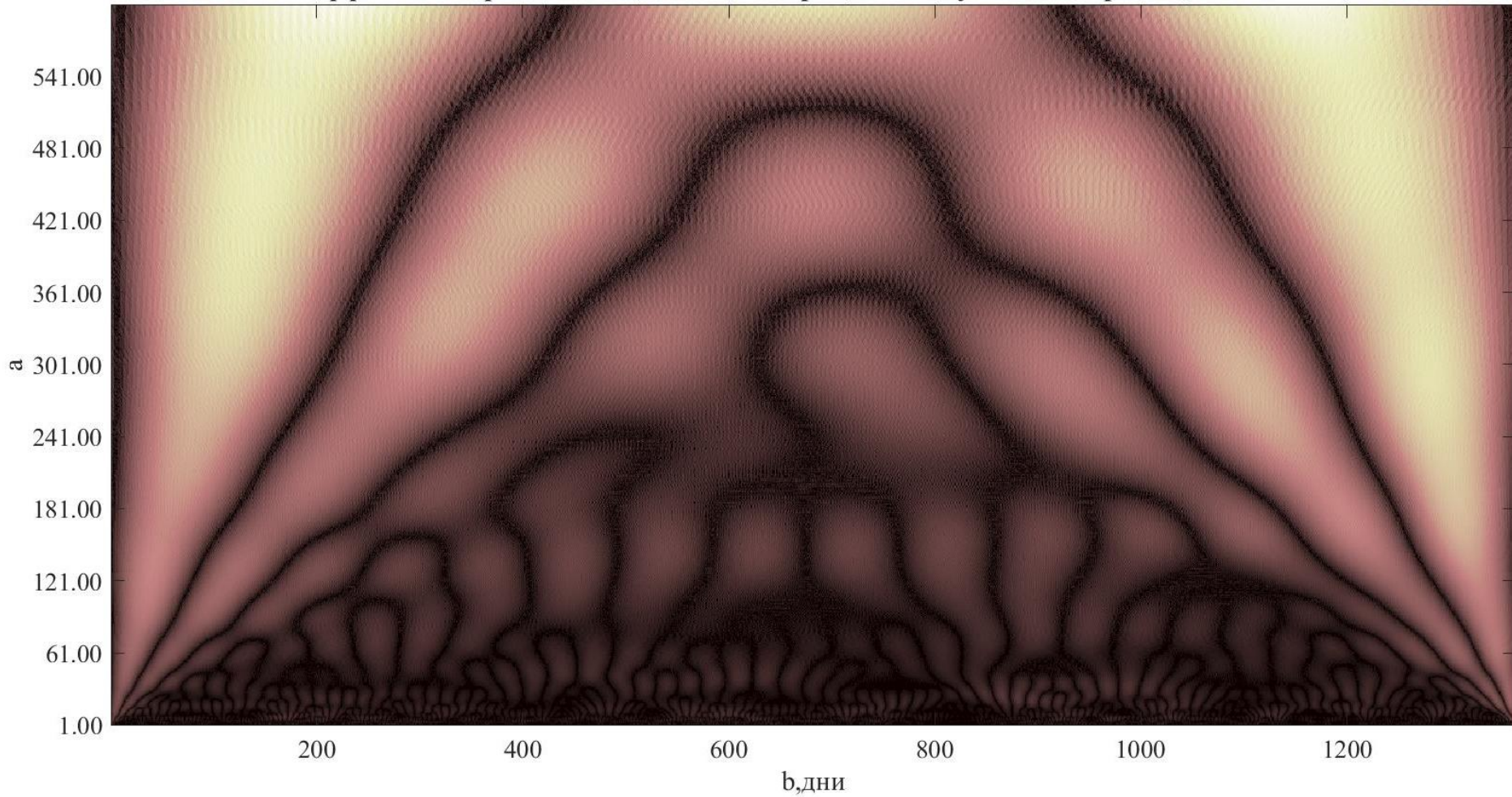
Результаты хорошо согласуются между собой.

Также результаты согласуются с Эль-Ниньо колебанием (2-6 лет), Северо-Атлантическим колебанием (8 лет)

.

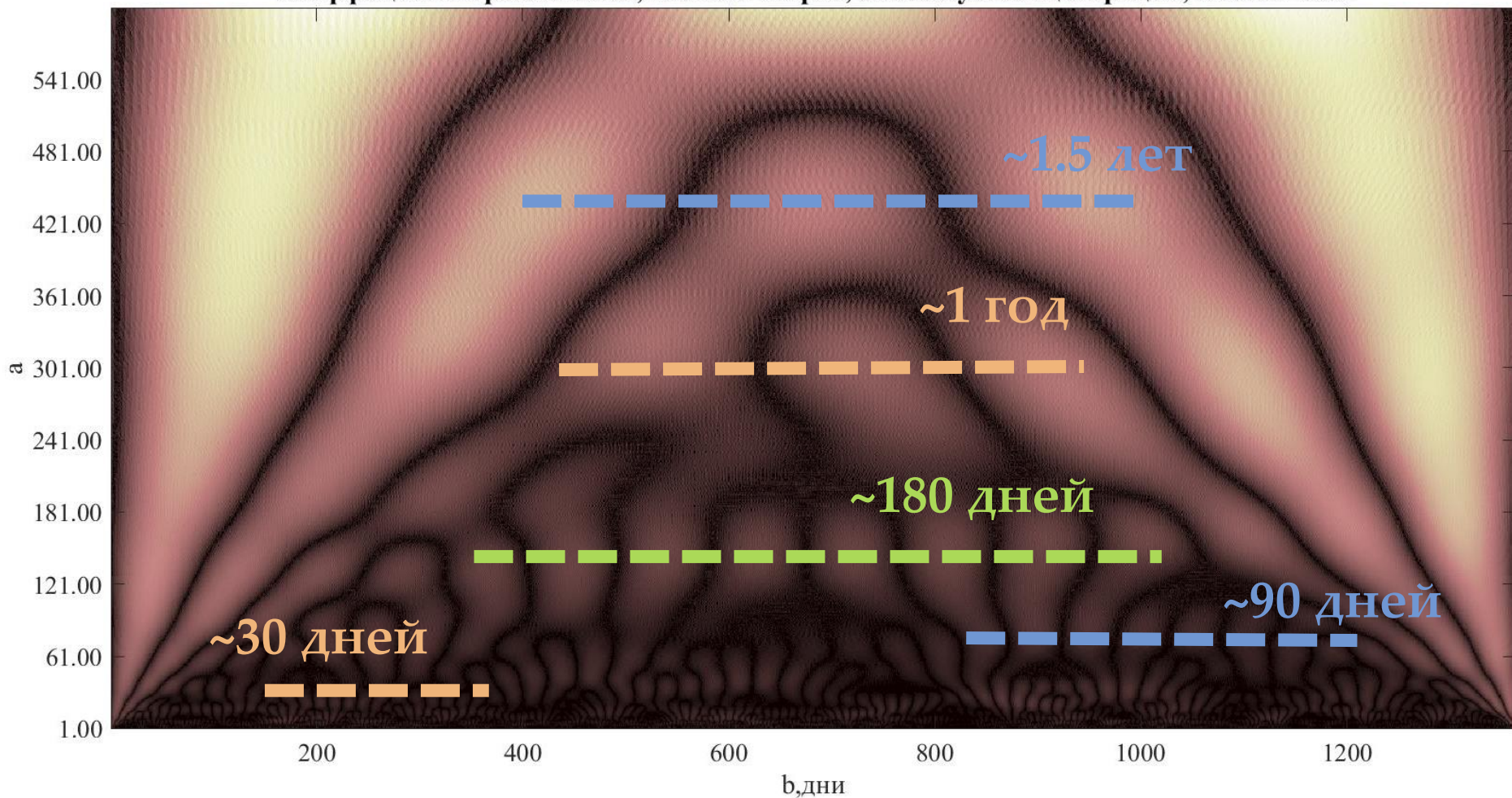
Спектр, углекислый газ, максимумы, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, максимум концентрации, высота 0.3м



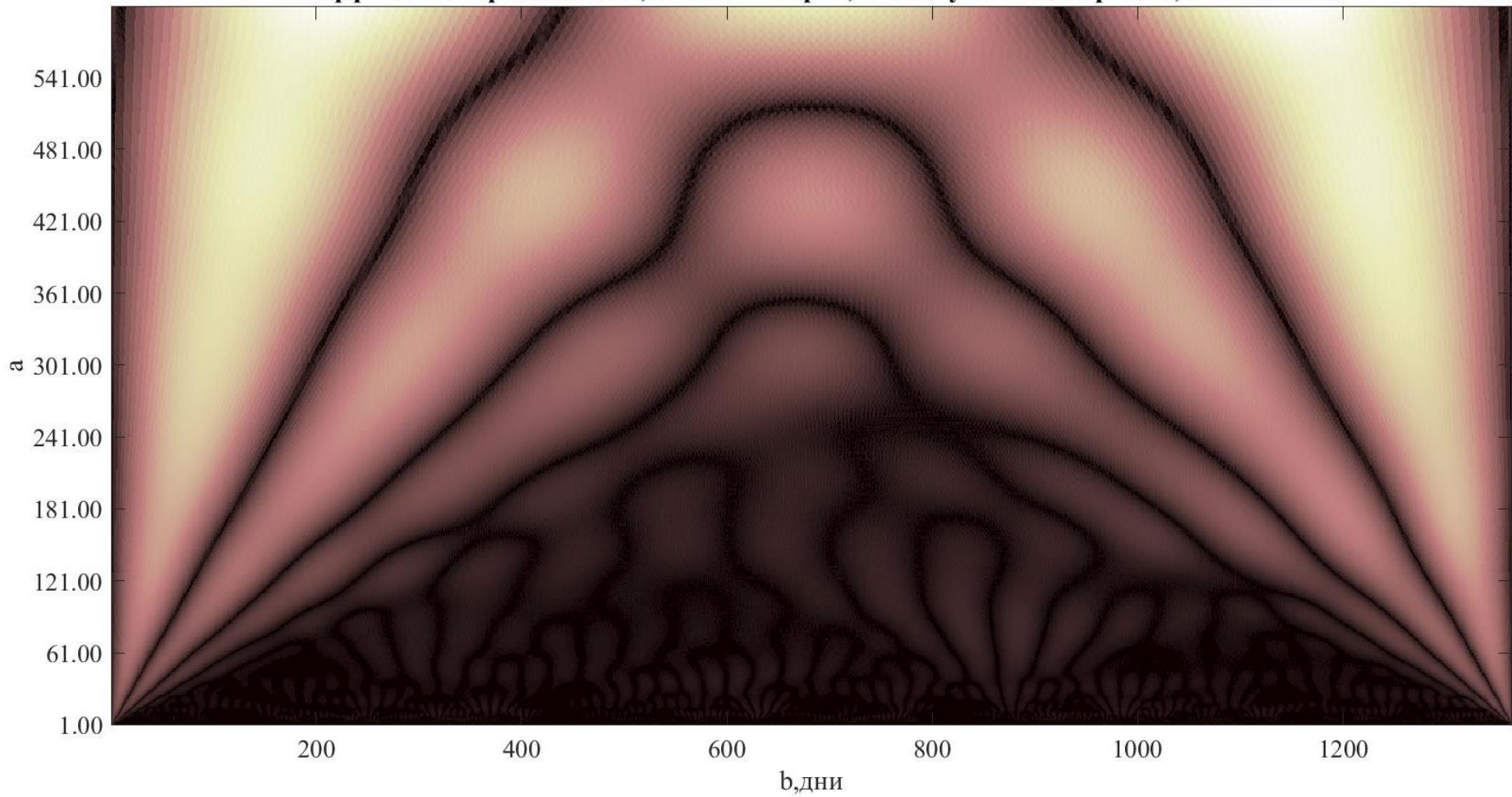
Спектр, углекислый газ, максимумы, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, максимум концентрации, высота 0.3м



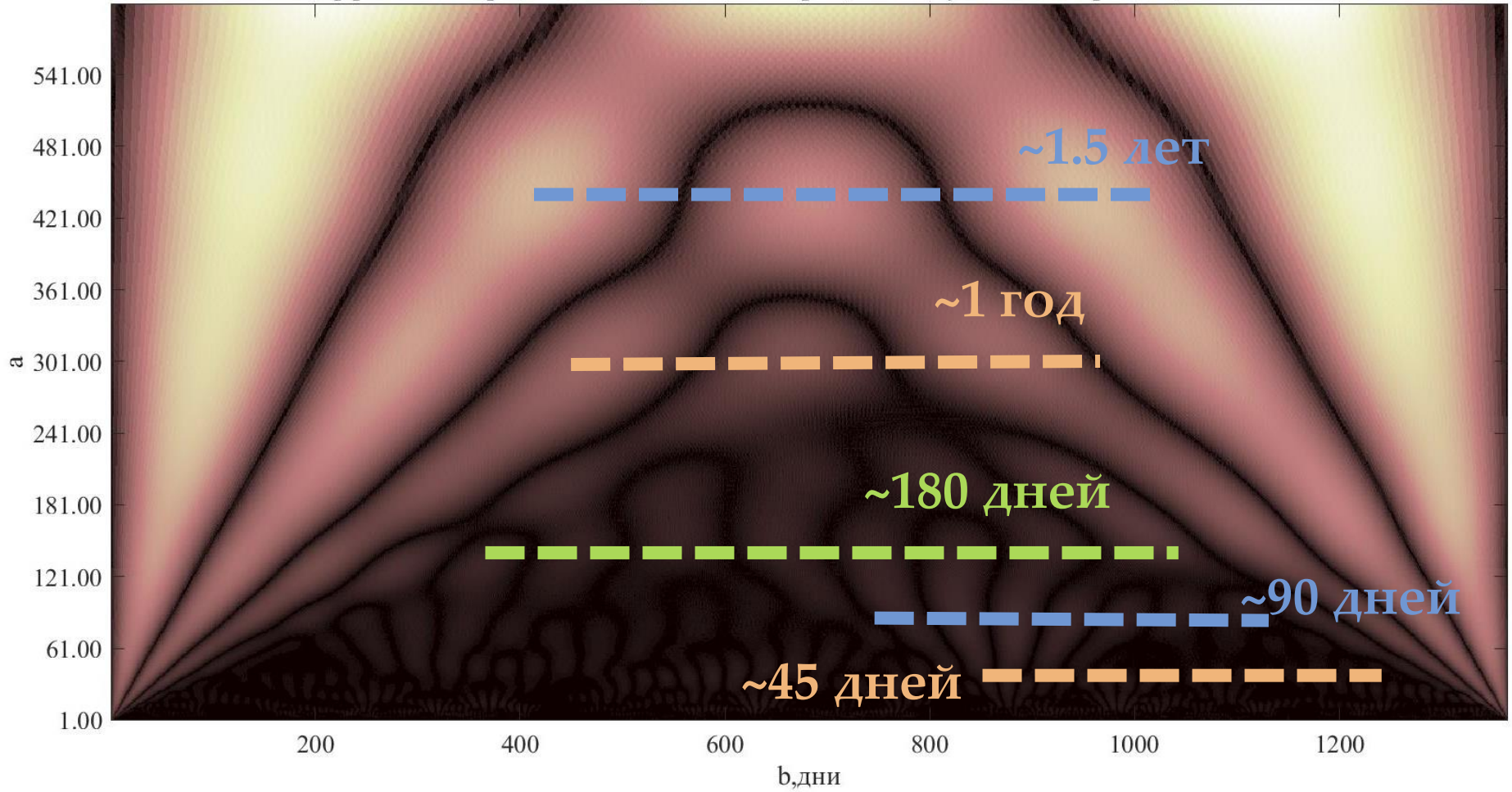
Спектр, углекислый газ, минимумы, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, минимум концентрации, высота 0.3м

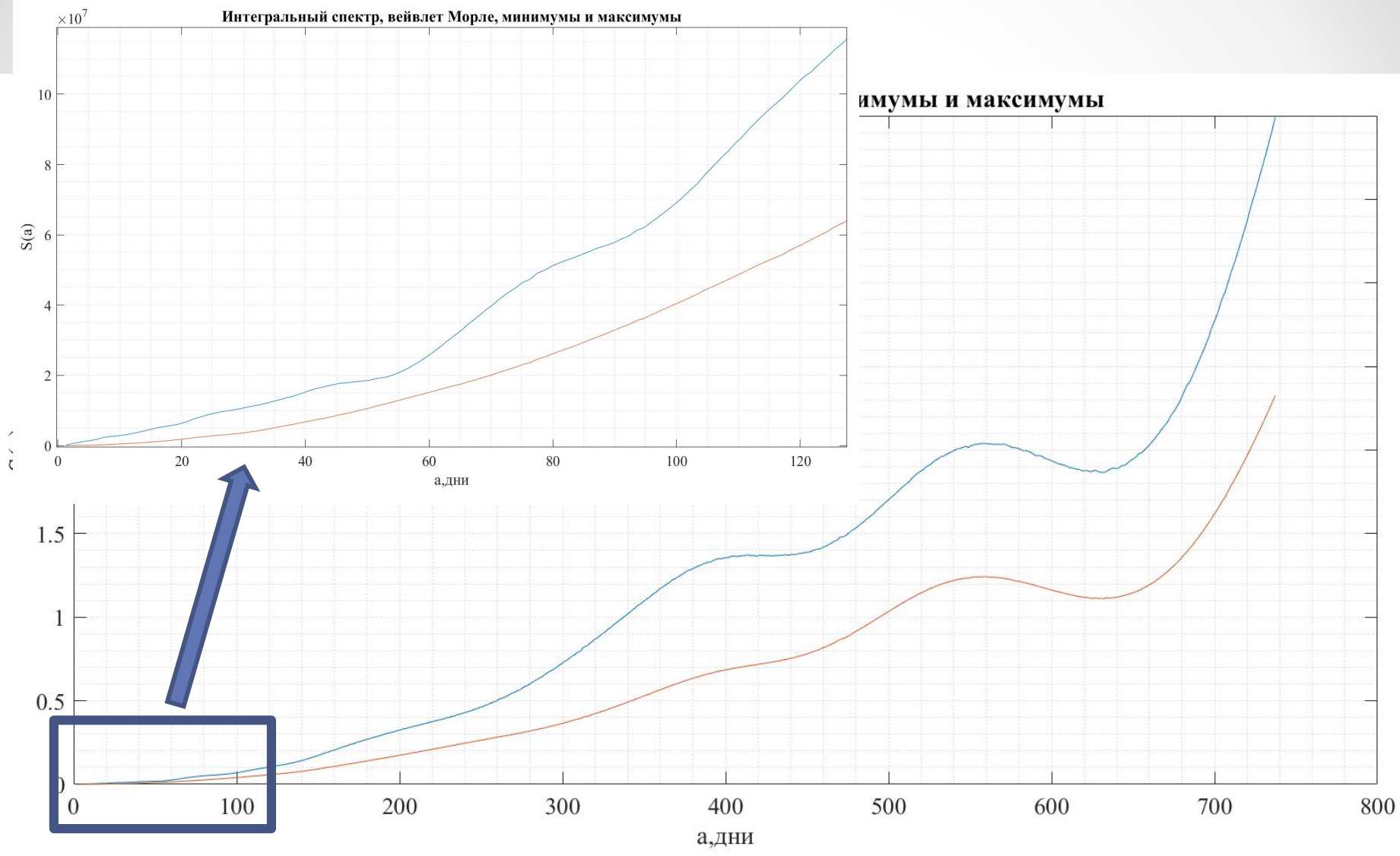


Спектр, углекислый газ, минимумы, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, минимум концентрации, высота 0.3м



Интегральный спектр, углекислый газ, максимумы и минимумы, высота 0.3м: вейвлет Морле



23 дня, 45 дней, около 80 дней – слабые пики минимума

- 1,04 лет, 1.5 года.

Заключение, углекислый газ, минимумы и максимумы

Результаты вейвлет-анализа

Максимум 0.3 м				1.04 лет	1.5 лет
Минимум 0.3 м	23 дня	45 дней	80 дней	1.04 лет	1.5 лет
Максимум 46 м				1.04 лет	1.5 лет
Минимум 46 м.	24.5 дня			1.04 лет	1.5 лет

Статистические методы [18]:

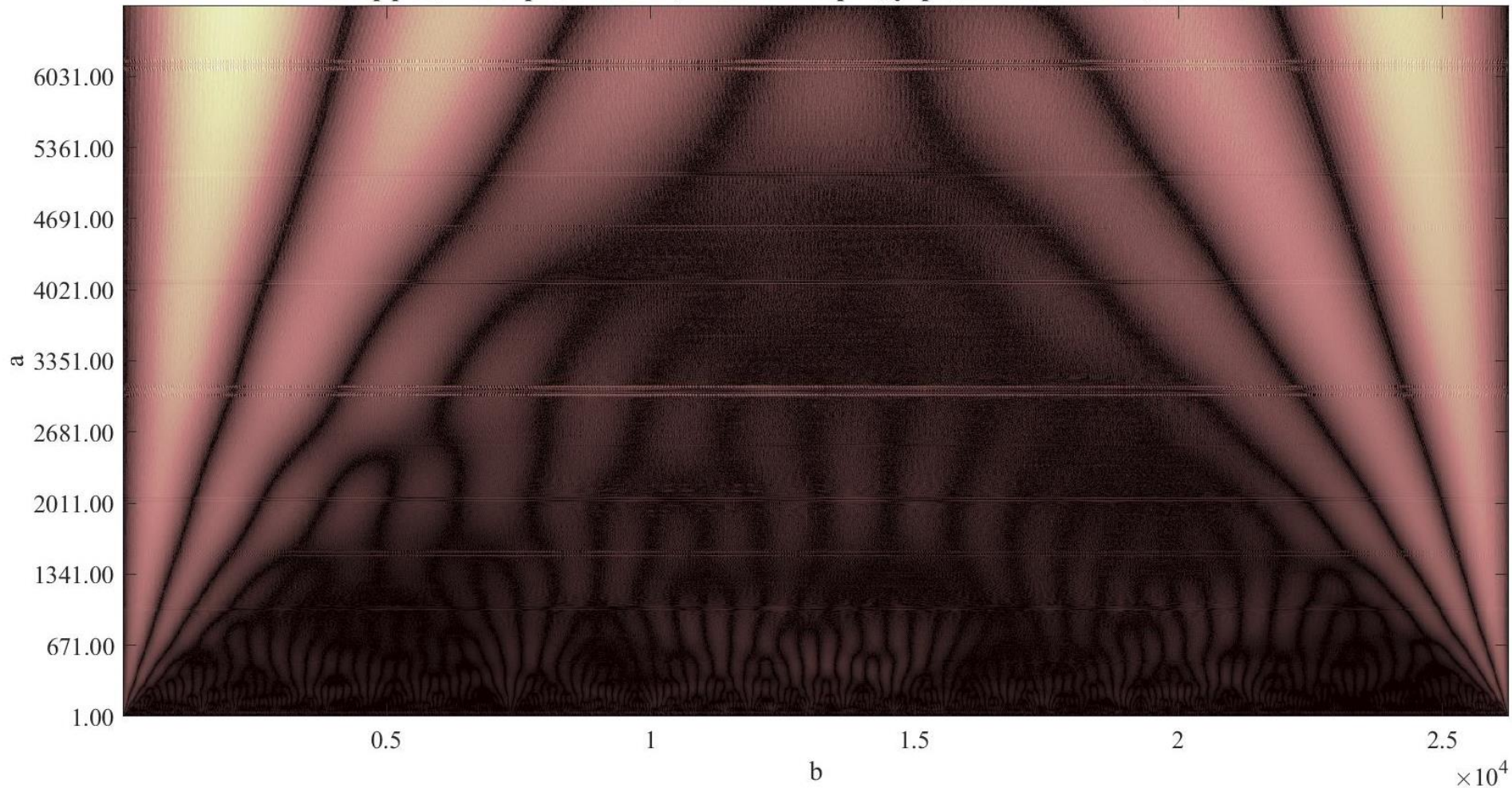
	Дневные циклы													
максимумы 0,3 м	7	10	11	15	20	23,5	27,5	30	33		40	45	48	52
минимумы 0,3 м		10	11	15				30	33	37	41			

	Месячные циклы												
максимумы 46 м							6	6,5	7,5		12	15	
минимумы 46 м					3.5			6.5	7,5	9	12	15	
максимумы 0,3 м	2	2.5	2.85	3	3.5	4	6	6.5	7.5	9	12	15	
минимумы 0,3 м	2			3	3.5	4	6	6.5	7.5	9	12	15	

Месячные циклы наблюдаются не на всем временном промежутке, их величина и продолжительность зависит от погоды (муссонный климат Вьетнама).

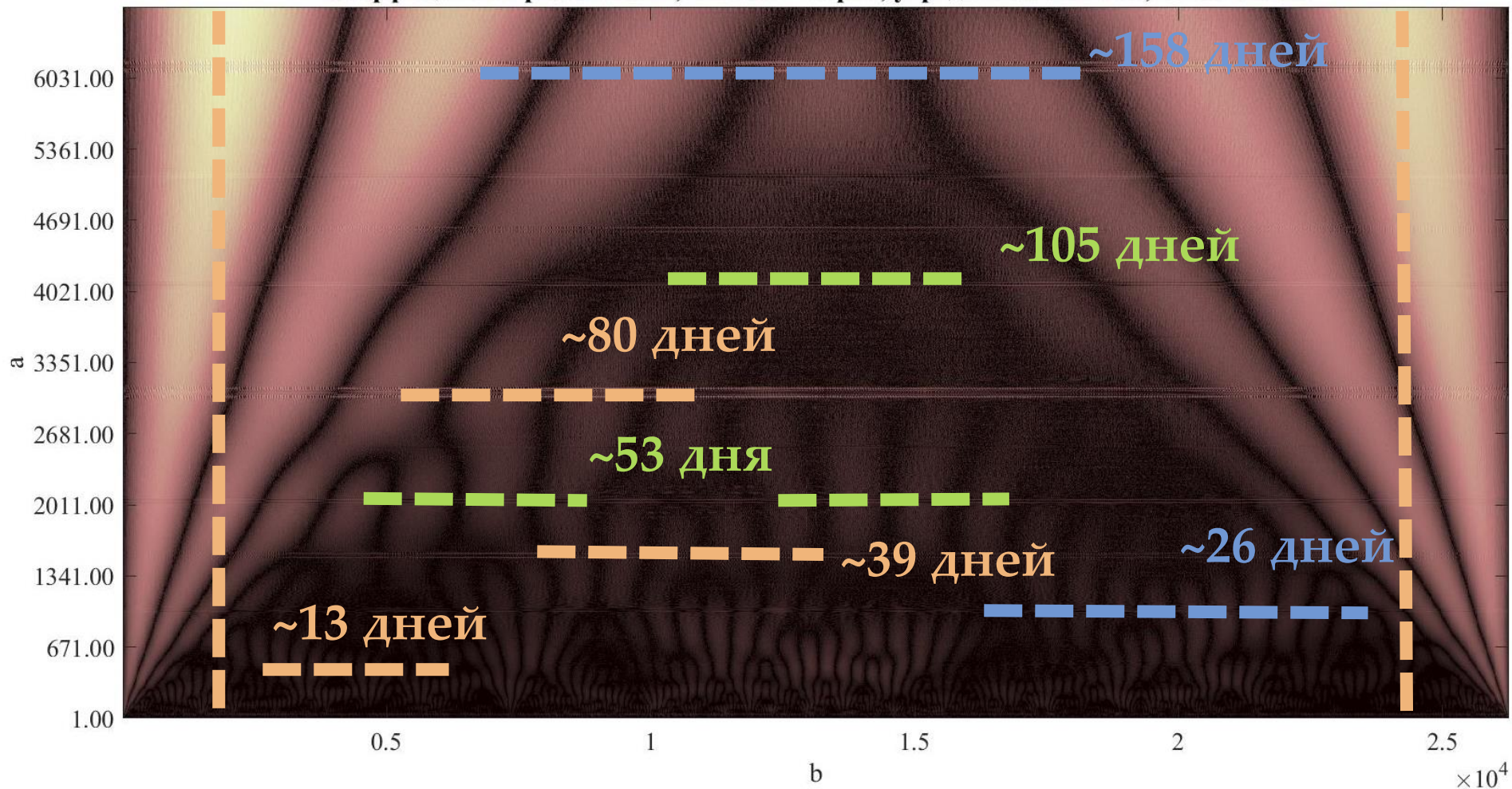
Спектр, углекислый газ, получасовое усреднение, 1.5 года, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, усреднение полчаса, высота 0.3м

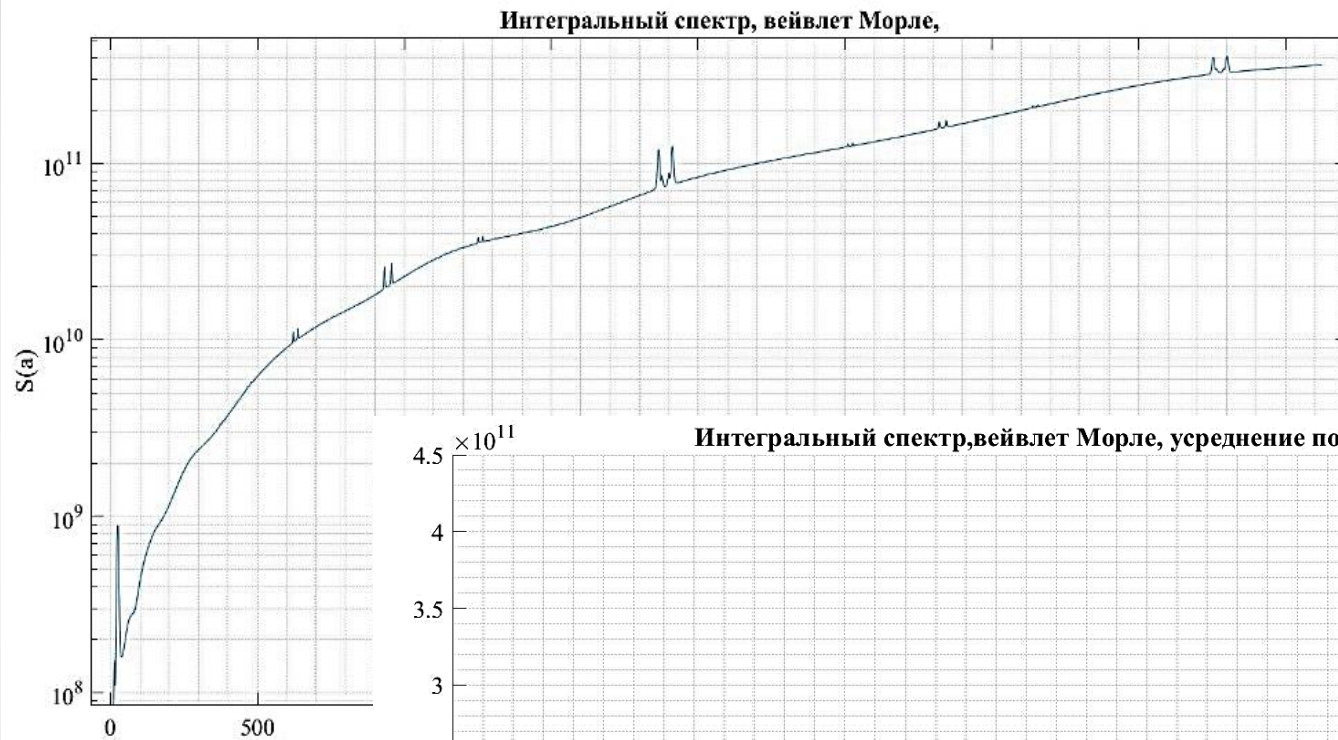


Спектр, углекислый газ, получасовое усреднение, 1.5 года, высота 0.3м: вейвлет Морле

Коэффициенты разложения, вейвлет Морле, усреднение полчаса, высота 0.3м



Интегральный спектр, углекислый газ, получасовое усреднение, 1.5 года, высота 0.3м: вейвлет Морле



Заключение, углекислый газ, получасовое усреднение, 1.5 года, высота 0.3м

Двойные выбросы имеют место как для разных временных промежутков, так и для разных материнских вейвлетов. Причем все характерные числа, представленные в таблице, неплохо согласуются между собой.

Центр двойного всплеска, дни	26	39	52.2	78.8	105	118.2	131.7	158
Разница между пиками, часы	16	24	16	48	16	24	16	48
Время после прошлого всплеска, дни	-	13	13.2	26.6	26.2	13.2	13.5	26.3

В настоящее время вопрос о природе наблюдаемых выбросов остается открытым. Его причиной могут служить как особенности измерительной установки, так и различные климатические, биологические или экологические явления.

Спасибо за внимание!

Литература

1. Газарян В.А., Курбатова Ю.А., Овсянников Т.А., Шапкина Н.Е. // ВМУ.Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2015. № 5. Современные климатические изменения на юго-западе Валдайской возвышенности: статистический анализ многолетней динамики температуры воздуха, 2015, Москва.
2. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. // Успехи физических наук, 1996, т. 166, №11, с. 1145-1170.
3. Kurbatova J., Tatarinov F., Molchanov A. et al. // Environ. Res. Lett. 2013. №8.045028.
4. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. 2005, Москва.
5. Sallie Baliunas , Peter Frick , Dmitry Sokoloff, Willie Soon// Time scales and trends in the Central England Temperature data (1659-1990): A wavelet analysis. Geophysical Research Letters, Vol. 24, No.11, P. 1351-1354, June 1, 1997.
6. Асташов Р.А., Голубинский А.Н. Обоснование выбора материнского вейвлета непрерывного вейвлет-преобразования для анализа речевых сигналов. 2014, Воронеж.
7. Витязев В.В. Вейвлет-анализ временных рядов. СПб.: 2001.
8. Газарян В. А. , Курбатова Ю. А. , Овсянников Т. А. , Шапкина Н. Е. // ВМУ. Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 2018. № 1. Статистический анализ циклических изменений в рядах динамики метеорологических показателей на юго-западе Валдайской возвышенности.
9. Безрукова А.В., Зюзина Н.А. // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018».
10. Смоленцев Н. К. С51 Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
11. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир. 1976.
12. Вуколов Э.А. Основы статистического анализа. М.: Форум. 2008. - 464 с.
13. Philippe Masset. Analysis of Financial Time-Series using Fourier and Wavelet Methods. // SSRN Electronic Journal. 10/2008. DOI: 10.2139/ssrn.1289420. - 36 p.
14. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. - 688 с.
15. Тимохина А.В., А.С. Прокрушин, Онучкин А.А., Панов А.В., Кофман Г.Б., Хаймани М. Динамика приземной концентрации CO₂ в среднетаежной подзоне Приенисейской Сибири. // Экология. 2015. Т. 46. № 2. С. 143-151.
16. Тимохина А.В. Динамика концентрации атмосферного углерода над среднетаежными экосистемами Приенисейской Сибири (по данным измерений на обсерватории "ЗОТТО"). (Дисс.)
17. Тимохина А.В., А.С. Прокрушин, Панов А.В. Суточная и сезонная динамика концентрации CO₂ и CH₄ в атмосфере над экосистемами Западной Сибири (Приенисейская часть). // Вестник КрасГАУ. 2014. №12.
18. Алешновский В.С., Безрукова А.В. // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018».