

ОСОБЕННОСТИ ЗАВИСИМОСТИ ШИРИНЫ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ОТ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ТЮМЕНСКОГО РЕГИОНА)

А.А. Коновалов

Введение. Параметры роста и формообразования дерева, в частности радиус его ствола и ширина годичных колец зависят, в основном, от климата. Разработан дендрохронологический метод реконструкции элементов климата (ЭК) прошлых лет, в основе которого лежит зависимость ширины годичных колец от июнь-июльских температур воздуха [Ваганов и др., 1985]. Этот метод базируется на сложных статистических моделях, для реализации которых требуются изощренные компьютерные программы, в основном зарубежные, не всегда доступные широкому кругу географов, лесоведов, археологов и др. потребителей палеоклиматической информации.

Климатическая зависимость ширины годичных колец дерева на графиках их многолетнего хода осложнена (затушевана) неоднородностью колебаний гидрометеорологических условий и накладывающихся на них возрастных изменений. В то же время, радиус ствола дерева, равный сумме ежегодно наращиваемых колец, и также контролируемый климатом, изменяется без резких скачков, практически монотонно, в течение как одного сезона, так и всего времени своего существования [Коновалов, Арефьев, 2007]. Подобным же образом, путем последовательного сложения, монотонно, формируется сумма температур воздуха в периоды вегетации растительности, отражающая количество тепла, поступающего к поверхности Земли. Следовательно, сопоставление именно этих двух величин наиболее целесообразно для выявления количественной связи между параметрами дерева и климатом. При этом решающее значение имеет подобие процессов сезонного и многолетнего роста деревьев, и то очевидное обстоятельство, что в каждом летнем периоде сезонный прирост радиуса ствола дерева равен ширине его годичного кольца, подобно тому, как полный радиус дерева равен сумме его годичных колец. Поэтому сопоставлять можно как ширину годичного кольца (сезонного прироста радиуса дерева) и сумму температур в конкретный теплый сезон, так и полный радиус дерева и сумму температур в течение всего времени его существования.

Для корректного сопоставления параметров дерева и элементов климата – разнородных величин с разными единицами измерения, они должны быть приведены к относительному (абстрактному, безразмерному, нормализованному) виду:

$$j_x = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}), \quad (1)$$

где x , x_{\max} и x_{\min} – текущее, максимальное и минимальное размерное значение данного параметра, причем часто $x_{\min} \approx 0$; j_x – его нормализованное значение, например длины $L - j_L$, радиуса $r - j_r$, времени $\tau - j_\tau$ и т.д.

Этот прием, широко применяемый в технических науках, позволяет все множество переменных заключить в наглядно представимый интервал 0...1, что резко сокращает объем фактических данных, необходимый для установления количественных связей между ними и делает решение, полученное для каких-нибудь одних условий, универсальным, пригодным для всех.

Безразмерные характеристики климата. Климат, как систему, благодаря колебательному режиму функционирования, можно представить совокупностью подсистем, состоящих из двух противоборствующих элементов j_1 и j_2 , сумма которых равна 1. Например, при анализе температуры воздуха за j_1 можно принять относительную температуру самого холодного месяца, обычно - января, $j_1 = j_{t1} = (0 - t_1) / 2A$, а за j_2 – относительную температуру самого теплого, как

правило, июля, $j_2 = j_{t7} = (t_7 - 0)/2A$, где t_1 и t_7 – среднемесячные температуры января и июля, $2A = t_7 - t_1$ – амплитуда (размах) колебаний, 0 – температура на разделе теплого и холодного периодов года, °С. В субтропиках и тропиках, где температура самого холодного месяца выше 0°C , j_1 и j_7 определяются аналогично, но t_1 , как и t_7 имеет положительный знак. Из-за этого знаменатель оказывается равным не двум амплитудам колебаний ($2A$), а двум среднегодовым температурам. При этом по-прежнему выполняется условие $j_{t1} + j_{t7} = 1$. Этот случай для Сибири, по крайней мере, в голоцене неактуален, поскольку поступления тепла в это время здесь не достигали субтропического и тропического уровней.

На большей части Западной Сибири (по лесостепь включительно) январская температура воздуха по абсолютной величине больше июльской, соответственно среднегодовая температура воздуха t_c здесь отрицательная. Величина j_{t1} , изменяется от 1 в арктической пустыне до 0,5 в лесостепи. В лесостепи и степи t_7 и $|t_1|$ выравниваются. Затем начинает преобладать t_7 , величина t_c становится положительной, а $j_{t1} \rightarrow 0$. В том же направлении j_{t7} растет от 0 в арктической пустыне до 0,5 в лесостепи и далее $j_{t7} \rightarrow 1$. Аналогично, в виде холодно-теплых дихотомий, суммы элементов которых равны 1, можно представить продолжительности теплого и холодного периодов года; осадки за теплый и холодный периоды; абсолютную влажность воздуха за самый теплый и самый холодный месяцы и др. В качественном плане все эти относительные климатические оппозиции ведут себя примерно одинаково, монотонно изменяясь в пространстве между 0 и 1, хорошо коррелируя друг с другом и с размерными ЭК [Коновалов, Иванов, 2007].

Другой важной характеристикой климата, также относительной, является индекс сухости $J = V/kU$ (V – радиационный баланс, U – годовая сумма осадков, k – скрытая теплота испарения). Его величина изменяется от 0 в зоне арктических пустынь до 3 и более в пустынях субтропического и тропического поясов [Будыко, 1971].

В зависимости от величины J фитосферу можно разделить на северную J_c (прохладную и влажную) и южную $J_{ю}$ (жаркую, засушливую). Граница между ними совпадает с изолинией $J=1$. Условия тепло- и влагообмена в северной и южной фитосфере, характеризуемые величиной J обратно (логарифмически) симметричны. Например, область устойчивого существования растительности ограничена на севере изолиниями $J_c \approx 0,2 \dots 0,33$ (северная тундра), на юге $J_{ю} \approx 5 \dots 3$ (южная полупустыня) [Будыко, 1971], откуда $J_c \approx 1/J_{ю}$ или $\ln J_c \approx \ln(1/J_{ю}) \approx -\ln(J_{ю})$. Обратно симметричны и другие показатели, связанные с J , в частности, групповые палиноспектры [Коновалов, Иванов, 2007]; приблизительно симметричны, например, графики зависимости осадков и фитопродуктивности от J – рис.1.

Введем понятие приведенного индекса сухости $J_{пр}$, который в северной фитосфере совпадает с J , а в южной равен $1/J$. По обе стороны от оси симметрии $J=1$ величины $J_{пр}$ уменьшаются, к северу из-за недостатка тепла и избытка влаги, к югу из-за недостатка влаги и избытка тепла. В табл.1 приведены крайние (граничные) значения этих, базовых элементов климата (ЭК) в относительном виде в северной и южной фитосферах.

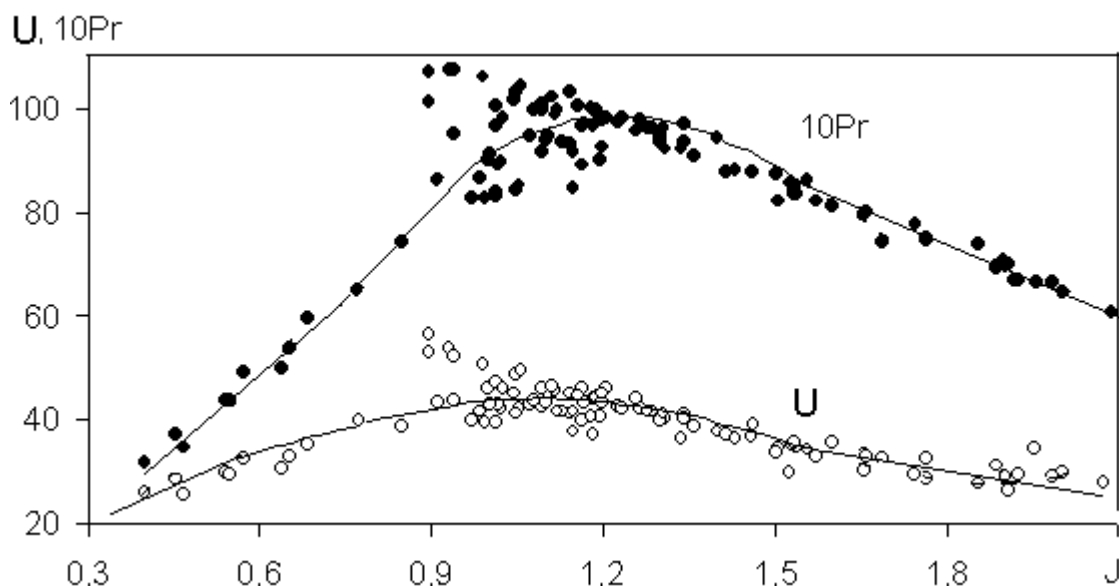


Рис.1. Зависимость годовой суммы осадков (U, см) и фитопродуктивности (Pr, т/га/год) от индекса сухости J в Тюменском-Омском регионе

Таблица 1

Крайние значения ЭК: j_{t1} , j_{t7} и $J_{пр}$ в северной (С) и южной (Ю) фитосфере

ЭК	j_{t1}	j_{t7}	$J_{пр}$
С	1 – 0,5	0 – 0,5	0 – 1
Ю	0,5 – 0	0,5 – 1	1 – 0

$J_{пр}$ и $j_{t1,t7}$ связаны между собой: в северной фитосфере $J_{пр} \approx 2j_{t7}=J$, в южной $J_{пр} \approx 2j_{t1}=1/J$.

Взаимосвязи ЭК. Ранее [Коновалов, Иванов, 2007] путем статистической обработки метеоданных по Тюменской и Омской областям [Справочник...,1965] получены формулы взаимосвязи основных ЭК (всего более 30 формул) с высокими коэффициентами корреляции ($R>0,8$). Наиболее значимые из них выписаны в табл.2.

Таблица 2

Формулы взаимосвязи ЭК

$t_7=37j_{t7}$,	$J= 8 \cdot 10^{-7} (\sum_{10})^2 - 0,0017 \sum_{10} + 1,89$
$t_1=40,3j_{t7} - 38,9$	$Pr = 15,1J - 4,8J^2 + 1,2$
$\sum_5 = 9765j_{t7}^{2,12}$	$U_c=240J_c+170,2$
$\sum_{10} = \sum_5 / 1,2$	$U_{ю}=48(1-0,96J_{ю})$
$\sum_0 = 130 + \sum_5$	$j_{ух}=1 - 1,14j_{t7}^2 - 0,06 j_{t7}$
$\sum_{-0} = 1,32\sum_0 - 5138$	$t_7= 7,81\ln(\sum_0) - 41,95$
$B=1,8t_7 - 0,2$	$t_c= 0,005\sum_{-0} + 11,1$
$S=0,86U-28$	$A=-t_c / (t_1^2 - 2,34t_1 + 0,93)$

Обозначения в табл. 2, кроме уже известных: \sum_0 , \sum_5 , \sum_{10} – суммы среднесуточных температур воздуха выше 0° , 5° и 10°C ; \sum_{-0} – сумма среднесуточных температур воздуха ниже 0°C ; Pr – фитопродуктивность, т/га/год; U_c , $U_{ю}$ – годовая сумма осадков в северной и южной фитосферах, см; S – годовой сток, см.

На рис.2 показана схематическая карта распределения основных ЭК и фитопродуктивности Pr в Тюменско - Омском регионе (в ее составлении принимал участие С.Н. Иванов). Границы и наименования зон и подзон приняты по [Бакулин, Козин, 1996; Большаник, Игенбаева, 2006]. На территории региона, имеющего вытянутую в меридиональном направлении форму, протяженностью с севера на юг более 2000 км, расположены 9 растительно-климатических зон, от тундры до степи. В табл. 3 сведены максимальные, минимальные и средние значения ЭК в этих зонах. Длина линии L-L на рис. 1. равная условной единице, с началом (0) – на севере, и концом (1) – на юге региона, может служить масштабной шкалой при определении относительных расстояний $\Delta L/L = j_L$ между изолиниями ЭК и их соответствия. Сравнивая значения ЭК с точками их пересечения с линией L, можно примерно оценить закономерности их распределения в меридиональном направлении. Надо сказать, что распределение ЭК довольно существенно отклоняется от широтного, особенно на севере, где, например, изолинии январских температур воздуха имеют скорее меридиональное направление, чем широтное. Сказывается потенциал давления между Исландским минимумом и Якутским максимумом, управляющий здесь потоками тепла и влаги, их направлением и интенсивностью. Из-за этого на востоке региона климат холоднее и суше, чем на западе. Не слишком совпадают изолинии ЭК и с границами геоботанических зон. Исключение составляют суммы положительных среднесуточных температур воздуха. Очертания их изолиний довольно близки к очертаниям границ геоботанических комплексов. Южнее тундры удовлетворительно совпадают с зональными границами также среднемесячные июльские и среднегодовые температуры воздуха.

Устойчивую фитосферу характеризуют температуры воздуха в теплый период года примерно от 5°C и выше (Σ_5). Южную границу зон и подзон приблизительно можно сопоставить со следующими изолиниями Σ_5 , градусосутки (по рис. 1): тундры - $\Sigma_5 = 900$, лесотундры - $\Sigma_5 = 1100$, северной тайги - $\Sigma_5 = 1350$, средней тайги - $\Sigma_5 = 1850$, южной тайги - $\Sigma_5 = 2000$, подтайги - $\Sigma_5 = 2150$, северной лесостепи - $\Sigma_5 = 2250$, типичной лесостепи - $\Sigma_5 > 2400$.

Таблица 3

Распределение экстремальных и средних значений основных ЭК по зонам

Зона	j_{t1}	$j_{тх}$	$j_{ух}$	J	Σ_{10}	$t_7, ^\circ\text{C}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_c, ^\circ\text{C}$	U, см
Т	0,84-0,65 (0,75)	0,72-0,68 (0,70)	0,60-0,51 (0,55)	0,4-0,8 (0,6)	0-370 (100)	6,5-13 (9,8)	-24,4	-10,5...-8 (-9,3)	31-37 (32)
Лт	0,68-0,64 (0,66)	0,68-0,63 (0,65)	0,52-0,47 (0,49)	0,7-1 (0,75)	370-660 (500)	13-14 (13,5)	-23,7	-8...-7 (-7,5)	37-40 (42)
СТ	0,65-0,60 (0,62)	0,65-0,60 (0,62)	0,48-0,38 (0,43)	0,9-1,1 (1)	660-930 (790)	14-15,5 (14,8)	-23,5	-7...-5,5 (-6,3)	40-48 (45)
СрТ	0,61-0,54 (0,57)	0,60-0,50 (0,55)	0,40-0,30 (0,35)	0,9-1,2 (1,05)	930-1370 (1140)	15,5-16,5 (16,0)	-21,4	-5,5...-2,5 (-4,0)	41-54 (46)
ЮТ	0,56-0,51 (0,54)	0,52-0,49 (0,50)	0,33-0,22 (0,27)	1-1,3 (1,15)	1370-1570 (1460)	16,5-17,5 (17)	-18,9	-2,5...-0,3 (-0,9)	45-50 (44)
Пт	0,53-0,50 (0,52)	0,51-0,49 (0,50)	0,25-0,21 (0,23)	1,25-1,3 (1,27)	1570-1680 (1620)	17,5-18 (17,8)	-17,6	-0,3...0 (-0,1)	40-45 (42)
СЛс	0,52-0,50 (0,51)	0,50-0,48 (0,49)	0,22-0,20 (0,21)	1,3-1,5 (1,4)	1680-1760 (1720)	17,5-18,5 (18)	-18,4	0...0,3 (0,1)	35-40 (38)
ТЛс	0,51-0,49 (0,5)	0,50-0,48 (0,49)	0,21-0,18 (0,19)	1,5-2 (1,7)	1760-2060 (1910)	18,5-19,5 (19)	-18,6	0...0,5 (0,2)	30-35 (35)

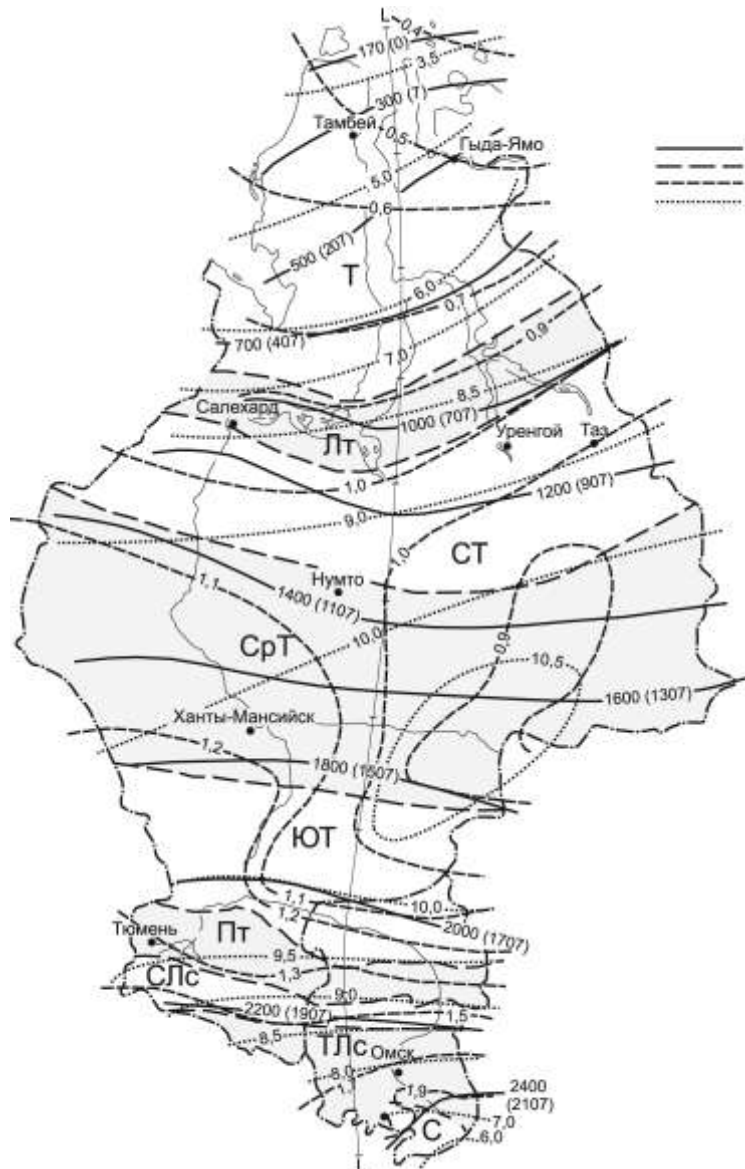


Рис.2. Схематическая карта геоботанической зональности Тюменско- Омского региона

1- суммы температур выше 5 (10) °С, 2 - границы зон и подзон (Т-тундра, Лт - лесотундра, СТ - северная тайга, СрТ - средняя тайга, ЮТ - южная тайга, Пт - подтайга, СЛс - северная лесостепь, ТЛс - типичная лесостепь, С - степь), 3 - радиационный индекс сухости (J), 4 - фитопродуктивность (Pr, т/га/год).

На рис. 3 показаны графики зависимости максимальных за год (годовых) сумм температур выше 5° в размерном (Σ_5) и безразмерном (j_{Σ_5}) виде от $\Delta L/L = j_L$ и их аппроксимации (достоверность $R^2 = 0,99$). Для наглядного сопоставления графиков Σ_5 уменьшена в 160 раз, а j_{Σ_5} увеличена в 10 раз; обычный вид этих зависимостей такой:

$$\Sigma_5 = 2336j_L + 160 \quad (2)$$

$$j_{\Sigma_5} = 1,05 j_L \approx j_L \quad (3)$$

Как видно из рис. 3, оба параметра и Σ_5 и j_{Σ_5} изменяются (растут) с севера на юг по линейному закону. Численные коэффициенты в (2) - 2336 и 160, имеют смысл максимального (при $j_L=1$) и минимального (при $j_L=0$) годовых значений Σ_5 на линии L-L (рис. 2). При $j_L < 1$, к северу, величины годовых (максимальных за

сезон) Σ_5 убывают; например, на широте Салехарда, где $j_L \approx 0,4$, $\Sigma_5 = 2336 \cdot 0,4 + 160 = 1094$, на широте Нумто, где $j_L \approx 0,5$, $\Sigma_5 = 2336 \cdot 0,5 + 160 = 1328$, Сургута, где $j_L \approx 0,62$, $\Sigma_5 = 2336 \cdot 0,62 + 160 = 1627$ градусосуток и т.д. Отметим, что эти величины годовых (максимальных за сезон) значений Σ_5 близки к средним данным метеостанций [Справочник..., 1965], соответственно равным: **1114**, **1329** и **1644** градусосуток. Чем выше годовая величина Σ_5 , тем разнообразней климатические условия и больше количество геоботанических зон и подзон, через которые, начиная с тундры, как бы проходит данное место в течение лета и, соответственно, тем больше видовое разнообразие его биоты.

Совместное решение (2) и (3) дает выражения взаимосвязи Σ_5 и $j_{\Sigma 5}$:

$$\Sigma_5 = 2225 j_{\Sigma 5} + 160 \quad (4)$$

$$j_{\Sigma 5} = (\Sigma_5 - 160) / 2225 \quad (5)$$

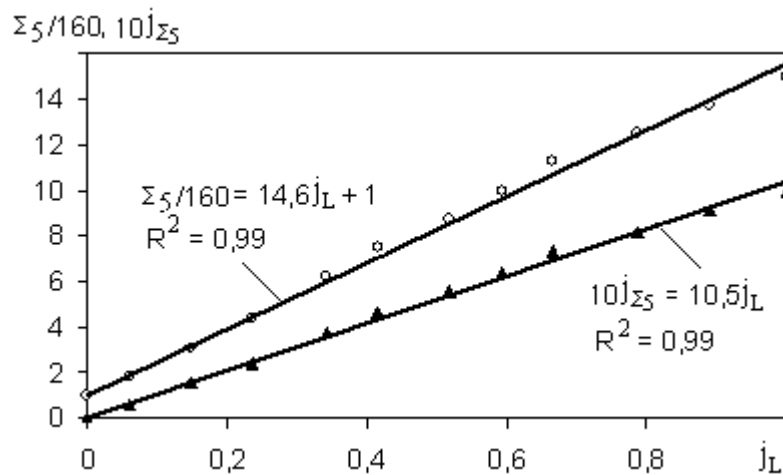


Рис. 3. Зависимость Σ_5 и $j_{\Sigma 5}$ от j_L и ее аппроксимации.

На рис. 4 даны графики зависимости t_7 и j_{t7} от $j_{\Sigma 5}$ по линии L-L, их степенная аппроксимация и ее достоверность (R^2). Величина $j_{\Sigma 5}$ на оси абсцисс рассчитывалась по формуле (5). Для наглядного сопоставления графиков величина t_7 уменьшена в 10 раз.

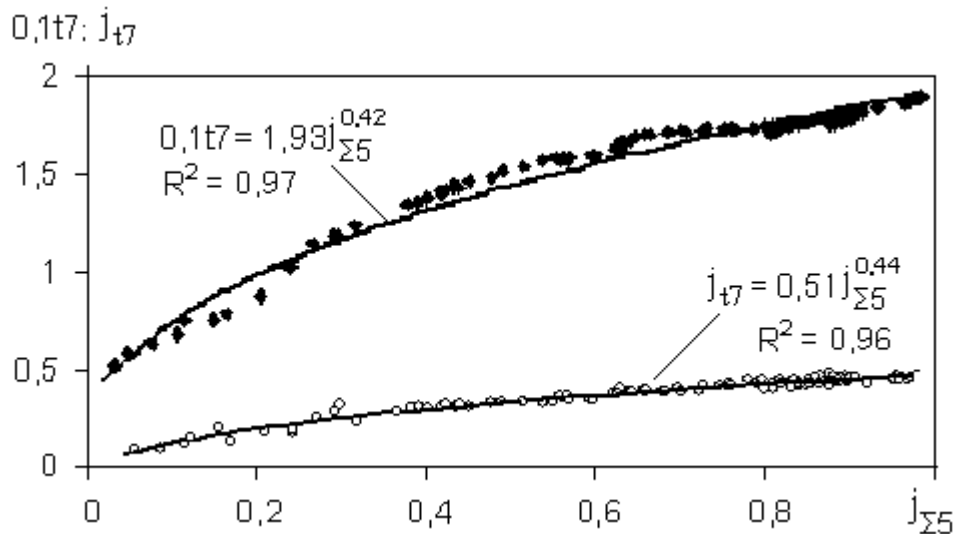


Рис. 4. Зависимость t_7 и j_{t7} от $j_{\Sigma 5}$

(значки – фактические данные, линии – степенные аппроксимации графиков)

Такого же рода графики, позволяющие переход от безразмерных ЭК к размерным, даны на рис. 5 и 6. Рис. 5 отражает связь размерных (t_7) и безразмерных (j_{t7}) температур июля, средних по более чем в 100 пунктах Тюменской и Омской области в наше время [Справочник..., 1965]; рис. 6 – ход этих параметров в двух разных пунктах за последние 100 лет. Из сравнения графиков видно, что хотя корреляция между t_7 и j_{t7} в последнем случае хуже, тем не менее, значения t_7 , найденные по графикам на рис. 5 и 6 отличаются не очень сильно, на 11% в Салехарде и всего на 3% в Сургуте. Это означает, что изменения пространственных и временных связей ЭК, в частности t_7 и j_{t7} , приблизительно эквивалентны.

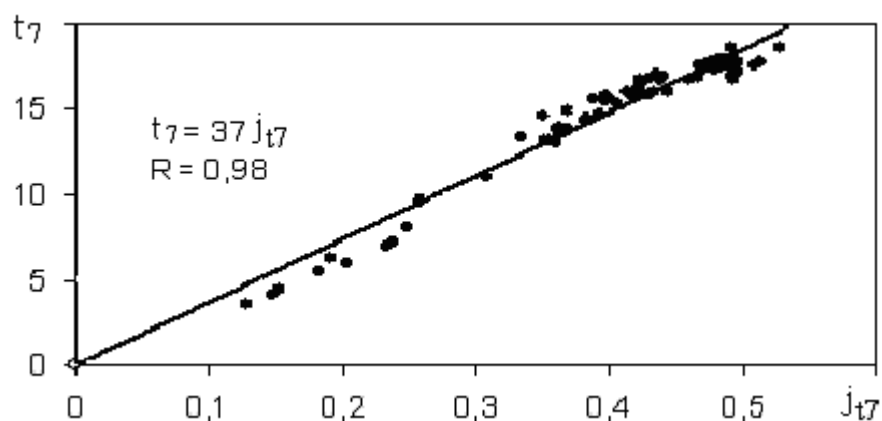


Рис. 5. Зависимость t_7 от j_{t7}

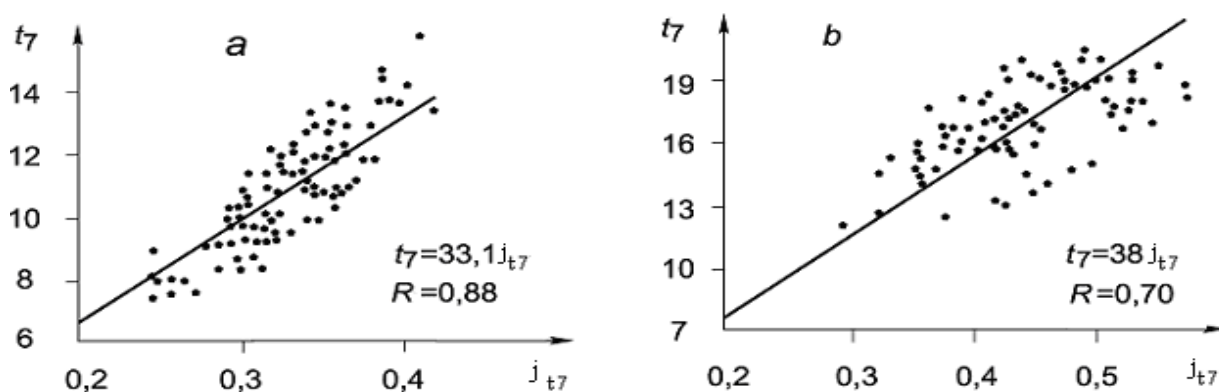


Рис. 6. Зависимость t_7 от j_{t7} в Салехарде - а и в Сургуте – б.

Все ЭК взаимосвязаны и, если из всего комплекса ЭК прошлых лет известен хотя бы один (базовый), например температура июля или суммы летних температур, то основываясь на принципе актуализма с помощью приведенных материалов: схематической карты на рис. 2, табл. 2 и 3, графиков на рис.5 и т.п., то с некоторой погрешностью можно определить и все другие ЭК.

Радиальный прирост ствола дерева. На рис.7 приведены графики зависимости радиуса сосны от ее возраста на севере (пос. Нумто - I) и юге (пос. Караганда - II) Тюменской области (по наблюдениям С.П. Арефьева [Коновалов, Арефьев, 2007]). И радиус сосны и возраст выражены в относительном, нормализованном с помощью формулы (1), виде. Начало отсчета на рис. 7, I – 1579 год, на 7, II – 1777 год. Кривыми показан многолетний ход j_r по данным наблюдений – жирные линии, и его аппроксимации – тонкие линии. Из-за высокой достоверности аппроксимирующих формул они почти сливаются. Формулы

аппроксимации представляют собой квадратичный полином с коэффициентами А и Б, в сумме примерно равных 1.

$$j_r = A j_t^2 + B j_t \quad (6)$$

Установлено, что величины А и Б близки к константам Золотого сечения (ЗС) [Коновалов, 2011]: у светолюбивых древесных пород, в частности у сосны, они примерно равны $A \approx -0,62$ и $B \approx 1,62$ и тогда график функции j_r от j_t - выпуклая кривая; у теневыносливых $A \approx 0,62$ и $B \approx 0,38$ и тогда график функции j_r от j_t - вогнутая кривая. Величины j_r , рассчитанные по формуле (6) при $A = -0,62$ и $B = 1,62$ (как у выпуклой кривой), на рис. 7 обозначены кружками. Несмотря на то, что численные коэффициенты в аппроксимирующих формулах несколько отличаются от констант ЗС, на величину j_r , судя по рис. 7, это почти не влияет.

Напомним, что ЗС – это наиболее часто встречающееся соотношение близких к равновесию оппозиций во всех системах Мироздания, обеспечивающее согласованное взаимодействие оппозиций между собой и с внешней средой, устойчивость и длительное существование системы [Сороко, 1984]. Это состояние характеризует зрелость системы, когда она перестает зависеть от начальных условий, становится подобной самой себе на каждом шаге развития.

Ранее показано [Коновалов, 2011], что квадратичную формулу (6) с небольшой погрешностью можно заменить степенной,

$$j_r = j_t^g, \quad (7)$$

причем величина g обычно тоже близка к константе ЗС, у светолюбивых пород $g \approx 0,62$, у теневыносливых $g \approx 1,62$. Степенная формула (7) проще (6), поскольку на логарифмической шкале превращается в линейную.

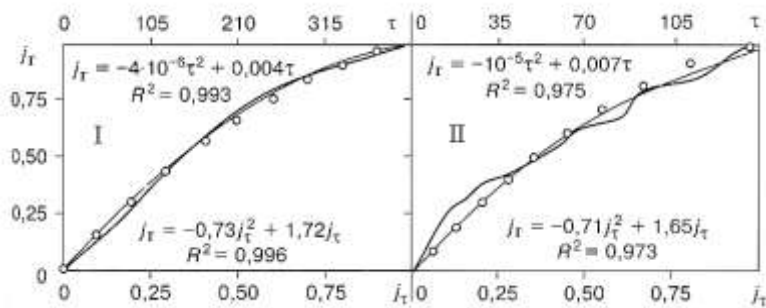


Рис. 7. Зависимость j_r от j_t и τ (год) для сосны (пояснения в тексте)

Вогнутая кривая радиального прироста дерева, типичная для теневыносливых пород -ели, пихты ... [Коновалов, Арефьев, 2007], говорит о повышении скорости роста со временем, что характерно только для ювенальной стадии развития и безусловно свидетельствует о незавершенности эволюции дерева, которая при естественном ее ходе непременно заканчивается уменьшением скорости радиального роста и затем отмиранием. У светолюбивых деревьев, в частности у сосны, ювенальный период занимает сравнительно небольшой отрезок времени, примерно 20...60 лет, после чего они эволюционируют, как на рис. 7, по выпуклой кривой [Коновалов, Арефьев, 2007]. Поэтому в качестве контрольной породы дерева, на котором производятся дендрохронологические наблюдения для реконструкции климата, рекомендуется сосна.

На рис.8 дан график роста относительного радиуса сосны j_r в Московской области в теплый период года [Ваганов и др., 1985]. Сглаженная кривая (тонкая) на рисунке – аппроксимация функций $j_r(j_\tau)$ и $j_r(\tau)$ полиномиальными формулами, приведенными на графике, кружками обозначены j_r , вычисленные по формуле (6). Как видим, и в сезонном ходе, как и в многолетнем, значения j_r , рассчитанные по формуле (6), практически ложатся на кривую фактических данных, т.е. графики на рис. 7 и 8 подобны и описываются одной формулой - (6) или (7). В [Ваганов и др., 1985] на примере красноярских и подмосковных сосен и елей показано сходство процессов радиального роста деревьев вообще на всех уровнях развития, включая клеточный: графики относительного увеличения числа клеток в радиальных рядах формирующегося годичного кольца и его сезонного прироста (по рис. 7) практически идентичны. Характерно, что в опытах, описанных в [Ваганов и др., 1985], радиус как светлюбивой сосны, так и теневыносливой ели в течение вегетационного периода изменяется (растет) по выпуклой кривой, т.е. скорость роста сначала увеличивается, а затем уменьшается, вплоть до нуля в конце вегетационного периода.

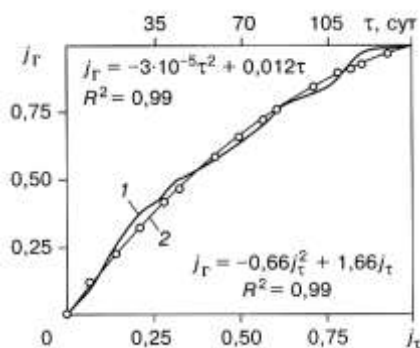


Рис. 8. Сезонный ход j_r : 1) данные наблюдений, 2) аппроксимации функций $j_r(j_\tau)$ и $j_r(\tau)$

Зависимость радиуса дерева от сумм температур в вегетационный период. В качестве базового ЭК, определяемого экспериментально, с использованием дендрохронологического анализа целесообразно принимать сумму температур выше 5°C , изменяющуюся в течение вегетационного периода - $\sum_{5.в} \leq \sum_5$.

Обоснованием этого предложения является подобие больших и малых природных процессов при выражении их параметров в безразмерном (относительном, нормализованном) виде. Радиус дерева и в вегетационный период и в течение всей жизни изменяется (растет) по одному и тому же закону (рис. 7 и 8). В экологии это формулируется так (по Геккелю) – онтогенез, в данном случае летний цикл развития дерева, является сжатым повторением филогенеза – всего жизненного цикла дерева.

Оба процесса - радиальный прирост дерева и увеличение сумм температур в вегетационный период имеют кумулятивный характер, изменяются монотонно, синхронно и также физически подобны. В течение каждого вегетационного периода текущая величина $\sum_{5.в}$ ($0 \leq \sum_{5.в} \leq \sum_5$) последовательно проходит те же значения, что и ее максимальная (годовая) величина \sum_5 при перемещении по территории с севера на юг, т.е. выборка значений \sum_5 получается максимально возможной. На рис.9 приведен график хода нормализованных сумм температур $j_{\sum_{5.в}}$ в вегетационный период $\tau_в$ по данным метеостанций 4-х пунктов: (сверху вниз) Салехарда, Нумто, Сургута и Тобольска.

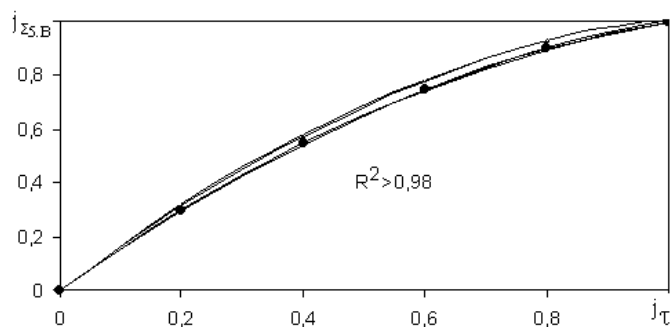


Рис. 9. Зависимость $j_{\Sigma 5, B} = \Sigma_{5, B} / \Sigma_5$ от $j_{\tau} = \tau / \tau_B$
(кривые – фактические данные, значки – расчет по формуле (6) с константами 3С)

Предварительный анализ показал, что кривые функции $j_{\Sigma 5, B}$ от j_{τ} во всех 4-х случаях хорошо аппроксимируются уравнением вида (6) с коэффициентами (по порядку перечисления пунктов): $-A = 0,61; 0,59; 0,67; 0,72$ и $B = 1,61; 1,59; 1,7; 1,74$. Разброс точек на графиках невелик, кривые для Тобольска и Сургута, а также Нумто и Салехарда попарно практически совпадают, и все они близки к рассчитанным по формуле (6) с коэффициентами, равными константам 3С. Таким образом, формулы для описания сезонного хода относительных сумм температуры $j_{\Sigma 5, B}$ и радиуса j_r дерева идентичны, $j_{\Sigma 5, B} \approx j_r$. Это справедливо, как для текущих в теплый период величин $j_{\Sigma 5}$, так и для их максимальных (годовых) значений, определяющих полную величину сезонного прироста радиуса дерева (максимальную ширину годовичного кольца), в этом плане текущие и конечные величины сумм температур равноправны. За время всей жизни дерева из года в год идет последовательное увеличение сумм температур $(\Sigma_{\Sigma 5})_{\tau}$, складываемого из его сезонных величин, подобно тому, как Σ_5 увеличивается в течение каждого сезона за счет постепенного нарастания $\Sigma_{5, B}$. Вслед за увеличением сумм температур и подобно ему идет прирост радиуса светолюбивых деревьев. прирастающий радиус дерева и накапливающиеся суммы температур в первый и последующие годы, составляют две единые последовательности, подобные друг другу.

Водно-грунтовые условия, учитываются при таком подходе в неявном виде через посредство начальных и конечных значений сумм температур, зависящих от этих условий и входящих в формулу (1).

Учет возрастных изменений, пример расчета. Дерево, как и все системы, в процессе своего существования проходит три возрастные стадии: молодость (становление), зрелость и старость, характеризующиеся разным уровнем, скоростью и знаком взаимодействия с окружающей средой [Коновалов, 2011]. На первой стадии преобладает поглощение энергии (и массы) из окружающей среды, соответственно толщина годовичных колец (скорость прироста радиуса дерева) увеличивается. На второй стадии – зрелости система потребляет столько же, сколько и отдает, в этот период – стационарный – скорость прироста радиуса дерева максимальна, примерно постоянна и прямо пропорциональна скорости изменения Σ_5 . На третьей стадии система в основном отдает энергию, стареет, деградирует. У дерева этот период характеризуется понижением скорости прироста радиуса ствола (уменьшением толщины годовичных колец).

На рис. 9 показано изменение во времени: A - средней по текущему радиусу толщины годовичного кольца $\Delta_c = r/\tau$ у 420 – летней сосны в Нумто (по рис. 7) и B – трех величин, для удобства обозначенных одной буквой M . Три величины, это - 1)

фактическая толщина годовых колец $M_1 = \Delta$, 2) толщина годовых колец, "очищенная" от возрастных изменений $M_2 = \Delta_0$, 3) $M_3 = \Sigma_5 / 5000$.

Введение в анализ величины Δ_c приводит к эффективному сглаживанию кривой хода толщины кольца Δ во времени, способствует вычленению ее тренда. На графике хода Δ_c отчетливо выделяются все три стадии жизни дерева: становление (молодость) – примерно до 25 лет; зрелость – от 25 до 155 лет (1600...1730 г.г.); старение – от 155 лет до наших дней (1999 г.). Стадия зрелости уравновешена с внешними условиями, изменения ширины годовых колец на этой стадии синхронны изменениям внешних условий, подобны им. Если бы дерево не было подвержено возрастным изменениям, радиус его ствола в течение всего времени изменялся бы так же, как на стадии зрелости.

Линейный тренд возрастных изменений согласно верхнему графику на рис.9 составляет $(0,38 - 0,24) / 25 = 0,0056$ мм/год на первой стадии и $0,14 / 265 = 0,00053$ мм/год на третьей. Для получения "очищенного" от возрастных изменений многолетнего хода ширины годовых колец нужно к их реальным величинам (мм) добавлять $0,0056(25 - \tau)$ на первой стадии и $0,00053\tau$ на третьей (здесь τ – число лет, отсчитываемых от начала стадии).

При идентичности функций $j_{\Sigma_5}(j_\tau)$ и $j_r(j_\tau)$, параметры которых определяются формулой (1), связь размерных сумм температур и радиуса дерева (сосны) описывается линейной формулой:

$$\Sigma_5 = K \cdot \Delta_0, \quad (8)$$

где $K = \Sigma_{5,н} / \Delta_{н}$ – коэффициент соразмерности параметров, градусосутки/мм, $\Sigma_{5,н}$ и $\Delta_{н}$ – максимальные за теплый сезон (годовые) значения Σ_5 и Δ_0 в год наблюдений.

Кривая изменения Σ_5 (на рис.9 - $M_3 = \Sigma_5 / 5000$) рассчитана по формуле (8) при следующих исходных (фактических – для Нумто) данных: $\Sigma_{5,н} = 1329$ градусосуток, $\Delta_{н} \approx 0,2$ мм, откуда $K = 6645$ градусосутки/мм.

Наклонной линией на этом графике показан линейный тренд повышения Σ_5 , начиная с 1830 года. Он равен $0,07 \cdot 5000 / 150 = 2,35$ градусосутки/год.

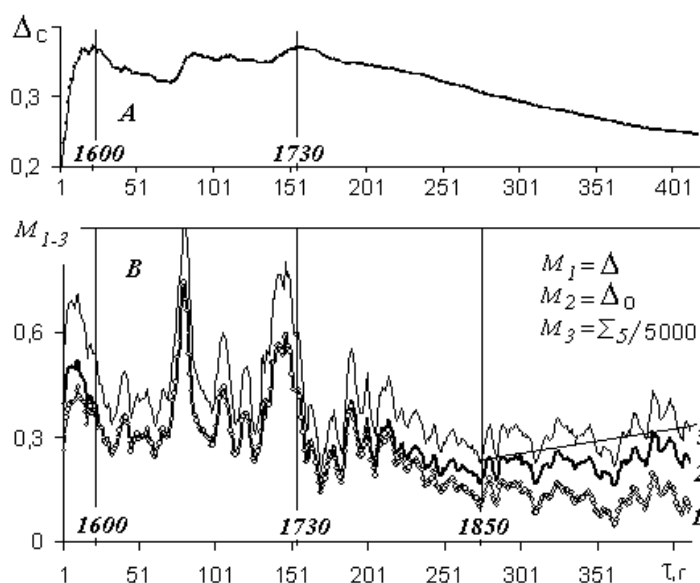


Рис. 9. Многолетний ход ширины годовых колец сосны и сумм температур в Нумто (пояснения в тексте).

Средняя продолжительность вегетационного периода составляет около 4 месяцев. Тогда скорость повышения средней температуры за этот период $2,35/120 \approx 0,02^\circ\text{C}/\text{год}$.

При известной величине \sum_5 с помощью формул (1) или (2) – (3) находится ее безразмерное значение j_{\sum_5} и далее (при необходимости) по формулам на рис. 4 вычисляется t_7 и j_{t_7} , в зависимости от которых с помощью формул в табл. 2 примерно оценивается большинство других показателей климата.

Заключение. Как известно [Борисенков, Пасецкий, 2006], самым холодным периодом за последние 2 тысячи лет был так называемый Малый ледниковый период (XIV—XIX в.в.). Малый ледниковый период (МЛП) имел и свое “малое межледниковье” (почти весь XVI век), характеризующийся относительно высокими температурами воздуха. Конец МЛП приходится примерно на середину XIX века. Анализ графика на рис. 9, показывает, что вычисленный по предлагаемому методу ход сумм температур в теплое время года, соответствует этой, признанной большинством специалистов, истории климата, а сам метод может быть рекомендован для оценочных расчетов при реконструкции климатов прошлого.

ЛИТЕРАТУРА

Бакулин В.В., Козин В.В. География Тюменской области. Екатеринбург: Среднеурал. кн. из-во, 1996. 240 с.

Большаник П.В., Игенбаева Н.О. Эколого-ландшафтное районирование Омского Прииртышья // География и природные ресурсы. Новосибирск: Академическое издательство "Гео", 2006. №3 С. 37–41

Борисенков Е. П., Пасецкий В.М. Летопись необычайных явлений природы за 2,5 тысячи лет. Л.: Гидрометиздат, 2006. 536 с.

Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.

Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 102 с.

Коновалов А.А. Деформационная модель развития экогеосистем. Новосибирск: Гео, 2011. 146 с.

Коновалов А.А., Арефьев С.П. // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2007. № 8. С. 92–103

Коновалов А.А., Иванов С.Н. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеореконований. Новосибирск: Гео, 2007. 130 с.

Сороко Э. М. Структурная гармония систем. Минск: Наука и техника, 1984. 264 с.

Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, Вып. 17, ч.II, 1965. 276 с.

konov7@rambler.ru