

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ РОСТА ХВОЙНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Холманский А.С.

Кинетику роста хвойных деревьев смоделировали зависимостью площади годовичных колец от времени. Полученные кривые адекватно отображают онтогенез деревьев и позволяют выявлять закономерности влияния экологических факторов на физиологию деревьев. Предложенный метод применили для определения вероятных причин ускоренного роста деревьев из зоны взрыва Тунгусского метеорита.

Ключевые слова: площадь годовичного кольца, кинетика роста, фитогормоны, электрофизика.

ВВЕДЕНИЕ

Рост хвойных деревьев чувствителен к действию широкого спектра физических факторов. К доминантным факторам относятся солнечный свет, температура и влажность внешней среды. Эти абиотические факторы лимитируют кинетику формирования годовичного кольца дерева, поэтому механизмы их действия на физиологию деревьев являются главным предметом дендрохронологии и дендроклиматологии. При реконструкции хронологических шкал в качестве реперных точек в перекрестных датировках используют годы засух или похолоданий, выделяющиеся резким снижением прироста [1, 2]. Фактором угнетения фотосинтеза и прироста может также служить загрязнение атмосферы в годы активной вулканической деятельности [3].

Интенсивность падающего на Землю света меняется в пределах 0,3% с периодом в ~11 лет. Данные вариации связывают с Солнечной активностью (СА), соотнося с ней число пятен на Солнце (число Вольфа – W). СА проявляется на состояниях магнитосферы и живых существах, включая человека [4]. Однако, на дендрограммах ритмы СА маскируются сложной зависимостью приростов от региональных изменений климата. Еще труднее выявить на дендрограммах последствия физических факторов регионального и космического масштаба [5]. К ним относятся локальные электрические и магнитные поля, радиация и химия геосфер, излучения земной и космической природы. С другой стороны для некоторых очевидных изменений кинетики прироста и структуры древесины до сих пор не установлена природа фактора и механизм адаптации к нему. К таким явлениям можно отнести ускоренный рост деревьев в зоне взрыва Тунгусского метеорита (ТМ) [6], а также скручивание волокон хвойных деревьев (спиротропизм [7,8]) и сложные искривления стволов в некоторых местообитаниях.

В дендрэкологии, при изучении механизма и хронологии влияния на прирост древесины различных факторов широко применяют методы статистической обработки и

усреднения (индексирования) временных зависимостей величин прироста [5,9]. Эти методы вполне оправдывают себя при построении абсолютных региональных дендрохронологических шкал. Однако, сглаживание кривых годовичных приростов путем их индексации и статистического усреднения ведет к потере информации о влиянии на физиологию дерева факторов, действующих с периодами порядка интервалов усреднения (10 лет), а тем более аperiodических. Вообще выявляемые с помощью статистической обработки частотно-амплитудные параметры различных дендрохронологий меняются в очень широких пределах, сильно затрудняя установление каких-либо закономерностей [10].

В настоящей работе, исходя из данных о физиологии деревьев, кинетику прироста изучили, используя не ширину годовичного кольца, а его площадь. Для выявления общих закономерностей роста анализировали данные по различным сериям эталонных приростов годовичных колец хвойных деревьев (сосны, ели, лиственницы). Для выяснения природы факторов действовавших в зоне взрыва ТМ изучили динамику их роста по фотографиям спилов молодых и переживших взрыв деревьев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные по годовичным приростам брали из литературы. Фотографии различных спилов, приведенные в различных работах представлены на Рис 1.

Величину годовичного прироста биомассы дерева можно выразить формулой:

$$M_i = \langle \rho \rangle h S_i = \langle \rho \rangle \pi h 2R_i d_i.$$

Здесь S_i – площадь i -го кольца радиуса R_i , $\langle \rho \rangle$ средняя плотность древесины кольца, h и d_i – высота и ширина i -го годовичного кольца. Величину R_i для спилов молодых деревьев и деревьев с известными дендрохронологиями рассчитывали по формуле:

$$R_i = \sum_1^i d_j \quad (1)$$

Для деревьев, переживших взрыв ТМ, использовали формулу:

$$R_i = R_0 + \sum_1^i d_j \quad (2)$$

В (2) R_0 обозначает радиус годового кольца предшествующего взрыву ТМ (Рис 1а, б, с). Величина h пропорциональна средней длине трахеиды. Полагая $\langle \rho \rangle$ слабо зависящими от R_i , получим, что $M_i \sim S_i \sim R_i d_i$, при этом R_i вычисляется по формуле (1) или (2) в зависимости от дерева.

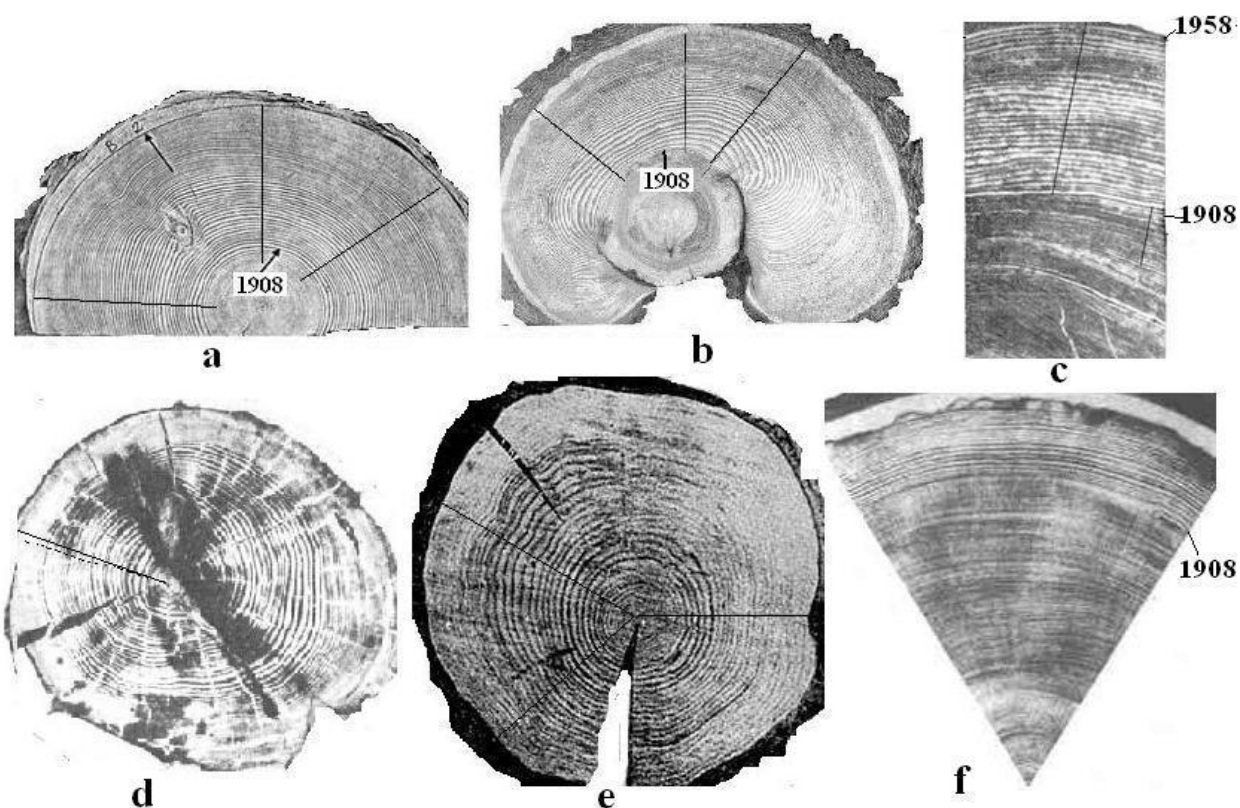


Рис 1. Спилов деревьев из зоны взрыва Тунгусского метеорита, а – ель [11]. Остальные лиственницы: b – 180-летняя [12], с – 290-летняя [12]; d – из [13], e – 47-летняя [14] . f – 227-летняя [11]. Линиями показаны направления расчета дендрохронологий.

Реперной точкой датировки дендрохронологий для деревьев из зоны взрыва ТМ служил 1908 г, после которого у деревьев переживших взрыв прирост существенно возрос. Учитывая, что на большинстве фотографий спилов деревьев не указан реальный масштаб, для его оценки использовали средние величины приростов в эталонных сериях. Оцифровку приростов годовых колец, расчет их площадей и построение графиков проводили с помощью программ Adobe Photoshop и Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные дендрограммы изменений метрических параметров различных деревьев представлены на Рис 2-4. На Рис 5 приведена характерная кривая роста, отражающая физиологические этапы развития дерева. Сопоставление данной кривой с дендрограммами на Рис 2-4 свидетельствует, что кинетика изменения площади годовых колец адекватно отображает онто- и филогенез деревьев, в отличие от дендрограмм прироста их радиусов.

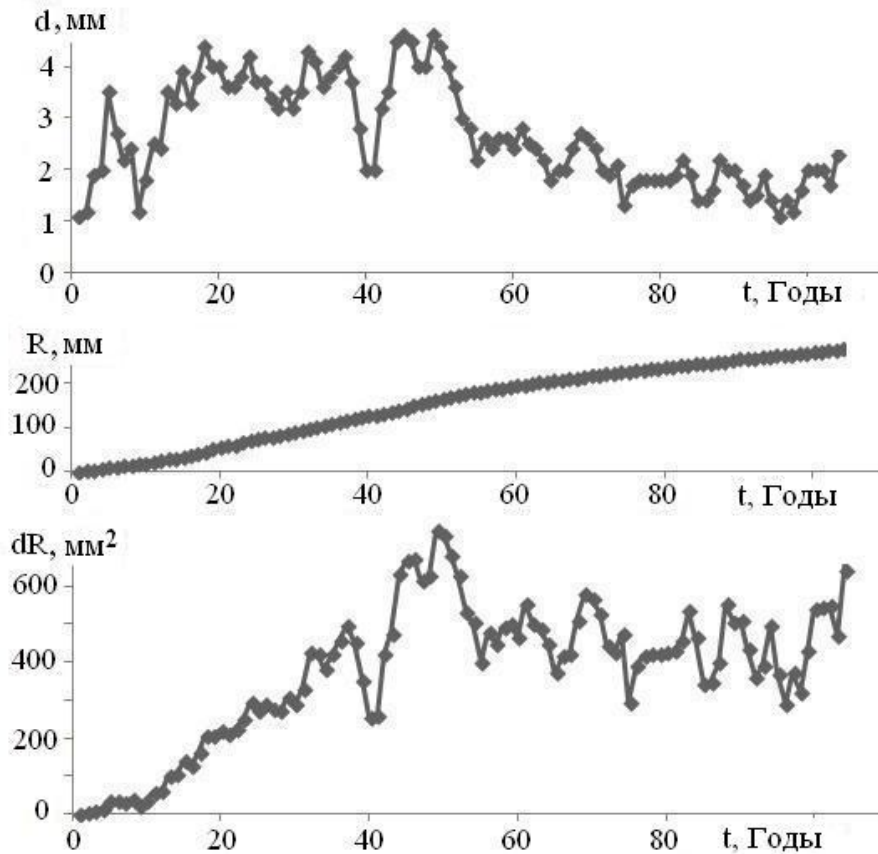


Рис 2. Сравнительные дендрограммы для сосны; ширина годичных колец (d), усредненная для 15 деревьев [5]; радиусы колец (R), вычисленные по формуле (1) и площади годичных колец сосны (dR).

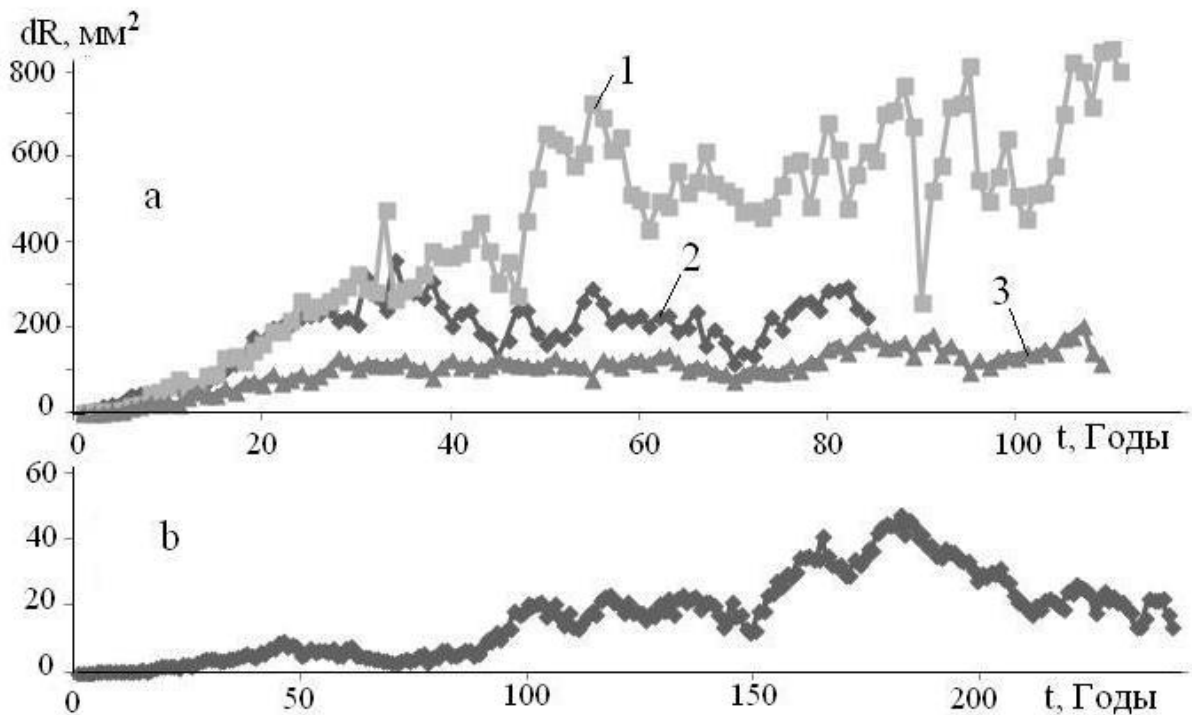


Рис 3. Дендрограммы приростов площади колец ели (а) и лиственницы (б) [15]; 1 – усредненные значения d для 23 деревьев [5]; 2 – ель в ельнике [9]; 3 – ель в черничнике [9].

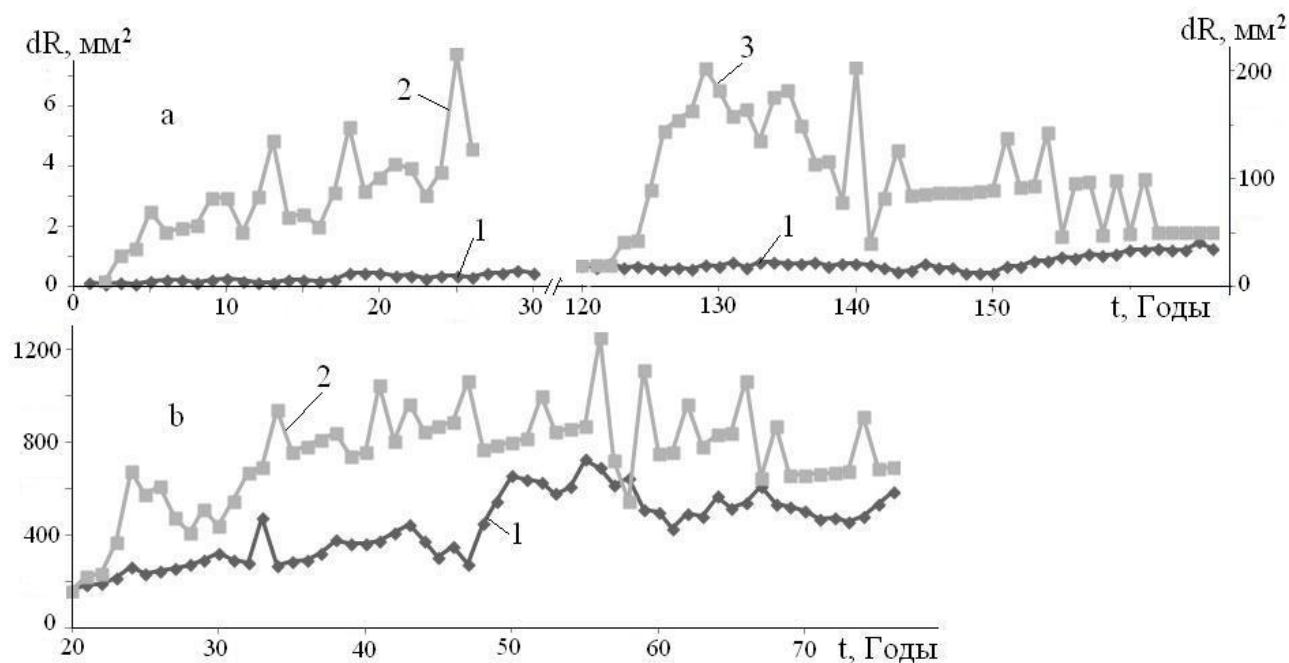


Рис 4. Сравнение дендрограмм приростов площади годичных колец деревьев эталонных и из зоны взрыва Тунгусского метеорита; на (а) – лиственница: (1) соответствует дендрограмме на Рис 3б; (2) – образец (d) на Рис 1; (3) – образец (b) на Рис 1; на (b) – ель: (1) дендрограмма (1) на Рис 3а; 2 – образец (a) на Рис 1.

Это может служить обоснованием метода сравнительного анализа кинетики прироста биомассы ($\sim S$) в стандартных и аномальных условиях. Пример такого сравнения дают дендограммы на Рис 4. Из их сопоставления следует, что кинетика роста деревьев в зоне взрыва ТМ катализируется неким фактором, действие которого сходит на нет за время ~ 50 лет после взрыва ТМ. Этот период времени, в принципе, охватывает I-III физиологические этапы роста молодых деревьев или IV-V этапы физиологии деревьев переживших взрыв ТМ деревьев.

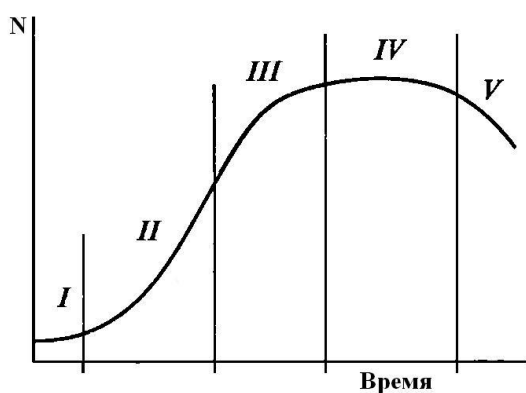


Рис 5. Кривая роста (N – число клеток) растения. I – лаг-фаза, адаптация семени и начальных ростков; II – экспоненциальная фаза наращивания биомассы листьев и корней; III – фаза плодоношения (размножения); IV – стационарная фаза; V – фаза деградации [16].

Адаптация деревьев к действию внешнего фактора сопряжена с изменениями трофической функции мерисистем. В основе этой функции лежат следующие физико-химические процессы:

А - обмен с внешней средой энергией и веществом;

В - транспортировка продуктов фотосинтеза и питательных веществ по структуре дерева;

С - внутриклеточные метаболические реакции, обеспечивающие рост и размножение.

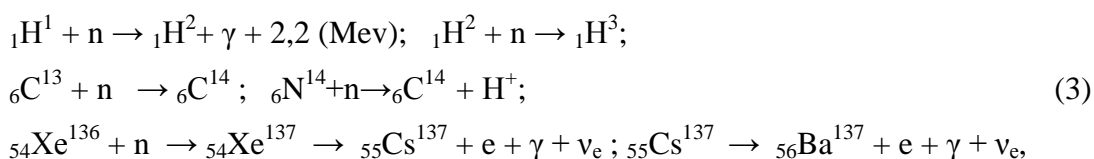
В основе кинетики и энергетики всех трех процессов лежат молекулярные и электрофизические свойства воды [17-19]. Клеточный метаболизм (С-процесс) лимитируется В-процессом, который меняется в онтогенезе и более чувствителен к изменениям внешних факторов, чем А- и С-процессы. Поскольку содержание воды в тканях хвойных деревьев в среднем составляет ~70%, их можно представить односвязной гетерогенной электролитической системой [19]. Содержание в ксилемном соке минеральных солей на один-два порядка выше, чем в почве, и в механизме его перемещения ключевую роль играют ионы калия [16]. Деревья имеют равный с землей отрицательный потенциал, и на листьях и хвое деревьев эффективно генерируются отрицательные аэроионы. Разница потенциалов между растениями и атмосферой определяется величиной напряженности приземного электрического поля (ПЭП) и оказывает сильное влияние на интенсивность поглощения углекислоты [4,20].

Ключевым элементом клеточной трофики является ее гормональная составляющая, хорошо изученная на примере ауксина – индолилуксусной кислоты (ИУК) [16,17]. Ауксин синтезируется в листьях и транспортируется по флоэме вместе с сахарозой ко всем точкам роста вплоть до корневой системы. ИУК стимулирует гидролиз макроэргических молекул, процесс дыхания, деление, растяжение и дифференцировку клеток. В клетке ИУК диссоциирует, запускает процесс высвобождения в цитоплазму протонов (до 10^4 H^+ на одну молекулу ИУК [17]) и регулирует проводимость мембранных Ca^{2+} -каналов. В итоге повышается протонный потенциал мембраны и увеличивается ее проницаемость для воды, сахарозы и других метаболитов (эффект аттракции). Трансмембранный транспорт ауксина обеспечивают белки-переносчики, распределение которых по мембране и эффективность работы в норме контролируются генетической программой. Поляризация мембраны и внутриклеточной динамики метаболитов во внешних полях (гравитационном или электрическом) влияет на активность ИУК [17], что приводит к усилению или ослаблению эффекта аттракции и может менять зону его локализации на мембране клетки. Таким образом, реализуется гравитропизм и различные отклонения морфологии и онтологии деревьев от нормы при существенных изменениях условий внешней среды.

Гормональную доминанту кинетики роста дерева и чувствительность к ПЭП А-, В- и С-процессов можно привлечь для объяснения ускоренного роста деревьев в зоне взрыва ТМ (Рис 1, 3). Предварительно отметим, что основным источником электризации приземного слоя атмосферы и ПЭП является радиация радона ${}_{86}Rn^{222}$ [21]. Сезонные

вариации выхода радона из земли обуславливают изменение напряженности ПЭП в диапазоне 100-260 В/м, причем максимальные значения отмечаются в мае-июне. Воздействия взрыва ТМ на литосферу, будучи сравнимы с эффектами землетрясений, очевидно, привели к аномальному увеличению выхода радона и напряженности ПЭП.

Наряду с радоном в усилении ПЭП могли участвовать радиоактивные изотопы с периодом полураспада меньше ~30 лет, образовавшиеся под воздействием на почву первичных продуктов взрыва ТМ. К таким изотопам относятся, например: ${}^1_1\text{H}^3$ (12,3) и ${}^{55}_{55}\text{Cs}^{137}$ (30); в скобках указан период полураспада в годах. Данные изотопы образуются в реакциях захвата тепловых нейтронов (n):



здесь: e – электрон (бета-лучи); γ – гамма-лучи; ν_e – электронное антинейтрино.

Изотоп ${}^{55}_{55}\text{Cs}^{137}$ был обнаружен в 1959 году в слоях лиственницы 1908-1920 годов, тогда как в слоях 1810-1853 годов его не было [14]. О том, что реакции типа (3) могли инициировать взрыв ТМ свидетельствуют аномалии в изотопных составах водорода, углерода и свинца, обнаруженные в слое торфа 1908 года [22] и повышенное содержание ${}^6_6\text{C}^{14}$ в кольцах деревьев 1908 года [12]. Кроме того, на наличие жесткого гамма-излучения указывают мутации молодых деревьев в зоне взрыва ТМ и отклонения от естественного фона термолюминисценции траппов и почв [23]. Не исключено также, что среди первичных продуктов взрыва ТМ могли присутствовать бета-активные изотопы: ${}^{38}_{38}\text{Sr}^{90}$ (29); ${}^{56}_{56}\text{Ba}^{133}$ (10,5); ${}^{63}_{63}\text{Eu}^{152}$ (13,4); ${}^{82}_{82}\text{Pb}^{210}$ (22,3) [24]. Гамма облучение в малых дозах стимулирует прорастание семян, вызывает увеличение вегетативной массы растений [4]. Присутствие нейтронов в продуктах взрыва ТМ допускает гипотеза о наличии нейтронного ядра-оболочки в составе ТМ [25], а также электроразрядная модель взрыва ТМ [26].

Очевидно, увеличение кинетики роста деревьев в зоне взрыва ТМ можно связать с ростом напряженности ПЭП и интенсификацией процессов фотосинтеза, а также синтеза фитогормонов и транспорта метаболитов по ксилеме. Таким образом, предложенный в работе метод моделирования кинетики роста хвойных деревьев адекватно отображает их онтогенез и позволяют выявлять закономерности влияния экологических факторов на физиологию деревьев.

Автор благодарен профессору Н.В. Ловелиусу за интерес к работе и полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колчин Б. А., Черных Н. Б. Дендрохронология Восточной Европы.— М.: Наука, 1977;
<http://hbar.phys.msu.ru/gorm/dating/kolchin.htm>
2. Ваганов Е.А. Круглов В.Б. Экология древесных растений. Курс лекций. -Красноярск , 2007 http://library.krasu.ru/ft/ft/_umkd/317/u_lectures.pdf
3. Ваганов Е.А., Бриффа К.А., Наурзбаев М.М. и др. Длительные климатические изменения в арктической области Северного полушария // ДАН, 2000, 375 (1): 103-106..
4. Мартынюк В. С., Темуриянц Н. А., Владимирский Б. М. У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. –Киев.: 2008. –212 с. / <http://cb.science-center.net/Files/Maket%20B5%20Final%20180%20pages.pdf>
5. Ловелиус Н.В., Колесников А.П. Влияние факторов среды на изменчивость прироста древесных растений (на примере ели и сосны в долине р. Луги)
http://rus.neicon.ru:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6220/5_10_02_40.pdf?sequence=1
6. Бережной В. Г. и Драпкина Г. И. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита. «Метеоритика», Вып. 24, 1964, с. 162-169
<http://tunguska.tsc.ru/ru/science/bib/1960-69/1964/berezhnoi/>
7. Холманский А.С. Адаптация деревьев к аномальным физическим факторам // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. Том 8. Вып. 3. 2009 / <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-23-html/holmanskiy/holmanskiy.htm>
8. Wloch W., Mazur E., Beltowski M. Formation of spiral grain in the wood of *Pinus sylvestris* L. // *Trees* (2002) 16:306–312 / <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00468-002-0174-6#page-1>
9. Ловелиус Н. В., Лежнева С. В., Пальчиков С. Б., Румянцев Д. Е. К созданию эталонных серий прироста годовых колец деревьев в вологодской области
http://pskgu.ru/projects/pgu/storage/prj/prj_16/prj_16_12.pdf
10. Демаков Ю.П. Факторы динамики годового прироста деревьев // <http://www.volgatech.net/upload/documents/Demakov.pdf>
11. Лонго Дж. Живые свидетели Тунгусской катастрофы // *Природа*. -1996. - №1 / <http://tunguska.tsc.ru/ru/science/bib/1990-99/1996/5/>
12. Сайт www.tunguska.ru
13. Вронский Б. И. Тропой Кулика: (Повесть о Тунгусском метеорите). -3-е изд. -М.: Мысль, 1984, 220 с.
14. Золотов А.В. Проблема Тунгусской катастрофы 1908 г. Минск: Наука и техника, 1969

15. Ловелиус Н. В., Ретеюм А. Ю. Колебания роста лиственницы в редколесье северной тайги и в самом северном лесном острове «Ары-мас» // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2011. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/kolebaniya-rosta-listvennitsy-v-redkolesie-severnoy-taygi-i-v-samom-severnom-lesnom-ostrove-ary-mas>
16. Алехина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. и др. Физиология растений: Учебник для студ. Вузов. –М.: «Академия». -2005. -640 с.
17. Медведев С.С. Электрофизиология растений. Учебное пособие. -2012. <http://www.bio.spbu.ru/materials/molbio/Medvedev-Electrophysiology.pdf>
18. Холманский А.С. Экстремальные точки температурных зависимостей свойств воды // Вестник ВИЭСХ, 2014. №1 / <http://technic.itizdat.ru/docs/aholy/FIL13909006660N574540001/1>
19. Kholmanskiy A.S., Tilov A.Z., Sorokina E.Yu. Drying kinetics of plant products: Dependence on chemical composition // Journal of Food Engineering. -2013, –V.117, -P. 378–382
20. Гордеев А.М., Шешнев В.Б. Электричество в жизни растений, М.: Наука, 1991, 160 с.
21. Фирстов П.П., Чернева Е.А., Пономарев А.В. Подпочвенный радон и напряженность электрического поля атмосферы в районе Петрапавлавск-Камчатского геодинамического полигона // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2006. №1. В. 7. С.102-109 http://www.kscnet.ru/ivs/bibl/sotrudn/firstov/fir_ch_r_16.pdf
22. Колесников Е.М. Изотопные аномалии Н и С из торфа с места падения Тунгусского метеорита // Доклады АН СССР, 1982, -Т.266, -№4, -С. 993-995; Изотопные аномалии в торфе с места падения Тунгусского метеорита Метеоритные исследования в Сибири. Новосибирск. Наука. 1984, -С.49-63.
23. Бидюков Б.Ф. Термолюминесцентные аномалии в районе тунгусской катастрофы // Сибирская юбилейная научная конференция “100 лет Тунгусскому метеориту”. Томск. - 2008 / <http://www.hodka.net/konfbid.php>
24. Журавлев В.К., Из чего состоял тунгусский метеорит?_Тунгусский Вестник КСЭ №1, июнь 1996, Новосибирск / <http://tunguska.tsc.ru/ru/science/tv/1/11/>
25. Холманский А. С. Кинетический фактор фотосинтеза // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. -Т. 5.- Вып. 4. -2006; <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-12-html/holmansky-2/holmansky-2.htm>
26. Невский А. П. Явление положительного стабилизируемого электрического заряда и эффект электроразрядного взрыва крупных метеоритных тел при полете в атмосфере планет. ”Астрономический вестник”. -1978. -Т. XII, -№ 4, -С. 206 - 215