

В. Р. Цибульский, И. Г. Соловьев, Д. А. Говорков

УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ХОДА РОСТА ХВОЙНЫХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

V. R. Tsibulsky, I. G. Solovyev, D. A. Govorkov

REFINEMENT OF CONIFER GROWTH MODELS BASED ON TREE-RING CHRONOLOGIES OF THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

Аннотация. Предметом исследования является модель хода роста хвойных пород деревьев, получаемая на основе временных рядов ширины годичных колец. Тема статьи относится к обработке данных и восстановлению моделей применительно к дендрологии. Цель работы – уточнение восстановления модели хода роста за счет дополнения начала временных рядов ширины колец хвойных пород применительно к лесам Западной Сибири. Методика включает в себя дополнение начала ряда в связи с неучтенными фазами роста: проростки, ювенильная, имматурная и начало виргинильной во время измерения на высоте 1,3 м. Авторами проведены исследования на ряде образцов сканов и кернов, а также временных рядов, полученных другими учеными и приведенных в международной базе данных «Всемирный банк древесных колец». По результатам натурных исследований авторы рекомендуют дополнить начало временных рядов нулями в интервале 10–15 лет для сосны на юге Западной Сибири в зависимости от условий произрастания и для лиственницы и сосны на севере в интервале 15–30 лет в зависимости от почвенно-климатических условий и широтности. Последовательность операций по предварительной обработке для временных рядов, полученных посредством взятия керна следующая: усреднения прироста радиуса по 2 (3) взаимно-перпендикулярным направлениям одной особи, построение кривой роста радиуса, дополнения начала ряда, его нормализация, аппроксимация заданным видом функции роста. Для сканов возможно построение функции роста площади. При усреднении группы модельных деревьев последовательность операций следующая: синхронизация рядов прироста взаимно-корреляционным методом, аппроксимации заданной функцией роста. Методика и результаты исследований могут быть применены в организациях лесного и нефтегазового комплекса при проведении мониторинга устойчивого состояния лесов. Предлагаемая методика восстановления модели кривой роста позволит более точно определить временные интервалы рационального лесопользования и восстановить цифровые модели популяций хвойных пород деревьев на севере Западной Сибири.

Ключевые слова: древесно-кольцевые хронологии; временные ряды; модель; онтогенетические состояния.

Abstract. The subject of this research is conifer growth model based on time-series of annual rings width. The article addresses processing of data and model update in respect of forest dendrology. The purpose of study is to update the conifer growth model due to expansion of time-series of tree-rings width in regards to conifer forests in Western Siberia. The method represents expansion of time-series due to the fact that some growth phases had not been taken into account. When measurements were taken at the height of 1.3 meters, the following phases were not considered: seedling, juvenile, immature and beginning of virginile phase. The authors carried out examination of a number of scans and core samples, as well as time-series received by other scientists and which are contained in the International Tree-Ring Data Bank. Based on the results of field studies, the authors recommend to add some zeroes to the beginning of time-series within the range of 10–15 years for pine-trees in the south of Western Siberia, depending on growth conditions; the range of 15–30 years in the north for larch-trees and pine-trees depending on soil and climate conditions and latitude. The sequence of data pre-processing operations for time-series, received by means of core sampling, is as follows: averaging out of radius gain in 2 (3) mutually perpendicular directions for one specimen, graphing of radius gain curve, adding to the beginning of time-series, its normalization, approximation by specified growth function. It is possible to build area growth function for the scans. For averaging out a group of model trees, the sequence of operations is as follows: synchronization of time-series by cross-correlation method, approximation by specified growth function. Methods and results of studies can be applied in forest sectors and oil and gas industries for monitoring of forest health conditions. The proposed method of curve growth model update will allow to define more precisely time intervals for efficient forest exploitation as well as to reconstruct digital models of conifer populations in the north of Western Siberia.

Key words: tree-ring history; time-series; model; ontogenetic states.

Сведения об авторах: Цибульский Владимир Романович, SPIN-код: 4211-9183, д-р техн. наук, Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, Россия, v-tsib@yandex.ru; Соловьев Илья Георгиевич,

SPIN-код: 4340-6350, канд. техн. наук, Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, г. Тюмень, Россия, solovyev@ikz.ru; Говорков Денис Александрович, SPIN-код: 3687-5960, канд. техн. наук, Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра СО РАН, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия, dagovorkov@mail.ru.

Author information: Tsibulsky Vladimir Romanovich, SPIN-code: 4211-9183, Dr. habil, Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS, Tyumen, Russia, russiav-tsib@yandex.ru; Solovyev Ilya Georgievich, SPIN-code: 4340-6350, Ph.D., Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS, Tyumen, Russia, solovyev@ikz.ru; Govorkov Denis Aleksandrovich, SPIN-code: 3687-5960, Ph.D., Institute of North Development Problems, Tyumen Scientific Center, SB RAS, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia, dagovorkov@mail.ru.

Введение

Проблемой разработки моделей кривых роста и прироста деревьев занимались и занимаются многие ученые и научные школы. Чаще всего модели применялись и применяются для составления таблиц роста, оценки объемов фитомассы, запасов древесины, динамик их развития и экологии как древостоя, так и отдельных популяций. Сложность и адекватность математического описания хода роста определялась областью применения. Для таксации лесов применялись достаточно простые линейные модели, удобные при обработке данных измерений на местности. Для проведения научных исследований о влиянии различных внешних факторов на продуктивность древостоя во времени разрабатывались динамические модели – Бэкмана (1943 г.), Гуттенберга (1945 г.), Мичерлиха (1949 г.), Тауле (1953 г.), Томазиуса (1962 г.) и многих других авторов [3; 5; 13; 14]. Большинство из них были нелинейными и содержали различные трудно определяемые показатели. Модели, полученные на основе теории вероятностей и «теории встреч», впервые предложенные Глокерсом в 1932 г., успешно применяются и в настоящее время. Для решения экологических проблем необходимо иметь модели популяций, такие как у Свирежева, Логофета и других авторов [6; 8]. Они основаны на возрастной оценке фаз роста и баланса развития популяции. При этом разделение фаз определяется фитоценогическими показателями (количество вторичных корней, ветвление и пр.). Для Западной Сибири, где большая часть территорий покрыта лесом и тундрой, более интересны популяции деревьев-эдификаторов, определяющих фитоландшафт территории.

В практике лесопользования и аналитической оценки ресурса часто не пользуются начальной частью кривой прироста (роста) в силу разных причин, в числе которых неточность и хаотичность данных. Для оценки объемов ресурса это вполне оправдано. При оценке жизнеспособности популяции того или иного вида, в особенности деревьев-эдификаторов, необходима вся кривая, так как она характеризует выживаемость популяции, тогда как ниспадающая часть – только рождаемость (урожайность).

При моделировании необходимо предусмотреть возможность точнее определять границы этих состояний (фаз). Авторы в своих исследованиях ранее предлагали при обработке временных рядов на основе древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) определять границы фаз ювенильной, виргинильной и генеративной по критерию равенства нулю второй и третьей производных кривой роста вида

$$r(t) = 1 - e^{-at \left[1 - e^{-(at)^2} \right]}, \quad (1)$$

где a и c – постоянные, определяющие скорости роста и торможения соответственно [10–12].

Практика последующих исследований показала, что определение указанных границ, особенно первой, и определение постоянных a и c в значительной степени зависит от обработки данных начала временных рядов на основе ДКХ, и при получении усредненных временных рядов одного дерева во взаимно-перпендикулярных направлениях и нескольких модельных деревьев в своем возрастном классе. Особенность временных рядов роста и прироста дерева заключается в том, что информация по приросту радиуса в отличие от высоты снимается при помощи керны или сканера на уровне 1,3 м, и поэтому ноль временного ряда $r(t)$ не совпадает с нулем ряда по высоте. Следовательно, при определении границ фаз необходимо учитывать возраст, за который дерево достигнет высоты 1,3 м, и добавлять его в начало ряда $r(t)$. Кроме того, при получении данных при помощи керны встречается хаотичный разброс начальных значений ширины радиуса по времени (см. рис. 1). На это в значительной степени влияет попадание «буравчика» в центр образования древесных колец.

При отклонении на 3–5 градусов ошибки по приросту могут составлять 50–100%. Кроме того, при взятии кернов у одного дерева во взаимно перпендикулярных направлениях встречается разброс по времени начала ряда. Это можно видеть на хронологии временных рядов, приведенных в таблице 1. Разброс может быть при выборе и усреднении рядов модельных деревьев одного возрастного класса (с равными диаметрами) на уровне 1,3 м. Практика показала, что ошибка в этом случае не превышает 10%, но влияние на аппроксимацию кривой роста более заметно. В этом случае временные ряды требуют синхронизации по времени и затем дополнения в начале некоторым количеством лет.

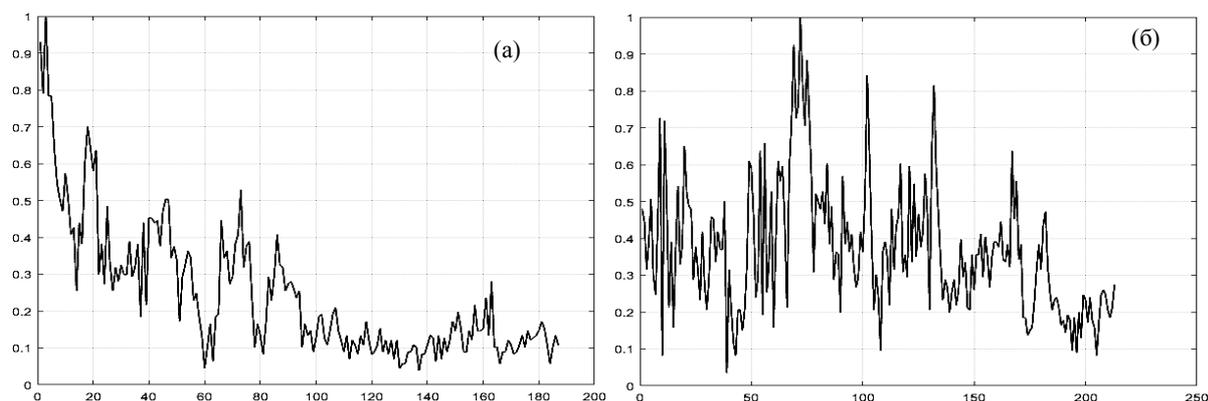


Рис. 1. Временные ряды прироста ДКХ лиственницы сибирской (а) – Nad 12-01, (б) – № 863042, п. Сидоровск ЯНАО (Всемирный банк древесных колец)

Таблица 1

Хронология временных рядов ДКХ, полученных во взаимно перпендикулярных направлениях у двух особей лиственницы сибирской

Лиственница сибирская п. Самбург*	Даты (годы)	
	Взятие керна	Начало ряда
Л 5-1	2014	1503
Л 5-2	2014	1511
Л 5-3	2014	1664
Л 1-1	2014	1557
Л 1-2	2014	1655
Л 1-3	2014	1739

* данные получены С. П. Арефьевым в результате полевых исследований.

Следует отметить, что если есть возможность при исследовании измерять ширину колец (на высоте 1,3 м) методом сканирования, то указанных факторов практически нет. Остается одна проблема дополнения временного ряда в начале.

Цель настоящей статьи – показать влияние корректного дополнения начала ряда и метода синхронизации временных рядов на аппроксимацию функцией предложенного вида и выработка рекомендаций по уточнению модели роста на примере хвойных пород Западной Сибири.

Методика и результаты исследований

Прежде всего необходимо уточнить методику дополнения временных рядов в начальной части от нуля и до тех значений, которые удалось получить в виде керна или снимка среза на высоте 1,3 м.

Как определить границы этого дополнения? Известно, что на разных широтах этот возраст различен. Для приблизительной оценки и получения какого-то критерия рассмотрим, какие онтогенетические состояния могут входить в эти границы. На рисунке 2 приведена в качестве примера фотография продольного спила сосны в бореальной части леса Тюменского лесничества. На рисунке достаточно отчетливо видны конуса годичного прироста (7 шт.). Всего на разрезе 1,3 м их 11. Таким образом, на временном ряде не учтено 11 лет.

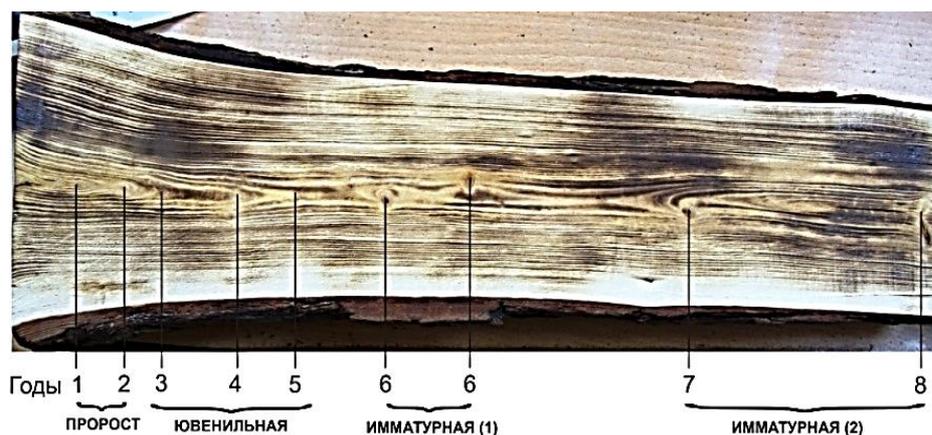


Рис. 2. Продольный спил сосны (*Pinus*) от корневой шейки до высоты 42 см. Юг Тюменской области. Возраст 50 лет, диаметр на уровне 1,3 м – 10,5 см

Для того чтобы уточнить, какая фаза и какие онтогенетические состояния находятся на этом отрезке, кратко приведем их описание:

– Фаза пророста – на продольном разрезе возможно отметить и измерить высоту, если спил сделан на 1–2 см ниже корневой шейки. Признаком окончания является слабозаметное присутствие зародышевой почки и в некоторых случаях первой верхушечной. При этом заметно «обтекание» первым слоем более плотных растительных клеток. Высота составила 3,5 и 6 см соответственно.

– Ювенильная фаза – может состоять из 2–3 годичных приростов. На разрезе это означает 2–3 «конуса» из плотных клеток без сучков. Окончание знаменуется образованием кроме верхушечной крупных боковых почек, из которых в следующей фазе образуются удлинённые боковые побеги [1]. В нашем случае это 7,5; 10,5; 14,5 см и первые боковые 20 см.

– Имматурная фаза (I) – начинается ветвление, т. е. порядок ветвления равен двум. Обычно верхушечный побег равен первому боковому – 24,2; 35,7 и 49,3 см.

– Имматурная фаза (II) – это ветвление 2-го и 3-го порядка – 65; 76 и 97 см (на снимке нет). Прирост все еще слабый, около 10–20 см.

– Виргинильная фаза (I) – усиленный рост верхушечных побегов ~ 30–50 см и менее интенсивный боковых ~ 20 см. Ветвление в основном 4-го порядка. В нашем случае это 119 см и выше.

Таким образом, в неучтенные попадают стадии проростка, ювенильная, имматурная и начало виргинильной. Это подтверждается и работами О. И. Евстигнеева, М. В. Фардеевой и Г. Р. Исламовой [1; 9; 13]. На вышеприведенные цифры в значительной степени влияют условия произрастания и климатическая зона. Например, у Б. Н. Норина есть исследования по ходу роста подроста [7] лиственницы и ели, из которых понятно, что на широте лесотундры у лиственницы неучтенный возраст может составлять 15–30 лет в зависимости от почвенного покрова.

Исследования Т.Л. Ленковой по оценке качества подростка в лесах Западной Сибири подтверждают эти значения [4]. Аналитические исследования, проводимые авторами, показали, что этот эффект значительно влияет на определение границ между фазами. Причем влияет как количество дополнительных лет, так и методика. На рисунке 3 приведены кривые роста лиственницы сибирской и их аппроксимации без дополнения и с дополнением нулями в течении 10 лет, 20 лет. Аппроксимация производилась по приведенной формуле (1) и при максимальном приближении в точках 50, 100, 150 лет в соответствии с рекомендациями по таксации лесов [2]. Разброс в оценке границ от их первого значения составляет 20%.

Предлагаемая методика рекомендуется при измерении ширины древесных колец, производится в двух вариантах: при помощи керны и микроскопа и сканированием среза на уровне 1,3 м. В первом случае необходим этап предварительной оценки данных. На рисунке 1 приведены два ряда ДКХ. В начале ряда нет участка со слабым ростом, но при этом присутствуют большие и хаотичные значения ширины колец. Если два других взаимно перпендикулярных направления взятия керны дают ту же картину, то для наших целей эти данные не подходят. Следует выбрать другое дерево из этого возрастного класса и еще раз взять керн. Если один из кернов дает корректную кривую, то следует взять ее за основу и не усреднять с некорректными. Во втором методе измерения такого эффекта, как правило, не встречается. Общим этапом предварительной обработки является усреднение временных рядов (по данным кернов) одного дерева во взаимно перпендикулярных направлениях. Здесь из-за неточности определения начала роста необходима проверка на максимум взаимной корреляции. Последнее исклю-

чае случайный сдвиг на 1–2 года. В случае проведения усреднения нескольких модельных деревьев в своем возрастном классе неизбежна разная длина временных рядов в связи с разным возрастом. Необходима процедура синхронизации рядов по времени при помощи попарной взаимной корреляции или по дате взятия керна (скана). На рисунке 4 приведены усредненные кривые роста лиственницы сибирской, демонстрирующие заметную разницу.

Таким образом, методика уточнения модели заключается в дополнении временных рядов древесно-кольцевых хронологий в начальной части от проростка до виргинильной фазы нулями длительностью в зависимости от условий произрастания и климатических особенностей территории. На юге Западной Сибири для сосны это 10–15 лет в зависимости от условий произрастания и освещенности. На севере для сосны и лиственницы это 15–30 лет. Кроме дополнения начала ряда необходима синхронизация временных рядов при усреднении рядов одной особи в разных направлениях по дате получения керна и усреднении группы модельных деревьев одного класса взаимно-корреляционным методом. Предлагаемая методика позволяет более корректно определять параметры a , c и моменты времени t_0 , t_1 , t_2 .

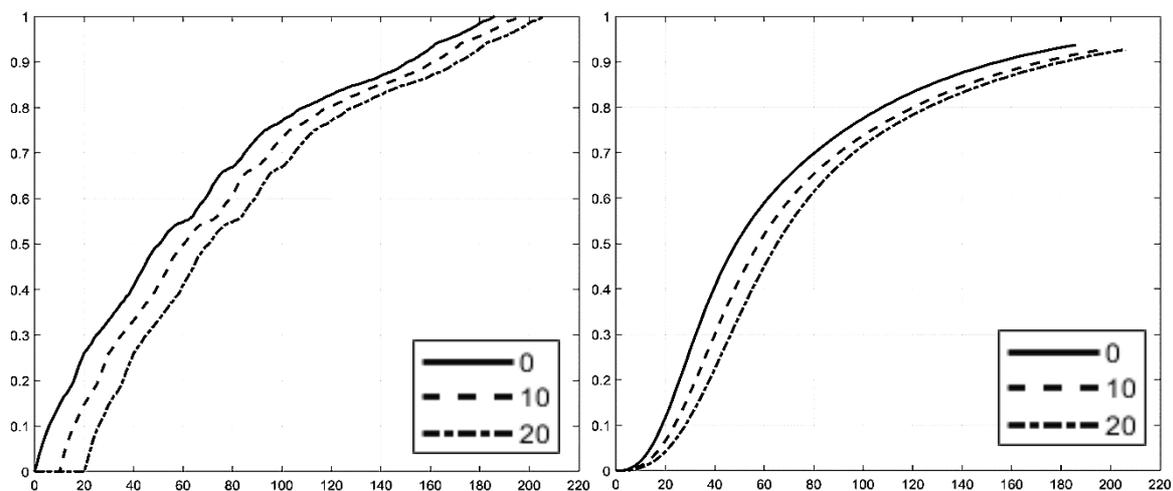


Рис. 3. Кривые роста лиственницы сибирской (Лсб) Nad 12-01 (а) – кривые роста с дополнениями нулями в течении 0, 10, 20 лет, (б) – их аппроксимации по формуле (1)

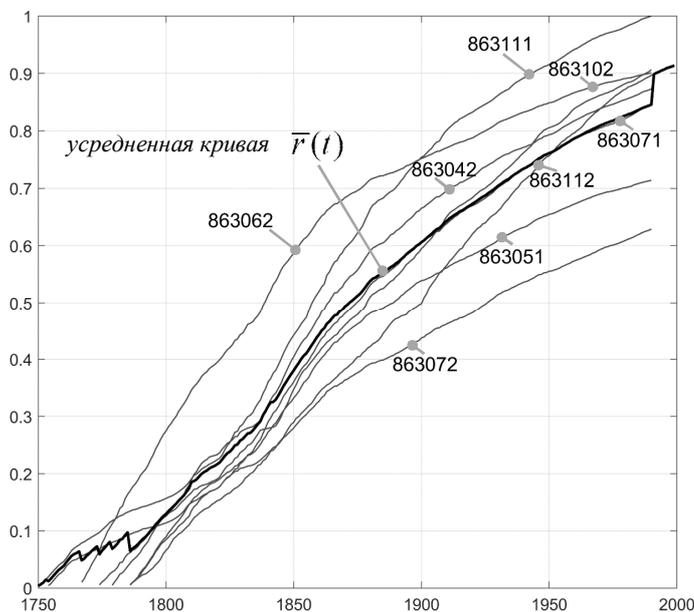
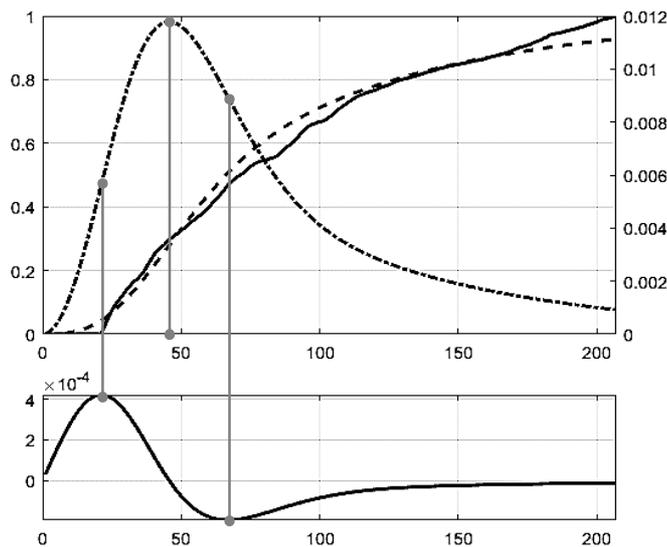


Рис. 4. Кривые роста группы модельных деревьев одного возрастного класса и их усреднение $\bar{r}(t)$. Данные взяты в международной базе для редколесья Ямало-Ненецкого округа



Рис. 5. Схематическое изображение методики уточнения кривой роста и определения границ фаз роста: ювенильной–виргинильной (t_1) виргинильной–генеративной (t_2); t_0 – точка максимального значения скорости роста; а и с – коэффициенты модели роста (1)

Последовательность процедур предварительной обработки данных, аппроксимации кривых роста и определения искомых границ фаз и параметров модели приведены на рисунке 5, демонстрационный пример – на рисунке 6.



a	c	t_1	t_0	t_2
0,0129	0,0156	26	55	81

Рис. 6. Усредненный ряд для лиственницы (район г. Надьма) с удлиненным начальным участком в 20 лет и весами фильтрации в точках 50, 100, 150 лет, t_1 – граница между ювенильной и виргинильной фазами роста, t_0 – точка максимального прироста, t_2 – граница между виргинильной и генеративной фазами роста

По результатам исследований авторы рекомендуют дополнить начало временных рядов нулями в интервале 10–15 лет для сосны на юге Западной Сибири в зависимости от условий произрастания и на севере для лиственницы и сосны в интервале 15–30 лет в зависимости от почвенно-климатических условий и широтности.

Последовательность операций по предварительной обработке для временных рядов, полученных посредством взятия керна, следующая: усреднения прироста радиуса по 2(3) направлениям одной особи, построение кривой роста радиуса дополнения начала радиуса, нормализация ряда, аппроксимация заданным видом функции роста. Для сканов возможно построение функции роста площади.

При усреднении группы модельных деревьев последовательность операций следующая: синхронизация рядов прироста взаимно-корреляционным методом, усреднение рядов прироста, построение кривой роста, дополнение начала ряда, его нормализация, аппроксимация функцией заданного вида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстигнеев О. И. Поливариантность сосны обыкновенной в Брянском полесье // *Лесоведение*. 2014. № 2. С. 69–77.
2. Загреб В. В., Сухих В. И., Швиденко А. З., Гусев Н. Н., Мошкалева А. Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов. М., 1992.
3. Кофман Г. Б. Рост и форма деревьев. М., 1986.
4. Ленкова Т. Л., Иванов В. В., Абаимов А. П. Оценка качества подроста в притундровых лесах Средней Сибири // *Сибирский экологический журнал*. 2007. Т. 14. № 2. С. 219–224.
5. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. Н. Физиология древесных растений. М., 1967.
6. Логофет Д. О. Ещё раз о проекционных матрицах: индикатор потенциального роста и польза индикации // *Фундаментальная и прикладная математика*. 2012. Т. 17. № 6. С. 41–63. <https://doi.org/10.1007%2Fs10958-013-1494-3>
7. Норин Б. Н. К познанию семенного и вегетативного возобновления древесных пород в лесотундре // *Растительность Крайнего Севера СССР и ее освоение*. М.-Л.: АН СССР. Вып. 3. 1958. С. 154–244.
8. Свирежев Ю. М., Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 1978.
9. Фардеева М. В., Исламова Г. Р. Особенности популяционной организации древесных видов хвойно-широколиственных лесов // *Филология и культура*. 2007. № 9-10. С. 112–121.
10. Цибульский В. Р., Арефьев С. П., Коновалов А. А., Говорков Д. А. Идентификация фаз роста деревьев хвойных пород на основе временных рядов древесно-кольцевых хронологий // *Вестник кибернетики*. 2016. № 4. С. 18–23.
11. Цибульский В. Р., Коновалов А. А., Арефьев С. П. Кривые хода роста и прироста хвойных деревьев на севере Западной Сибири // *Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование*. 2016. Т. 2. № 3. С. 59–70. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2016-2-3-59-70>
12. Цибульский В. Р., Соловьев И. Г., Говорков Д. А. Особенности определения границ онтогенетических состояний хвойных пород на примере северной тайги Западной Сибири // *Человек и Север: Антропология, археология, экология*. 2018. С. 596–601.
13. Evstigneev O. I., Korotkov V. N. Ontogenetic stages of trees: an overview // *Russian journal of ecosystem ecology*. 2016. № 2. P. 1–31. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2016-2-1>
14. Thomasius H. Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die qualitative Standortsbeurteilung // *Archiv für Forstwesen*. 1963. Vol. 12. № 12. P. 1267–1323.

REFERENCES

1. Evstigneev, O. I. (2014). Polivariantnost' sosny obyknovennoi v Bryanskom poles'e [Ontogenesis polyvariability of Scotch pine in Bryansk Polesia]. *Lesovedenie*, (2), 69-77. (in Russian)
2. Zagreev, V. V., Sukhikh, V. I., Shvidenko, A. Z., Gusev, N. N., Moshkalev, A. G. (1992). Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov. Moscow-Leningrad. (In Russian).
3. Kofman, G. B. (1986). Rost i forma derev'ev. Moscow. (in Russian)
4. Lenkova, T. L., Ivanov, V. V., & Abaimov, A. P. (2007). Otsenka kachestva podrosta v pritundrovyykh lesakh Srednei Sibiri [Evaluation of the Quality of Underwood in Sub-Tundra Forests of Middle Siberia]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal [Siberian Journal of Ecology]*, 14(2), 219-224. (In Russian).
5. Lir, Kh., Pol'ster, G., & Fidler, G. N. (1967). *Fiziologiya drevesnykh rastenii*. Moscow. (in Russian)
6. Logofet, D. O. (2013). Eshche raz o proektsionnykh matritsakh: indikator potentsial'nogo rosta i pol'za indikatsii. *Fundamental'naya i prikladnaya matematika [Journal of Mathematical Sciences (New York)]*, 193(5), 671–686. <https://doi.org/10.1007%2Fs10958-013-1494-3> (in Russian)
7. Norin, B. N. (1958). K poznaniyu semennogo i vegetativnogo vozobnovleniya drevesnykh porod v lesotundre. In *Rastitel'nost' Krainego Severa SSSR i ee osvoenie*, (3). 154-244. (In Russian).
8. Svirezhev, Yu. M., & Logofet, D. O. (1978). *Ustoichivost' biologicheskikh soobshchestv*. Moscow. (in Russian)
9. Fardeeva, M. V., & Islamova, G. R. (2007). Osobennosti populyatsionnoi organizatsii drevesnykh vidov khvoynoshirokolistvennykh lesov [The peculiarities of the population of arboretum' organization of deciduous-coniferous woods]. *Philology and Culture*, (9-10). 112-121.
10. Tsibul'skiy, V. R., Arefev, S. P., Konvalov, A. A., & Govorkov, D. A. (2016). Identifikatsiya faz rosta derev'ev khvoynnykh porod na osnove vremennykh ryadov drevesno-kol'tsevykh khronologii [Identification of coniferous tree growth phases with time series of annual ring chronologies]. *Vestnik kibernetiki [Proceedings in Cybernetics]*, 4(24), 18-23. (in Russian)
11. Tsibul'skiy, V. R., Konvalov, A. A., & Arefev, S. P. (2016). Krivye khoda rosta i prirosta khvoynnykh derev'ev na severe Zapadnoi Sibiri [Restoration of Age and Gain Curves in the Tree-Ring Chronologies of Coniferous Plants in the North of the

Western Siberia]. *Vestnik TyumGU. Ekologiya i prirodopol'zovanie [Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology]*, 2(3). 59-70. <https://doi.org/10.21684/2411-7927-2016-2-3-59-70> (in Russian)

12. Tsibulsky, V. R., Soloviev, I. G., & Govorkov, D. A. (2018). Osobennosti opredeleniya granits ontogeneticheskikh sostoyanii khvoynykh porod na primere severnoi taigi Zapadnoi Sibiri. In *Chelovek i Sever: Antropologiya, arkhologiya, ekologiya*, 596-601. (in Russian)

13. Evstigneev, O. I., & Korotkov, V. N. (2016). Ontogenetic stages of trees: an overview. *Russian journal of ecosystem ecology*, (2). 1-31. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2016-2-1>

14. Thomasius, H. (1963). Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Wachstumsgrößen von Bäumen und Beständen für die qualitative Standortsbeurteilung. *Archiv für Forstwesen*, 12(12), 1267-1323.

Цибульский В. Р., Соловьев И. Г., Говорков Д. А. Уточнение моделей хода роста хвойных пород на основе древесно-кольцевых хронологий севера Западной Сибири // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 41–48. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/07>

Tsibulsky, V. R., Solovyev, I. G., & Govorkov, D. A. (2020). Refinement of conifer growth models based on tree-ring chronologies of the north of Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 41–48. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/07>

дата поступления: 16 октября 2019 г.

дата принятия: 24 декабря 2019 г.

© Цибульский В.Р., Соловьев И.Г., Говорков Д.А.