

УДК 630.181.65

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ДРЕВОСТОЕ, ЗАГРЯЗНЕННОМ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.А. Белов

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Россия, 141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 15

belov@roslesrad.ru

Проведено сопоставление многолетних рядов радиального прироста деревьев сосны на локальном участке древостоя. Дана количественная оценка сопряженности раннего и позднего радиального прироста. Сформирована корреляционная матрица динамики раннего и позднего прироста из 120 парных сочетаний деревьев. Показано, что ритмика ростовых процессов в отдельных парах деревьев в одни периоды может совпадать, в другие — существенно различаться. Рассмотрен способ количественной оценки доминирующей тенденции изменения радиального прироста в отдельные отрезки времени с использованием регрессионного анализа.

Ключевые слова: радионуклиды, сосна обыкновенная, годичный прирост, ранняя древесина, поздняя древесина

Ссылка для цитирования: Белов А.А. Индивидуальная изменчивость годовых колец сосны обыкновенной в древостое, загрязненном радионуклидами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

Анализ динамики годичного прироста древесины позволяет достоверно определять количественные параметры реакции деревьев на изменения условий внешней среды за многолетние периоды на основе однократного отбора приростных кернов.

Известна способность деревьев формировать в благоприятные по метеорологическим условиям годы более широкие, а в неблагоприятные годы — более узкие годичные кольца. Помимо погоды вегетационного периода, на текущий прирост дерева оказывают влияние его возраст, положение в древостое, локальное окружение и микроэкологические условия произрастания, т. е. комплекс фитоценологических факторов.

Показано [1], что наиболее пригодны для анализа вариативности годовых колец господствующие деревья (по классификации Крафта), поскольку они наименее подвержены изменениям своего положения в древостое. Отмечается [2–4], что для деревьев, произрастающих в пределах небольшого, однородного в климатическом отношении района, характерна значительная синхронность колебаний годичного прироста древесины.

Цель работы

При дендрохронологических и дендроклиматических исследованиях обычно используются усредненные оценки текущего древесного прироста выборки деревьев в изучаемом насаждении. Такой метод анализа позволяет выявить доминантные тенденции колебаний ширины годичных колец в ответ на одни и те же воздействия внешних факторов. Однако при внешней схожести реакций на идентичные изменения жизненных

условий в каждом конкретном случае обычно наблюдаются большие или меньшие различия в динамике хода роста как разных насаждений в одной местности, так и отдельных деревьев в пределах локальных участков насаждений. В связи с этим индивидуальная ритмика роста деревьев представляет значительный интерес в качестве самостоятельного предмета исследования, результаты которого позволяют детально изучить структуру древостоев по характеру специфических индивидуальных ростовых реакций отдельных деревьев или их групп с внешне сходными характеристиками (порода, возраст, класс роста и развития) на погодные ситуации разных лет.

Методы и объекты исследования

Исследование проведено в 75-летнем сосняке-черничнике II класса бонитета Клинцовского лесничества Брянской области. Согласно данным таксационного перечета, средний диаметр ствола в древостое равен 19,5 см, средняя высота 20 м, сомкнутость крон 0,8. В составе насаждения помимо сосны единично присутствует береза. В ходе полевых исследований в разных частях таксационного выдела отобрано 16 наиболее крупных деревьев I–II классов Крафта, из которых буравом Пресслера извлечено по одному керну с юго-западной стороны ствола. Измерения ширины годичных колец модельных деревьев (отдельно раннего и позднего прироста) за период с 1970 по 2009 г. проведены в условиях лаборатории с использованием бинокулярного микроскопа МБС-10 с точностью до 0,05 мм [5].

При статистической обработке экспериментальных данных линейные размеры весеннего

и летнего слоев годичных колец преобразованы в индексы по методике В.Е. Рудакова [6]: путем деления значений радиального прироста каждого года на его среднее значение за весь анализируемый период, равный сорока годам, т. е. с 36-летнего до 75-летнего возраста.

Результаты и обсуждение

Сопоставление многолетних рядов индексов радиального прироста показало, что между размерами раннего и позднего прироста имеется прямая связь: в одни и те же годы широким слоям весенней древесины чаще всего соответствовали широкие слои летней древесины, и наоборот. Однако статистические параметры этой связи у разных деревьев существенно варьируют. Относительно тесная сопряженность динамики раннего и позднего прироста ($r > 0,5$) с вероятностью $P > 99,8\%$ выявлена у семи из 16 деревьев, умеренная связь ($0,5 > r > 0,4$) при $99,8\% > P > 99\%$ — у четырех, слабая ($0,4 > r > 0,3$) при $99\% > P > 95\%$ — у трех деревьев. У одного дерева отчетливая связь между размерами внутренней и внешней частей годичного кольца отсутствует.

Наибольшему значению коэффициента корреляции между размерами раннего и позднего прироста ($r = 0,627 \pm 0,126$) соответствует коэффициент детерминации $D = r^2 = 0,393$. Это означает, что имеется лишь 39,3 % общих факторов, определяющих скорость роста ранней и поздней древесины этого дерева. У остальных деревьев доля общих факторов, влияющих на ранний и поздний прирост, еще меньше. В связи с этим динамику раннего и позднего прироста древесины деревьев в исследуемом древостое рассматривали отдельно.

При анализе сопряженной динамики радиального прироста при дендрохронологических исследованиях в настоящее время применяется ряд количественных критериев [7]. Для оценки степени синхронности древесно-кольцевых хронологий разных древостоев, произрастающих в одной местности, предложен непараметрический критерий, который рассчитывается путем деления количества совпавших по направлению изменений текущего годичного прироста в анализируемом временном интервале на длительность этого интервала. При значениях коэффициента, превышающих 90 %, синхронность изменений прироста от года к году считается очень высокой, при значениях от 79 до 89 — высокой, от 68 до 78 — средней, от 57 до 67 — низкой и при значениях от 45 до 56 — синхронность отсутствует [8].

В нашем анализе в качестве показателя синхронности древесно-кольцевых хронологий использован стандартный параметрический статистический критерий — парный коэффициент

корреляции, широко применяемый для количественной оценки взаимосвязей в динамических системах. Положительные значения коэффициента корреляции при сравнении многолетних рядов прироста двух деревьев указывают на синхронность изменений ширины их годичных колец, а отрицательные значения — на обратное явление, асинхронность, когда увеличению скорости роста древесины одного дерева в данный год соответствует уменьшение скорости роста другого дерева.

При анализе древесно-кольцевых хронологий за 40-летний период на высокую степень взаимно синхронизированного прироста двух деревьев указывают значения коэффициента корреляции $R > 0,5$ (статистическая достоверность $P > 99,9\%$), на значительную синхронность — значения $0,5 > R > 0,4$ (статистическая достоверность $P > 99\%$), на умеренно синхронизированный прирост — $0,4 > R > 0,3$ ($P > 95\%$). Равным образом, значительной степени асинхронности динамики прироста двух деревьев соответствует значение $R < -0,40$, а частичной асинхронности — значение $-0,40 < R < -0,30$. При оценках коэффициента корреляции в диапазоне $0,30 < R < -0,30$ колебания ширины годичных колец двух сравниваемых деревьев можно квалифицировать как независимые.

Объем выборки, равный 16 модельным деревьям, позволяет сформировать корреляционные матрицы для раннего и позднего прироста из 120 парных сочетаний деревьев. Как показал статистический анализ, частные значения коэффициента корреляции в такой матрице для различных пар деревьев варьируют в широком диапазоне: для раннего прироста — от $0,771 \pm 0,104$ до $-0,412 \pm 0,148$, для позднего — от $0,647 \pm 0,124$ до $-0,500 \pm 0,141$.

В рамках проанализированной выборки деревьев наблюдаются все указанные выше варианты характеристик сопряженности динамики радиального прироста: от взаимно синхронизированных до значительно асинхронизированных древесно-кольцевых хронологий у различных пар деревьев. Ранний прирост оказался синхронизированным в общей сложности у 72 пар деревьев из 120 возможных сочетаний, в том числе у 46 пар деревьев оценки показателя синхронности колебались в диапазоне $0,771 > R > 0,407$ и у 26 пар деревьев — в диапазоне $0,402 > R > 0,317$. Синхронизация позднего прироста отмечена значительно реже: у 28 пар деревьев, в том числе у 18 пар с оценками $0,647 > R > 0,412$ и у 10 пар с оценками $0,395 > R > 0,311$.

Значительно асинхронизированная динамика раннего прироста выявлена лишь у одной пары модельных деревьев — № 11 и 15 ($R = -0,412 \pm 0,148$), а позднего прироста — у деревьев № 7

и 10 ($R = -0,500 \pm 0,141$). Кроме того, у пяти пар деревьев древесно-кольцевые хронологии оказались частично асинхронизированными ($-0,302 > R > -0,381$). Независимые колебания ширины годичных слоев ранней древесины выявлены у 47, поздней древесины — у 86 пар деревьев.

Причины столь значительных различий в показателях синхронности динамики роста разных частей годичного кольца заключаются в особенностях сезонного роста и развития древесных растений.

Внутренняя часть годичного кольца (весенняя древесина) образуется в начале вегетационного периода, в основном за счет внутреннего резерва накопленных деревом питательных веществ. Размер раннего прироста относительно стабилен, поскольку в значительной мере определяется общим физиологическим состоянием дерева, хотя и колеблется при изменениях гидрологического и теплового режима почвы в разные годы [9].

Формирование внешней части годичного кольца (позднего прироста) в большей мере происходит за счет органических веществ, синтезируемых в текущем вегетационном периоде. В связи с этим поздний прирост более, нежели ранний, зависит от переменных факторов внешней среды, при этом существенное значение имеет не только общий гидрологический и температурный режим насаждения, но и его характеристики в микростациях каждого конкретного дерева.

Результаты проведенного статистического анализа позволяют сделать вывод о том, что в насаждениях сосны в возрастном диапазоне от 36 до 75 лет даже при сравнительно большой сомкнутости полога леса имеет место существенное разнообразие микростациальных условий, ведущее к фактически независимым колебаниям позднего прироста древесины у значительной части древостоя.

Другой возможной причиной низких показателей синхронности динамики прироста древесины деревьев могут быть различия во внутренних биоритмах деревьев. Известно, что динамика прироста древесины отличается полициклическим характером: выявлены циклы, близкие к циклическим колебаниям солнечной активности и, кроме того, циклы разной продолжительности — от нескольких лет до нескольких десятилетий [10]. Накладываясь друг на друга, эти циклы в совокупности с влиянием возрастных изменений динамики роста деревьев и комплекса глобальных и локальных факторов формируют специфическую индивидуальную дендрограмму изменений прироста по годам каждого отдельно взятого дерева. При статистической обработке экспериментальных данных проведена математическая регрессионная аппроксимация фактических ден-

дрограмм модельных деревьев с использованием уравнений параболы 5-го порядка общего вида

$$ZR_{ind} = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4 + a_5T^5 \pm m_{y/x}, \quad (1)$$

где ZR_{ind} — расчетное значение индекса радиального прироста, %;

a_0, \dots, a_5 — эмпирические коэффициенты;

T — фактор времени, значение которого колеблется от 1 до 40 при возрасте деревьев соответственно от 36 до 75 лет;

$\pm m_{y/x}$ — стандартная ошибка уравнения, %.

Анализ уравнений (табл. 1 и 2) позволяет выделить следующие особенности ритмики радиального прироста деревьев исследованного соснового насаждения. Первый год анализируемого периода (1970) отличался быстрым ростом большинства деревьев по толщине ствола: средний индекс прироста для древостоя в целом составил 160,2 % для ранней и 132,9 % для поздней древесины. К концу первого десятилетия средний индекс раннего прироста снизился до 99,3 %, а позднего прироста — до 92,4 %. Иными словами, в течение 1970–1979 гг. прирост ранней древесины ежегодно уменьшался в среднем на 6,8 %, а поздней древесины — на 4,5 %.

В течение следующих двадцати лет (1980–1999) годичный ранний прирост древостоя продолжал снижаться, хотя и сравнительно медленными темпами: к 1989 г. средний индекс раннего прироста уменьшился до 95,8 %, к 1999 г. — до 86,6 %, т. е. ежегодно в среднем на 0,35 и 0,92 % соответственно.

Скорость роста поздней древесины в 1980–1989 гг. медленно возрастала (в среднем на 0,83 % в год), в результате чего средний индекс позднего прироста за десятилетие увеличился с 92,4 до 100,7 %. В следующее десятилетие возобладала тенденция к уменьшению скорости роста (в среднем на 0,51 % в год), и к 1999 г. индекс позднего прироста уменьшился до 95,6 %.

В десятилетие с 2000 по 2009 г. скорость роста как ранней, так и поздней древесины заметно возросла (соответственно в среднем на 2,21 и 2,58 % за год), в результате чего средний индекс раннего прироста всей совокупности модельных деревьев в 2009 г. составил 108,7 %, а индекс позднего прироста — 121,4 %.

Таким образом, в обобщенном виде изменения индекса раннего прироста в течение рассмотренного 40-летнего периода можно представить в виде вогнутой кривой, имеющей две точки максимума (в начале и конце периода) и одну точку минимума (в середине периода). Дендрограмма индекса позднего прироста имеет три точки максимума, включая слабо выраженный максимум в середине периода, и две точки минимума в конце первого и третьего десятилетия.

Т а б л и ц а 1

Коэффициенты уравнений зависимости индекса раннего прироста модельных деревьев от фактора времени (по уравнению (1))

Coefficients of the equations of the index of early growth of model trees on the time factor (according to equation (1))

№ дерева	Коэффициент уравнения						$m_{y/x}$
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	
1	168,7	3,0742	-2,35218	0,184569	-0,0054240	0,000055576	19,3
2	254,3	-54,8759	6,11967	-0,287006	0,0059013	-0,000043842	17,9
3	127,9	-7,5496	0,30766	0,015211	-0,0009917	0,000013109	20,3
4	113,1	11,0125	-2,74536	0,201897	-0,0060759	0,000065062	17,2
5	96,5	9,4582	-1,22394	0,052574	-0,0009040	0,000005199	25,0
6	239,9	-21,9336	1,29124	-0,050856	0,0012371	-0,000012180	35,8
7	119,7	-15,7440	1,92518	-0,091379	0,0019108	-0,000014527	18,2
8	191,9	-18,9649	0,86431	0,017905	-0,0017824	0,000026566	21,3
9	163,0	-15,9870	1,63949	-0,075100	0,0014756	-0,000010002	23,9
10	225,4	-4,2136	-2,30030	0,215648	-0,0068484	0,000072844	19,5
11	186,9	-15,2275	0,08735	0,052158	-0,0020786	0,000023511	21,6
12	127,4	-6,3772	0,72009	-0,036980	0,0008386	-0,000007090	19,3
13	219,9	-30,5195	2,95652	-0,119880	0,0018928	-0,000007958	21,9
14	290,2	-70,5215	9,29099	-0,528337	0,0131301	-0,000117316	22,9
15	41,3	29,6959	-4,05795	0,242784	-0,0064982	0,000062772	28,0
16	234,4	-45,3246	5,34561	-0,282074	0,0067956	-0,000061112	24,7

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты уравнений зависимости индекса позднего прироста модельных деревьев от фактора времени (по уравнению (1))

The coefficients of the equations of the index of late growth of model trees on the time factor (according to equation (1))

№ дерева	Коэффициент уравнения						$m_{y/x}$
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	
1	118,5	5,6574	-1,74402	0,126964	-0,0036609	0,000037556	20,9
2	123,5	-3,2185	0,10185	0,009315	-0,0006392	0,000009663	23,1
3	115,5	-6,9009	0,60053	-0,012051	-0,0003064	0,000008874	20,9
4	140,8	-5,2697	-0,36165	0,058524	-0,0022042	0,000026338	23,5
5	83,4	-3,7277	0,75481	-0,035589	0,0004652	0,000001098	22,2
6	283,9	-54,7383	5,78176	-0,298682	0,0072999	-0,000066190	22,9
7	39,6	6,0678	-0,75124	0,063983	-0,0021932	0,000025609	24,8
8	104,8	-8,6016	1,30157	-0,073366	0,0018457	-0,000017451	21,1
9	143,9	-8,2364	0,42133	0,004094	-0,0008541	0,000015673	26,4
10	239,6	-43,2182	4,96000	-0,255238	0,0059368	-0,000051228	19,2
11	70,3	16,9033	-3,64776	0,250486	-0,0066746	0,000061290	22,6
12	145,6	-9,6417	0,73796	-0,020570	0,0001020	0,000001839	18,1
13	130,2	-8,9142	0,62629	0,003739	-0,0011107	0,000018932	15,2
14	153,7	-47,1135	7,88525	-0,494027	0,0130075	-0,000121414	23,7
15	69,7	9,1454	-1,18370	0,091817	-0,0031329	0,000035951	26,2
16	163,4	-24,7722	2,99965	-0,160617	0,0039852	-0,000037334	20,5

Отмеченные общие особенности динамики радиального прироста для исследованного древостоя у разных деревьев проявлялись в разной степени, а в некоторых случаях были сугубо специфическими.

Для количественной оценки доминирующей тенденции изменения радиального прироста по десятилетиям использованы коэффициенты линейной регрессии этого показателя (отдельно для

каждого модельного дерева) на фактор времени. Положительное значение коэффициента регрессии ($K_b > 0$) указывает на тенденцию к увеличению, отрицательное ($K_b < 0$) — на тенденцию к уменьшению прироста по годам. Чем больше абсолютное значение коэффициента, тем более значительной была степень изменений (возрастание или уменьшение) радиального прироста в рамках рассматриваемого периода. Так, оценка

$K_b = 4,5$ означает, что в течение данного десятилетия индекс текущего прироста древесины ежегодно возрастал в среднем на 4,5 %.

Судя по величине коэффициента регрессии (табл. 3), в период с 1970 по 1979 г. тенденция к существенному уменьшению раннего прироста ($K_b < -8,0$) была характерна для девяти деревьев, к умеренному ($-8,0 < K_b < -4,0$) — для одного и к незначительному уменьшению ($-4,0 < K_b < 0$) — для четырех деревьев. Кроме того, у двух деревьев отмечена противоположная тенденция — к увеличению раннего прироста (незначительному для дерева № 5 и умеренному для дерева № 15). В следующие 20 лет у части модельных деревьев зафиксирована тенденция к незначительному или, реже, умеренному увеличению (в 1980–1989 гг. у восьми и в 1990–1999 гг. — у 11 деревьев), а у другой части — тенденция к уменьшению (у восьми и пяти деревьев соответственно). В период с 2000 по 2009 г. у большинства деревьев (9 из 16) отмечена тенденция к незначительному увеличению раннего прироста, у трех деревьев — к существенному увеличению, а у четырех деревьев — к незначительному снижению прироста.

Для динамики позднего прироста разных групп деревьев также было характерно наличие разнонаправленных тенденций. Так, в период с 1970 по 1979 г. тенденция к уменьшению прироста проявилась у 13 деревьев, к увеличению — у трех деревьев, в 1980–1989 гг. — соответственно у четырех и двенадцати, в 1990–1999 гг. —

у девяти и семи, в 2000–2009 гг. — у шести и десяти деревьев.

Сопоставление коэффициентов регрессии (см. табл. 3) позволяет выделить деревья со специфической, отличающейся от типичной, ритмикой ростовых процессов. К этой группе можно отнести три модельных дерева — № 5, 8 и 15. Первое из них заметно отличается от остальной части древостоя показателями регрессии раннего, второе — позднего прироста, а дерево № 15 — обоих видов прироста, причем в некоторых случаях динамика прироста последнего из перечисленных деревьев прямо противоположна ритмике ростовых процессов большинства остальных. Так, коэффициенты регрессии раннего прироста дерева № 15 (значения K_b по десятилетиям: 4,8; 0,1; -2,1; -3,3) и дерева № 6 (-12,0; -3,7; 0,9; 1,7) наглядно иллюстрируют взаимную асинхронность их динамики роста древесины.

Ритмика ростовых процессов в отдельных парах деревьев в одни периоды может совпадать, в другие — существенно различаться; примером служат результаты регрессионного анализа для раннего прироста деревьев № 1 и 2. Причиной данного явления может быть, с одной стороны, несовпадение частотно-амплитудных характеристик ритмики роста разных деревьев, с другой стороны, различие в силе воздействия факторов внешней среды, содействующих или препятствующих синхронности динамики прироста. В частности, можно предположить, что если фактором является влажность почвы в микростанции, то в

Т а б л и ц а 3

Коэффициенты регрессии индивидуальных индексов раннего и позднего прироста древесины модельных деревьев на фактор времени по десятилетиям (по уравнению (1))
Regression coefficients of individual indices of early and late tree growth of model trees on the time factor within decades (according to equation (1))

№ дерева	Коэффициент линейной регрессии, % в год							
	Ранний прирост в годы				Поздний прирост в годы			
	1970–1979	1980–1989	1990–1990	2000–2009	1970–1979	1980–1989	1990–1990	2000–2009
1	-8,2	-1,7	1,2	7,1	-3,4	-0,7	1,0	6,1
2	-12,4	2,8	-3,6	2,2	-1,7	-0,2	-1,7	2,2
3	-3,4	1,7	-0,3	-1,0	-1,8	0,9	-1,1	6,7
4	-3,3	-0,6	-0,5	11,1	-5,0	0,3	0,2	6,2
5	0,7	-2,4	0,5	0,7	1,3	1,2	-1,2	7,9
6	-12,0	-3,7	0,9	1,7	-16,0	-1,2	1,9	5,8
7	-2,4	2,2	0,3	2,0	2,6	3,5	1,4	6,6
8	-9,1	1,4	-1,9	3,6	-0,4	1,3	0,2	-2,3
9	-4,5	-0,3	-2,0	1,3	-3,9	-0,6	-2,0	10,0
10	-12,9	-1,6	-1,2	3,1	-10,2	0,1	-2,5	-1,3
11	-10,6	0,6	2,7	3,7	-2,8	2,4	5,9	-1,7
12	-1,6	-0,3	-1,1	-1,4	-3,6	0,3	-1,5	-1,9
13	-8,8	0,3	-4,6	2,4	-2,6	1,8	-3,1	2,5
14	-12,1	-1,5	-3,8	7,7	-0,7	0,2	-2,0	6,0
15	4,8	0,1	-2,1	-3,3	3,0	2,1	-3,8	-1,4
16	-10,1	0,5	-1,2	-2,7	-5,1	1,0	0,3	-3,3

десятилетие с большим количеством осадков синхронность динамики прироста будет возрастать, а в засушливые годы — напротив, уменьшаться. Однако изучение этих аспектов индивидуальной изменчивости годичных колец деревьев требует сопоставления больших массивов экспериментальных данных из разных биотопов.

Выводы

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о большом разнообразии индивидуальных характеристик динамики ростовых процессов деревьев сосны как в пределах отдельно взятых вегетационных периодов, так и в рамках многолетних периодов.

Значительные колебания показателей сопряженности динамики раннего и позднего радиального прироста древесины указывают на необходимость раздельного измерения двух составных частей годичного кольца при исследованиях хода роста сосновых насаждений, в том числе с целью разработки таксационных нормативов текущего прироста насаждений.

Широкий спектр индивидуальных параметров многолетней волновой динамики радиального прироста деревьев, обусловленный разнообразием их биоритмов в совокупности с пестротой локальных микроэкологических условий таксационного выдела, определяет необходимость использования кластерного подхода при проведении дендрометрического анализа, предполагающего деление модельных деревьев на группы в соответствии с особенностями динамики прироста. За

основу нормативных расчетов следует принимать результаты анализа модельных деревьев в кластере, отражающем типичную модель динамики радиального прироста насаждения.

Список литературы

- [1] Комин Г.Е. Влияние климатических и фитоценологических факторов на прирост деревьев в древостоях // Экология, 1973. № 1. С. 74–83.
- [2] Битвинская Т.Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 172 с.
- [3] Вихров В.Е., Колчин Б.А. Основы и метод дендрохронологии // Советская археология, 1962. № 1. С. 95–112.
- [4] Shove D.J. Tree rings and climatic chronology // Ann. N.Y. Acad. Sci., 1961, v. 95, no. 1, pp. 605–622.
- [5] Белов А.А. Потенциальные изменения прироста сосновых насаждений в зоне аварии на Чернобыльской АЭС под воздействием потепления климата // Тр. СПбНИИЛХа. СПб: СПбНИИЛХ, 2013. № 1. С. 34–39.
- [6] Рудаков В.Е. О методике изучения влияния колебаний климата на ширину годичных колец деревьев // Ботанический журнал, 1958. Т. 43. № 12. С. 1709–1712.
- [7] Ваганов Е.А., Терсков И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 93 с.
- [8] Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Цикличность радиального прироста деревьев в высокогорьях Урала // Дендрохронология и дендроклиматология. Новосибирск: Наука, 1986. С. 136–160.
- [9] Козлов В.А., Кистерная М.В., Неронова А.А. Формирование годичного кольца у сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) при проведении гидролесомелиоративных работ // Лесные ресурсы таежной зоны России: проблемы лесопользования и лесовосстановления / под ред. В.И. Крутова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 205–207.
- [10] Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Л.: Наука, 1979. 232 с.

Сведения об авторе

Белов Артём Анатольевич — научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Отдела радиационной экологии и пирологии леса Федерального бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (ФБУ ВНИИЛМ), belov@roslesrad.ru

Статья поступила в редакцию 16.10.2017.

THE INDIVIDUAL VARIABILITY OF SCOTCH PINE ANNUAL RINGS IN FOREST STAND CONTAMINATED WITH RADIONUCLIDE

A.A. Belov

ALL-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM)

belov@roslesrad.ru

Comparison of perennial series of Scotch pine annual rings in the local forest stand contaminated with radionuclide as a result of the Chernobyl accident is accomplished. The quantitative evaluating conjugation of spring and summer radial wood growths is done. The correlation matrix for 120 paired combinations of spring and summer radial wood growths is formed. It is shown that the rhythm of growth processes in separate trees pairs may be the same in any time periods and may be significantly different in other time periods. The method of the quantitative evaluating dominant trend of wood growth variation in separate time periods using regression analysis is studied.

Keywords: radioecology, radionuclide, caesium-137, Scotch pine, annual increment, springwood, summerwood

Suggested citation: Belov A.A. *Individual'naya izmenchivost' godichnykh kolets sosny obyknovennoy v drevostoe, zagryaznenom radionuklidami* [The individual variability of Scotch pine annual rings in forest stand contaminated with radionuclide]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 24–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-24-30

References

- [1] Komin G.E. *Vliyaniye klimaticheskikh i fitotsenoticheskikh faktorov na prirost derev'ev v drevostoyakh* [Influence of climatic and phytocenotic factors on tree growth in stands]. *Ecology*, 1973, no. 1, pp. 74–83.
- [2] Bitvinskas T.T. *Dendroklimaticheskie issledovaniya* [Dendroclimatic research]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 172 p.
- [3] Vikhrov V.E., Kolchin B.A. *Osnovy i metod dendrokronologii* [Bases and the method of dendrochronology]. *Sovetskaya arkhologiya* [Soviet archeology], 1962, no. 1, pp. 95–112.
- [4] Shove D.J. Tree rings and climatic chronology. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1961, v. 95, no. 1, pp. 605–622.
- [5] Belov A.A. *Potentsial'nye izmeneniya prirosta sosnovykh nasazhdeniy v zone avarii na Chernobyl'skoy AES pod vozdeystviem potepleniya klimata* [Potential changes in the growth of pine plantations in the zone of the Chernobyl accident under the influence of climate warming] *Proceedings of SPbNIIKh. SPb: SPbNIIKh*, 2013, no. 1, pp. 34–39.
- [6] Rudakov V.E. *O metodike izucheniya vliyaniya kolebaniy klimata na shirinu godichnykh kolets derev'ev* [On the method of studying the influence of climate fluctuations on the width of annual rings of trees]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1958, v. 43, no. 12, pp. 1709–1712.
- [7] Vaganov E.A., Terskov I.A. *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets* [Analysis of tree growth according to the structure of annual rings]. Novosibirsk: Nauka [Science] Siberian Branch, 1977, 93 p.
- [8] Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Tsiklichnost' radial'nogo prirosta derev'ev v vysokogor'yakh Urala* [Cyclicity of radial tree growth in the highlands of the Urals]. *Dendrochronology and dendroclimatology*. Novosibirsk: Nauka [Science] Siberian Branch, 1986. pp. 136–160.
- [9] Kozlov V.A., Kisternaya M.V., Neronova A.A. *Formirovaniye godichnogo kol'tsa u sosny obyknovennoy (P. sylvestris L.) pri provedenii gidrolesomeliorativnykh rabot* [Formation of the annual ring in Scots pine (*P. sylvestris* L.) during hydro-forest improvement works]. *Forest resources of the taiga zone of Russia: problems of forest management and reforestation*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009, pp. 205–207.
- [10] Lovelius N.V. *Izmenchivost' prirosta derev'ev* [Variability of tree growth]. Leningrad: Nauka [Science], 1979, 232 pp.

Author's information

Belov Artyom Anatol'evich — Research Officer of the Laboratory of Radiation Control Department of Radiation Ecology and Forestry Pyrology of ALL-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry (VNIILM), belov@roslesrad.ru

Received 16.10.2017.