

desired goal it was necessary to solve the following tasks: to determine whether there was a small sample of pollen and plant spores in a quantity sufficient to calculate the reliable percentage content of separate taxa; perform spore and pollen analysis of vegetative raw materials of several series of samples: a) belonging to one lot; b) from lots of different manufacturers; c) belonging to different lots of the same manufacturer; to reveal indicators testifying the belonging of comparable series of samples to single or different sources of origin. The results of the research indicate that the revealed features of the composition of the palinoflora and the percentage content of separate components of the spore and pollen spectra, obtained as a result of the spore and pollen analysis of plant material, allows to distinguish a number of important indicators on the basis of which a confident conclusion can be made about belonging to a single or various sources of origin. Consequently, it is possible to conclude that data of the spore and pollen analysis contains extremely important evidence and have undeniable practical significance for solving the actual expert and criminalistic tasks, and the use of this method is the beginning of a new trend in the forensic palynology in the Republic of Belarus.

Keywords: plant matrices, spore and pollen analysis, taxonomic composition, quantitative indices, complex of identification signs, evidentiary value.

DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2018.41>

УДК 581.52+630*181.351+343.98

А. Н. Хох, научный сотрудник лаборатории исследования материалов, веществ и изделий НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь

E-mail: mycolog@tut.by,

В. Б. Звягинцев, заведующий кафедрой лесозащиты и древесиноведения БГТУ, кандидат биологических наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ДРЕВЕСНО-КОЛЬЦЕВЫХ ХРОНОЛОГИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

На сегодняшний день идентификация места произрастания срубленной древесины представляет собой сложную задачу, решение которой можно ожидать на основе комплексного методического подхода с анализом результатов методами многомерного статистического анализа. В настоящем исследовании показаны возможности и подробно описан алгоритм применения иерархических кластер-процедур для регионализации 85 стандартизированных хронологий сосны обыкновенной, а также представлены результаты проведенных экспериментальных исследований.

Ключевые слова: кластерный анализ, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), годовичные слои, древесно-кольцевые хронологии, место произрастания, судебная экспертиза, территориальная дифференциация.

Леса в Республике Беларусь являются одним из основных возобновляемых природных ресурсов и важнейших факторов экологической безопасности. Самой распространённой лесообразующей древесной породой в нашей стране является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L.*). На 1 января 2017 г. площадь насаждений с преобладанием сосны в лесном фонде составила 4,1446 тыс. га (с запасом 968,1 млн м³)¹. Значение сосны как лесообразующей породы не уменьшится в будущем, поскольку она обладает ценной высококачественной древесиной, которая находит самое широкое применение в различных отраслях хозяйства и в быту, а также экспортируется в другие страны. Именно поэтому Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 г. предусматривает существенное увеличение площади сосновых лесов до 60 % Гослесфонда². Высокие потребительские качества определяют тот факт, что именно сосна является наиболее частым объектом экологических правонарушений, в том числе нарушений лесного законодательства.

На сегодняшний день незаконные рубки (*illegal logging*) являются проблемой мирового масштаба и ведут к обезлесению территорий и деградации лесов. Для них характерна низкая вероятность обнаружения, поскольку в подавляющем большинстве случаев правонарушения такого рода осуществляются в условиях неочевидности. В связи с этим по-прежнему актуальной остается задача, связанная с идентификацией происхождения древесины и подтверждением декларируемого места ее заготовки. Стоит отметить, что попытки ее решения по индексам радиального прироста предпринимались еще в 70-х гг. XX ст.³ В последние годы ставка делается на применение ДНК-технологий⁴, также активно исследуются возможности химических и биохимических методов⁵. По нашему мнению, дендрохронологический метод до сих пор остается одним из приоритетных при установлении локального участка, на котором выросло дерево.

¹ Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2017. М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь; Лесоустроит. респ. унитар. предприятие «Белгослес». Минск, 2017. 95 с.

² Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 годы, утв. зам. Премьер-министра Республики Беларусь от 23 декабря 2014 г. № 06/201-271. 20 с.

³ Розанов М. И. Установление источника происхождения дерева. *Криминалистическое исследование вещественных доказательств физическими, химическими и биологическими методами*. Москва : ЦНИИСЭД, 1969. Вып. 2. С. 34–36; *Его же*. Дендрохронологические методы экспертизы древесины. *Экспертная техника*. Москва : ВНИИСЭ, 1971. Вып. 34. С. 45–65.

⁴ Nowakowska J. A. Application of DNA markers against illegal logging as a new tool for the Forest Guard Service. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*. 2011. Т. 53. № 2. Р. 51–57; Lowe A. J., Cross H. B. The Application of DNA methods to Timber Tracking and Origin Verification. *IAWA Journal*. 2011. Т. 32. № 2. Р. 251–262.

⁵ Dalnigrin, a neoflavonoid marker for the identification of Brazilian rosewood (*Dalbergia nigra*) in CITES enforcement / [G. C. Kite, P. W. Green, N. C. Veitch et al.]. *Phytochemistry*. 2010. Vol. 71. № 10. P. 1122–1131; Kagawa A., Leavitt S. W. Stable carbon isotopes of tree rings as a tool to pinpoint the geographic origin of timber. *J. Wood Sci.* 2010. Vol. 56. P. 175–183.

Цель данного исследования – оценить потенциал использования дендрохронологической информации в сочетании с методами многомерного статистического анализа для установления места произрастания срубленной древесины.

Объектом исследования были сосняки мшистые (*Pinetum pleuroziosum*), орляковые (*Pinetum pleuroziosum*) и черничные (*Pinetum myrtillosum*). Рассмотреть особенности территориальной дифференциации именно в данных типах леса представлялось актуальным в связи с их доминирующим положением по занимаемой площади.

В работе использован дендрохронологический материал с временных пробных площадей (ВПП), заложенных в 2015–2017 гг. по всей территории республики в рамках реализации задания 3.2.01 «Разработка новых подходов к исследованию объектов растительного происхождения при проведении судебно-экспертных исследований» по государственной программе научных исследований «Информатика, космос и безопасность». Временные пробные площади закладывались по общепринятым в области лесоведения и лесной таксации методикам¹.

На каждой пробной площади у 20 деревьев высших классов Крафта возрастным буром *Haglof* отбирались образцы древесины (буровые керны) с противоположных сторон перпендикулярно продольной оси ствола дерева на высоте 1–1,3 м от поверхности земли. Перед непосредственным проведением измерений ширины годичных слоев (ШГС) поверхность буровых кернов предварительно подготавливалась. Для этого образцы на 10–15 минут замачивали в горячей воде (70–80 °С) с несколькими каплями глицерина. Затем закрепляли при помощи винтов на специальном металлическом кернодержателе для удобства обрезки и предотвращения разлома. Далее срезали верхнюю часть толщиной 1–1,5 мм с помощью пистолетного ножа с выдвижным трапециевидным лезвием. Подготовленные образцы древесины сканировали на планшетном сканере Epson Perfection V19 с разрешением 1200 dpi. Сами расчеты ШГС выполняли с помощью автоматизированного рабочего места DendroExp (с точностью до 0,01 мм)².

В результате проведенных исследований были построены 85 обобщенных стандартизированных *древесно-кольцевых хронологий* (ДКХ) (stTRC_1 – stTRC_85). Стандартизация с целью элиминирования возрастного тренда проводилась отдельно для каждого дерева с последующим усреднением индексов радиального прироста по объекту (то есть по ВПП) методом простой 5-летней скользящей средней. В дальнейшем в полученных хронологиях рассматривался промежуток длительностью в 60 лет (для надежной датировки необходимо наложение одной ДКХ на другую на отрезке, не менее чем в 50 слоев³).

¹ Никифорчин И. В., Ветров Л. С., Вавилов С. В. Таксация леса : учеб. пособие. СПб. : СПбГПУ, 2011. 242 с.

² Хох А. Н., Кузменков Д. Е. Автоматизированное рабочее место «DendroExp» как инструмент для рационализации проведения дендрохронологических экспертных исследований. *Криміналістичний вісник*. Київ, 2017. № 1 (27). С. 133–140.

³ Колчин Б. А., Черных Н. Б. Дендрохронология Восточной Европы. Москва : Наука, 1977. 129 с.

Анализ полученных результатов показал, что ШГС у исследованных деревьев сосны варьируются от 0,30 до 3,40 мм. Что касается территориальной дифференциации, то здесь можно отметить тот факт, что в южной части Республики Беларусь наблюдаются большие значения средней ширины годичного слоя. Однако на севере республики у отдельных древостоев средняя ШГС может быть сопоставимой, а в некоторых случаях и больше, чем на юге. Так, на ВПП № 17, расположенной в северной части (Россонский р-н, Витебская обл.), средняя ширина годичного слоя составляет 1,16 мм, что больше, чем, например, на ВПП № 68 и ВПП № 69 (Хойникский р-н, Гомельская обл.) и ВПП № 84 (Малоритский р-н, Брестская обл.) – объектах южной части. Этот факт связан с тем, что на ширину годичного слоя оказывают сочетанное воздействие как общие, обуславливающие синхронность прироста деревьев на значительных территориях, так и частные, типичные для локальных участков, экологические факторы. Их разнообразием объясняется разница и по ширине годичного слоя у древостоев на каждой отдельно взятой ВПП.

Величина стандартного отклонения минимальна (0,07) для stTRC_69 (Халинковичский р-н, Гомельская обл.) и максимальна (1,32) для stTRC_54 (Хойникский р-н, Могилевская обл.). Необходимо отметить, что среднее стандартное отклонение ширины древесных слоев индивидуальных хронологий для отдельных участков для большинства случаев (77 из 85) составляло не менее половины от средней величины радиального прироста деревьев на участке.

Наименьшая вариация (9,06 %) наблюдалась для stTRC_32 (Жабинковский р-н, Брестская обл.), тогда как наибольшей (46,11 %) она была для stTRC_82 (Малоритский р-н, Брестская обл.). В целом коэффициент вариации ШГС, отражающий погодичную изменчивость величины радиального прироста, выше на ВПП, заложенных в Могилевской обл.

Отмечен высокий межсерийный коэффициент корреляции для общего сравниваемого периода (в среднем 0,65), что и позволило объединить индивидуальные ДКХ в обобщенные. Лишь в одном случае он оказался ниже 0,50 (COR = 0,47 для stTRC_29 – Каменецкий р-н, Брестская обл.). Максимальное значение составило 0,77 (stTRC_70 – Речицкий р-н, Гомельская обл.). Популяционный сигнал EPS для всех анализируемых хронологий выше общепринятого порога 0,85, что свидетельствует об их высоком качестве. Средний коэффициент чувствительности хронологий сосны за общий период с 1956 по 2014 г. в исследованных древостоях составляет 0,19 и колеблется в небольших пределах от 0,11 (stTRC_5 – Верхнедвинский р-н, Витебская обл.) до 0,33 (stTRC_84 – Брестский р-н, Брестская обл.). Вычисленное отношение сигнал-шум (SNR), то есть сила внешнего воздействия, для большинства хронологий сосны составляет > 20,00 и только для stTRC_30 менее этой величины – Каменецкий р-н, Брестская обл. (17,74), что свидетельствует о том, что исследуемые деревья чувствительны к изменению экологических, в том числе климатических, факторов.

В целом рассчитанные статистические параметры подтверждают тот факт, что все ДКХ являются репрезентативными, а потому могут быть использованы при проведении дендроэкологических исследований.

Для ответа на вопросы – существуют ли в пределах Республики Беларусь некоторые группы/регионы, сходные по динамике радиального прироста?; если да, то, сколько существует таких групп? – использовался кластерный анализ (КА). Поскольку число объектов исследования относительно небольшое (до 100–150), применяли методы, основывающиеся на иерархических агломеративных процедурах.

Вначале проверяли масштаб и шкалы, в которых представлены изучаемые признаки (параметры радиального прироста). Проверка обусловлена тем, что если, например, средняя ширина одного годовичного слоя 15 мм (1-я переменная), а второго – 0,05 мм (2-я переменная), то при расчете расстояния между ДКХ даже незначительные различия по 1-й переменной будут вносить существенный вклад в увеличение расстояния, вместе с тем как достаточно большие различия по 2-й переменной будут незаметны. В нашем исследовании данные (параметры радиального прироста) были приведены к сравнимому масштабу путем проведения процедуры стандартизации.

Кластерный анализ ДКХ stTRC_1 – stTRC_85 проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, USA), в котором реализованы необходимые агломеративные/объединяющие кластер-процедуры. После загрузки данных заходили в модуль кластерного анализа, используя пункт меню Statistics → Multivariate Exploratory Techniques → Cluster Analysis. В открывшемся окне выбирали Joining (tree clustering). Выбор этого пункта запускает иерархические алгоритмы классификации.

В окне модуля иерархического КА переходили на вкладку Advanced. Нажимали на кнопку Variables и выбирали 60 анализируемых переменных для анализа (ширина годовичного слоя с 1956 по 2016 г.). В выпадающем списке Input file оставляли установленный по умолчанию вариант Raw data. Это означает, что исходные данные представлены в виде таблицы «объект-свойство», строки которой соответствуют объектам (85 стандартизованных древесно-кольцевых хронологий сосны), а столбцы – характеризующим эти объекты признакам (ширина годовичного слоя в конкретный календарный год). В выпадающем списке Cluster оставляли установленный по умолчанию вариант Variables (columns), означающий, что кластеризоваться будут признаки (столбцы).

Далее определяли метрику (выпадающий список – Distance measure). В программе Statistica представлено несколько вариантов (например, Squared euclidean distance – квадратичное евклидово расстояние; Euclidean distance – обычное евклидово расстояние; Chebychev distance metric – расстояние Чебышева и др.). Поскольку мы не обладали информацией о том, что какой-то признак (год) более важен для классификации, чем остальные, то стремились в равной степени учесть различия по каждому, поэтому в качестве метрики выбирали вариант – 1-г Пирсона.

Затем из выпадающего списка Amalgamation (linkage) rule выбирали алгоритм кластеризации – Ward's method (метод Уорда), поскольку он в подавляющем большинстве случаев дает довольно компактные и хорошо разделенные кластеры.

Результаты проведенной иерархической классификации в виде вертикальной дендрограммы (Vertical Icicle Plots) представлены на рис. 1.

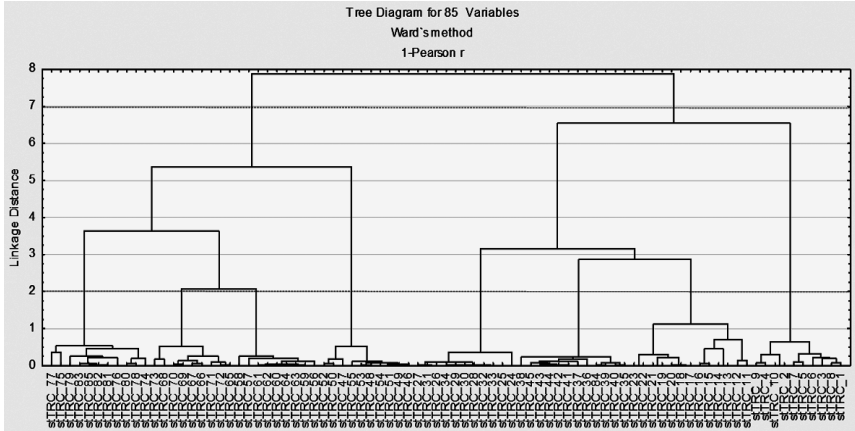


Рис. 1. Вид полученной дендрограммы, содержащей 85 стандартизованных ДКХ

Для определения количества стабильных кластеров, на которые целесообразно разбить анализируемые древесно-кольцевые хронологии, выбирали пороговое расстояние – это показатель, при превышении которого в кластеры будут объединяться даже не связанные между собой объекты. После выбора порогового расстояния проводили перпендикулярные линии через точки, соответствующие выбранному расстоянию (выделены многоточием на рис. 1), и подсчитывали количество ее пересечений с ветвями дендрограммы. Количество пересечений и определяло количество кластеров, а объекты, оказавшиеся на отсеченной ветви, – их состав. Так, при пороговом расстоянии 7 выделяется 2 довольно крупных кластера, а при пороговом расстоянии 2 – 8 кластеров.

Следует отметить, что окончательный выбор количества кластеров определялся на основе анализа специальных функционалов качества и возможности их содержательной интерпретации. Наиболее эффективным инструментом для визуального определения количества кластеров в программе Statistica 10.0 служит график расстояний (Graphs of Amalgamation Schedule), который строится во время последовательного процесса разбиения ДКХ на кластеры (рис. 2).

Таблица расстояний (Amalgamation Schedule), представленная на рис. 3, содержит протокол объединения кластеров. Первый столбец таблицы содержит расстояние, на котором находится соответствующий кластер (указанный в соответствующем ряду), а каждая строчка содержит имена объектов (stTRC_1 – stTRC_85), которые составляют соответствующий кластер.

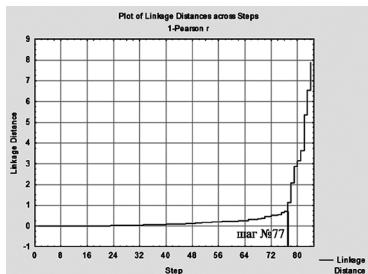


Рис. 2. График объединения объектов в кластеры методом Уорда

Amalgamation Schedule (Spreadsheet4)						
Ward's method						
1-Pearson r						
linkage distance	Obj. No. 2	Obj. No. 3	Obj. No. 4	Obj. No. 5	Obj. No. 6	C
7,049595	stTRC_12	stTRC_13	stTRC_14	stTRC_15	stTRC_16	
1,129444	stTRC_12	stTRC_13	stTRC_14	stTRC_15	stTRC_16	st
2,072776	stTRC_59	stTRC_63	stTRC_64	stTRC_60	stTRC_62	st
2,875023	stTRC_12	stTRC_13	stTRC_14	stTRC_15	stTRC_16	st
3,145555	stTRC_12	stTRC_13	stTRC_14	stTRC_15	stTRC_16	st
3,628002	stTRC_59	stTRC_63	stTRC_64	stTRC_60	stTRC_62	st
5,352645	stTRC_49	stTRC_51	stTRC_54	stTRC_48	stTRC_53	st
6,548593	stTRC_8	stTRC_3	stTRC_6	stTRC_5	stTRC_7	st
7,876769	stTRC_8	stTRC_3	stTRC_6	stTRC_5	stTRC_7	st

Рис. 3. Таблица объединения объектов методом Уорда

Использование указанных инструментов для определения количества кластеров базировалось на таких практических рекомендациях:

1) на графике (рис. 2) находится точка перелома и номер шага m , на котором произошел «перелом»; тогда количество кластеров равно $n-m$, где n – количество ДКХ в выборке;

2) в столбце linkage distance таблицы расстояний (рис. 3) находится такой номер шага m , объединение на котором произошло уже на существенно большем расстоянии, чем на шаге $m-1$; тогда количество кластеров равно $n-m$, где n – количество ДКХ в выборке.

В нашем случае в качестве точки перелома можно рассматривать шаг под номером 77, то есть получаем $85-77 = 8$ кластеров. Такое же количество кластеров подтверждается и анализом таблицы расстояний: на шаге 77, выделенном на рис. 3, произошел наибольший скачок расстояния.

Анализируя далее порядок расположения ДКХ слева направо на дендрограмме (рис. 1), заметим, что: 1 кластер – ДКХ с 1 по 10; 2 кластер – ДКХ с 11 по 23; 3 кластер – ДКХ с 35 по 45; 4 кластер – ДКХ с 24 по 34; 5 кластер – ДКХ с 46 по 55; 6 кластер – ДКХ с 56 по 64; 7 кластер – ДКХ с 65 по 73; 8 кластер – ДКХ с 74 по 85. Именно в таком порядке названия ДКХ перечислены в последней строке таблицы расстояний, представленной на рис. 3. Поэтому мы копировали эту строку в Excel, транспонировали в столбец с помощью операции Paste Special (специальная вставка), а затем снова копировали в новый файл с данными в Statistica 10.0 и представляли в новом столбце напротив номера соответствующего кластера по всем ДКХ. После этого составляли таблицу, содержащую сведения о составе каждого кластера.

Таким образом, в ходе проведенных исследований мы ответили на поставленные вопросы – да, в пределах Республики Беларусь существуют группы/регионы, сходные по динамике радиального прироста; их количество составляет 8. Предлагаемый алгоритм кластерного анализа дает возможность проанализировать большой массив количественных дендрохронологических данных. Полученная информация, наряду с другими характеристиками ДКХ, такими как общая тенденция графиков, выраженные периоды угнетений,

коэффициенты корреляции и синхронности и др., может эффективно использоваться для решения задач, связанных с установлением места произрастания срубленной древесины сосны и подтверждением декларируемого места ее заготовки.

Таблица

Состав кластеров, выделенных методом Урда

№ кластера	Количество объектов в кластере	Состав кластера
1	10	ДКХ: stTRC_1 – stTRC_10; область Витебская; районы: Росоский, Верхнедвинский, Городокский
2	13	ДКХ: stTRC_11 – stTRC_23; область Минская; районы: Мядельский, Вилейский, Молодечненский, Борисовский
3	12	ДКХ: stTRC_35 – stTRC_45; область Гродненская; районы: Щучинский, Лидский, Дятловский, Гродненский
4	11	ДКХ: stTRC_24 – stTRC_34; область Брестская; районы: Каменецкий, Жабинковский
5	10	ДКХ: stTRC_46 – stTRC_55; область Могилевская; районы: Хотимский, Климовичский, Краснопольский, Чериковский
6	9	ДКХ: stTRC_56 – stTRC_64; область Брестская; районы: Пинский, Лунинецкий, Столинский
7	9	ДКХ: stTRC_65 – stTRC_73; область Гомельская; районы: Хойникский, Брагинский, Калинковичский, Речицкий
8	11	ДКХ: stTRC_74 – stTRC_85; область Брестская; районы: Брестский, Малоритский

Однако необходимо отметить тот факт, что выделенные дендрохронологически однородные группы/регионов, для которых разработаны древесно-кольцевые мастер-хронологии, достаточно большие по площади, что позволяет устанавливать только самую широкую групповую принадлежность сосновых лесоматериалов. Поэтому в дальнейшем требуется повысить разрешающую способность дендрохронологического анализа. Эта задача может быть успешно решена с привлечением сведений об анатомических структурах и элементном составе годовичных слоев, что позволит выявить гетерогенность внутри дендрохронологически однородных регионов.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ДЕРЕВИННО-КІЛЬЦЕВИХ ХРОНОЛОГІЙ СОСНИ ЗВЧАЙНОЇ ЗА ДОПОМОГОЮ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Хох А. М., Звягінцев В. Б.

Надано спробу оцінити потенціал використання дендрохронологічної інформації в комбінації з методами багатомірного статистичного аналізу для встановлення регіональної належності соснових пиломатеріалів. Розрахунки параметрів радіального приросту (з точністю до 0,01 мм) виконували за допомогою автоматизованого робочого місця *Dendroexp*. У результаті проведених досліджень було побудовано 85 узагальнених стандартизованих деревинно-кільцевих хронологій (ДКХ). Стандартизація проводилася окремо для кожного дерева з наступним усередненням індексів радіального приросту по об'єкту (тобто за тимчасовими пробними площами) методом простої 5-річної ковзної середньої. Надалі в отриманих хронологіях розглядався проміжок тривалістю в 60 років. Розраховані статистичні параметри, такі як коефіцієнт синхронності, коефіцієнт чутливості та ін., підтвердили той факт, що всі аналізовані ДКХ є репрезентативними, а тому можуть бути використані в дендроекологічних дослідженнях. Для відповіді на питання, чи існують у межах Республіки Білорусь деякі групи/регіони, подібні за динамікою радіального приросту, використовували кластерний аналіз у програмі *Statistica 10.0*. У результаті було виділено 8 кластерів однорідних деревинно-кільцевих хронологій сосни звичайної, подібних за динамікою радіального приросту. Таким чином, за допомогою запропонованого алгоритму кластерного аналізу можна проаналізувати значний масив кількісних дендрохронологічних даних, що, поряд з іншими характеристиками ДКХ (загальною тенденцією графіків, вираженими періодами зноблень, коефіцієнтами кореляції й синхронності та ін.), дозволить із великим ступенем вірогідності вирішувати завдання зі встановлення місця зростання зрубанної деревини сосни й підтвердження декларованого місця її заготовки.

Ключові слова: кластерний аналіз, сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), річні шари, деревинно-кільцеві хронології, місце зростання, судова експертиза, територіальна диференціація.

RESEARCH ON TERRITORIAL DIFFERENTIATION OF TREE-RING CHRONOLOGIES OF ORDINARY PINE BASED ON CLUSTER ANALYSIS

Khokh A. N., Zvyagintsev V. B.

Attempt to evaluate the potential of using dendrochronological information in combination with methods of multidimensional statistical analysis to establish regional belonging of pine lumber is presented. Calculations of the radial increment parameters were performed using the automated workplace *DendroExp* (accuracy to 0.01 mm). As a result of the research, 85 generalized standardized tree-ring chronologies were constructed. Standardization was carried out separately for each tree followed by averaging of radial increase index according to the object (i. e., on temporary trial areas) by of a simple 5-year moving average method. Subsequently, a gap of 60 years was considered in received chronologies. The calculated statistical parameters such as synchronization factor; coefficient of sensitivity, etc., confirmed the fact that all the analyzed tree-ring chronologies are representative and therefore can be used in dendroecological researches. To answer the question if there are some groups/regions

within the Republic of Belarus that similar in dynamics of radial increase have using cluster analysis at the program Statistica 10.0. As a result eight clusters of homogeneous tree-ring chronologies of pine similar in dynamics of radial growth were allocated. Thus, using proposed cluster analysis algorithm a large array of quantitative dendrochronological data can be analyzed which along with other characteristics of tree-ring chronologies (general trends of graphs, expressed periods of oppression, correlation coefficients and synchronism, etc.); it will allow to solve tasks with a high degree of reliability identifying place of growth of felled pine lumber and confirmation of the declared place of its harvesting.

Keywords: cluster analysis, ordinary pine (Pinus sylvestris L.), annual layers, tree-ring chronologies, place of growth, forensic examination, territorial differentiation.