научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://ecopri.ru http://petrsu.ru

Издатель
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

http://ecopri.ru

Т. 11. № 3(45). Сентябрь, 2022

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет
В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. Е. Веселов
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev

Службы поддержки
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20. Каб. 208.
E-mail: ecopri@psu.karelia.ru
http://ecopri.ru

12+ © ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», 2012

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://ecopri.ru http://petrsu.ru

УДК УДК 630*561.24

Географические особенности динамики радиального прироста тополя дрожащего в отдельных регионах Русской равнины

РУМЯНЦЕВ Денис Евгеньевич — *доктор биол. наук, доцент, Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национально-исследовательского университета), dendro15@list.ru*

ВОРОБЬЕВА Наталия Сергеевна — *Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана (национально-исследовательского университета), vorobyeva@bmstu.ru*

Ключевые слова:
осина
годичные кольца
радиальный прирост
дендрохронология
дендроэкология

Аннотация:
Впервые составлены древесно-кольцевые хронологии осины (Populus tremula L.) из разных районов Русской равнины: Москва и Московская область, Калужская область, Тверская область, Республика Мордовия. Выполнен кластерный анализ сходства хронологий, корреляционный анализ сходства, апробирована ранее разработанная учеными Московского государственного университета леса технология идентификации географического происхождения древесины. Установленные закономерности могут лечь в основу формирования системы добровольной сертификации легальности заготовки древесины с использованием кластерных методов анализа дендрологических хронологий. Основным алгоритмом идентификации места происхождения древесины может стать учет коэффициента корреляции локальных участков индексирований хронологий. Само по себе значение этого показателя может быть любым, однако в выборке таких значений максимальное будет характеризовать образцы древесины, имеющие единую групповую принадлежность. Данная технология ранее была широко апробирована при идентификации места происхождения сосны и ели. В данном исследовании она подтверждена на материале хронологий осины, таким образом, можно говорить о том, что она носит достаточно общий характер и имеет широкие перспективы.

© 2022 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Д. В. Тишин

Получена: 22 мая 2022 года Опубликована: 25 сентября 2022 года

Введение

Дендрохронологические исследования базируются прежде всего на анализе колебаний ширины годичного кольца от года к году (Douglass, 1919; Fritts, 1976). При этом широко используются

производные от ширины годичного кольца показатели (Methods of dendrochronology..., 1992), могут применяться более детальные анализы анатомии годичного кольца (Sweingruber, 1992; Ваганов, Терсков, 1977). Исследуя ширину годичного кольца и производные от нее показатели, редко учитывают, что с экофизиологической точки зрения в анализ включаются разные индикаторы в тех случаях, когда идет речь о растениях с разным типом формирования вторичной ксилемы (рассеяннососудистых, кольцесосудистых и хвойных). Годичные кольца растений этих групп сформированы разными анатомическими элементами в разной пропорции, для их формирования и функционирования необходимы разные затраты продуктов ассимиляции, и их линейные размеры априори имеют разный биологический смысл. Специфика формирования радиального прироста у рассеяннососудистых древесных пород остается наименее исследованным вопросом в связи с их худшей различимостью для глаз наблюдателя. Среди основных лесообразующих пород Русской равнины к рассеяннососудистым породам относятся тополь дрожащий, береза повислая, береза пушистая, ольха серая, ольха черная, клен остролистный, липа мелколистная, вяз гладкий, вяз шершавый и некоторые другие.

Цель настоящей работы – анализ специфики изменчивости годичного радиального прироста вторичной ксилемы у тополя дрожащего (*Populus tremula* L.) в отдельных районах Русской равнины и оценка возможности идентификации географического места происхождения древесины осины на основе дендрохронологической информации. Подобного рода исследования до настоящего времени не проводились. А они могут стать важной дополнительной компонентой нашей базы знаний экологии осиновых лесов, хотя об их конкретном значении уместно говорить только в будущем.

Осиновые леса наряду с лесами из березы являются преобладающей формацией, формирующейся после вырубки коренных хвойных лесов. Хозяйственное значение лесов осины растет в связи с ростом потребностей «зеленой энергетики» и необходимости выполнения лесами углероддепонирующей функции. Совершенствование технологий ведения хозяйства в осиновой секции лесов представляет собой актуальную задачу, требующую более глубокого познания экологии ростовых процессов у данного вида. Исследованию роста осины по данным радиального прироста посвящен заметный объем отечественных и зарубежных работ, который, однако, несопоставим с исследованиями, выполненными в хвойных и широколиственных лесах Русской равнины.

Русская равнина является частью Восточно-Европейской равнины. На большей части территории тектонические структуры, формирующие ее фундамент, глубоко погружены под мощные толщи осадочных пород разного возраста, залегающих горизонтально. Поэтому здесь преобладает равнинный рельеф. Русская равнина подвержена воздействию воздушных масс, формирующихся над Атлантическим и Северным Ледовитым океанами. Атлантические воздушные массы приносят на ее территорию значительные количества осадков, создавая благоприятные условия для роста лесов. Количество осадков убывает с северо-запада на юго-восток. Также атлантические массы в течении всего года оказывают смягчающее влияние на климат. Зимой они приносят потепление вплоть до оттепелей, что хорошо выражено в западных районах. Арктический воздух зимой распространяется на всю территорию равнины, вплоть до крайнего юга. Он приносит с собой сухость и похолодание. Летом вторжение арктического воздуха сопровождается похолоданиями и засухами. Поочередное вторжение атлантических и арктических воздушных масс обусловливает неустойчивость погодных явлений и несхожесть сезонов разных лет. В целом климат на большей части Русской равнины умеренно-континентальный. Характерной особенностью Русской равнины является яркое проявление горизонтальной зональности.

Описанные выше факторы обуславливают отличие хронологий одного вида по дендрохронологическим показателям в разных частях ареала на территории Русской равнины. Осиновые леса распространены по всей территории равнины: от зоны северной тайги до зоны лесостепи. В настоящее время на территории Русской равнины в силу исторических причин наблюдается увеличение доли осиновых лесов (Рысин, 2006).

Материалы

Отбор образцов древесины проводился по стандартной методике, описанной и обоснованной в ряде работ (Румянцев, 2010; Матвеев, Румянцев, 2013; Румянцев, Черакшев, 2013). Измерения ширины годичных колец велись с помощью прибора Lintab, для проверки правильности измерений использовалась перекрестная датировка в программе Tsap-Win (Пальчиков, Румянцев, 2010). Анализ данных выполнялся с использованием функций табличного процессора Microsoft Excel и программы STATISTICA 13.0. Характеристика использованных хронологий осины приведена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика используемых хронологий осины

Объект	Область	Число кернов, шт.	Год формирования первого годичного кольца в наиболее длинной хронологии / средняя длина хронологии, годы
Окрестности г. Пикалево	Архангельская	5	1996/19
Центрально-Лесной заповедник	Тверская	21	1909/76
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (древостой с гнилью)	Московская	20	1944/65
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (безгнилевой древостой)	Московская	16	1960/53
Валентиновский питомник МФ МГТУ	Московская	20	1973/33
Измайловский парк, г. Москва	Московская	12	1935/26
Терлецкий парк, г. Москва	Московская	12	1972/37
Памятник природы «Моренный холм Шатрищи»	Калужская	15	1944/54
Мордовский заповедник	Республика Мордовия	28	1934/77
Итого	Z	149	1909/49

Выбор объектов исследования был обусловлен рядом исходных соображений. Мордовский заповедник представляет собой северную границу между лесной и лесостепной зоной, здесь осина, относящаяся к группе мезофитов, должна демонстрировать сильную чувствительность камбиальной активности и продукционного процесса в целом по отношению к изменению засушливости климата от года к году. Древостой осины из окрестностей г. Пикалево Архангельской области на данном этапе исследований выполняет вспомогательную роль благодаря малому числу кернов и малой длине хронологий, но все же определенным образом дендрохронологически характеризует северную границу ареала осины.

Памятник природы регионального значения «Моренный холм "Шатрищи"» расположен в Износковском районе Калужской области. Здесь осина произрастает в условиях, близких к оптимальным для своей экологической ниши, однако своеобразный рельеф и геологическое строение объекта обуславливают специфику динамики радиального прироста данного древостоя. Центрально-Лесной заповедник в Тверской области характеризует наиболее благоприятные условия для роста осины как древесной породы мезофита, аналогичные условия создаются для роста осины в условиях Молокчинского ботанико-энтомологического заказника, расположенного на северо-востоке Московской области. Мордовский заповедник расположен на границе лесной и лесостепной зон и дает характеристику особенностей роста осины на южной границе ареала. Терлецкий и Измайловский лесопарки, так же как и Валентиновский питомник, отражают особенности роста осины в условиях урбанизированной среды с выраженным трендом на антропогенно обусловленное увеличение среднегодовой температуры воздуха в последнее столетие.

Методы

Ширина годичного кольца, так же как и доля поздней древесины в годичном кольце, закономерно изменяется с возрастом. У деревьев, растущих на просторе, после непродолжительного увеличения ширины годичных колец в молодом возрасте прирост достигает максимума и далее монотонно снижается по мере увеличения возраста (Cook, 1985). Этот негативный возрастной тренд частично обусловлен геометрическим эффектом, связанным с тем, что одна и та же площадь проводящей поверхности кольца с возрастом может быть достигнута при меньших значениях ширины годичного кольца в связи с увеличением радиуса ствола и соответственно длины его окружности. Другие факторы, вызывающие проявление данного тренда, – это снижение действующего на камбий в данной точке ствола эффекта апикального доминирования, увеличение расстояния транспорта питательных веществ, гормонов и влаги за счет перемещения кроны вверх по высоте ствола и лимитирование роста за счет исчерпания ресурсов местообитания (Cook, 1985). Также, безусловно, сказывается фактор наследственно детерминированных темпов роста. В результате кривая прироста несет в себе

изменчивость, обусловленную факторами, которые независимы от межгодичных флуктуаций климата. Так как эта кривая тесно связана с увеличением возраста дерева, она получила название возрастного тренда.

Для того чтобы избавиться от возрастного тренда в хронологиях, традиционно применяют определенного рода индексацию (Ваганов и др., 1996; Fritts, 1976; Cook, 1985). Факт необходимости индексации в настоящее время у серьезных исследователей возражений не вызывает. Однако зачастую ведутся бурные дискуссии о корректной форме индексации рядов радиального прироста.

Согласно характеристике, данной Фритцем (Fritts, 1976), индексирование путем нахождения отклонений значения прироста от скользящей средней ценно тем, что не требует биологического основания в выборе функций роста и обеспечивает неспецифическое удаление эффектов воздействия долговременных факторов различной природы. Индекс радиального прироста, таким образом, кроме отдельно оговоренных случаев рассчитывается нами по формуле:

$$It = Wt/Yt,$$

где Wt – ширина годичного кольца в год t,

Yt – средняя ширина годичного кольца за пять лет для года t.

Индексированные хронологии подвергались нами процедуре кластерного анализа в программе STATISTICA 13.0. Целью кластерного анализа является разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в некотором смысле группы, или кластеры (Халафян, 2008). Задача кластерного анализа заключается в том, чтобы на основании данных, содержащихся во множестве X, разбить множество объектов G на m (m-целое) кластеров Q1, Q2, …, Qm так, чтобы каждый объект Gj принадлежал одному и только одному подмножеству разбиения. При этом объекты, принадлежащие одному и тому же кластеру, должны быть сходными, а объекты, принадлежащие разным кластерам, – разнородными.

Решением задачи кластерного анализа являются разбиения, удовлетворяющие критерию оптимальности. Сходство между объектами при кластерном анализе определяется через понятие расстояния между векторами измерений Xi, Xj. Чем меньше расстояние между объектами, тем выше их сходство.

Наиболее часто используемым вариантом оценки расстояния между объектами является «евклидово расстояние» (evclidean distances), вычисляемое по формуле:

$$D_e (X_i, X_j) = (\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2)^{1/2}.$$

Евклидово расстояние – это геометрическое расстояние в многомерном пространстве. Если при анализе имеет смысл придать большие веса более отдаленным друг от друга объектам, то используют такой показатель, как «квадрат евклидова расстояния» (square evclidean distances).

По итогам расчета расстояния между объектами производится объединение их в однородные группы. Принцип работы иерархических (создающих древовидные структуры) процедур состоит в последовательном объединении (разделении) групп элементов – сначала самых близких (далеких), а затем все более отдаленных (близких) друг от друга. Большинство из этих алгоритмов исходит из матрицы расстояний (сходства).

Общий принцип работы агломеративного алгоритма следующий. На первом шаге каждое наблюдение Gi (i = 1, 2, …, n) рассматривается как отдельный кластер. В дальнейшем на каждом шаге работы алгоритма происходит объединение двух самых близких кластеров, и, с учетом принятого расстояния, по формуле пересчитывается матрица расстояний, размерность которой снижается на единицу. Работа алгоритма заканчивается, когда все наблюдения объединены в один класс. Полученная классификация представляется графически в виде дендрограммы.

Программа STATISTICA 13.0 предусматривает возможность использования различных правил иерархического объединения объектов в кластеры. Предыдущий опыт показал, что при кластерном анализе дендрохронологической информации эффективно использовать правило «полных связей». Это дает хорошо интерпретируемые с биологической точки зрения результаты, в т. ч. и при идентификации географического положения древесины. Согласно правилу «полных связей» (complete linkage) два объекта, принадлежащие к одной и той же группе (кластеру), имеют коэффициент сходства, который меньше некоторого порогового значения S. Другими словами, расстояние между двумя точками (объектами) кластера не должно превышать некоторого порогового значения d. Таким образом, d определяет максимально допустимый диаметр подмножества, образующего кластер. Этот метод называют методом наиболее удаленных соседей, т. к. при достаточно большом пороговом значении d расстояние между кластерами определяется наибольшим расстоянием между любыми двумя объектами в различных кластерах.

Выполненные расчеты имели целью получение информации о соответствии между географическим положением древостоя осины и делением группы хронологий на кластеры по признаку сходства кратковременно обусловленной (климатической) компоненты изменчивости радиального прироста.

Еще одним этапом работы была апробация методики идентификации места происхождения древесины на основе корреляционного анализа и учета рангового соответствия значений коэффициентов корреляции. Данная методика была разработана в МГУ леса в 2008–2011 гг. в рамках выполнения НИОКР Рослесхоза (Lipatkin, Rumyantsev, 2016). Суть ее заключается в следующем.

Согласно действующим методикам МВД (Розанов, 1969; Методические…, 1972) идентификация принадлежности пня и ствола организму одного дерева устанавливается на основе пороговых значений коэффициента корреляции. Как ранее показала практика апробации работы системы на обширном материале базы дендрохронологических данных по сосне и ели, не может быть установлен порог значений коэффициентов сходства, в связи с которым может быть диагностирована единая групповая принадлежность стволов деревьев (= установление места произрастания = установление ценопопуляционной принадлежности). Ценопопуляционные нормы этого сходства в настоящее время неизвестны. Для того чтобы их установить, необходимы исследования для разных древесных пород, произрастающих в разных типах леса, в древостоях разного состава для разных географических районов. Теоретической основой данного направления исследований должно стать представление о разном типе пространственной генетической структуры древостоев. Одним из вариантов апробации стало испытание технологии идентификации места происхождения древесины на основе хронологий из древостоев осины разного географического происхождения.

Таким образом, установление пороговых «отсекающих» значений коэффициентов сходства в рамках технологии идентификации ценопопуляционной принадлежности срубленной древесины в настоящий момент времени невозможно. Поэтому технология должна ориентироваться на максимальные значения сходства между эталонной и тестируемой хронологией. Априорно ясно, что сходство между тестируемой и «родной» эталонной хронологией по каждому из отельных параметров стремится к максимуму. Точность подобного рода технологии сильнее зависит от объема выборки использованной для построения тестовой хронологии, также точность идентификации возрастает при сравнительном сопоставлении сходства между эталонной и тестируемой хронологией по ряду параметров.

Результаты

На основании индивидуальных древесно-кольцевых хронологий были построены средние хронологии по ширине годичного кольца, характеризующие динамику радиального прироста в древостое каждого конкретного объекта. Графики, их представляющие, отражены на рис. 1.

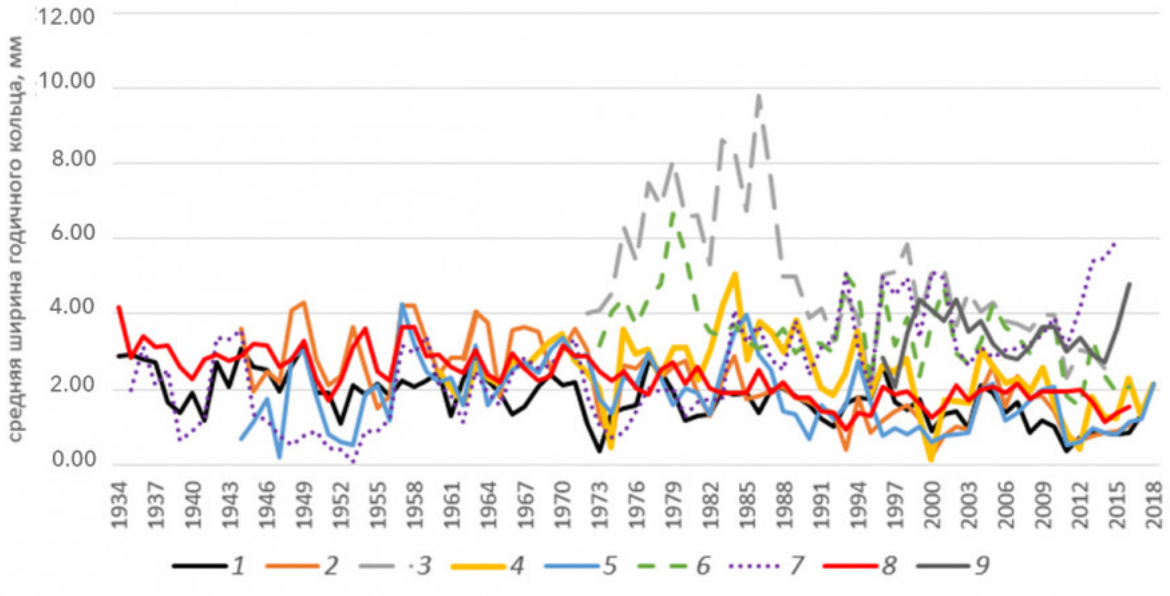

Рис. 1. Динамика радиального прироста в древостоях осины на разных объектах. 1 – Мордовский заповедник; 2 – Молокчинский заказник, древостой с гнилью; 3 – Терлецкий лесопарк; 4 – Молокчинский заказник, древостой без гнили; 5 – Моренный холм «Шатрищи»; 6 – Валентиновский питомник; 7 – Измайловский лесопарк; 8 – Центрально-Лесной заповедник; 9 – Пикалево

Fig. 1. Dynamics of radial growth in aspen stands at different sites. 1 – Mordovian Nature Reserve; 2 – Molokchinsky Nature Reserve, stand with rot; 3 – Terletsky Forest Park; 4 – Molokchinsky Nature Reserve, stand without rot; 5 – Shatrishchi Moraine Hill; 6 – Valentinovsky Nursery; 7 – Izmailovsky Forest Park; 8 - Central Forest Reserve; 9 - Pikalevo

Анализируя графики, легко выделить их отличие по средней ширине годичного кольца, при этом более молодые древостои (более короткие хронологии) дают большие величины радиального прироста. Так, древостой осины из окрестностей Пикалево (Архангельская область) несмотря на свое крайне северное происхождение превосходит по ширине годичного кольца ряд более старых древостоев, расположенных южнее. С возрастом величина прироста постепенно снижается, что является отражением хорошо известного в дендрохронологии возрастного тренда изменчивости годичных колец (Cook, 1985). Ширина годичного кольца сильно варьирует от года к году, что обусловлено разницей погодных условий в разные вегетационные сезоны, а также в течении месяцев так называемого зимнего покоя, предшествующих началу вегетации.

Каждая индивидуальная хронология по ширине годичного кольца была индексирована и на основании индексированных хронологий была рассчитана средняя для каждого древостоя индексированнная хронология. Результаты отражают графики на рис. 2.

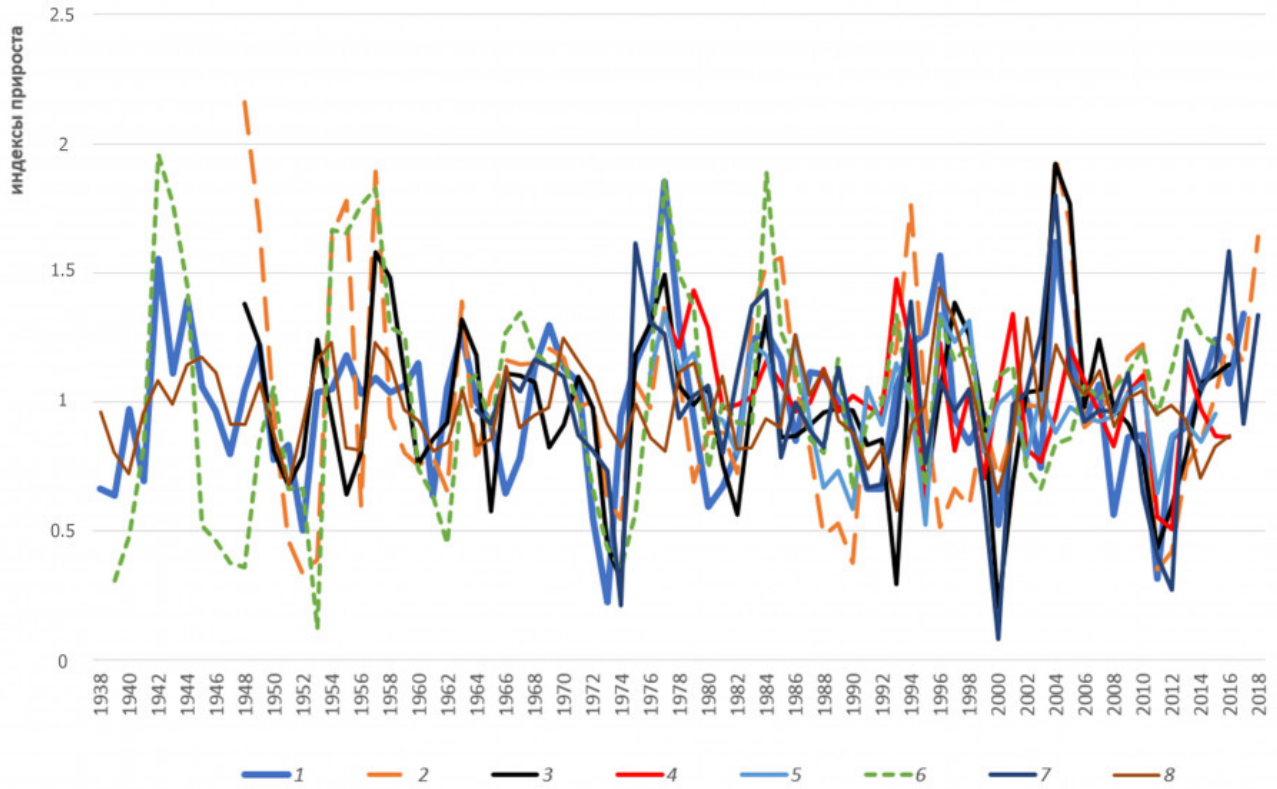

Рис. 2. Динамика индексов радиального прироста для исследуемых древостоев осины. 1 – Мордовский заповедник; 2 – Молокчинский заказник, древостой с гнилью; 3 – Терлецкий лесопарк; 4 – Молокчинский заказник, древостой без гнили; 5 – Моренный холм «Шатрищи»; 6 – Валентиновский питомник; 7 – Измайловский лесопарк; 8 – Центрально-Лесной заповедник

Fig. 2. Dynamics of radial growth indices for the studied aspen stands. 1 – Mordovian Nature Reserve; 2 – Molokchinsky Nature Reserve, stand with rot; 3 – Terletsky Forest Park; 4 – Molokchinsky Nature Reserve, stand without rot; 5 – Shatrishchi Moraine Hill; 6 – Valentinovsky Nursery; 7 – Izmailovsky Forest Park; 8 – Central Forest Reserve

Индексированные хронологии подверглись кластерному анализу на основе расчета квадрата евклидова расстояния и были объединены в группу по правилу полных связей. Результаты расчетов отражает кладиограмма на рис. 3.

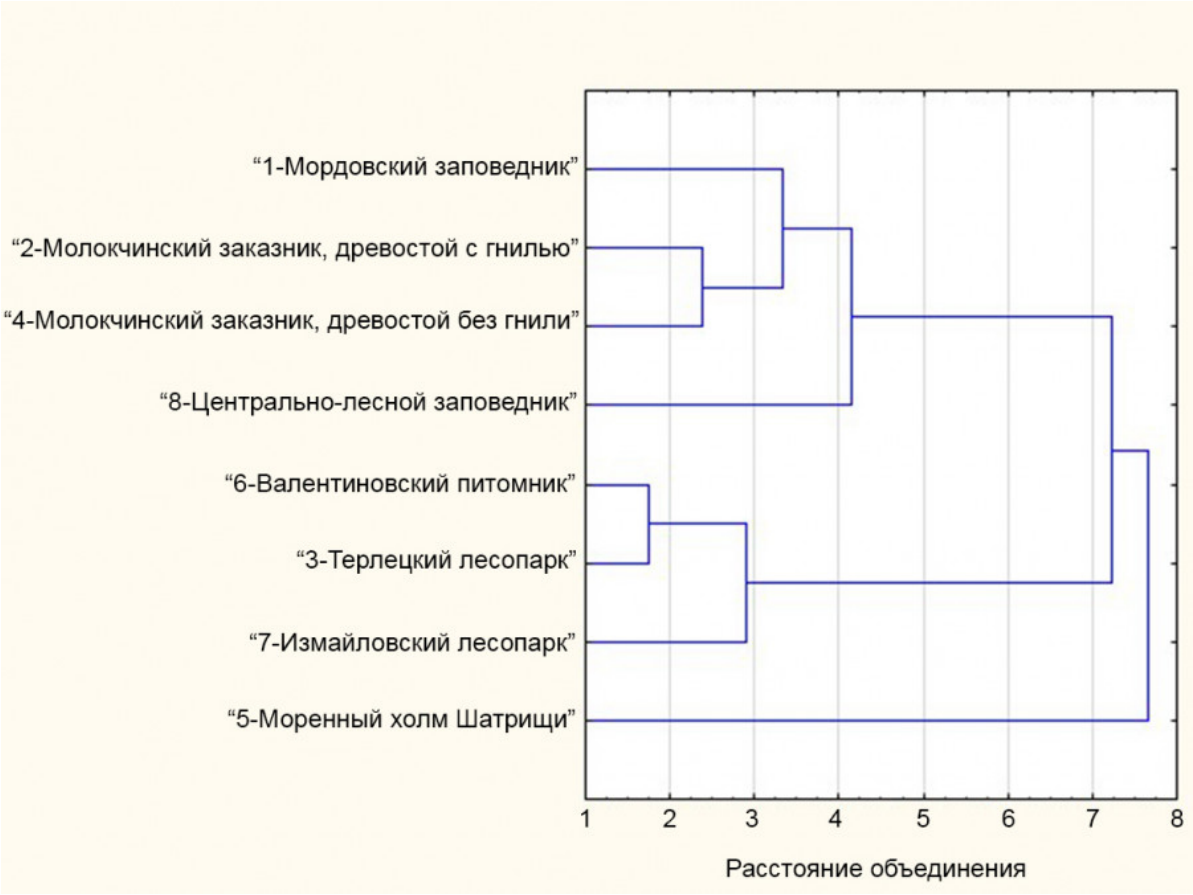

Рис. 3. Результаты кластерного анализа индексированных древесно-кольцевых хронологий осины
Fig. 3. Results of cluster analysis of indexed tree-ring chronologies of aspen

В итоге кластерный анализ дал вполне хорошо биологически интерпретируемые результаты (см. рис. 3). Расположенные поблизости объекты сформировали четко выраженные отдельные кластеры. В один кластер оказались объединены хронологии из одного объекта – Молокчинского заказника. Еще один кластер сформировали хронологии из урбанизированных объектов Москвы и Московской области: Валентиновский питомник, Терлецкий лесопарк, Измайловский лесопарк. В целом один большой кластер сформировали хронологии древостоев из особо охраняемых природных территорий: Молокчинский заказник, Центрально-Лесной заповедник, Мордовский заповедник. Совершенно особое положение по динамике радиального прироста на кладиограмме занимает хронология осины с моренного холма «Шатрищи», что обусловлено крайне специфичным геологическим строением объекта.

Для апробации ранее сформированной технологии идентификации места срубленной древесины пригодны составляющие географически близко расположенных пар хронологий: хронологии из Молокчинского заказника и хронологии из Терлецкого и Измаловского лесопарков г. Москвы, входящих в единую административную единицу Мосприроды. Результаты апробации отражают данные табл. 2 и 3. Сравним происхождение древесины, от которой получены дендрохронологические образцы под кодовыми названиями «Молокчинский заказник, древостой с гнилью» и «Терлецкий лесопарк».

Таблица 2. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, позволяющий идентифицировать происхождение древесины осины из Молокчинского заказника

Хронологии базы данных	Молокчинский заказник, древостой с гнилью
Молокчинский заказник, древостой с гнилью	1.00
Молокчинский заказник, древостой без гнили	0.71
Мордовский заповедник	0.59

Моренный холм «Шатрищи»	0.51
Центрально-Лесной заповедник	0.44
Терлецкий лесопарк	0.26
Валентиновский питомник	0.14
Измайловский лесопарк	0.10

Таблица 3. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, позволяющий идентифицировать происхождение древесины осины из Терлецкого лесопарка

Хронологии базы данных	Терлецкий лесопарк
Терлецкий лесопарк	1.00
Измайловский лесопарк	0.61
Валентиновский питомник	0.51
Молокчинский заказник, древостой без гнили	0.28
Мордовский заповедник	0.28
Моренный холм «Шатрищи»	0.27
Молокчинский заказник, древостой с гнилью	0.26
Центрально-Лесной заповедник	0.16

Подводя итог расчетам (табл. 2, 3), следует отметить, что принципы работы технологии идентификации древесины, разработанные для древостоев ели и сосны, подтверждаются на материале древостоев осины, что говорит об общем характере открытой закономерности и ее высокой практической значимости. Конкретное значение коэффициента корреляции является плохим идентификационным маркером, оно может варьировать для хронологий из двух расположенных поблизости древостоев. Однако в ранжированном ряду из коэффициентов корреляции, рассчитанных для хронологии из отдельно сформированной базы данных, хронологии из двух древостоев, расположенных поблизости, дают максимальное значение из всех наблюдаемых.

Обсуждение

Полученные в нашем исследовании данные подтверждают возможность создания эффективной системы добровольной сертификации срубленной древесины, в т. ч. и для рассеяннососудистых пород. Ранее возможность создания такой системы для идентификации места происхождения древесины хвойных пород уже обсуждалась (Румянцев, 2017; Lipatkin, Rumyantsev, 2017). В ее основе должна лежать периодическая выборочная обязательная поверка декларируемого места происхождения транспортируемой древесины. Для проведения такого рода проверки потребуется выезд группы специалистов на декларируемое место происхождения древесины с целью сбора образцов для построения эталонной хронологии. Обладая небольшой базой данных для сравнительного дендрохронологического анализа, будет достаточно легко подтвердить верность (либо неверность) декларируемого места происхождения срубленной древесины. Лесозаготовитель, заявляющий о легальности заготовки древесины и желающий получить соответствующий сертификат, должен быть готов к проведению внеплановых дендрохронологических экспертиз в цепочке своих поставок с целью проверки предоставленной информации.

Заключение

Таким образом, динамика временных рядов осины на территории Русской равнины отличается географически обусловленной спецификой. Анализ этой специфики обеспечивает возможность идентификации географической близости древостоев осины (определение географического происхождения срубленной древесины), а также экологической специфики условий роста на объектах. Для подобного рода идентификации пригодны процедура кластерного анализа на основе расчета квадрата евклидова расстояния и объединение в группу по правилу полных связей. Также эффективен анализ распределения в ранжированном рядуй коэффициентов корреляции , полученных для тестовой хронологии и эталонными хронологиями базы данных. Установленные закономерности могут быть положены в основу разработки добровольной системы сертификации легальности происхождения древесины.

Библиография

Ваганов Е. А., Терсков А. И. Анализ роста дерева по структуре годичных колец [Analysis of tree growth by

the structure of annual rings]. Новосибирск: Наука, 1977. 94 с.

Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике [Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic]. Новосибирск: Наука, 1996. 245 с.

Матвеев С. М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология [Dendrochronology]. Воронеж: ВГЛТУ, 2013. 140 с.

Методические рекомендации по криминалистической экспертизе объектов растительного происхождения [Methodological recommendations for the forensic examination of objects of plant origin] / Отв. ред. М. И. Розанов. М.: ВНИИСЭ, 1972. 21 с.

Пальчиков С. Б., Румянцев Д. Е. Современное оборудование для дендрохронологических исследований [Modern equipment for dendrochronological research] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2010. № 3 (72). С. 46–51.

Румянцев Д. Е. История и методология лесоводственной дендрохронологии [History and methodology of forestry dendrochronology]. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 109 с.

Румянцев Д. Е. Дендрохронологические экспертизы в лесном хозяйстве [Dendrochronological expertise in forestry] // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2017. № 2 (20). С. 111–114.

Румянцев Д. Е., Черакшев А. В. Дендроклиматическая диагностика состояния сосен секции Strobi в условиях дендрологического сада МГУЛ [Dendroclimatic diagnostics of the condition of the Strobus section pines in the conditions of the MSFU arboretum] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 7 (99). С. 121–127.

Розанов М. И. Теоретические основы идентификации целого по частям [Theoretical foundations of the identification of the whole by parts]: Дис. ... канд. юрид. наук. М.: ЦНИИИСЭ, 1969. 320 с.

Рысин Л. П. Исторический фактор в современной сукцессионной динамике лесов центра Русской равнины [Historical factor in the modern succession dynamics of forests of the center of the Russian Plain] // Лесоведение. 2006. № 6. С. 3–11.

Халафян А. А. STATISTICA Статистический анализ данных [STATISTICA Statistical data analysis]. М.: БИНОМ, 2008. 508 с.

Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919. 127 p.

Cook E. R. A time series analisys approach to tree ring standartization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985. 171 p.

Lipatkin V. A., Rumyantsev D. E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8, № 2. P. 2089–2092.

Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences / E. Cook and L. Kairiukstis auditors. Kluwer Academic Publishers, 1992. 408 p.

Schweingruber F. H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern; Stuttgart; Vienna; Haupt, 1996. 609 p.

Fritts H. C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 576 p.

Geographical features of the dynamics of radial growth of aspen in certain regions of the Russian plain

RUMYANTSEV Denis — *D.Sc., assistant professor, Mytischi Branch of Bauman State Technical University (National Research University), dendro15@list.ru*

VOROBYEVA Natalya — *Mytischi Branch of Bauman State Technical University (National Research University), vorobyeva@bmstu.ru*

Keywords:
aspen
annual rings
radial growth
dendrochronology
dendroecology

Summary:
For the first time, tree-ring chronologies of aspen (Populus tremula L.) from different regions of the Russian Plain were compiled: Moscow and the Moscow Region, Kaluga Region, Tver Region, the Republic of Mordovia. Cluster analysis of the chronology similarity, correlation analysis of similarity was performed, as well as the technology of identifying the geographical origin of wood previously developed by scientists of the Moscow State University of Forest was tested. The established patterns can form the basis for the formation of a system of voluntary certification of the legality of wood harvesting using cluster methods of analysis of dendrological chronologies. The main algorithm for identifying the place of origin of wood can be taking into account the correlation coefficient of local sites of indexing chronologies. By itself, the value of this indicator can be any, but in the sample of such values, the maximum will characterize wood samples that have a single group affiliation. This technology has previously been widely tested in identifying the place of origin of pine and spruce. In this study, it is confirmed by the material of the chronologies of aspen and thus we can say that it is quite general and has broad prospects.

References

Cook E. R. A time series analisys approach to tree ring standartization. A dissertation submitted to the Faculty of the School of renewable natural resources. University of Arizona, 1985. 171 p.

Douglass A. E. Climatic cycles and tree-growth. A study the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Washington: Carnegie institution, 1919. 127 p.

Fritts H. C. Tree rings and climate. London; New York; San Francisco: Academic press, 1976. 576 p.

Halafyan A. A. STATISTICA Statistical data analysis. M.: BINOM, 2008. 508 p.

Lipatkin V. A., Rumyantsev D. E. Dendrochronological technology for identifying a place of timber origin, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8, No. 2. P. 2089–2092.

Matveev S. M. Rumyancev D. E. Dendrochronology. Voronezh: VGLTU, 2013. 140 p.

Methodological recommendations for the forensic examination of objects of plant origin, Otv. red. M. I. Rozanov. M.: VNIISE, 1972. 21 p.

Methods of dendrochronology: application in the environmental sciences, E. Cook and L. Kairiukstis auditors. Kluwer Academic Publishers, 1992. 408 p.

Pal'chikov S. B. Rumyancev D. E. Modern equipment for dendrochronological research, Vestnik Moskovskogo

gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2010. No. 3 (72). P. 46–51.

Rozanov M. I. Theoretical foundations of the identification of the whole by parts: Dip. ... kand. yurid. nauk. M.: CNIIISE, 1969. 320 p.

Rumyancev D. E. Cherakshev A. V. Dendroclimatic diagnostics of the condition of the Strobus section pines in the conditions of the MSFU arboretum, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik. 2013. No. 7 (99). P. 121–127.

Rumyancev D. E. Dendrochronological expertise in forestry, Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. 2017. No. 2 (20). P. 111–114.

Rumyancev D. E. History and methodology of forestry dendrochronology. M.: GOU VPO MGUL, 2010. 109 p.

Rysin L. P. Historical factor in the modern succession dynamics of forests of the center of the Russian Plain, Lesovedenie. 2006. No. 6. P. 3–11.

Schweingruber F. H. Tree-rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Researches. Bern; Stuttgart; Vienna; Haupt, 1996. 609 p.

Vaganov E. A. Shiyatov S. G. Mazepa V. S. Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic. Novosibirsk: Nauka, 1996. 245 p.

Vaganov E. A. Terskov A. I. Analysis of tree growth by the structure of annual rings. Novosibirsk: Nauka, 1977. 94 p.