

ПРИРОСТ СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К.З. Аминова, Р.В. Уразгильдин, А.Ю. Кулагин

Институт биологии Уфимского научного центра Российской Академии наук, Уфа, Россия

Эл. почта: klara-29@mail.ru; urv@anrb.ru; coolagin@list.ru

Статья поступила в редакцию 12.07.2014; принята к печати 10.11.2014

Рассмотрены количественные данные о радиальном приросте стволовой древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях нефтехимического загрязнения в Башкирском Предуралье. Показано, что на границе ареала распространения дуб черешчатый становится более чувствительным к техногенному воздействию и климатическим изменениям, а при усилении степени загрязнения радиальный прирост достоверно снижается. В условиях техногенного загрязнения в онтогенезе дуба значительно сокращается виргинильный период, тогда как остальные онтогенетические периоды практически не изменяются. Радиальный прирост поздней древесины дуба полностью отражает динамику изменения общего радиального прироста; радиальный прирост ранней древесины для дуба является малоинформативным параметром. Поскольку дуб в Предуралье произрастает на границе ареала своего распространения, в динамичных условиях окружающей среды с критическими для него природно-климатическими и техногенными характеристиками, при лесовосстановлении и озеленении промышленных зон следует отказаться от широкого использования дуба черешчатого в пользу других древесных растений.

Ключевые слова: радиальный прирост, промышленное загрязнение, депрессия прироста, онтогенетические периоды, коэффициент чувствительности.

RADIAL INCREMENT OF PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) STEM WOOD UNDER ANTHROPOGENIC POLLUTION

K.Z. Amineva, R.V. Urazgildin, A.Yu. Kulagin

Institute of Biology of Ufa Research Center, Ufa, Bashkiria, The Russian Federation

E-mail: klara-29@mail.ru; urv@anrb.ru; coolagin@list.ru

Quantitative data on oak stem wood radial increment were obtained in the Urals foothills area of Bashkiria impacted by petrochemical pollution. It has been shown that oak is most sensitive to anthropogenic and climatic influences at the periphery of its areal and that its radial increment significantly decreases with increasing pollution. The virginal period significantly shortens under anthropogenic pollution, whereas other ontogenetic periods remain virtually unaffected. Oak late stem wood radial increment is fully responsible for changes in the total stem wood increment, whereas changes in the early stem wood increment are of low informative value. Because oak in Urals foothills is confined to the periphery of its natural areal, its wide use for reforestation and gardening in industrial zones impacted by anthropogenic pollution and drastic climatic changes is unreasonable, and preference should be given to other woody plants.

Keywords: radial stem wood increment, industrial pollution, pedunculate oak, depression of increment, ontogenetic periods, sensitivity coefficient.

Введение

Радиальный прирост стволовой древесины лесобразующих древесных растений – сложный интегральный показатель, в формировании которого участвуют генотип каждого конкретного растения и комплекс факторов внешней среды. При этом ни индивидуальные генетические особенности, ни отдельные экологические факторы, за исключением катастрофических событий, не определяют полностью реально наблюдаемую изменчивость радиального прироста [1, 3, 4, 6, 14]. Результаты описанных реакций прироста различных пород деревьев на уровень промышленного загрязнения окружающей среды позволяют использовать дендрохронологический метод при биоиндикации состояния лесных насаждений. В последние 20 лет заметно повысился интерес к установлению прямой причинно-следственной связи климат – годовое кольцо [11, 31]. Основными климатическими показателями, оказывающими влияние на прирост, являются температура и осадки. В то же

время выполнены исследования о соотношении влияния климатических и антропогенных факторов на радиальный прирост в пределах отдельных древостоев, и в ряде случаев указывается на увеличение радиального прироста стволовой древесины в условиях повышенного загрязнения [1, 8, 10, 17, 18, 25, 29]. Однако в большинстве случаев подобная динамика носит краткосрочный характер [20, 22, 27, 28]. Устойчивое длительное увеличение радиального прироста стволовой древесины в условиях повышенного хронического загрязнения не обнаружено [20]. Процесс снижения прироста обычно сопровождается увеличением участия поздней древесины в годовом кольце [5, 10, 14, 23, 31].

Быстрое развитие промышленности вызывает загрязнение окружающей среды, а в связи с этим и снижение продуктивности лесных фитоценозов. К примеру, в ельниках и сосняках до начала работы никелевого завода прирост колебался: максимумы прироста были связаны с повышением температуры

воздуха, а минимумы – ее понижением. С началом действия заводов прирост уменьшился на 40–60% в ельниках и 30–50% в сосняках [22]. У лиственницы Гмелина (*Larix Gmelii* L.) с началом развития металлургического комбината прирост уменьшился на 49% [10], а у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного загрязнения наблюдается первоначальное увеличение прироста, а затем его уменьшение и нарушение цикличности [15]. У тополей в районе промышленного загрязнения г. Уфы было обнаружено, что величина и изменчивость радиального прироста имеет видовую специфику: наибольшим радиальным приростом из исследуемых видов тополей характеризуется тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), наименьшим – тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), а наибольшее варьирование величины годичного прироста отмечено у тополей бальзамического и черного (*Populus nigra* L.) [25]. При этом в настоящее время, в связи с изменениями природно-климатических условий, возможны значительные изменения в состоянии и структуре древостоев, сопровождающиеся гибелью одних и успешным возобновлением и ростом других лесообразующих видов. Информация об особенностях радиального прироста дуба черешчатого в зоне хронического интенсивного техногенного загрязнения носит фрагментарный характер. Экологический потенциал дуба черешчатого, как одного из лесообразующих древесных видов, необходимо оценить с точки зрения перспективности его использования при лесовосстановлении.

Онтогенез дуба включает следующие последовательные возрастные и структурные физиологические периоды: латентный, виргинильный, генеративный и сенильный. Каждому из периодов соответствует определенное онтогенетическое состояние. Латентный – семена, желуди. Виргинильный период обычно имеет состояния: проростковое, ювенильное, иматурное, виргинильное. В этот период развития растения полностью освобождаются от палеоморфных структур, формируются настоящие листья, стволовая древесина, перидерма, крона, разветвленная корневая система, возрастает резистентность тканей и стабильность протекания физиолого-биохимических процессов. Генеративный период проходит в молодом, среднем и старом генеративном состоянии. Этот период характеризуется высокой скоростью роста, увеличением накопления биомассы и активным приростом и плодоношением дуба. Сенильный период обычно растянут на несколько десятков лет и проходит в субсенильном, сенильном и отмирающем состояниях. В этом периоде наблюдается сокращение регенерационных способностей, происходят структурные и физиологические изменения, приводящие к снижению прироста, усилению деструктивных пропорций и снижению устойчивости к воздействию окружающей среды. Переход деревьев в каждое последующее состояние и прохождение всех периодов онтогенеза возможно лишь при наличии оптимальных условий, необходимых и достаточных для роста и развития растений [1, 5, 7, 16, 26].

Для выявления возрастных особенностей роста древесных растений ряды и серии радиального прироста преобразуются в ряды и серии прироста по площади поперечного сечения ствола, динамика которого наглядно отражает специфику накопления стволовой

биомассы деревом в его онтогенезе [7, 16, 28]. Для выделения на кривой площади поперечного прироста участков со сходной динамикой изменения прироста используют логарифмирование, которое подтверждает наличие этапов с определенной скоростью роста, а также переходов между ними, когда скорость роста резко изменяется [5, 11, 16, 24, 28]. Данные участки со сходной динамикой изменения прироста определяют онтогенетические периоды растений, а переходы между ними – границы периодов. Изломы в пределах онтогенетических периодов указывают на стрессовое воздействие внешних факторов [7, 16].

Цель настоящей работы – оценить динамику прироста стволовой древесины дуба черешчатого, произрастающего на восточной границе ареала в условиях хронического техногенного загрязнения окружающей среды Уфимского промышленного центра (УПЦ).

Материал и методы исследования

Объектом исследований служили естественные древостои дуба черешчатого, произрастающие в пределах зеленой зоны г. Уфы. На протяжении многих лет дубравы г. Уфы находятся в зоне интенсивного техногенного загрязнения. Объем выбросов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников в 2013 г. увеличился на 58,9 тыс. тонн в сравнении с 2012 г. и составил 379,4 тыс. тонн. Вклад автотранспорта в эту величину – 247,2 тыс. тонн, или 65%, что на 27 тыс. тонн больше, чем в 2012 г. Ведущие отрасли промышленности: нефтеперерабатывающая, включающая в себя три нефтеперерабатывающих завода – ОАО «Уфанефтехим», ОАО «Уфимский НПЗ», ОАО «Ново-Уфимский НПЗ»; химическая, крупным представителем которой является ОАО «Уфаоргсинтез»; машиностроение и металлообработка, представленные ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», и др. Основной вклад в загрязнение атмосферы города Уфы вносят предприятия нефтеперерабатывающей отрасли – 84,4%, что составляет 33% от общего объема выбросов стационарных источников Республики Башкортостан и 8% от всех нефтеперерабатывающих предприятий России. Объем выбросов от нефтеперерабатывающих заводов в 2013 г. составил 34,147 тыс. тонн. В расчете на одного жителя города объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в 2012 г. составил 0,351 тонны. Основные загрязнители воздушного бассейна г. Уфы, превышающие ПДК: фенол, толуол, аммиак, формальдегиды, сернистый газ, окислы азота, сероводород [9]. На рис. 1 представлены поля концентрации некоторых загрязняющих веществ УПЦ, из которого (рисунка) видно, что, несмотря на преобладание в районе исследования южных ветров, выбросы промышленных предприятий довольно далеко распространяются в южном направлении с постепенным уменьшением концентрации, покрывая значительную часть городской зоны.

Основываясь на приведенных выше данных о загрязненности атмосферы, а также в зависимости от удаленности от нефтехимических предприятий и степеней их воздействия, район исследования был условно разделен на 3 зоны (рис. 2): зона сильного загрязнения, зона слабого загрязнения и контроль [25]. После проведения рекогносцировочных обследований на территории исследования было выделено три

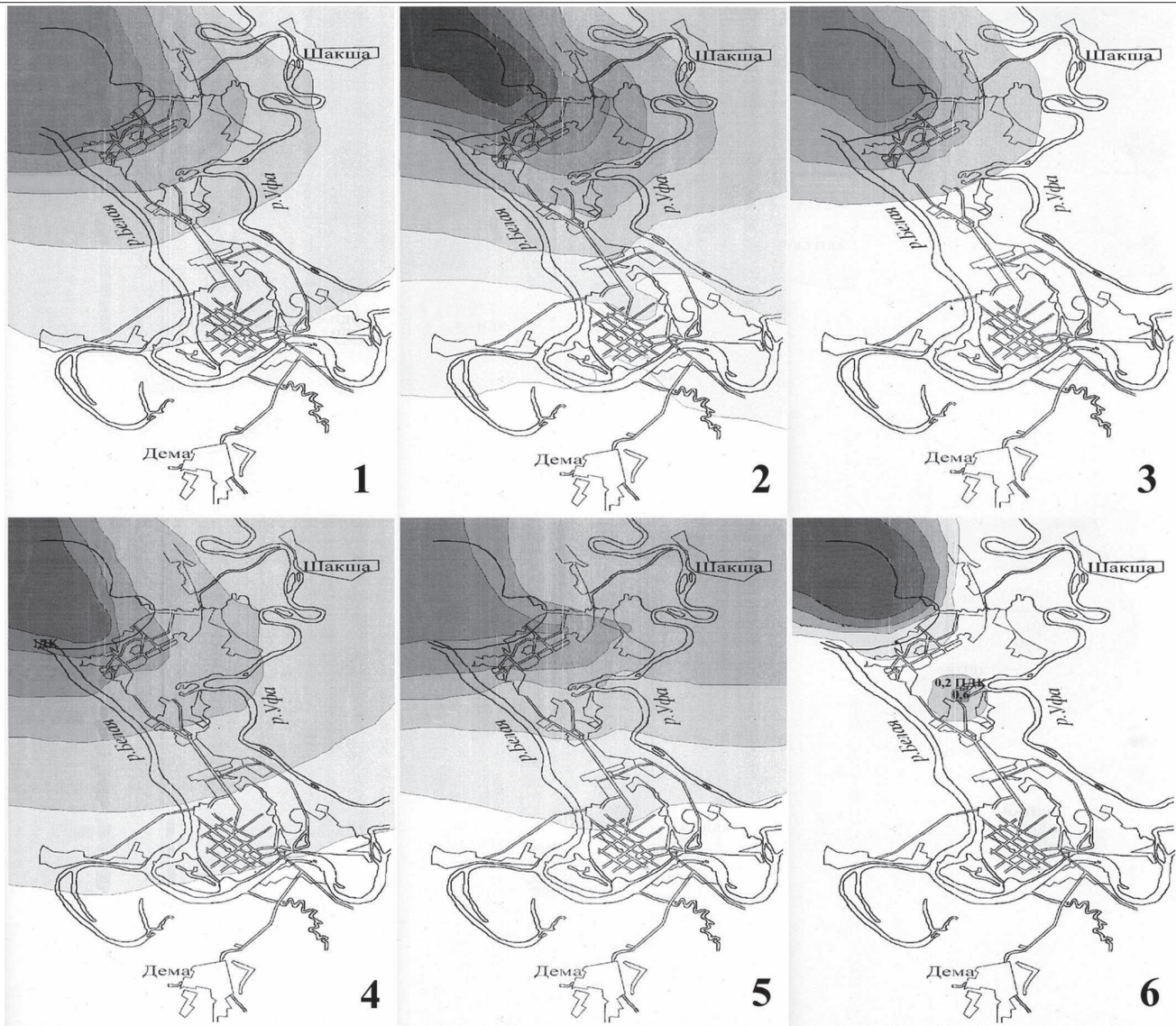


Рис. 1. Поля концентраций некоторых загрязняющих веществ на территории УПЦ: 1 – углеводороды; 2 – двуокись серы; 3 – кислоты (серная, соляная, азотная); 4 – сероводород; 5 – пятиокись ванадия; 6 – бутанол (по данным [9])

дубовых древостоя (по одному в каждой зоне), наиболее близких по возрасту (в пределах класса возраста), условиям произрастания и таксационным показателям, в которых были заложены пробные площади: ПП 1 – в зоне сильного техногенного загрязнения в 30 м от нефтеперерабатывающих заводов, ПП 2 – в жилой зоне в 15 км от заводов (зона слабого загрязнения), ПП 3 – в южной части города, 50 км от нефтеперерабатывающих заводов (контроль).

Древостои дуба представлены низкополнотными куртинами порослевого происхождения, класс бонитета II–III, и имеют средний возраст 61–70 лет, что соответствует средневозрастной группе для твердолиственных пород. Тип леса – сухая кленово-липовая дубрава. Средний диаметр дуба в районе исследования – 26 см, высота – 18 м. Подрост густой, преимущественно клен и липа, подрост редкий – рябина и лещина. Таксационные описания пробных площадей представлены в табл. 1.

Как показал анализ относительного жизненного состояния (по методике Алексева В.А. с соавторами [2]), древостои дуба в зоне сильного загрязнения относятся к категории «сильно ослабленные». Ос-

новные диагностические признаки ухудшения состояния – значительное повреждение суммарной листовой поверхности (более 40%), снижение густоты кроны (до 50%) и наличие мертвых сучьев в верхней части кроны (до 55%). В зоне слабого загрязнения древостои дуба отнесены к категории «ослабленные» (основным диагностическим признаком ухудшения состояния является только снижение густоты кроны до 60%). В контроле древостои соответствуют категории «здоровые» (диагностические признаки ухудшения состояния незначительны).

Анализ данных о вспышках непарного шелкопряда на территории Башкирии с 1970 г. показал, что фазы кульминации массового размножения наблюдались в 1975–1979, 1985–1989, 1995–1998 гг., а большая часть площадей очагов находилась в Предуралье. Во всех исследуемых зонах в древостоях дуба наблюдалось неоднократное массовое размножение насекомых-вредителей: непарный шелкопряд (*Lymantria dispar* L.) – 1942–1944, 1950–1956, 1961, 1978–1982, 1996–1998, 2010–2013 гг., кольчатый шелкопряд (*Malacosoma Neustria* L.) – 1947–1950, 1967, 2003 гг., майский хрущ (*Melolontha melolontha* L.) – 1987 г. [13, 19].

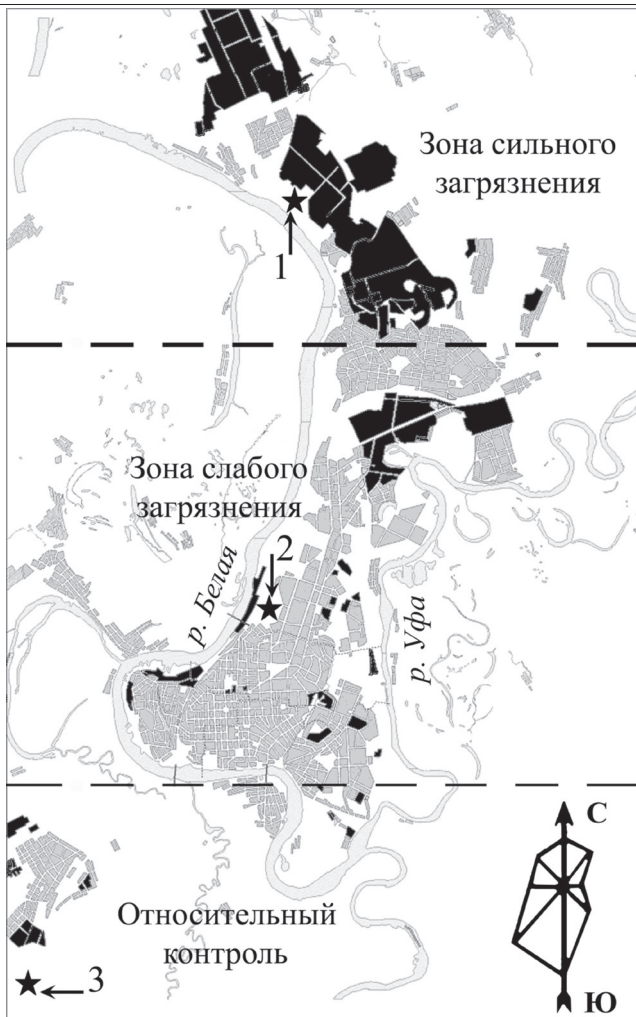


Рис. 2. Схема разделения г. Уфы на зоны загрязнения и расположение пробных площадей. Условные обозначения: черные блоки – территория промышленных предприятий; серые блоки – кварталы жилой селитебной зоны; пунктирные линии – линии условного разделения территории исследования на зоны загрязнения; звездочки с номерами 1, 2, 3 – места расположения пробных площадей и их номера

На конец 2004 г. очаги непарного шелкопряда зарегистрированы в 13 лесхозах на общей площади 126844 га, и в сочетании с благоприятными погодными условиями для развития непарного шелкопряда это привело к полному объединению древостоев и дальнейшему росту очага и миграции особей вредителя на прилегающие территории [19, 21].

Дендрохронологические исследования и выбор модельных деревьев на конкретных участках осуществлялись по общепринятой методике [4, 14, 24]. На каждой пробной площади было отобрано 20–25 модельных деревьев одного класса возраста. Для установления возраста древостоев и измерения ширины годичных колец у каждого модельного дерева на высоте 0,5 м с помощью возрастного бурава Suunto (Finland) отбирались керны [4, 11, 24]. Для датировки и измерения ширины годичных колец использовали стереоскопический микроскоп-бинокляр МБС-1, снабженный окуляр-микрометром и измерительной лупой с точностью измерений 0,05 мм. По данным измерений абсолютного радиального прироста каждого дерева проводится точная датировка годичных колец при помощи метода перекрестной датировки [24]. Измерения проводились от коры к сердцевине древесины. Последнее годичное кольцо (год взятия образца) измеряли, но в расчеты не включали. Измеряли и анализировали ширину ранней, поздней древесины и общую ширину годичного кольца. Поскольку в рядах изменчивости абсолютных величин прироста деревьев содержатся самые различные неклиматические сигналы (возрастные изменения, влияние почвенно-грунтовых условий, конкурентные взаимоотношения, воздействие различных катастрофических факторов), то в дендрохронологии разработана специальная методика, позволяющая исключать или, по меньшей мере, сильно снижать их влияние при помощи вычисления индексов прироста. Обычно индекс прироста выражается в процентах (%). Однако перевод значений прироста приводит к неточностям и может привести к ошибкам, поэтому наши данные представлены в абсолютных значениях.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методами дисперсионного, корреляции-

Табл. 1

Таксационная характеристика пробных площадей в древостоях дуба черешчатого

Состав древостоя	Тип леса/ Тип почвы	Возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запасы дуба на пробной площади по категориям жизненного состояния (м ³)					Относительное жизненное состояние древостоя (L _n , %/ категория)
					Здоровые	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Сухостой	
8Д 1Лп 1Кл + В	Сухая клено-липовая дубрава (Д ₁)/темно-серые лесные	61	24	18	–	6,96	13,14	1,26	2,35	43/сильно ослабленные
6Д 4Лп + В ед Кл	Сухая клено-липовая дубрава (Д ₁)/темно-серые лесные	71	32	18	9,13	11,38	1,27	–	0,44	79/ослабленные
8Д 2Лп + Б	Сухая клено-липовая дубрава (Д ₁)/темно-серые лесные	72	32	19	20,03	6,76	–	–	0,59	91/здоровые

онного и регрессионного анализов с применением пакетов программ Microsoft Excel 2010, Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Для оценки влияния погодных условий на прирост сопоставлены дендрохронологические параметры со среднелетними данными по метеостанции г. Уфы (рис. 3). Среднелетняя температура воздуха в период 1941–2013 гг. составляет +16,9 °С, амплитуда температур – 6,3 °С. Самое холодное лето было в 1969 г. (среднелетний минимум +14 °С), самое теплое – в 2010 г. (среднелетний максимум +20,3 °С). Среднелетняя сумма осадков в период 1966–2010 гг. составляет 53,8 мм.

Из анализа радиального прироста стволовой древесины (рис. 4) следует, что: изменение климатических факторов (см. рис. 3) влечет за собой изменение величины радиального прироста во всех рассматриваемых зонах. Наиболее четко оно прослеживается в 1969, 1973, 1981, 1989, 1998, 2003, 2010 гг., причем максимумы прироста совпадают с периодами значительного повышения температуры воздуха, а минимумы – с периодами ее понижения, но также имеются и периоды расхождения в 1972, 1991, 1996 гг. Сопоставление метеорологических данных в благоприятные и неблагоприятные климатические периоды совместно с радиальным приростом дает возможность установить влияние степени промышленного загрязнения на радиальный прирост древесины. Анализ климатического отклика обобщенных хронологий проводится с помощью расчета коэффициентов корреляций (R_s) между средними показателями радиального прироста и среднелетними значениями осадков и температуры воздуха за период, в течение которого возможно влияние климатических факторов на годичный радиальный прирост древесины [11, 24]. Коэффициент корреляции радиального прироста и среднелетних температур показал, что в зоне сильного загрязнения между исследуемыми параметрами существует сильная отрицательная связь ($R_s = -0,84$), в зоне слабого загрязнения статистическая взаимосвязь средняя ($R_s = -0,43$), а в контроле – слабая ($R_s = -0,35$). Обнаруженные связи считаются достоверными при уровне значимости $p = 0,05$ ($t_{крит} = 0,234$). При усилении степени загрязнения наблюдается увеличение зависимости прироста от температуры. Анализ корреляции радиального прироста стволовой древесины и осадков выявил, что между этими показателями взаимосвязь очень

слабая во всех зонах: в зоне сильного загрязнения $R_s = 0,17$; в зоне слабого загрязнения $R_s = 0,08$; в контроле $R_s = 0,15$. Наименьшая зависимость прироста от осадков наблюдается в зоне слабого загрязнения.

У дуба черешчатого на всех исследуемых территориях наблюдается неравномерное, скачкообразное изменение прироста стволовой древесины. В контроле максимальный прирост приходится на период ранней стадии онтогенеза до 28 лет (наибольший в 1966–1967 гг. – 2,7 мм). В зоне слабого загрязнения максимальный прирост дуба приходится на период до 27 лет (максимум в 1967–1968 гг. – 2,75 мм). В зоне сильного загрязнения – на период до 16 лет (максимум в 1967–1968 гг. – 2,37 мм). Древостои дуба в зоне сильного загрязнения характеризуются более низким показателем годичного радиального прироста в виргинильный период, чем в других зонах (различия средних значений радиального прироста зоны сильного загрязнения и контроля достоверны при уровне значимости $p = 0,05$ ($t_{табл} = 1,98$, $t_{эмп} = 2,3$ по критерию Стьюдента)), что подтверждает негативное влияние промышленного загрязнения на раннем этапе роста растений и неустойчивость молодняков дуба к высокому уровню загрязнения и к условиям межвидовой конкуренции [26]. Это приводит к ослаблению относительного жизненного состояния дуба. У ослабленных деревьев наблюдается заражение дендропатогенными грибами и энтомофитными вредителями. Наблюдаются очаги заражения дуба с заметными и сильными повреждениями как первичными вредителями (широколопастная дубовая галлица *Macrodiplosis dryobio* L., дубовая зеленая листовёртка *Tortrix viridana* L., массовое минирование молью листьев дуба *Dialectica simloniella* L., желудевый долгоносик *Curculio grandium* L.), так и вторичными вредителями (единичное появление желтопятнистого глазчатого усача *Mesosa myops* L., дубовой узкотелой златки *Agrilus argustulus* L.) [19].

Период с 1969 по 1975 г. характеризуется неблагоприятными природными условиями (низкая температура воздуха, малое количество осадков, вспышка насекомых-вредителей [13, 21]), что повлекло во всех зонах депрессию и снижение межзональных различий прироста, составившего 1,75 мм/год в зоне сильного загрязнения и 2 мм/год в зоне слабого загрязнения и в контроле. На этом промежутке времени наблюдается синергетическое действие промышленного загрязнения и климатических условий в зоне сильного загрязнения: низкий показатель радиально-



Рис. 3. Динамика климатических показателей района исследований

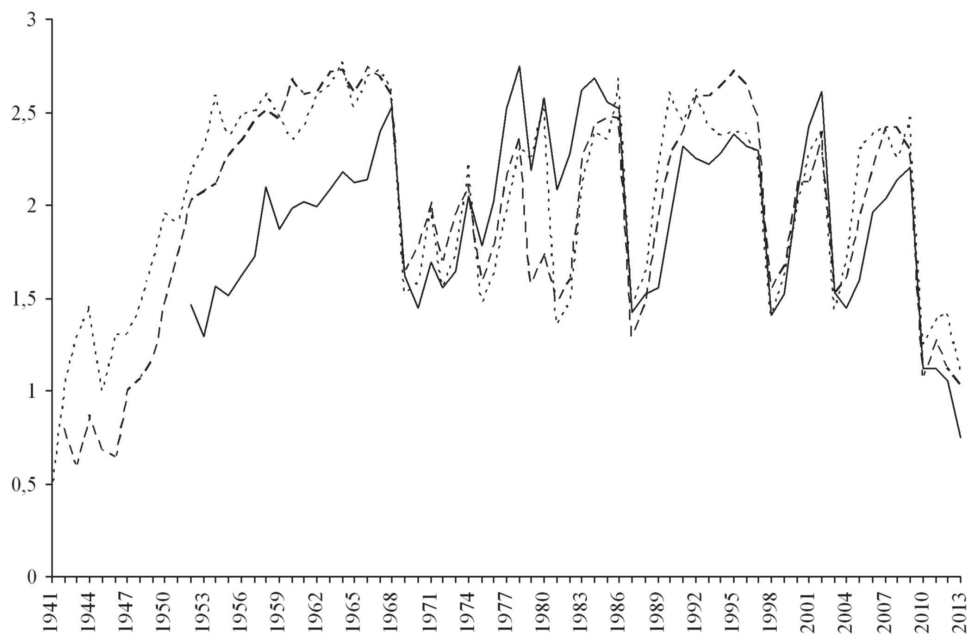


Рис. 4. Динамика радиального прироста древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, мм/год.

Здесь и далее условные обозначения: — — зона сильного загрязнения; - - - - - зона слабого загрязнения; — контроль

го прироста можно объяснить увеличением количества промышленных выбросов в период интенсивной промышленной деятельности нефтехимических предприятий.

В последующем генеративном этапе развития наблюдается уменьшение прироста древесины в контроле и зоне слабого загрязнения: максимальный прирост в 1986 г. – 2,44 мм, в 1986 г. – 2,43 мм/год соответственно. В зоне сильного загрязнения, напротив, наблюдается значительно больший прирост стволовой древесины, чем в других зонах, вследствие высокого жизненного потенциала деревьев дуба, относящихся к средневозрастной группе, который компенсирует неблагоприятное промышленное загрязнение [26], но лишь на кратковременный отрезок времени. Наибольший прирост в зоне сильного загрязнения приходится на 1978 г. – 2,59 мм и 1984–1985 гг. – 2,56 мм, что, возможно, связано с благоприятным действием углеводородного загрязнения, как внекорневой подкормки, конкретно на данном этапе развития дуба. Достоверность различий средней ширины годичного прироста зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента, позволяет считать расхождение достоверным при $p = 0,05$ ($F_{\text{расч}} = 2,05 > F_{\text{табл}} = 1,98$).

У дуба наблюдается уменьшение радиального прироста с 50 лет во всех исследуемых зонах, что объясняется переходом к следующему периоду онтогенеза и естественным возрастным снижением прироста. Наибольший прирост в контроле приходится на 1990–1992, 2004–2005, 2006–2009 гг., в зоне слабого загрязнения – на 1991–1993, 1993–1997, 2008–2009 гг. В зоне сильного загрязнения наблюдается значительно меньший прирост стволовой древесины, чем в других зонах. Наибольший прирост в зоне сильного загрязнения приходится на 1991–1993, 1996–1997, 2001–2003, 2008–2009 гг. Различия средних значений радиального прироста зоны сильного загрязнения и контроля достоверны при уровне значимости $p = 0,05$ ($t_{\text{табл}} = 1,98$, $t_{\text{эмп}} = 2,14$ по критерию Стьюдента).

Для установления связей между хронологиями радиальных приростов вычисляется коэффициент синхронности S , разработанный В. С. Мазепой. Этот коэффициент оценивает число однонаправленных изменений от года к году между двумя хронологиями. В наших исследованиях для синхронности между хронологиями радиальных приростов в зоне сильного загрязнения и в контроле $S = 76\%$. Это соответствует средней синхронности изменения радиального прироста, что подтверждает значительное влияние внешних условий на данный параметр.

В природе события в своих существенных чертах повторяются через некоторый, не обязательно строго равномерный, промежуток времени, то есть проходят через циклы [6, 14, 15, 24]. При установлении вековой цикличности привлекают индивидуальные хронологии максимальной длительности и используют метод среднего сглаживания. Наличие цикличности считается доказанным только в том случае, когда выявлено не менее трех циклов [24]. О наиболее благоприятных годах для роста деревьев можно судить только по ярко выраженным максимумам и минимумам графика прироста [15, 17, 18]. В динамике радиального прироста дуба черешчатого ясно прослеживается 20-летняя цикличность: 1950–1969, 1969–1987 и 1987–2010 гг. Проявляется эта цикличность в схожести характера увеличения прироста в начале периодов и резком падении в конце. Характерной особенностью является увеличение глубины «депрессий» внутри указанных периодов по мере увеличения возраста деревьев. Например, для зоны сильного загрязнения эти сходные углубляющиеся «депрессии» проявляются в 1959–1979–1998 и в 1965–1981–2004 гг. В других зонах эти сходные углубляющиеся «депрессии» проявляются практически в те же годы, кое-где с небольшим опережением или отставанием. Кроме того, 20-летняя ритмичность соответствует разделению жизненного цикла дуба на классы возраста – у дуба класс возраста составляет 20 лет. Во всех исследуемых условиях прослеживается тенден-

Коэффициент чувствительности рядов радиального прироста дуба черешчатого в условиях УПЦ

Зона загрязнения	Годы							
	1969	1975	1979	1987	1998	2003	2010	2013
Зона сильного загрязнения	0,44	0,14	0,23	0,56	0,48	0,52	0,65	0,35
Зона слабого загрязнения	0,45	0,28	0,40	0,63	0,46	0,44	0,73	0,28
Контроль	0,53	0,41	0,52	0,58	0,46	0,51	0,55	0,24

ция к увеличению радиального прироста стволовой древесины к 1967 г., что связано с переходом дуба ко II классу возраста (период активного роста и продуцирования) и последующее уменьшение с 1998 г., которое объясняется естественным уменьшением прироста при увеличении возраста.

В зоне сильного загрязнения наблюдается частое выпадение годовых колец. Такие серии колец называются «чувствительными» [4, 11, 14, 24]. Коэффициент чувствительности (КЧ) является важным показателем, при помощи которого можно отбирать виды древесных растений и местообитания, наиболее пригодные для дендрохронологического анализа. Чем выше коэффициент, тем более сильный климатический сигнал содержится в древесно-кольцевых хронологиях [4, 24].

В зоне сильного и слабого загрязнения у КЧ прослеживается относительно одинаковая тенденция: в начальном периоде роста КЧ меньше, и к концу изучаемого периода он значительно увеличивается, что говорит о более сильной подверженности радиального прироста воздействию антропогенного фактора, наряду с климатическими изменениями (табл. 2). В контроле КЧ сравнительно одинаков за весь период исследования, что позволяет сделать вывод о незначительном влиянии факторов окружающей среды. Таким образом, снижение радиального прироста стволовой древесины дуба черешчатого при усилении степени загрязнения и выявленные периоды «депрессий» вызваны воздействием техногенного фактора.

График изменения площади прироста дуба полностью отражает динамику общего прироста стволовой

древесины (рис. 5). Наименьшие значения площади прироста зафиксированы на ранней стадии онтогенеза – в виргинильный период, а затем постепенное его увеличение вследствие перехода в генеративный период во всех зонах. С 2010 г. наблюдается уменьшение площади прироста, что объясняется старением и началом перехода в сенильный (пострепродуктивный) период. За весь рассматриваемый период для дуба во всех зонах характерно естественное увеличение площади прироста древесины. Наибольшая суммарная площадь общего прироста дуба наблюдается в контроле (688,04 см²) и зоне слабого загрязнения (628,79 см²), наименьшая – в зоне сильного загрязнения (456,73 см²).

Как видно из графика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения дуба, в зоне сильного загрязнения в виргинильном периоде наблюдается глубокая «депрессия» прироста (рис. 6). Необходимо отметить более быстрое прохождение дубом виргинильного периода в зоне сильного загрязнения (с 1954 по 1967 г.), чем в контроле и зоне слабого загрязнения (с 1945 по 1967 г.).

Снижение величины десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения в зоне сильного загрязнения в период с 1968 по 1970 г. демонстрирует угнетающее воздействие промышленного загрязнения, так как в зоне слабого загрязнения и в контроле наблюдается увеличение прироста по площади поперечного сечения. Усиленный рост и стабилизация прироста дуба в зоне сильного загрязнения наблюдается при переходе из молодого генеративного состояния в средневозрастной генеративный период к 1977 г. Излом, происходящий на 1979–1981 гг. во

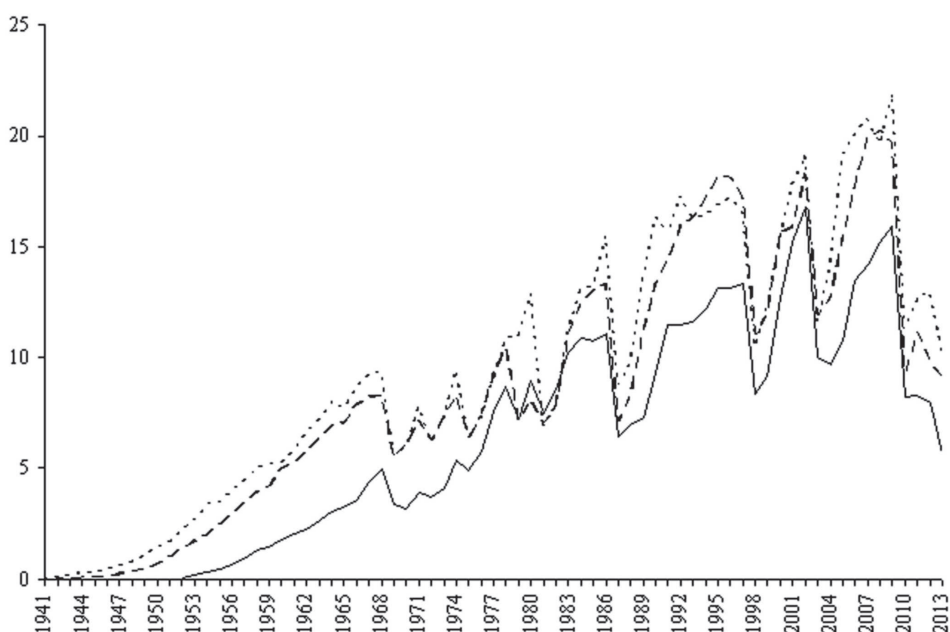


Рис. 5. Изменение площади общего прироста древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, см²

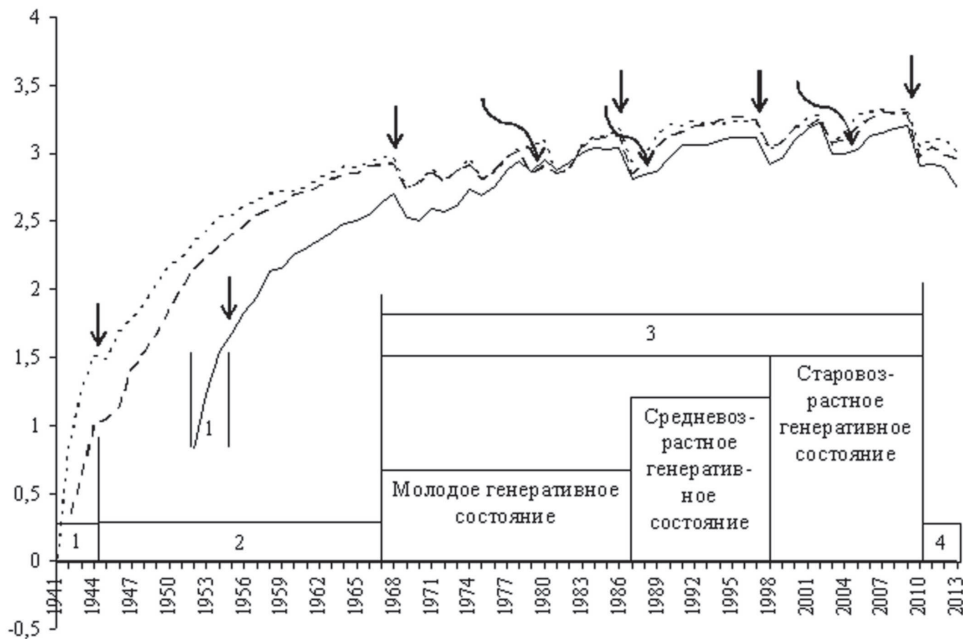


Рис. 6. Изменение десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ. Здесь и далее условные обозначения: 1 – ювенильный период; 2 – виргинильный период; 3 – генеративный (вегетативно-репродуктивный) период; 4 – пострепродуктивный (сенильный) период; —> – переход от одного этапа развития к другому; ~> – излом логарифмического прироста

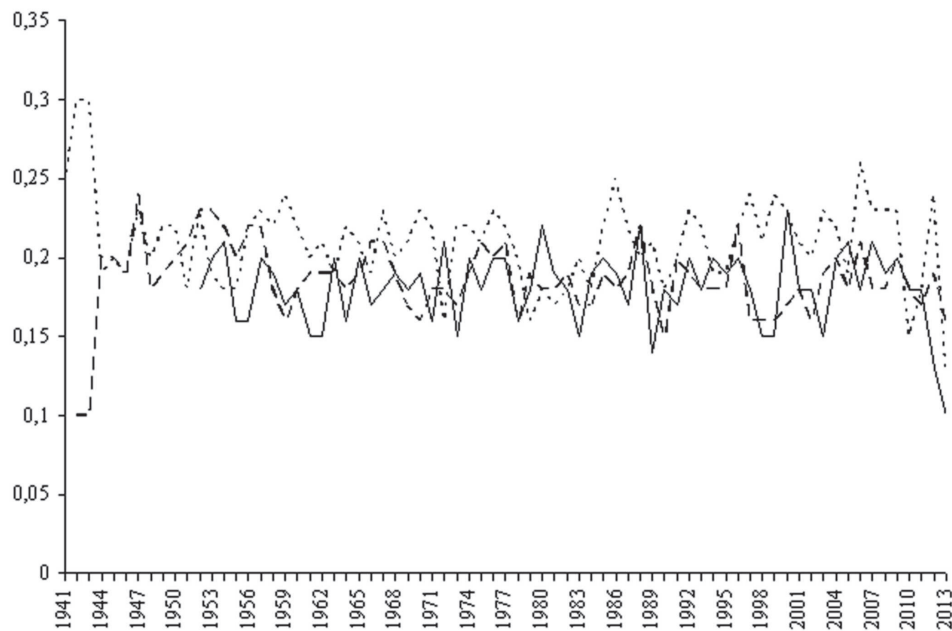


Рис. 7. Динамика радиального прироста ранней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, мм/год

всех рассматриваемых зонах, отражает высокую чувствительность дуба к изменениям окружающей среды (вспышка непарного шелкопряда наряду с угнетающим воздействием аэротехногенного загрязнения). В очагах с полным объеданием листьев наблюдается эффект «последствия»: уменьшение прироста на следующие 2–3 года. В средневозрастном генеративном состоянии прирост по площади поперечного сечения дуба в зоне сильного загрязнения немного ниже (3,10) показателей прироста в контроле (3,40) и в зоне слабого загрязнения (3,41). Наряду с естественным снижением прироста в старовозрастном генеративном состоянии наблюдается существенное влияние техногенного загрязнения в период с 2003 по 2007 г., что отражается в изломе графика изменения

десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения. Таким образом, влияние промышленного загрязнения на прирост дуба наиболее четко отражается на начальном периоде роста и развития дуба, а также в сенильном периоде.

Соотношение доли поздней и ранней древесины в общем приросте показало, что поздняя древесина составляет 90% от общего радиального прироста во всех зонах. Радиальный прирост ранней древесины (рис. 7) во всех зонах в течение всего периода произрастания сравнительно равномерен, без четких циклов роста. Максимальные значения ранней древесины в зоне сильного загрязнения достигают до 2 мм/год в 1979 г., в целом показатели ранней древесины в этой зоне меньше, чем в остальных зонах. Достоверность

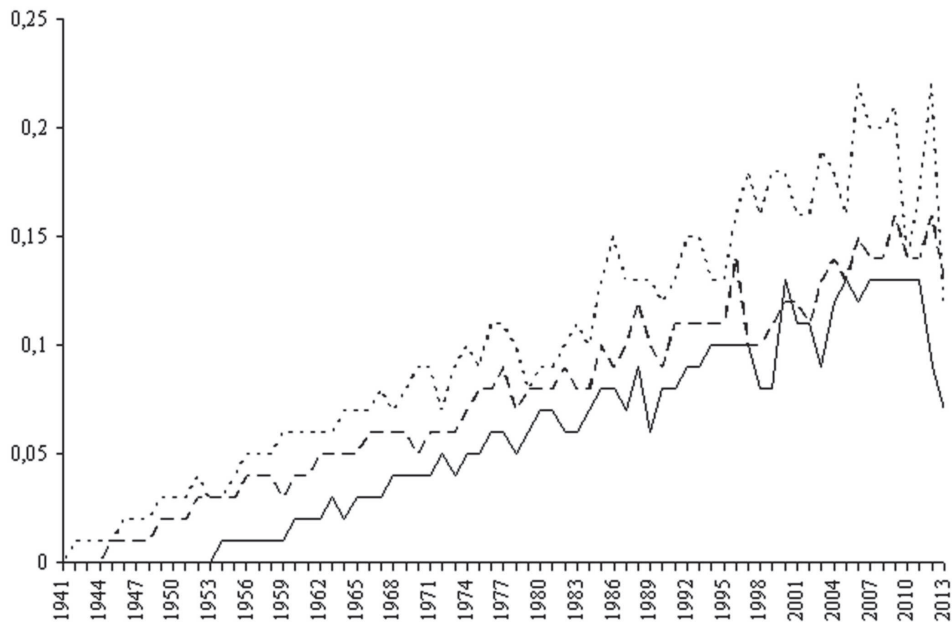


Рис. 8. Изменение площади прироста ранней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, см²

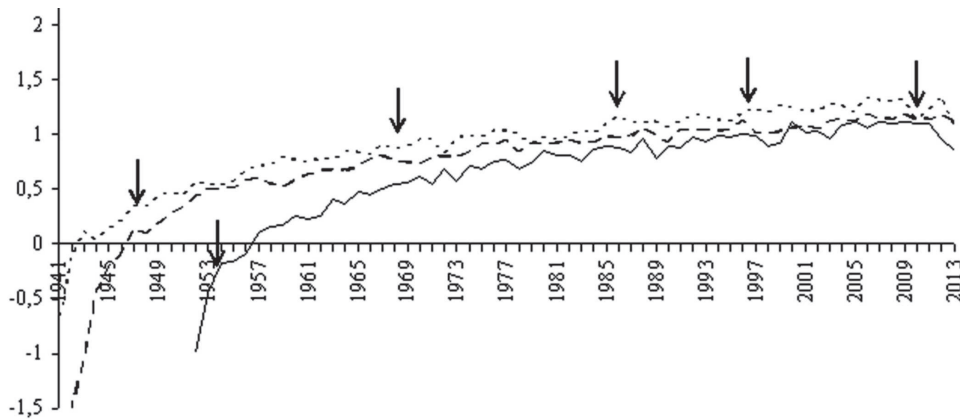


Рис. 9. Изменение десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения ранней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ

различий средней ширины годичного прироста ранней древесины зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента, подтверждает нулевую гипотезу – различия не значительны при $p = 0,05$ ($F_{\text{расч}} = 1,45 < F_{\text{табл}} = 1,98$). Это позволяет сделать вывод, что техногенное загрязнение практически не влияет на раннюю древесину, но сильнее влияет на прирост поздней древесины. Кроме того, полученные результаты подтверждают исследования Косиченко и др. [12], показавшие, что у кольцесосудистых древесных растений ширина ранней древесины в онтогенезе изменяется незначительно, мало подвержена влиянию экологических факторов и находится под жестким генетическим контролем.

График изменения площади прироста ранней древесины (рис. 8) не позволяет выявить существенных особенностей. Следует отметить естественное увеличение площади прироста в течение исследуемого периода во всех зонах. Наибольшая суммарная площадь прироста ранней древесины дуба наблюдается в контроле (7,32 см²), наименьшая – в зоне сильного загрязнения (до 4,01 см²). Площадь прироста ранней древесины в зоне сильного загрязнения достигает наименьших значений, почти в 1,5 раза меньше, чем в контроле.

Из графика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения (рис. 9) видно, что величина ранней древесины в составе общего годичного прироста изменяется незначительно и, следовательно, является малоинформативной. Это, возможно, связано с тем, что древесина дуба увеличивается главным образом за счет поздней древесины, а в ранней древесине располагаются крупные сосуды, образуя кольцо всего из 1–3 рядов крупных сосудов, идущих параллельно годичному слою [12, 13, 24, 29].

В приросте поздней древесины наблюдается отмеченная ранее 20-летняя цикличность (рис. 10). В отличие от контроля и зоны слабого загрязнения, в зоне сильного загрязнения прослеживается «депрессия» прироста поздней древесины до 1967 г. – 2,3 мм/год. Максимальное значение радиального прироста поздней древесины наблюдается в контроле и зоне слабого загрязнения до 2,5 мм/год в 1965 г., а в зоне сильного загрязнения – до 2,6 мм/год в 1978 г. Достоверность различий средней ширины годичного прироста поздней древесины зоны сильного загрязнения и контроля, проверенная с помощью критерия Стьюдента, подтверждает различия значений при $p = 0,05$ ($F_{\text{расч}} = 2,25 > F_{\text{табл}} = 1,98$). Ди-

динамика прироста поздней древесины полностью повторяет динамику общего прироста и отражает все воздействия внешних стрессовых факторов, как и в общем приросте древесины.

График изменения площади прироста поздней древесины также полностью отражает изменение общей площади прироста древесины дуба (рис. 11). Площадь прироста поздней древесины меняется скачкообразно. Следует отметить естественное увеличение суммарной площади прироста поздней древесины к концу исследуемого периода во всех зонах. Наибольшая суммарная площадь прироста поздней древесины в контроле – до 553,09 см², в зоне слабого загрязнения – до 518,41 см², наименьшая в зоне сильного загрязнения – до 381,44 см². Площадь при-

роста поздней древесины в зоне сильного загрязнения меньше, чем в контроле. Площадь прироста наибольшая в промежутке времени с 1984 по 2008 г., что соответствует генеративному периоду онтогенеза дуба, с некоторыми периодами спада, связанными с климатическими изменениями. Установлено, что на начальном этапе роста в период с 1955 по 1976 г. в зоне сильного загрязнения площадь прироста намного «отстает» от площади прироста в других зонах, но с 1977 по 1986 г. заметна нормализация прироста. В периоды с 1989 по 1998 и с 2004 по 2009 г. в зоне сильного загрязнения наблюдается более глубокая «депрессия» по площади прироста, чем в зоне слабого загрязнения и в контроле. В остальные периоды глубоких «депрессий» не наблюдается.

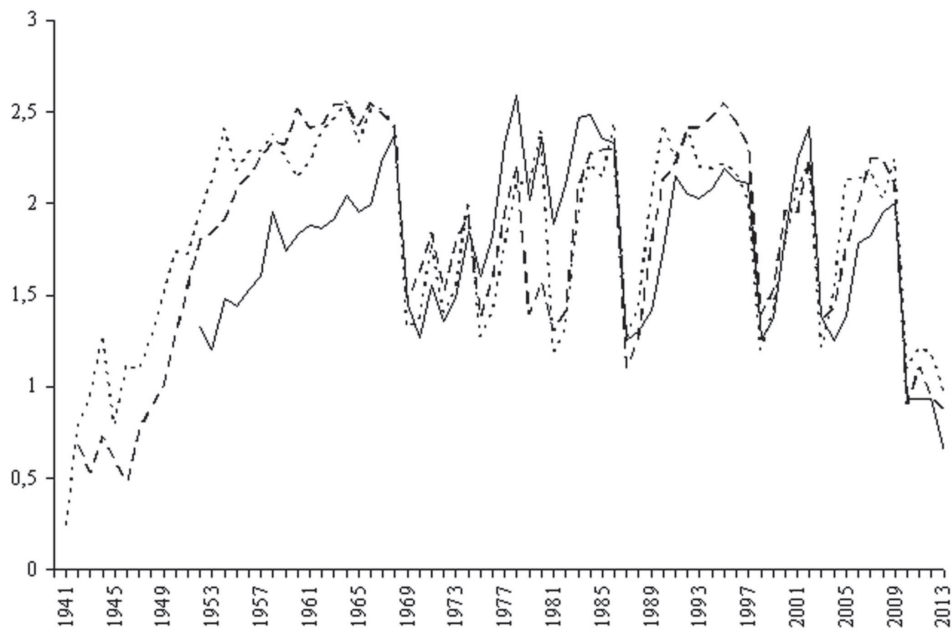


Рис. 10. Динамика радиального прироста поздней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, мм/год

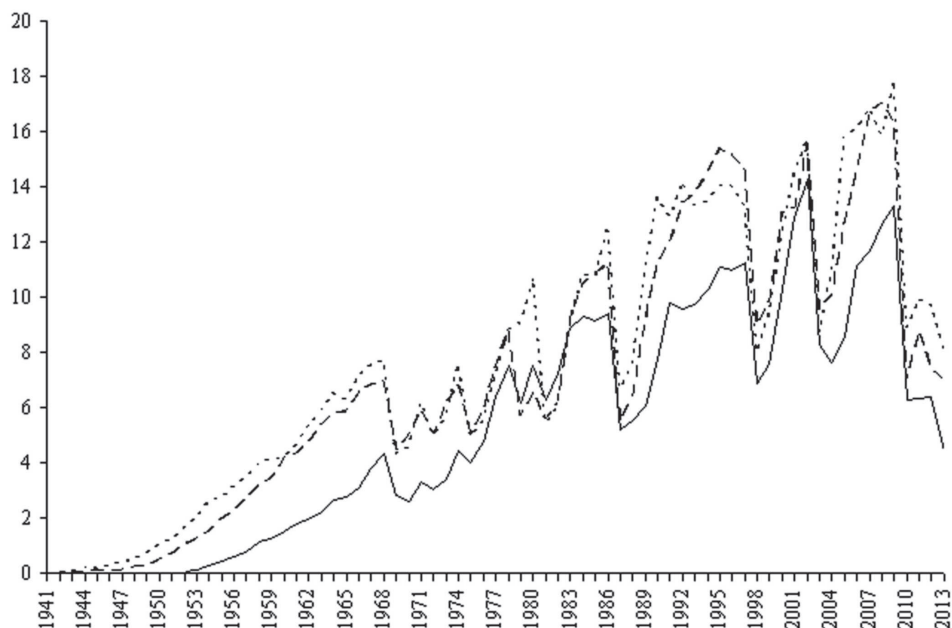


Рис. 11. Изменение площади прироста поздней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ, см²

Динамика изменения десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения поздней древесины также полностью отражает динамику десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения общего прироста (рис. 12). Процесс снижения общего прироста во всех зонах к концу исследуемого периода обусловлен уменьшением прироста поздней древесины. Как следует из графика, в зоне сильного загрязнения в виргинильном периоде наблюдается глубокая «депрессия» прироста. Снижение величины десятичного логарифма по площади поперечного сечения в зоне сильного загрязнения в период с 1968 по 1970 г. имеет затяжной характер, и «депрессия» переходит на несколько лет, в то время как в зоне слабого загрязнения и контроле наблюдается увеличение прироста по площади поперечного сечения.

Наибольшее отрицательное влияние промышленного загрязнения на прирост поздней древесины наблюдается в начале и в конце исследуемого периода – подавление прироста в виргинильном и сенильном периодах развития. В генеративном периоде онтогенеза наблюдается стимулирующее действие аэротехногенного загрязнения, приводящее к большему приросту с эффектом «смягчения» резких климатических изменений и «экспрессией» радиального прироста в 1983–1985 гг. Увеличение радиального прироста поздней древесины в условиях повышенного уровня загрязнения носит краткосрочный характер, устойчивое длительное увеличение не обнаружено.

Выводы

Техногенное загрязнение оказывает сильное влияние на начальные стадии онтогенеза дуба, значительно сокращая прохождение виргинильного периода. На длительность прохождения остальных онтогене-

тических периодов промышленное загрязнение практически не оказывает влияния.

В зоне хронического техногенного загрязнения наблюдается «депрессия» общего радиального прироста и прироста поздней древесины дуба на ранней стадии онтогенеза. В генеративный период в зоне сильного загрязнения отмечено некоторое стимулирование прироста и сближение по значениям прироста с зоной слабого загрязнения и контрольной зоной.

Радиальный прирост поздней древесины дуба полностью отражает динамику изменения общего прироста, а прирост ранней древесины дуба является малоинформативным параметром.

В целом, значения радиального прироста дуба в зоне сильного загрязнения намного ниже, чем в зонах слабого загрязнения и контроля, что четко отражается в динамике изменения площади общего прироста дуба, прироста ранней и поздней древесины.

Коэффициент чувствительности позволяет сделать вывод о существенной зависимости прироста от изменений окружающей среды: в зоне промышленного загрязнения деревья становятся более чувствительными и к техногенному воздействию, и к климатическим изменениям.

Таким образом, снижение радиального прироста стволовой древесины дуба черешчатого при усилении степени загрязнения и выявленные периоды «депрессий» вызваны воздействием техногенного фактора. Выявленные особенности радиального прироста дуба черешчатого подтверждают, что в динамичных условиях окружающей среды с выраженными критическими природно-климатическими и техногенными характеристиками при лесовосстановлении и озеленении промышленных зон следует отказаться от широкого использования дуба черешчатого в пользу других древесных растений.

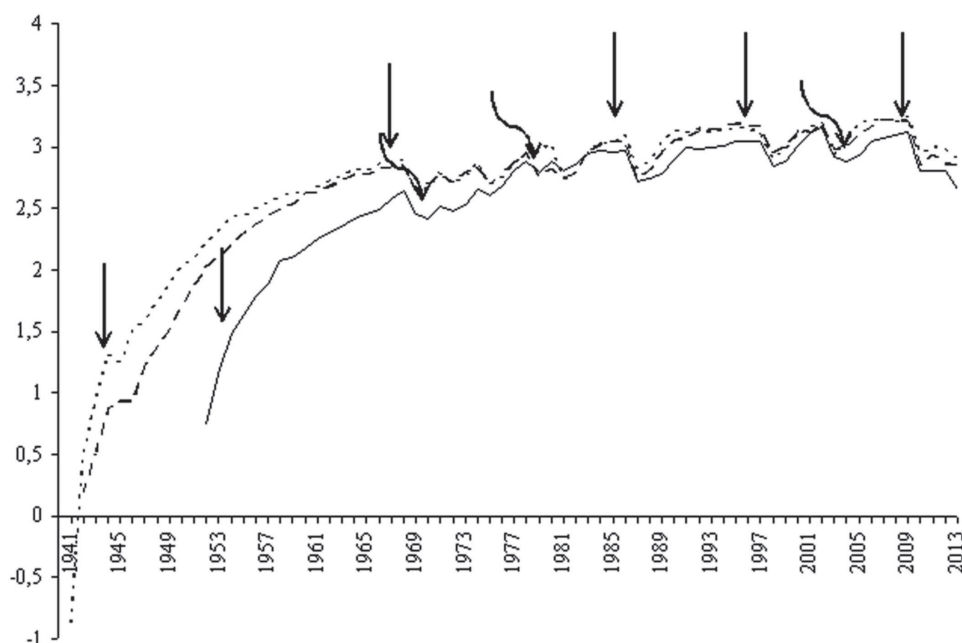


Рис. 12. Изменение десятичного логарифма прироста по площади поперечного сечения поздней древесины дуба черешчатого в условиях УПЦ

Литература

1. Алексеев А.С. Колебания радиального прироста в древостоях при атмосферном загрязнении // Лесоведение. – 1990. – № 2. – С. 82–86.
2. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Л. : Наука, 1990. – С. 38–54.
3. Антанайтис В.В., Загреев В.В. Прирост леса. – М. : Лесная промышленность, 1981. – 198 с.
4. Битвинскас Т.Т. Дендроклиматические исследования. – М. : Гидрометеоздат, 1974. – 171 с.
5. Ваганов Е.А., Терсков И.А. О количественных закономерностях индивидуального роста деревьев // Анализ динамики роста биологических объектов. – М. : Наука, 1978. – С. 15–17.
6. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Роль и структура годичных колец хвойных. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.
7. Веретенников А.В. Основные физиологические процессы и условия внешней среды в онтогенезе древесных растений // Лесной журнал. – 1992. – № 5. – С. 9–14.
8. Горячев В.М., Карасева Ю.В. Анализ естественного и антропогенного воздействия на радиальный прирост сосны обыкновенной в лесопарковой зоне Екатеринбурга // Актуальные проблемы биологии и экологии. Тезисы докладов IV молодежной научной конференции. – Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 1999. – С. 48.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды. – Уфа : МПР, 2013. – 366 с.
10. Демьянов В.А., Китсинг Л.И., Ярмишко В.Т. Влияние промышленного загрязнения на радиальный прирост *Larix Gmelinii* (Pinaceae) // Известия РАН. Сер. биол. – 1996. – № 4. – С. 490–494.
11. Комин Г.Е. К методике дендроклиматологических исследований // Труды Института экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – 1970. – Вып. 67. – С. 234–241.
12. Косиченко Н.Е., Вариводина И.Н., Неделина Н.Ю. Связь гистологического состава и ширины годичного слоя различных типов древесины // Научн. журнал. КубГАУ. – 2012. – № 75 (01). – С. 1–13.
13. Кучеров С.Е. Характеристика радиального прироста дуба в лесных насаждениях г. Уфы // Дендрозология: техногенез и вопросы лесовосстановления. – Уфа : Гилем, 1996. – С. 65–79.
14. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. – Л. : Наука, 1979. – 232 с.
15. Матвеев С.М., Таранков В.И. Некоторые направления и результаты дендроиндикации состояния лесных экосистем в Центральной лесостепи // Лесной вестник. – 2009. – № 1. – С. 45–55.
16. Николаева С.А., Савчук Д.А. Комплексный подход и методика реконструкции роста и развития деревьев и лесных сообществ // Вестник Томского ГУ. – 2009. – № 2 (6). – С. 111–125.
17. Осаму К., Казуми Ф., Жан Н. Анализ годичных колец древесины в связи с воздействием факторов окружающей среды, вызывающих угнетение роста ели европейской на опытном лесном участке Хоккайдского университета // Материалы Хоккайской научно-технической конференции. – Forests Hokkaido University, 1992. – № 1. – С. 37–57.
18. Пастернак П.С., Приступна Г.К., Мазена В.Г. Влияние промышленных эмиссий на радиальный прирост сосны // Лесовод и агролесомелиоратор. – Киев., – 1985. – № 70. – С. 16–19.
19. Положенцев П.А., Ханисламов М.Г. Энтомоповреждители дуба в Башкирии // Исследования очагов вредителей леса Башкирии. – Уфа : АН СССР ИБ, 1962. – С. 105–112.
20. Полякова Г.Р., Уразгильдин Р.В. Влияние техногенного загрязнения на дендрохронологические параметры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестник ЧелГУ. – Челябинск., – 2013. – Т. 2. – № 7 (298). – С. 191–194.
21. Санитарный и лесопатологический обзор состояния лесов Республики Башкортостан. – Уфа : МПР РБ, 2013. – 58 с.
22. Стравинскене В.П. Изменение радиального прироста деревьев в зоне действия промышленного загрязнения // Лесное хозяйство. – 1987. – № 5. – С. 34–36.
23. Тихомиров А.В. Ранняя и поздняя древесина как показатель состояния у дуба черешчатого // Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах: Тезисы всесоюзной конференции. – Воронеж, 1991. – С. 40–42.
24. Тишин Д.В. Дендрозология. Методика древесно-кольцевого анализа. – Казань : Казанский университет, 2011. – 33 с.
25. Уразгильдин Р.В. Эколого-биологическая характеристика тополей в условиях загрязнения окружающей среды (на примере Уфимского промышленного центра): Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Уфа : БГУ, 1998. – 22 с.
26. Усманов И.Ю., Рахманкулова З.Ф., Кулагин А.Ю. Экологическая физиология растений. – М. : Логос, 2001. – 224 с.
27. Федорова О.А., Савчук Д.А. Влияние экологических факторов на радиальный прирост тополя бальзамического в г. Томск // Вестник КрасГАУ. – Красноярск., – 2013. – № 3. – С. 84–90.
28. Фильрозе Е.М. Выявление и оценка этапов роста деревьев и насаждений // Дендрохронологические методы в лесоведении и экологическом прогнозировании. – Иркутск, 1987. – С. 206–208.
29. Хантемиров Р.М. Возможность использования элементного состава годичных слоев деревьев для индикации загрязнения окружающей среды // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. – Свердловск : УрО АН СССР, 1990. – С. 156–157.
30. Чжан С.А., Пузанова О.А., Чжан Л.А. Изменение радиального прироста в зоне длительного действия промышленного загрязнения // Материалы XIII Международной научно-технической конференции. – Братск : Изд-во БрГУ, 2013. – С. 28–32.
31. Шиятов С. Г., Мазена В. С. Влияние климатических факторов на радиальный прирост деревьев в высокогорьях Урала // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 1992. – № 14. – С. 125–134.