

УДК 581.143 + 58.01/.07 (571.51)

РАДИАЛЬНЫЙ РОСТ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ г. КРАСНОЯРСКА

Ю. В. Кладько, В. Е. Бенькова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: kladaJ@mail.ru, benkova@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.12.2017 г.

Изучена динамика радиального прироста стволовой древесины растений, произрастающих в антропогенно измененных условиях г. Красноярск. Для Красноярск особенно актуальна проблема формирования среды, благоприятной для проживания людей, неотъемлемой частью которой является создание зеленого каркаса города и полноценно выполняющих свои функции санитарно-защитных насаждений. Исследовали 8 видов из тех, которые наиболее часто применяются в озеленении г. Красноярск: сосну обыкновенную *Pinus sylvestris* L., ель колючую *Picea pungens* Engelm., березу повислую *Betula pendula* Roth., вяз приземистый *Ulmus pumila* L., тополь бальзамический *Populus balsamifera* L., рябину обыкновенную *Sorbus aucuparia* L., черемуху Маака *Radus maackii* Rupr., яблоню ягодную *Malus baccata* (L.) Borkh. Измерена ширина радиального прироста стволовой древесины на протяжении всей жизни модельных экземпляров и получены усредненные ходы роста по пяти пробным площадям, отличающимся между собой степенью загрязнения. На сильно загрязненных пробных площадях вяз приземистый, тополь бальзамический, черемуха Маака и яблоня ягодная на протяжении всей жизни формируют сравнительно узкие годичные кольца (до 3 мм). Сделано заключение, что эти виды можно использовать в качестве индикаторов антропогенного загрязнения места произрастания. Береза повислая, вяз приземистый, черемуха Маака и яблоня ягодная на участках с высоким уровнем загрязнения отличаются высокой скоростью уменьшения ширины годичных колец с возрастом («старения»), в связи с чем укорачивается срок эффективного функционирования этих зеленых насаждений. На основании полученных результатов сформулированы предварительные рекомендации по применению исследованных видов с учетом особенностей их роста в условиях г. Красноярск.

Ключевые слова: дендрэкология, антропогенное загрязнение, годичные кольца, фитоиндикация.

DOI: 10.15372/SJFS20180406

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительная доля населения планеты проживает на территориях с повышенной техногенной нагрузкой (в городах, сельских поселениях, расположенных вблизи промышленных производств, и т. п.). В связи с этим особенно актуальна проблема изучения состояния, роста и развития всех фито- и зоокомпонентов искусственных экосистем, находящихся на урбанизированных территориях, а также

формирования благоприятной для проживания человека среды обитания, чему способствуют оптимизация и расширение ассортимента древесных растений, устойчивых в условиях техногенной нагрузки.

На урбанизированных территориях прирост древесных растений зависит как от комплекса климатических факторов, так и от степени антропогенного загрязнения территории (He et al., 2007; Gillner et al., 2013; Артемьев, Арсентьева, 2014; Кирдянов и др., 2014; Kirdeyanov et al.,

2014). Для реконструкции влияния на растения климатических факторов широко используются годовые кольца (Fritts, 1976; Ваганов и др., 1996; Ваганов, Шиятов, 2005; Kirdyanov et al., 2012 и др.). Воздействие атмосферных загрязнителей, как правило, индуцирует уменьшение радиального прироста стволовой древесины (Пастернак и др., 1985; Авдеева, Кузьмичев, 1997; Арсеньева, Чавчавадзе, 2001; Кирдянов и др., 2014; Kirdyanov et al., 2014), которое является результатом длительного угнетающего воздействия токсикантов, содержащихся в атмосферном воздухе, на ассимилирующий аппарат кроны дерева, вызывая комплекс нарушений физиологических процессов (Павлов, 2005; Скрипальщикова и др., 2009; Skripalshchikova et al., 2009; Экологическое состояние..., 2009). Содержащиеся в почве соединения тяжелых металлов, проникая в древесное растение через корневую систему, также вызывают снижение радиального прироста стволовой древесины (Федорков, 2006).

Некоторые виды антропогенного воздействия на древесные растения приводят к увеличению ширины годовых колец: рубки ухода, сопровождающиеся изреживанием древостоя (Онучин и др., 2011), применение удобрений (Степаненко, 2003) и в некоторых случаях техногенные выбросы в атмосферу (Пугачевский, 1983), хотя в этом случае возрастание непродолжительное.

Воздействие климатических факторов на радиальный прирост хорошо изучено и представлено в литературе, чего не скажешь об антропогенном воздействии: исследователями рассматривалось ограниченное число древесных видов и недостаточно внимания уделялось приросту стволовой биомассы в связи с характером и степенью загрязнения.

Цель данной работы – выявить особенности динамики радиального роста в связи с разной степенью антропогенной нагрузки у представителей видов, широко используемых для создания зеленых насаждений г. Красноярска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории г. Красноярска (56°00'43" с. ш., 92°52'17" в. д.). В качестве фонового места произрастания выбран сосновый массив на 165-м км Енисейского тракта (57°27'33" с. ш., 93°11'18" в. д.).

Климат здесь резко континентальный, выражающийся в высокой годовой (38 °С по средним месячным значениям) и суточной (12–14 °С)

амплитуде колебаний температуры воздуха. Средняя годовая температура воздуха положительная – 0.5–0.6 °С. Средняя температура января колеблется от –16.8 до –18.6 °С (в зависимости от рельефа местности), июля – +19.4 °С. За год выпадает в среднем 372 мм осадков. Среднегодовая относительная влажность воздуха 69 %. Для территории характерна однородность ветрового режима на протяжении всего года: преобладают юго-западные ветра. Вегетационный период (количество дней со среднесуточной температурой воздуха выше 10 °С) длится от 74 до 125 дней (Швер, Герасимова, 1982).

Всего на территории г. Красноярска в 2012 г. заложено 5 пробных площадей (ПП) (рис. 1), которые по степени антропогенной нагрузки на основании опубликованных ранее данных мониторинга окружающей среды г. Красноярска (Экологическое состояние..., 2009; Хлебоброс и др., 2012) можно разделить на две группы: зоны высокого уровня загрязнения (ПП «Центр», «КРАЗ», «КрасТЭЦ») и условно чистые (ПП «Ветлужанка» и «Академгородок»).

В качестве фоновой в 2015 г. заложили ПП в сосняке естественного происхождения в 165 км к северу от г. Красноярска («165-й км Енисейского тракта»).

На ПП «Академгородок», «Ветлужанка» и «Центр» основным источником загрязнения (СО, NO, NO₂, SO₂, бенз(а)пирен, формальдегид и др.) является автотранспорт, на ПП «КРАЗ» и «КрасТЭЦ» – выбросы промышленных предприятий (фтористые соединения, бенз(а)пирен, сероводород, альдегиды, формальдегид, СО, NO, NO₂, SO₂, сажа и др.) (Государственный доклад..., 2017).

Исследовали экземпляры восьми видов древесных растений, широко используемых в озеленении г. Красноярска: сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L., ели колючей *Picea pungens* Engelm., березы повислой *Betula pendula* Roth., вяза приземистого *Ulmus pumila* L., тополя бальзамического *Populus balsamifera* L., рябины обыкновенной *Sorbus aucuparia* L., черемухи Маака *Padus maackii* Rupr., яблони ягодной *Malus baccata* (L.) Borkh.

На ПП в годы их закладки отобрали по 10 модельных экземпляров перечисленных видов. Экземпляры сосны обыкновенной отобрали на условно чистой ПП «Академгородок» и на фоновой ПП на 165-м км Енисейского тракта. В пределах одной ПП представители одного и того же вида имели одинаковый класс возраста и по визуальной оценке приблизительно одинаково-



Рис. 1. Расположение ПП на территории г. Красноярск (картографическая подоснова: Яндекс. Карты, 2017).
 1 – Октябрьский район: «Ветлужанка»; 2 – Октябрьский район: «Академгородок»; 3 – Центральный район: «Центр»;
 4 – Советский район: «КРАЗ»; 5 – Ленинский район: «КрасТЭЦ».

вые морфометрические показатели. Модельные экземпляры отбирали в соответствии с инженерно-топографическими планами территорий таким образом, чтобы вблизи них не проходили подземные коммуникации.

Модельные экземпляры в зоне высокого загрязнения произрастали на расстоянии 5–20 м от крупных магистралей, а на условно чистой и фоновой территориях – на расстоянии не менее 500 м от крупных магистралей.

С каждого модельного экземпляра при помощи бурава Пресслера отобрали по одному ядру по случайному радиусу на высоте 1.3 м от поверхности земли. Всего для исследований было отобрано 370 ядер. Собранные образцы высушивали при комнатной температуре и зачищали скальпелем в плоскости перпендикулярно волокнам древесины.

Датировку образцов древесины и измерение ширины годичных колец проводили с использованием полуавтоматической установки LINTAB-V 3.0 «Frank Rinn-Rinntech» (Германия) со стандартным пакетом программного обеспечения Tsar V 3.6 с точностью до 0.01 мм. Точность датировки проверяли в программе COFESHA. Дальнейшую статистическую обработку данных, которая заключалась в погодичном усреднении ширины годичных колец по мо-

делям каждого исследованного вида на каждой ПП, осуществляли в программе Microsoft Office 2013 Excel.

На основании измеренных данных ширины последовательных годичных колец получен ход радиального роста каждого модельного растения. Для каждого исследуемого вида по каждой ПП получены усредненные кривые хода радиального роста, по которым были выявлены особенности роста каждого вида в зависимости от степени загрязненности места произрастания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сосна обыкновенная. Так как этот вид чувствителен к твердым взвешенным частицам и газообразному загрязнению атмосферы (Булыгин, Ярмишко, 2003), он редко встречается в озеленении Красноярск. Поэтому для исследования особенностей процесса роста сосны обыкновенной выбрано искусственное насаждение в условно чистом месте произрастания ПП «Академгородок».

У деревьев сосны до достижения ими 17-летнего возраста на ПП «Академгородок» радиальный прирост резко снижается, затем снижается не столь быстро и постепенно стабилизируется (рис. 2, А).

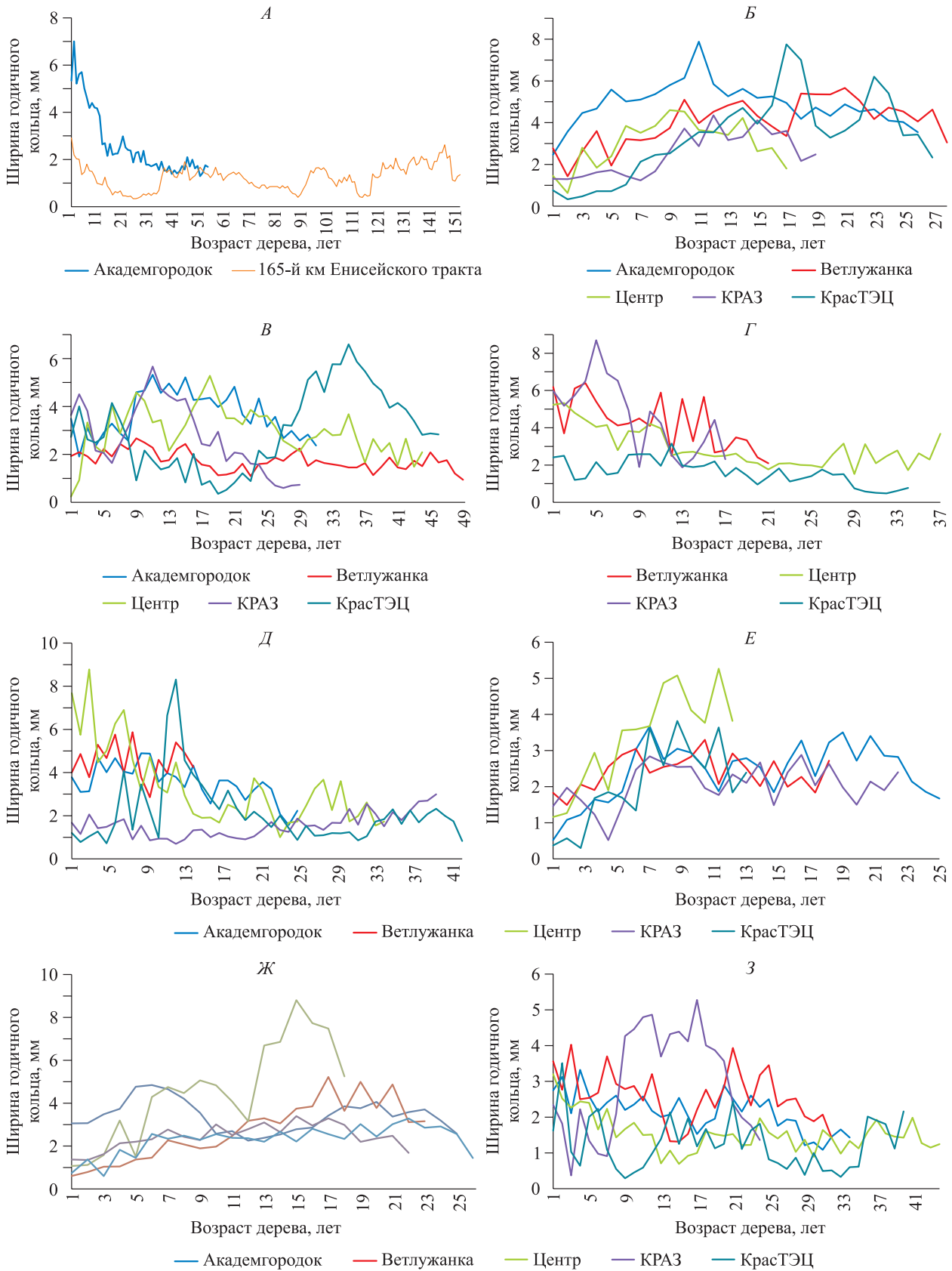


Рис. 2. Изменение ширины годичных колец с возрастом у сосны обыкновенной (А), ели колючей (Б), березы повислой (В), вяза приземистого (Г), тополя бальзамического (Д), рябины обыкновенной (Е), черемухи Маака (Ж), яблони ягодной (З), произрастающих в условиях антропогенной нагрузки разной степени.

Схожая картина наблюдается у экземпляров этого вида до 16–17-летнего возраста на ПП «165-й км Енисейского тракта». По мере дальнейшего взросления деревьев радиальный прирост постепенно стабилизируется, а с 36 лет (с 1900 г.) на ПП «165-й км Енисейского тракта» период ремиссии сменяется последовательным увеличением и уменьшением прироста (в течение 50 лет), и с возраста 90 лет (с 1954 г.) прирост стабильно увеличивается. Различные факторы (температура воздуха и почвы, количество осадков, послепожарная минерализация почвы и др.), воздействие которых приводит к увеличению ширины годичных колец с возрастом, рассмотрены в работах по дендрозологии и анатомии древесных растений (Яценко-Хмелевский, 1954; Schweingruber, 1996; Schweingruber et al., 2013). Положительное влияние потепления регионального климата на ширину годичных колец на примере лиственницы Гмелина, произрастающей в северотаежных лесах, установлено А. В. Беньковой с соавторами (2015), которые выявили совпадение увеличения ширины годичных колец с 1980-х гг. с трендом среднемайской температуры воздуха (по данным метеостанции «Тура» за 1934–2009 гг.). По нашим результатам, антропогенное воздействие на ПП «165-й км Енисейского тракта» пренебрежительно мало, поэтому возрастающий тренд прироста может быть обусловлен и потеплением климата. При изучении хода роста других видов этот тренд может быть использован для выделения климатически обусловленного изменения в динамике прироста.

Ель колючая. У ели колючей на всех ПП в городе классическая форма роста с максимумом, характерным для первых классов возраста (рис. 2, Б). При этом на всех кривых наблюдается сравнительно высокая амплитуда колебаний ширины годичных колец. До 13-летнего возраста на условно чистой ПП «Академгородок» ширина годичных колец в абсолютном значении значительно больше, чем на других ПП.

Общим для двух ПП («КРАЗ» и «КрасТЭЦ»), расположенных в промышленных районах, является то, что у модельных деревьев максимум прироста, характерный для ювенильной древесины, сдвинут в более поздний возраст. Это указывает на длительный период адаптации молодых саженцев после пересадки.

Береза повислая. На ПП «Академгородок» у березы повислой в групповых посадках стандартная форма хода роста (рис. 2, В). В «Ветлужанке» в древостое естественного происхожде-

ния абсолютные значения приростов снижены относительно ПП «Академгородок», кривая хода роста слабоубывающая, без максимума. Это может быть объяснено тем, что у березы повислой высокая потребность в освещенности и водобеспечении (Мелехов, 1980; Булыгин, Ярмишко, 2003). Несмотря на то что модельные деревья на ПП «Ветлужанка» произрастают на границе древостоя, на них оказывают отрицательное конкурентное влияние рядом произрастающие экземпляры, создавая эффект недостатка освещенности и влагообеспечения. На ПП «Академгородок» конкурентное влияние проявляется не столь сильно за счет соблюдения шага посадки при создании групповых насаждений.

На ПП «Центр» береза имеет классическую форму роста.

На сильно загрязненных промышленных ПП «КРАЗ» и «КрасТЭЦ» картина следующая. На ПП «КРАЗ» пик прироста в возрасте 11 лет быстро сменяется периодом угнетения. Это один из четырех признаков старения, который выделен Н. С. Нестеровым (1960). На ПП «КрасТЭЦ» (см. рис. 2, В) выделяется довольно продолжительный период (19 лет) адаптации растений к новым условиям места произрастания (до 19-летнего возраста), затем следует резкое увеличение прироста (до 37 лет), после чего, как и на ПП «КРАЗ», следует быстрое убывание.

Вяз приземистый. Граница годичных колец имеет сложную форму, и это затрудняло измерение их ширины. На ПП «Центр» и «КрасТЭЦ» (сильно загрязненные районы) наблюдался заметно меньший радиальный прирост в сравнении с другими ПП (рис. 2, Г). При этом на ПП «Центр» спад радиального прироста до 26-летнего возраста (до 2003 г.) сменяется некоторым возрастанием. В то же время на ПП «КрасТЭЦ» этого возрастающего тренда не обнаружено. Возможно, что постепенное увеличение радиального прироста связано с успешной адаптацией древесных растений после пересадки к выбросам от автотранспорта на ПП «Центр» в отличие от ПП «КрасТЭЦ», где основными загрязнителями являются выбросы промышленных предприятий, угнетающе воздействующие на прирост. На ПП «КРАЗ» период достижения максимальной ширины годичного кольца сменяется резким ее уменьшением, что может косвенно указывать на воздействие негативных факторов места произрастания – загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и грунтовых вод.

Тополь бальзамический. Динамика радиального прироста тополя бальзамического (рис. 2, Д) в разных районах отличается. На ПП «Академгородок» и «Ветлужанка» отмечена классическая форма хода роста с максимумом для молодых древесных растений в посадках. На более загрязненной ПП «Центр» с первых лет жизни максимальный в сравнении с другими ПП прирост быстро снижается до 18-летнего возраста, а затем увеличивается (с 1985 г.).

На ПП «КРАЗ» до 21-летнего возраста радиальный прирост очень слабо убывает, а затем наблюдается некоторое увеличение прироста, но при этом абсолютные значения намного ниже, чем в более чистых районах.

На сильно загрязненной ПП «КрасТЭЦ» наблюдались пик радиального прироста в 13-летнем возрасте, затем резкое падение и стабилизация, а с 34-летнего возраста (после 1999 г.) ширина годовых колец несколько возрастает (как и на ПП «КРАЗ»). Показанный на сосне обыкновенной на ПП «165-й км Енисейского тракта» положительный тренд в изменении ширины годовых колец может быть и в данном случае обусловлен потеплением климата со второй половины XX в. Можно предположить, что этот тренд у видов может проявиться в разное время в связи с разной степенью адаптации.

Рябина обыкновенная. В городе встречаются в основном молодые посадки рябины обыкновенной (рис. 2, Е). На ПП «Академгородок» в 8-летнем возрасте наблюдается пик радиального прироста, характерный для искусственных насаждений после пересадки саженцев на постоянное место произрастания. У растений старше 13 лет средняя ширина годового кольца меняется довольно слабо, хотя характеризуется высокой погодичной вариабельностью. У экземпляров на ПП «Центр» адаптация, по всей вероятности, прошла более успешно, чем на других ПП, судя по пиковым значениям радиального прироста, хотя слишком молодой возраст экземпляров (14 лет) не предоставляет возможности прогнозировать дальнейший ход роста.

Ширина годовых колец модельных экземпляров рябины обыкновенной на всех ПП характеризуется высокой погодичной изменчивостью. Во всех местах произрастания, за исключением ПП «Центр», динамика радиального прироста растений схожа, а кривые хода роста приблизительно совпадают.

Черемуха Маака. Можно предположить, что у черемухи Маака различающийся между ПП период адаптации (предпиковый период ради-

ального прироста) связан с разным жизненным состоянием саженцев после пересадки из питомника на постоянное место произрастания (рис. 2, Ж).

На ПП «Ветлужанка» максимальные значения ширины годовых колец достигаются деревьями в возрасте от 16 до 22 лет. На ПП «Академгородок» у деревьев сложный ход роста с двумя максимумами, который, возможно, связан с антропогенным воздействием неустановленного характера (например, формирующая обрезка).

На ПП «КРАЗ» и «КрасТЭЦ» радиальный прирост слабо и монотонно возрастает, максимальные значения его достигаются сравнительно поздно, в возрасте 15–20 лет, что указывает на довольно сильное угнетение ростовых процессов, вызванное промышленным загрязнением.

Яблоня ягодная. У яблони ягодной (рис. 2, З) на условно чистых ПП «Академгородок» и «Ветлужанка» сглажены фазы активного роста, радиальный прирост медленно убывает.

На сильно загрязненных ПП «Центр» и «КрасТЭЦ» по сравнению с условно чистыми районами ширина годовых колец уменьшена. На ПП «Центр» ширина годовых колец уменьшается до 15-летнего возраста, а затем стабилизируется. Более слабое убывание с большей погодичной вариабельностью наблюдается на ПП «КрасТЭЦ».

На ПП «КРАЗ» экземпляры с 9- до 19-летнего возраста имеют максимальную ширину годовых колец, а последующее ее резкое уменьшение свидетельствует о крайне негативных для развития растений условиях окружающей среды в связи с высокой степенью загрязнения места произрастания, вызывающего их преждевременное старение. В результате проведенного исследования сформулированы следующие практические рекомендации по созданию насаждений исследованных видов на антропогенно измененных территориях.

Сосну обыкновенную в связи с экологическими особенностями вида (низкая дымо- и газоустойчивость) рекомендуется высаживать в чистых или условно чистых районах, вдали от промышленных предприятий и крупных магистралей.

Ель колючая хорошо произрастает на площадях с различной степенью антропогенной нагрузки. В связи с тем, что у вида длительный период адаптации и вследствие этого затянут ювенильный период, рекомендуется высаживать подросшие саженцы или крупномеры.

Береза повислая в промышленных районах долго адаптируется и быстро «старееет», поэтому в их озеленении вид применять не рекомендуется. При этом он хорошо произрастает в условно чистых районах и в районах с высокой транспортной нагрузкой. Поскольку береза повислая светолюбивый вид, рекомендуется соблюдать шаг посадки в рядовых насаждениях и не загущать группы, куртины и массивы с ее участием.

Вяз приземистый, черемуха Маака и яблоня ягодная на загрязненных территориях дают низкий прирост или резкий спад прироста после ювенильного периода, что является индикатором неблагоприятных с точки зрения экологии условий окружающей среды.

Тополь бальзамический успешно адаптируется на промышленных территориях (что проявляется в увеличении радиального прироста). Это свойство в комплексе с высокой способностью крон задерживать пылевые и аэрозольные загрязнители из атмосферного воздуха позволяет широко использовать вид для создания насаждений, расположенных вблизи промышленных предприятий. В озеленении участков с высокой транспортной нагрузкой рекомендуется своевременно производить удаление усыхающих и больных экземпляров тополя бальзамического с заменой на новые. На условно чистых участках вид можно применять без ограничения.

Рябина обыкновенная на высокозагрязненном участке адаптируется довольно сложно. Сравнительно молодые экземпляры рябины обыкновенной, высаженные на площадях с разной антропогенной нагрузкой, одинаково удовлетворительно адаптируются к новым условиям места произрастания, судя по ходу радиального роста. Вид можно рекомендовать для озеленения мест произрастания с различной степенью антропогенной нагрузки и при условии регулярного мониторинга состояния насаждений по мере взросления.

ВЫВОДЫ

1. На экземплярах сосны обыкновенной более 100-летнего возраста, произрастающих в незагрязненных местах, выявлен возрастающий тренд изменения ширины годичных колец, который может быть связан с локальным изменением климата в сторону потепления (эффект выявлен по данным метеостанции «Красноярское опытное поле»). Таким образом, положительные тренды, выявленные на сравнительно долгоживущих экземплярах вяза приземистого, тополя

бальзамического и яблони ягодной, тоже могут быть связаны с потеплением климата.

2. На сильно загрязненных ПП («Центр», «КРАЗ», «КрасТЭЦ») вяз приземистый, тополь бальзамический, черемуха Маака и яблоня ягодная на протяжении всей жизни формируют очень узкие годичные кольца. По данному признаку эти виды можно использовать в качестве индикаторов антропогенного загрязнения места произрастания.

3. На сильно загрязненных ПП наблюдается ускоренное «старение» насаждений березы повислой, вяза приземистого, черемухи Маака и яблони ягодной, которое характеризуется относительно резким уменьшением ширины годичных колец с возрастом. Рекомендуется регулярный мониторинг уже существующих насаждений, сформированных из данных видов с целью оценки их жизненного состояния.

Работа выполнена при поддержке Фонда Михаила Прохорова в рамках конкурса «Академическая мобильность» 2012, 2014, 2015 гг.

Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук, профессору П. П. Силкину за ценные советы и консультации при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдеева А. В., Кузьмичев В. В. Влияние городской среды на состояние природных лесов (на примере г. Дивногорска) // Экология. 1997. № 4. С. 248–252.
- Арсеньева Т. В., Чавчавадзе Е. С. Эколого-анатомические аспекты изменчивости древесины сосновых из промышленных районов Европейского Севера. СПб.: Наука, 2001. 109 с.
- Артемьев О. С., Арсентьева А. А. Оценка влияния выбросов автотранспорта на приросты по диаметру стволов тополя бальзамического в городе Красноярске // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 4. С. 198–202.
- Бенькова А. В., Машуков Д. А., Бенькова В. Е., Прокушкин А. С., Шашкин А. В. Значение экспозиции склонов для роста лиственницы Гмелина в мерзлотных условиях Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2015. № 4. С. 18–29.
- Бульгин Н. Е., Ярмишко В. Т. Дендрология: учеб. для вузов. 2-е изд., стер. М.: МГУЛ, 2003. 528 с.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г. Дендроклиматические и дендрозоологические исследования в Северной Евразии // Лесоведение. 2005. № 4. С. 18–27.
- Ваганов Е. А., Шиятов С. Г., Мазепа В. С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. 246 с.
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». Красноярск: Мин-во природ. ресурсов и экол. Красноярск. края, 2017. 302 с.

- Кирдянов А. В., Мыглан В. С., Пименов А. В., Кнорре А. А., Экарт А. К., Ваганов Е. А. Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района // Сиб. экол. журн. 2014. № 6. С. 945–952.
- Мелехов И. С. Лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- Нестеров Н. С. Очерки по лесоведению. М.: Сельхозгиз, 1960. 486 с.
- Онучин А. А., Маркова И. И., Павлов И. Н. Влияние рубок ухода на радиальный прирост стволов и формирование сосновых молодняков // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. 29. № 3–4. С. 258–267.
- Павлов И. Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2005. 370 с.
- Пастернак П. С., Приступна Г. К., Мазена В. Г. Влияние промышленных эмиссий на радиальный прирост сосны // Лесоводство и агролесомелиорация. Респ. межвед. темат. науч. сб. № 70 / Мин-во лесн. хоз-ва УССР; редкол.: П. С. Пастернак (отв. ред.) и др. Киев: Урожай, 1985. С. 16–19.
- Пугачевский А. В. Анализ динамики радиального прироста ели в связи с дифференциацией деревьев // Лесоведение. 1983. № 3. С. 71–79.
- Скрипальщикова Л. Н., Стасова В. В., Перевозникова В. Д., Зубарева О. Н., Татаринцев А. И. Влияние комплекса техногенных и рекреационных нагрузок на развитие тканей ствола сосны обыкновенной в Красноярской лесостепи // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. № 5. С. 618–626.
- Степаненко И. И. Влияние однократного внесения удобрений на радиальный прирост сосняка брусничного // Вестн. Московск. гос. ун-та леса – Лесн. вестн. 2003. № 5(30). С. 8–11.
- Федорков А. Л. Радиальный прирост сосны в опыте по искусственному загрязнению почв тяжелыми металлами // Вестн. Ин-та биол. Коми науч. центра УрО РАН. 2006. № 6 (104). С. 17–19.
- Швер Ц. А., Герасимова А. С. Климат Красноярска. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 231 с.
- Хлебопрос Р. Г., Тасейко О. В., Иванова Ю. Д., Михайлюта С. В. Красноярск. Экологические очерки: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 130 с.
- Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / Отв. ред. д-р биол. наук, проф. Л. И. Милютин / Авторы: Л. Н. Скрипальщикова, А. И. Татаринцев, О. Н. Зубарева, В. Д. Перевозникова, В. В. Стасова, Н. В. Грешилова. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
- Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 338 с.
- Fritts H. C. Tree rings and climate. London, New York, San Francisco: Acad. Press., 1976. 582 p.
- Gillner S., Vogt J., Roloff A. Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites // Urban Forestry & Urban Greening. 2013. V. 12. Iss. 4. P. 597–605.
- He X., Chen Z., Chen W., Shao X., He H., Sun Yu. Solar activity, global surface air temperature anomaly and pacific decadal oscillation recorded in urban tree rings // Ann. For. Sci. 2007. V. 64. N. 7. P. 743–756.
- Kiralyanov A. V., Hagedorn F., Knorre A. A., Fedotova E. V., Vaganov E. A., Naurzbaev M. M., Moiseev P. A., Rigling A. 20th century tree-line advance and vegetation changes along an altitudinal transect in the Putorana Mountains, northern Siberia // Boreas. 2012. V. 41. Iss. 1. P. 56–67.
- Kiralyanov A. V., Myglan V. S., Pimenov A. V., Knorre A. A., Ekart A. K., Vaganov E. A. Die-off dynamics of Siberian larch under the impact of pollutants emitted by Norilsk enterprises // Contemp. Probl. Ecol. 2014. V. 7. Iss. 6. P. 679–684 (Original Russian Text © A. V. Kiralyanov, V. S. Myglan, A. V. Pimenov, A. A. Knorre, A. K. Ekart, E. A. Vaganov, 2014, publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2014. N. 6. P. 945–952).
- Schweingruber F. H. Tree rings and environment: dendroecology. Berne, Switzerland: Paul Haupt AG Bern, 1996. 609 p.
- Schweingruber F. H., Börner A., Schulze E.-D. Atlas of stem anatomy in herbs, shrubs and trees. V. 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. 415 p.
- Skripalshchikova L. N., Stasova V. V., Perevoznikova V. D., Zubareva O. N., Tatarintsev A. I. Effect of the complex of technogenic and recreational loads on development of trunk tissues of Scotch pine in the Krasnoyarsk forest-steppe // Biol. Bull. 2009. V. 36. Iss. 5. P. 524–531 (Original Russian Text © L. N. Skripalshchikova, V. V. Stasova, V. D. Perevoznikova, O. N. Zubareva, A. I. Tatarintsev, 2009, publ. in Izvestiya Akademii Nauk, Seriya Biologicheskaya. 2009. N. 5. P. 618–626).

RADIAL GROWTH OF TREE SPECIES IN THE CONDITIONS OF HIGH ANTHROPOGENIC LOAD IN THE CITY OF KRASNOYARSK

Yu. V. Klad'ko, V. E. Benkova

Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

E-mail: kladaJ@mail.ru, benkova@yandex.ru

The dynamics of radial growth of tree stem developing in changing conditions of the city of Krasnoyarsk was studied. For Krasnoyarsk, The problem of creating an environment favorable for people living in Krasnoyarsk is an urgent issue and its integral part is developing green areas to protect the environment. Eight tree species were used to improve the landscape of the city of Krasnoyarsk: Scotch pine *Pinus sylvestris* L., Colorado spruce *Picea pungens* Engelm., drooping birch *Betula pendula* Roth., Siberian elm *Ulmus pumila* L., balsam poplar *Populus balsamifera* L., mountain ash *Sorbus aucuparia* L., Maak bird cherry tree *Padus maackii* Rupr., and dwarf apple tree *Malus baccata* (L.) Borkh. The width of the radial growth of the stems was measured during the lifetime of the model trees and the averaged growth paths were obtained for the five sample plots, showing different levels of contamination. On heavily contaminated sample plots, the Siberian elm, balsam poplar, Maak bird cherry tree and dwarf apple tree throughout their life form relatively narrow annual rings (up to 3 mm). It is concluded that these tree species can be used as indicators of anthropogenic pollution of the sit. Drooping birch, Siberian elm, Maak bird cherry tree, and dwarf apple tree on sites with a high level of contamination are characterized by high rate of decrease in the width of annual rings with aging, which shortens the effective life of these plants. Based on the results obtained, preliminary recommendations on the use of the tree species in the urban environment were formulated, taking into account the characteristics of their growth.

Keywords: dendroecology, anthropogenic pollution, annual rings, phytoindication.

How to cite: Klad'ko Yu. V., Benkova V. E. Radial growth of woody species in the conditions of high anthropogenic load in the city of Krasnoyarsk // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 4. P. 49–57 (in Russian with English abstract). DOI: 10.15372/SJFS20180406