

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*5+504.75

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.54

РОСТ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И ЛИСТВЕННИЦЫ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, А. В. Лебедев

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Российская Федерация, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: avl1993@mail.ru

Городские леса имеют большую экологическую ценность как объекты по поддержанию благоприятного состояния окружающей среды для жизни горожан. Развитие промышленных производств, увеличение потоков автотранспорта приводят к загрязнению воздуха городов. С возрастанием негативных воздействий происходит снижение продуктивности древостоев, усиливается отпад, уменьшается прирост. Материалы долгосрочных наблюдений на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показывают, что бонитетная шкала не отражает всего многообразия возможных траекторий роста сосновых и лиственничных древостоев: сначала происходит повышение класса бонитета, а в дальнейшем его снижение. Высокую устойчивость в условиях урбанизированной среды проявляют лиственничные древостои, что даёт им преимущество перед сосновыми при использовании в городском озеленении. Перспективными в условиях городов являются смешанные сосново-лиственничные культуры со вторым ярусом из широколиственных пород, которые улучшают выполнение насаждениями средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных функций. Сосна компенсирует низкую продуктивность лиственницы в молодости, а к моменту полного разрушения соснового элемента леса лиственница формирует максимально продуктивные древостои. Кроме того, лиственничный элемент леса имеет преимущество в продуцировании кислорода, а сосновым элементом леса выделяется наибольшее количество летучих соединений.

Ключевые слова: урбанизированные территории; рост; продуктивность; сосна; лиственница; древостои.

Введение. На современном этапе развития урбанизированных территорий особую актуальность приобретает максимально полное использование различных полезных функций зелёных насаждений, которые составляют основу экологического каркаса городов. Для рекреационных

лесов продуцирование запаса не является основной функцией, а на первое место по важности выходят санитарно-гигиеническая, эстетическая, кислородопродуцирующая и другие полезные функции [1]. Достижение оптимального сочетания полезных функций возможно в случае познания

© Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В., 2018.

Для цитирования: Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2018. № 1 (37). С. 54–71. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.54

динамики продукционного процесса урбанизированных лесных насаждений и повышения их долговечности и экологической устойчивости.

Рост населения и его миграция в города способствуют увеличению площадей урбанизированных территорий и антропогенному преобразованию естественных ландшафтов. В период с 1950 по 2014 год численность населения мира увеличилась с 2,53 до 7,24 млрд. человек, причём доля живущих в городах увеличилась с 29,6 до 53,6 % [2]. По данным Росстата [3], в 2017 году 74,3 % населения России проживало в городских населённых пунктах.

В работах зарубежных исследователей [4; 5] отмечается, что из-за гетерогенной смеси типов растительности и различных подходов к определению термина «город» нет точной оценки площади городских земель. По разным данным она варьирует от 0,3 млн. км² [6] до 3,5 млн. км² [7]. Таким образом, примерно на 1 % суши Земли сосредоточено более половины всего населения планеты. В России площадь земель городских и сельских населённых пунктов составляет 1,1 % от земельного фонда. Площадь города Москвы составляет 0,01 % от площади России, и на ней сосредоточены 8,5 % населения страны, поэтому здесь особо остро встаёт вопрос поддержания благоприятного состояния окружающей среды для жизни горожан.

Леса городов имеют большую экологическую ценность как рекреационные объекты, которые являются местом отдыха горожан, снижают уровень загрязнения атмосферного воздуха, шумового воздействия [8]. Развитие промышленных производств, увеличение потоков автотранспорта приводят к увеличению загрязнений воздуха. W.H. Smith [9] выделяет три варианта воздействия промышленных эмиссий на лесные экосистемы: 1) низкие дозы не приводят к значительным изменениям или способствуют повышению прироста древостоев, 2) средние дозы вызывают

снижение продуктивности древостоев, изменяется состав и структура лесных экосистем, увеличивается интенсивность отпада, 3) высокие дозы приводят к возникновению сильных поражений деревьев, происходят значительные изменения во всех компонентах лесных экосистем.

Под экологической устойчивостью, согласно Ю.П. Демакову [10], следует понимать поддержание в определённом диапазоне значений основных параметров состояния биологических систем в неустойчивой среде путём эффективного гашения внешнего воздействия за счёт различных адаптаций. В работах многих авторов [11] показано¹, что на устойчивость древостоев в условиях городов существенное влияние оказывают как внешние факторы (техногенные загрязнения, рекреационная нагрузка), так и внутренние (густота посадки). В исследованиях Н.Г. Кротовой [12] на Лесной опытной даче Тимирязевской академии, П.А. Феклистова [13] в Архангельской области, И.А. Зарубиной² в Иркутской области показано, что в зонах аэротехногенных нагрузок происходит значительное повреждение ассимиляционного аппарата сосновых древостоев, снижается его долговечность и начинается ускоренный распад насаждений.

На примере сосняков Урала В.А. Усольцевым, Е.Л. Воробейчиком, И.Е. Бергманом [14] показано, что в градиенте промышленных загрязнений фитомасса и чистая первичная продукция по мере удаления от Карабашского медепла-

¹ Сухоруков А.С. Обоснование типов культур сосны обыкновенной для городских лесов Москвы: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.03.01 / Сухоруков Алексей Станиславович. М., 2008. 130 с.

² Зарубина И.А. Оценка состояния культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения (Усть-Илимский район Иркутской области): диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.03.01 / Зарубина Ирина Александровна. Красноярск, 2011. 188 с.

вильного комбината резко увеличиваются в диапазоне от 4–5 км до 10–12 км, а при дальнейшем удалении их значения стабилизируются. Кроме того, анализируя процессы роста и отпада в повреждённых древостоях сосны, Р.А. Юкнис³ пришёл к выводам, что с увеличением негативных воздействий наиболее интенсивно снижается прирост по высоте, чем по диаметру, усиливаются процессы отпада за счёт отмирания наиболее мелких, отстающих в росте деревьев, и в результате старение древостоев происходит быстрее.

Анализ процессов роста древостоев возможен только при наличии постоянных наблюдений. Такие материалы накоплены в Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (ЛОД) за 150 лет в процессе повторных инвентаризаций постоянных пробных площадей. Поэтому **целью** работы является анализ роста и продуктивности древостоев сосны и лиственницы в условиях разнообразных антропогенных воздействий и разработка рекомендаций по повышению их устойчивости и долговечности.

Материал и методика исследования. Материалами для исследования послужили данные инвентаризаций постоянных пробных площадей на Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, расположенной в северо-западной части города Москвы. По итогам лесоустройства 2009 года площадь Лесной опытной дачи составляет 248,7 га, в том числе площадь покрытых лесом земель – 233,4 га (93,8 %). Преобладающими как по площади (75,7 га), так и по запасу (24960 м³) являются сосновые древостои, значительная доля которых относится к спелым и перестойным. Наиболее ценные древостои лиственницы произрастают на площади 34,8 га с общим запасом 11900 м³.

³ Юкнис Р.А. Рост и продуктивность одновозрастных сосняков в условиях загрязненной окружающей среды: Автореф. ... дис. д-ра биол. наук. Красноярск, 1990. 41 с.

Первые пробные площади были заложены в 1862 году при устройстве Петровской лесной дачи А.Р. Варгасом де Бедемаром. В дальнейшем опытное дело было продолжено профессорами М.К. Турским, Н.С. Нестеровым, В.П. Тимофеевым. С начала XX века на пробных площадях Лесной опытной дачи проводились регулярные измерения с промежутком в 5–15 лет. В работе используются данные перечётов на 55 постоянных пробных площадях, в том числе по семи пробным площадям в сосновых древостоях естественного происхождения, по 15 – в культурах сосны без ухода, по 17 – в культурах сосны с уходом, по 13 – в культурах лиственницы и по трём – в смешанных культурах сосны и лиственницы.

Для сопоставления результатов, полученных по материалам пробных площадей Лесной опытной дачи, с ростом и продуктивностью древостоев в условиях с меньшим антропогенным воздействием, использовались данные инвентаризации древостоев на постоянных пробных площадях Щелковского учебно-опытного лесхоза (Никольская лесная дача) [15], Серебряноборского опытного лесничества [16], Порецкой лесной дачи (Московская область) [17], Виноградовского лесничества (Московская область).

Выравнивание зависимости средних высот от возраста проводилось с использованием ростовой функции Митчерлиха:

$$H = a_0(1 - \exp(-a_1 A))^{a_2},$$

где H – средняя высота, м; A – возраст, лет; a – параметры уравнения.

Функция Митчерлиха широко применяется для описания роста древесных растений [10, 18–20]. Данная функция Митчерлихом использовалась для выражения зависимости роста от плодородия почвы, а в дальнейшем стала применяться и для описания взаимосвязи показателей роста с возрастом. Параметры функции Митчерлиха имеют чёткую интерпретацию: параметр a_0 отражает максимальное значение признака, к которому асимптотически приближается

кривая, второй параметр a_1 характеризует скорость роста, а третий параметр a_2 указывает на соотношение между вогнутой и выпуклой частями кривой. Н.Я. Саликовым [21] было отмечено, что закон роста на основании функции Митчерлиха соответствует требованиям простоты.

При сопоставлении роста древостоев по средней высоте на постоянных пробных площадях с срединными линиями классов бонитета в основу была положена выровненная и дополненная шкала распределения семенных и порослевых насаждений по классам бонитета М.М. Орлова [22].

Запас древостоев рассчитывался через произведение суммы площадей сечений на видовую высоту. Зависимости видовой высоты (HF) от средней высоты (H) древостоев были получены по региональным таблицам для сосняков естественного происхождения зоны смешанных лесов европейской части России, культур сосны европейской части России, культур лиственницы европейской части России [22]. Параметры уравнений и их достоверность приведены в табл. 1.

В глобальном масштабе леса не являются источником формирования положительного кислородного баланса, но в условиях крупных городов кислородопroduцирующая функция играет большую роль [23]. Оценка продуцирования кислорода древостоями проводилась по приросту чистой первичной продукции (ЧПП) фитомассы абсолютно сухого вещества. Разными авторами [1; 24] отмечается, что при образовании 1 т абсолютно сухого

органического вещества выделяется 1393–1423 кг кислорода. Количество кислорода, выделяемого древостоем за весь период его существования, рассчитывалось через общую ЧПП. Принимая во внимание, что в городских лесах проводится уборка только сухостоя, а корни, опадающие ветви и хвоя оставляются, и в дальнейшем протекают процессы их естественного разложения с поглощением атмосферного кислорода, то положительный кислородный эффект на локальном уровне проявляется через ЧПП стволов.

Для оценки общей ЧПП древостоев сосны и лиственницы использовались региональные таблицы биологической продуктивности [22]. Кроме того, общая ЧПП и ЧПП стволов сосны оценивалась по уравнениям ЧПП для сосновых древостоев европейской части России [25; 26]. Также оценка ЧПП стволов лиственницы проводилась по уравнению для европейской части России [27] и по полученным авторами уравнениям по материалам базы данных, сформированной В.А. Усольцевым [33]. Для выравнивания фитомассы и ЧПП по таблицам биологической продуктивности и по материалам базы данных использовались уравнения вида:

$$P = N \exp(a_0 + a_1 \ln D + a_2 \ln H),$$

$$NPP = N \exp\left(b_0 + b_1 \ln A + b_2 \ln\left(\frac{P}{N}\right)\right),$$

где P – фитомасса, т/га; NPP – чистая первичная продукция, т/га; N – число деревьев, шт./га; D – средний диаметр, см; H – средняя высота, м; A – возраст, лет; a , b – параметры уравнения.

Таблица 1

Параметры уравнений зависимости видовой высоты от средней высоты и их достоверность

Порода	Параметры уравнения $HF = a_0 + a_1 H$		R^2
	a_0	a_1	
Сосна естественного происхождения	1,1449	0,4135	0,999
Культуры сосны	2,3217	0,3627	0,974
Культуры лиственницы	0,5608	0,4564	0,995

Многими исследователями отмечается, что дешёвым и доступным средством для снижения загрязнённости атмосферы городов является использование древесной растительности [29–31]. Выделяемые древесными растениями фитоорганические вещества способствуют снижению в воздухе численности микроорганизмов, делают воздух чище и свежее. Фитонцидная активность древостоев сосны и лиственницы в условиях урбанизированной среды определялась условно на основании обобщения данных из ряда литературных источников⁴ [32, 33].

Результаты и обсуждение. Анализ рядов роста древостоев по средней высоте на постоянных пробных площадях показывает, что в природе встречается большое количество разнообразных форм ростовых кривых, которые являются комбинацией генетических особенностей деревьев и условий внешней среды [19, 34]. А. Schmidt [35] отмечал, что на рост деревьев в высоту оказывают совместное влияние как естественные, так и антропогенные факторы. Бонитировочные шкалы [36, 22] разработаны для древостоев, произрастающих в естественных, не преобразованных деятельностью человека природных условиях. Сосновые и лиственничные древостои постоянных пробных площадей Лесной опытной дачи произрастают в условиях разнообразных внешних воздействий, меняющихся во времени (климатические изменения, паровозные выбросы в атмосферу, загрязнения от промышленных предприятий и автотранспорта, большое число отдыхающих на природе и др.). На несоответствие между траекториями роста древостоев и линий зависимости средней высоты от возраста в бонитетных шкалах обращается внимание в работах многих авторов [18; 37; 38]. Но в то же время бонитетная шкала считается общепринятой и наиболее распространённой классификационной системой условий мест произрастания.

⁴ Григорьева М.В. Фитонцидные свойства насаждений лесопарковой части зеленой зоны города Воронежа: диссертация ... кандидата биологических наук: 11.00.11. Воронеж, 2000. 262 с.

Наибольшие отклонения кривых роста по средней высоте от бонитетных кривых получены для сосновых древостоев (рис. 1). Для большинства пробных площадей сначала происходит увеличение класса бонитета (повышение продуктивности), затем после 50–60 лет наблюдается его снижение (падение продуктивности). Например, сосновый древостой естественного происхождения на постоянной пробной площади 7/Д с 25 до 30 лет относился к I^a классу бонитета, с 35 до 55 лет – к I^b классу, с 60 до 70 лет – снова к I^a классу, с 75 до 90 лет – к I классу и с 95 до 135 лет – ко II классу.

Сосновые древостои естественного происхождения преимущественно превосходят по средней высоте лесные культуры, особенно в возрастном промежутке от 40 до 80 лет. В молодом возрасте различия, вероятно, связаны с неодинаковым механизмом протекания процесса конкуренции в естественном формирующихся и искусственно созданных насаждениях. Значительное снижение прироста по средней высоте в древостоях естественного происхождения после 80 лет и их дальнейший распад могут быть обусловлены неприспособленностью оставшихся деревьев к внешним воздействиям, в том числе антропогенного происхождения. Ю.П. Демаков [10, с. 14] указывает, что «обязательным условием сохранения устойчивости биологических систем является необходимость достаточно медленных изменений параметров среды».

В культурах без ухода средние высоты выше, чем в древостоях, пройденных рубками ухода различной повторяемости и интенсивности. Учитывая, что закладка большинства лесокультурных площадей проводилась примерно в одно время (1870–1890 гг.), то здесь на величину средней высоты оказала влияние густота посадки. На пробных площадях с густотой посадки 32 тыс. шт. на 1 га древостои по высоте превосходят культуры с густотой посадки 8300 шт. на 1 га. В 100-летнем возрасте различия в средних при двухсторонней альтернативе статистически значимы (р-значение=0,02; $t_{\text{факт.}}=2,97$; $t_{\text{табл.}}=2,36$).

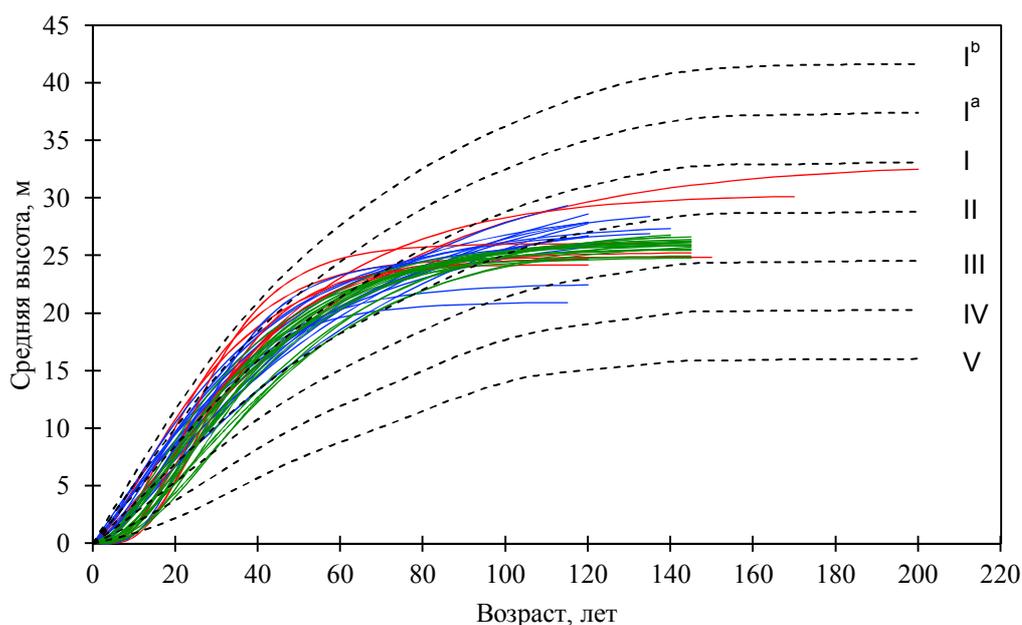


Рис. 1. Рост сосновых древостоев по средней высоте (красная линия – естественное происхождение, синяя линия – культуры без ухода, зелёная линия – культуры с уходом, чёрная пунктирная линия – бонитетная шкала)

В культурах лиственницы рост по средней высоте также не соответствует линиям из бонитетной шкалы (рис. 2). Здесь, как и в сосновых древостоях, сначала происходит постепенное увеличение класса бонитета древостоя (в сторону высокопродуктивных), а в дальнейшем – его сниже-

ние. Возраст наступления максимума кривой зависимости класса бонитета от возраста варьирует. Например, на постоянной пробной площади 11/Т к возрасту 140 лет так и не была достигнута точка перегиба, а на постоянной пробной площади 5/С точка перегиба соответствует возрасту 65 лет.

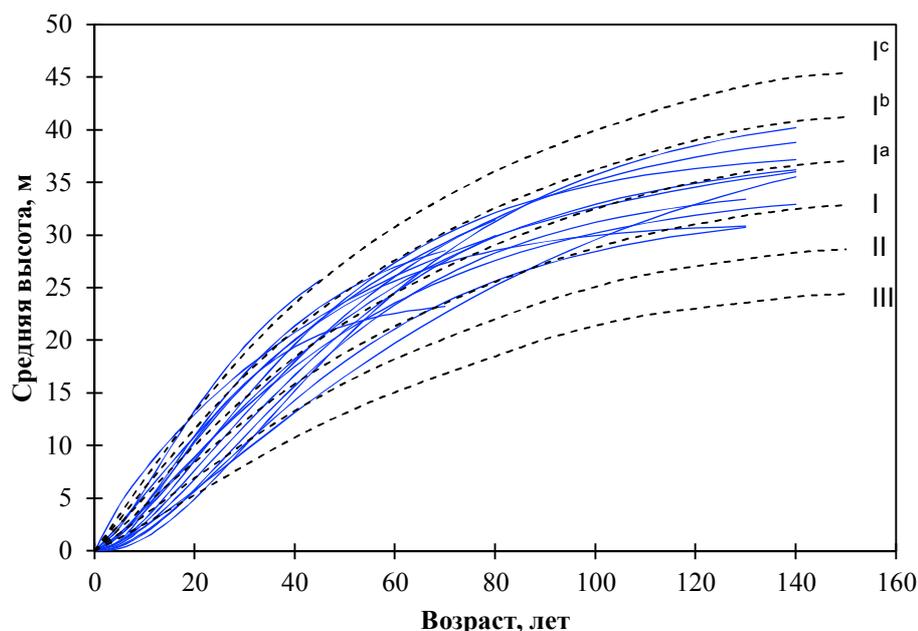


Рис. 2. Рост лиственничных древостоев по средней высоте (синяя линия – культуры, чёрная пунктирная линия – бонитетная шкала)

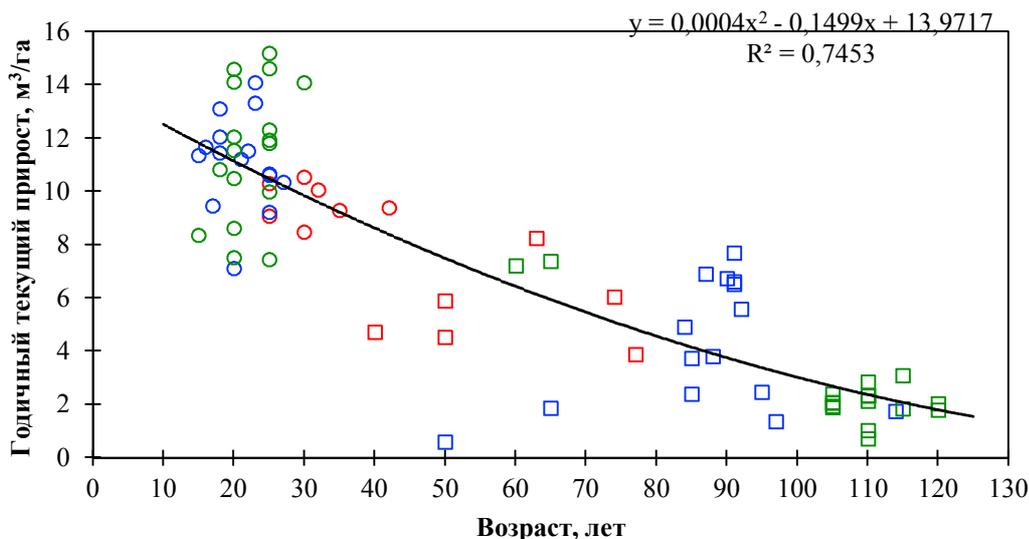


Рис. 3. Соотношение между возрастом и значением максимумов кривых текущего прироста по наличному запасу

Текущий прирост по запасу является одним из основных критериев оценки воздействия на древостой природных и антропогенных факторов [1]. В исследуемых древостоях сосны на постоянных пробных площадях кривая зависимости текущего прироста от возраста не является одновершинной. За рассматриваемый временной период формируется, как правило, два максимума текущего прироста (рис. 3). Во всех рассматриваемых случаях величина текущего прироста в первом максимуме больше, чем во втором, например, в древостоях естественного происхождения – в 1,7 раза ($9,6 \pm 0,3$ м³/га и $5,6 \pm 0,6$ м³/га), в культурах без ухода – в 3,9 раза ($10,9 \pm 0,5$ м³/га и $3,9 \pm 0,6$ м³/га) и в культурах с уходом – в 5,8 раза ($11,8 \pm 0,6$ м³/га и $2,0 \pm 0,2$ м³/га). Резкие различия в величине первого и второго максимумов текущего прироста в культурах с уходом и без ухода объясняются различной началь-

ной плотностью. Начальная плотность не оказывает влияния на величину текущего прироста в первом максимуме ($r=0,150$), но с увеличением начальной плотности происходит увеличение текущего прироста во втором максимуме ($r=0,904$).

Различия в возрасте достижения первого максимума текущего прироста в культурах с уходом (22 ± 1 год) и без ухода (21 ± 1 год) статистически недостоверны. Рубки ухода способствуют увеличению возраста наступления второго максимума текущего прироста. Так, в древостоях, пройденных рубками ухода, средний возраст наступления второго максимума кривой текущего прироста составляет 104 ± 4 года, а в культурах без ухода – 88 ± 4 года. В древостоях естественного происхождения первый максимум кривой текущего прироста наступает позже, чем в культурах (31 ± 2 года), но при этом значительно раньше кривая

достигает своего второго максимума (59 ± 6 лет).

Из облака точек на рис. 3 выделяются постоянные пробные площади, на которых древостой были подвержены сильно-му воздействию внешних факторов. В культурах без ухода – это пробная площадь 6/14 (посадка 1940 года, начальная густота 5500 шт. на 1 га) и пробная площадь 13/И₃ (посадка 1901 года, начальная густота 6000 шт. на 1 га), а в культурах с уходом – это пробные площади 4/Э и 4/Ю (посадка 1870 года, начальная густота 7700 шт. на 1 га). Пробная площадь 13/И₃ расположена рядом с железной дорогой. Сосна с момента посадки была подвержена воздействию продуктов сжигания угля в топках паровозов. Под влиянием негативных факторов внешней среды второй максимум кривой текущего прироста был достигнут в 65 лет ($1,9 \text{ м}^3/\text{га}$). Сосна на рядом расположенной пробной площади 13/И₁ (посадка 1901 года, начальная густота 22800 шт. на 1 га) в загущенной посадке проявила большую устойчивость к действию негативных факторов. Здесь возраст достижения второго максимума составил 88 лет ($3,8 \text{ м}^3/\text{га}$).

В посадке 1940 года (пробная площадь 6/14) наблюдается ускоренное развитие древостоя. Второй максимум кривой текущего прироста был достигнут в возрасте 50 лет ($0,6 \text{ м}^3/\text{га}$). Здесь сильное влияние на состояние насаждения оказывает большое количество отдыхающих горожан. Пробные площади 4/Э и 4/Ю расположены на западной границе Лесной опытной дачи, рядом с входом. Сначала большое количество отдыхающих, а в дальнейшем загрязнение от автомобильного транспорта способствовали также ускоренному старению насаждения. Второй максимум кривой текущего прироста по запасу на пробной площади 4/Э был достигнут в 60 лет ($7,2 \text{ м}^3/\text{га}$), на пробной площади 4/Ю – в 65 лет ($7,4 \text{ м}^3/\text{га}$). Отличительной особенностью этих двух пробных площадей является формирование

третьего максимума кривой текущего прироста, на пробной площади 4/Э он был достигнут в 125 лет ($2,7 \text{ м}^3/\text{га}$), а на пробной площади 4/Ю – в 105 лет ($8,6 \text{ м}^3/\text{га}$).

В древостоях лиственницы на постоянных пробных площадях формируется один максимум кривой зависимости текущего прироста от возраста. Средний возраст наступления максимума составляет 41 ± 4 года, а значение максимального текущего прироста – $10,7 \pm 0,8 \text{ м}^3/\text{га}$. Выявлена средняя корреляционная связь между годом создания культур и возрастом наступления максимума текущего прироста ($r = -0,545$), слабая связь между годом создания культур и величиной текущего прироста ($r = -0,360$). Таким образом, в культурах, созданных в 1930–1970-е гг., старение древостоев происходит быстрее, чем в культурах, созданных в 1870–1890-е гг. Влияние начальной густоты посадки на максимальное значение текущего прироста и возраст его наступления не выявлено.

На изменение запаса с возрастом в сосновых и лиственничных древостоях оказывают влияние как внутренние факторы – начальная густота, так и внешние – уровень антропогенного воздействия (рис. 4). На 5 из 7 постоянных пробных площадей с сосновыми древостоями естественного происхождения произошёл их полный распад в возрасте 120–150 лет. Максимум наличного запаса приходится в среднем на 82 ± 5 лет ($339 \pm 44 \text{ м}^3/\text{га}$). В древостоях естественного происхождения выявлена сильная корреляционная связь года происхождения насаждения (1820–1860 гг.) с возрастом достижения максимального запаса ($r = -0,870$) и с величиной максимального запаса ($r = -0,866$).

На одной из старейших пробных площадей Лесной опытной дачи 3/Е, заложенной А.Р. Варгасом де Бедемаром в 1862 году в 40-летнем сосново-берёзовом насаждении, максимум запаса приходится на 1925 год (105 лет) – $510 \text{ м}^3/\text{га}$. Далее до 1960 года (140 лет) происходит разрушение древостоя, запас снижается до

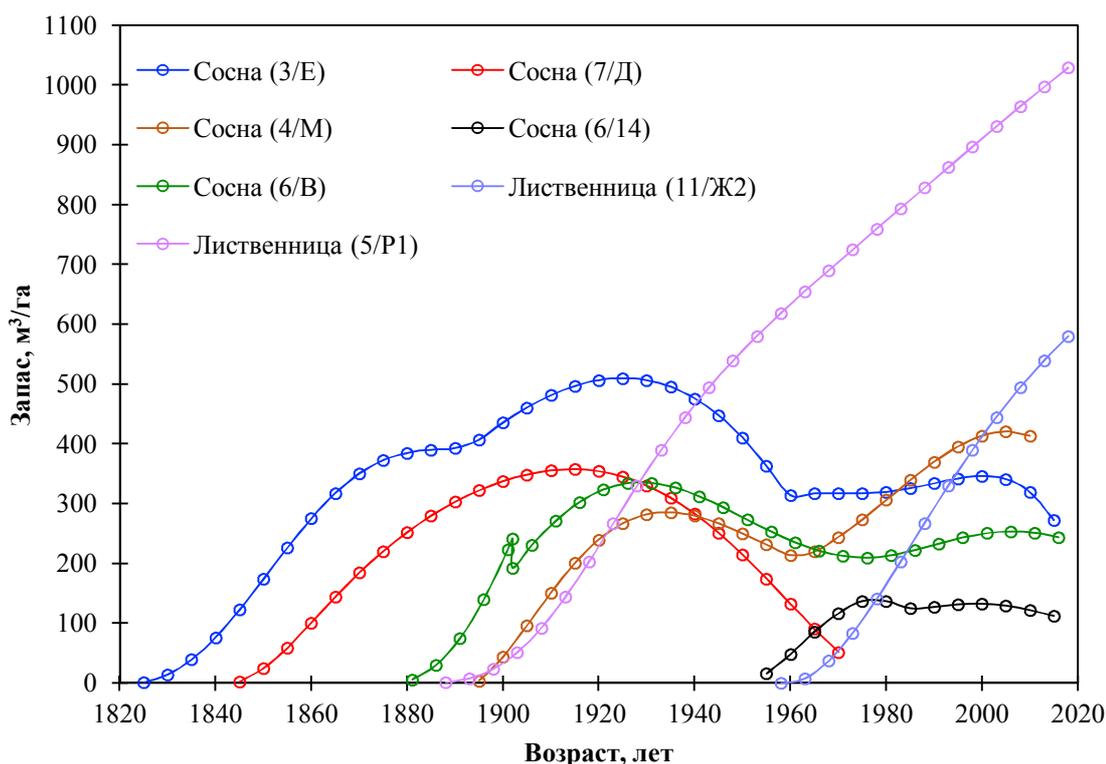


Рис. 4. Динамика запаса древостоев на постоянных пробных площадях

315 м³/га. В промежутке между 1960 годом (140 лет) и 2005 годом (185 лет) наблюдается стабилизация запаса на уровне около 325 м³/га. После 2005 года начинается вторая волна разрушения древостоя, которая, вероятно, приведёт к его распаду.

В лесных культурах без ухода на возраст достижения максимума запаса существенное влияние оказывает начальная густота ($r=0,874$): чем выше густота посадки, тем позже наступает максимум. Средняя корреляция выявлена между густотой посадки и величиной максимального запаса ($r=0,631$). Год создания лесных культур также вносит свои коррективы в продуктивность древостоев ($r=-0,433$). Культуры, созданные в период с 1900 по 1940 годы, являются менее продуктивными, чем культуры, созданные в период с 1870 по 1895 годы. Рубки ухода в культурах не влияют на максимальную продуктивность древостоев. Различия средних значений максимального запаса в культурах без ухода и с

уходом не являются статистически значимыми ($t_{\text{факт.}}=0,42$; $p\text{-значение}=0,69$).

Таким образом, в условиях урбанизированной среды наибольшую устойчивость и продуктивность показывают лесные культуры с густотой посадки 32 000 шт. на 1 га, что связано с большей вероятностью наличия в популяции особей, устойчивых к действию комплекса неблагоприятных факторов. А.С. Сухоруквым на основании анализа интенсивности отпада в культурах сосны города Москвы был сделан вывод, что в городских лесах должны выращиваться лесные культуры с диапазоном густоты посадки от 2 до 5 тысяч экземпляров на 1 га. Полученные нами результаты позволяют оспаривать это предложение.

Культуры сосны с уходом (1870–1873 годы создания) в Лесной опытной даче показывают меньшую продуктивность в сравнении с культурами в Никольской лесной даче (табл. 2), созданными в 1874 году. В 60 лет средний запас в

культурах Никольской лесной дачи составлял 361 ± 27 м³/га, а в культурах Лесной опытной дачи – 323 ± 9 м³/га. К возрасту 140 лет различия стали ещё более существенными: средний запас на пробных площадях Никольской лесной дачи составлял 458 ± 30 м³/га, а Лесной опытной дачи – 229 ± 14 м³/га. Кроме того, сосновые древостои Лесной опытной дачи уступают по продуктивности и долговечности сосновым древостоям Серебряноборского опытного лесничества, где в 170 лет запас около 450 м³/га. Комплекс неблагоприятных факторов, действующих на территории города, приводит к снижению продуктивности и долговечности сосновых древостоев, причём наиболее сильно этот эффект проявляется от центра лесного массива к его периферии и со стороны преобладающих ветров.

В культурах лиственницы в 130–140-летних древостоях, в отличие от культур и естественных древостоев сосны, продолжается процесс накопления запаса. Например, на пробной площади 5/P₁ в возрасте 130 лет запас составлял 965 м³/га, а в возрасте 140 лет – 1030 м³/га (рис. 4). Культуры лиственницы в Лесной опытной даче не уступают по

продуктивности лиственнице местного происхождения в посадках Виноградовского лесничества Московской области (табл. 3). Так как густота посадки в культурах Виноградовского лесничества значительно выше, чем в Лесной опытной даче, то здесь к 20–35 годам формируется первый максимум кривой зависимости текущего прироста запаса от возраста. Вероятно, что в дальнейшем после стабилизации численности популяции путём интенсивного отпада наступит ещё одна волна роста, которая приведёт к формированию второго максимума кривой текущего прироста. Отсюда следует, что сделанные в ряде литературных источников [39] выводы о возрасте спелости данных древостоев являются преждевременными. Результаты анализа роста и продуктивности культур лиственницы разной густоты посадки демонстрируют их высокую устойчивость в условиях урбанизированной среды, что даёт им преимущество перед сосной при использовании в городском озеленении. Одним из существенных факторов, который может ограничивать использование лиственницы в озеленении, является сильная ветровальность больших деревьев.

Таблица 2

Продуктивность сосновых древостоев в культурах Щелковского учебно-опытного лесхоза (Никольская лесная дача)

Возраст, лет	Пробная площадь В-6 (1874 г.)		Пробная площадь В-17 (1874 г.)		Пробная площадь В-20 (1874 г., 4 тыс. шт./га)	
	Запас, м ³ /га	Текущий прирост, м ³ /га	Запас, м ³	Текущий прирост, м ³ /га	Запас, м ³	Текущий прирост, м ³ /га
20	36	4,8	81	7,8	69	9,6
30	103	8,4	173	9,8	197	14,4
40	201	10,8	270	8,9	306	5,4
50	310	10,2	344	5,5	326	-0,5
60	397	6,5	378	1,3	307	-2,2
70	436	1,1	372	-2,2	290	-0,5
80	423	-2,6	339	-3,8	300	2,7
90	400	1,7	303	-2,8	342	5,4
100	448	4,5	288	0,2	404	6,3
110	489	2,9	308	3,7	462	4,7
120	501	-0,5	357	5,3	494	1,6
130	481	-2,9	399	1,3	495	-1,0
140	454	-2,1	357	-4,4	485	-0,4

Таблица 3

**Продуктивность лиственничных древостоев в культурах Виноградовского
лесничества Московской области**

Возраст, лет	Участок 7 (<i>Larix sibirica</i>)		Участок 8 (<i>Larix sibirica</i>)		Участок 18 (<i>Larix decidua</i>)		Участок 24 (<i>Larix decidua</i>)		Участок 36 (<i>Larix sibirica</i>)		Участок 37 (<i>Larix decidua</i>)	
	М	Z	М	Z	М	Z	М	Z	М	Z	М	Z
10	33	9,8	40	10,3	33	10,3	44	11,5	20	8,9	73	16,5
15	100	15,7	106	15,2	104	17,3	120	18,7	89	17,8	173	22,4
20	190	18,5	192	17,5	206	21,6	231	24,5	198	23,0	297	25,8
25	284	17,9	281	17,4	321	22,6	365	28,2	319	22,9	431	26,5
30	369	15,2	365	15,8	432	20,8	513	30,0	426	18,5	562	25,2
35	436	11,6	439	13,5	529	17,4	665	30,0	504	12,2	683	22,8
40	485	7,7	500	10,8	606	13,3	813	28,8	548	5,5	790	19,8
45	513	3,8	547	7,7	662	9,0	953	26,6	560	-0,2	881	16,6
50	522	0,1	577	4,5	696	5,1	1079	23,7	546	-4,6	956	13,3
55	514	-2,4	592	2,2	712	1,6	1190	20,6	514	-7,6	1015	10,3
60	498	-3,0	599	1,6	713	-1,1	1285	17,6	470	-9,4	1059	7,7

Примечание: М – запас, м³/га; Z – годичный текущий прирост по запасу, м³/га.

В смешанных сосново-лиственничных культурах со вторым ярусом из широколиственных пород формирование текущего прироста по запасу лиственничного элемента леса происходит несколько иначе, чем в чистых посадках (рис. 5). Например, в культурах сосны и лиственницы на пробной площади 13/3 к возрасту 140 лет так и не был достигнут максимум кривой текущего прироста по запасу лиственничного элемента леса. Как было отмечено ранее, в чистых культурах лиственницы средний возраст наступления максимума кривой текущего прироста по запасу составляет 41±4 года. При этом у кривой текущего прироста по запасу соснового элемента леса были сформированы два максимума в 20 лет (10,4 м³/га) и в 120 лет (0,2 м³/га).

Сосна характеризуется большей скоростью роста, чем лиственница. На пробной площади 13/3 примерно до 80 лет сосновый элемент леса превосходит по запасу лиственничный. Максимальный запас соснового элемента леса был достигнут в 45 лет (289 м³/га), после чего

началось его разрушение. После 80 лет максимальной продуктивностью характеризуется лиственничный элемент леса. Например, в 100 лет запас сосны составлял 80 м³/га, а запас лиственницы – 160 м³/га. Сходные результаты были получены при анализе динамики продуктивности смешанных сосново-лиственничных культур Виноградовского лесничества Московской области и культур К.Ф. Тюрмера в Порецкой лесной даче. Стоит отметить, что смешанные сосново-лиственничные культуры со вторым ярусом из широколиственных пород в условиях городов являются перспективными, поскольку сосна компенсирует низкую продуктивность лиственницы в молодости, а к моменту полного разрушения соснового элемента леса лиственница формирует максимально продуктивные древостои. Находящиеся во втором ярусе клён и липа в условиях ажурных крон деревьев первого яруса способствуют улучшению выполнения насаждениями средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных функций.

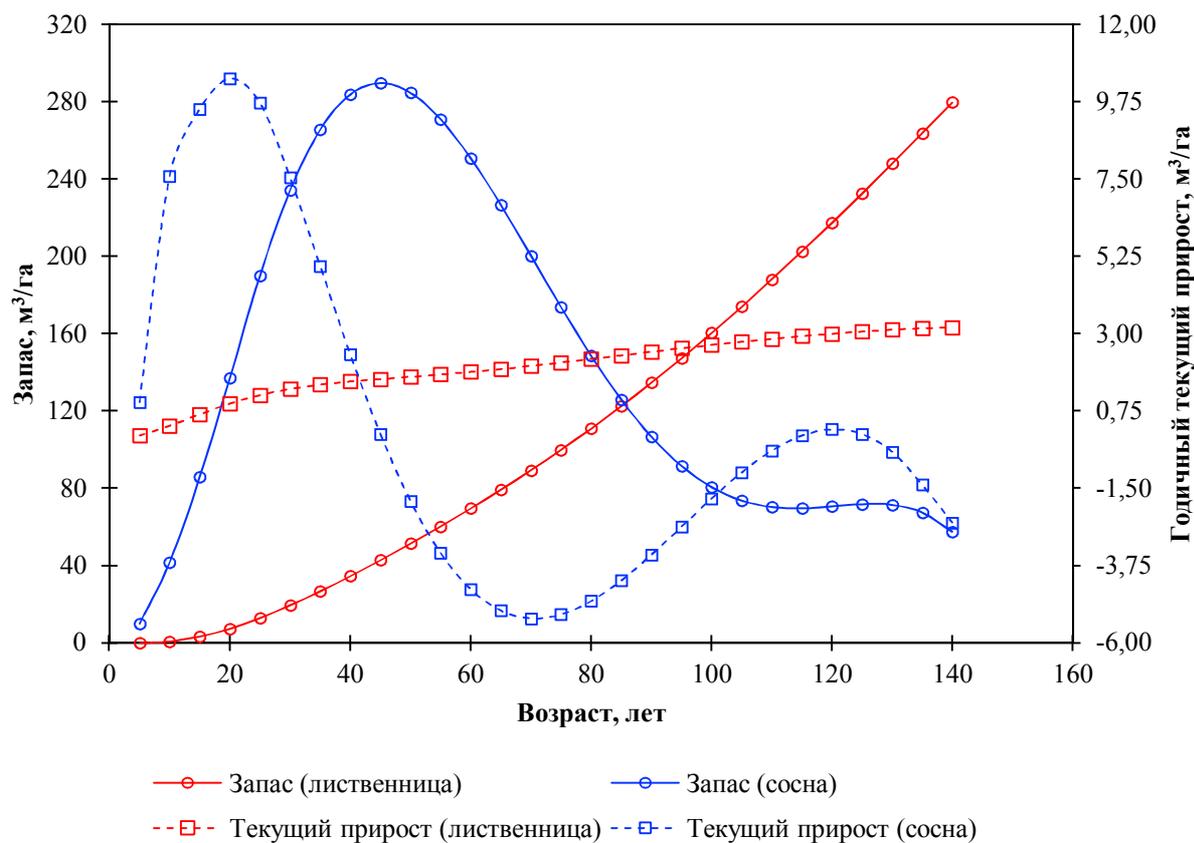


Рис. 5. Динамика запаса и годового текущего прироста в смешанных культурах сосны и лиственницы (квартал 13, пробная площадь 3)

На примере лиственницы расчёты показали, что наиболее близкими являются значения ЧПП стволов, рассчитанные по общей модели для Евразии, и по локальному уравнению для европейской части России, полученному В.А. Усольцевым с соавторами [27]. Но надёжность и точность второго уравнения вызывают сомнения, так как в массиве исходных данных присутствовали сведения о ЧПП только на 6 пробных площадях. Резко отличаются значения общей ЧПП, 1) рассчитанные по уравнениям, полученным по региональным таблицам биологической продуктивности сосновых и лиственничных древостоев, и 2) по уравнениям для сосновых древостоев европейской части России и для лиственничных древостоев Евразии. Полученные в первом случае значения ЧПП в несколько раз превыша-

ют значения, полученные во втором случае. Для сосны они достигают 4 т/га в год, а для лиственницы – 6 т/га в год.

Сопоставление рядов динамики продуцирования кислорода показало, что лиственничные древостои выделяют в атмосферу кислорода больше, чем сосновые (табл. 4). В молодом возрасте лиственничные древостои имеют преимущество над сосновыми в продуцировании кислорода примерно в два раза, а к возрасту 50–70 лет – в 4–6 раз. Максимальное количество кислорода, произведённое сосновым древостоем на постоянной пробной площади 6/14, составляет 8,5 т/га (30 лет), а лиственничным древостоем на постоянной пробной площади 11/Ж₂ – 19,1 т/га (60 лет). От 40 до 50 % выделенного кислорода образуется за счёт прироста органического вещества древесины стволов.

Таблица 4

Кислородопродуктивность древостоев сосны и лиственницы

Пробная площадь и порода	Показатель, т/га	Значение показателя в возрасте, лет										
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
6/14 Сосна	P_{total}	41	68	87	98	95	84	83	85	84	81	76
	P_{stem}	20	38	52	61	60	54	54	56	55	53	50
	NPP_{total}	4,7	5,9	6,1	5,8	4,9	3,9	3,5	3,3	3,0	2,7	2,4
	NPP_{stem}	1,6	2,3	2,5	2,5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0
	O_2^{total}	6,5	8,2	8,5	8,1	6,9	5,5	4,9	4,6	4,2	3,8	3,4
	O_2^{stem}	2,2	3,1	3,5	3,5	3,0	2,4	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4
11/Ж ₂ Лиственница	P_{total}	79	119	161	201	239	275	308	338	366	391	414
	P_{stem}	33	56	82	108	133	157	180	201	220	238	254
	NPP_{total}	8,3	10,0	11,3	12,2	12,8	13,3	13,5	13,6	13,7	13,7	13,6
	NPP_{stem}	2,8	3,6	4,2	4,6	4,9	5,1	5,2	5,3	5,3	5,2	5,2
	O_2^{total}	11,5	14,0	15,8	17,0	17,9	18,5	18,8	19,0	19,1	19,0	19,0
	O_2^{stem}	3,9	5,0	5,8	6,4	6,9	7,1	7,3	7,3	7,3	7,3	7,2

Примечание: P_{total} – фитомасса древостоя; P_{stem} – фитомасса древесины стволов; NPP_{total} – чистая первичная продукция древостоя; NPP_{stem} – чистая первичная продукция древесины стволов; O_2^{total} – годовичное продуцирование кислорода древостоем; O_2^{stem} – годовичное продуцирование кислорода за счёт прироста древесины стволов. Для сосны фитомасса и ЧПП рассчитаны по уравнению для европейской части России, для лиственницы – по общему уравнению.

По фитонцидной активности сосновые древостои имеют преимущество над лиственничными. По данным Р.А. Степена и С.В. Соболевой [33], в молодняках сосны под пологом леса содержится 2,6–3,1 мг/м³ летучих веществ, над пологом леса – 4,1–5,0 мг/м³, а в молодняках лиственницы под пологом леса – 2,1–2,3 мг/м³, над пологом леса – 2,5–2,8 мг/м³. Переносимые ветром летучие соединения, обладающие бактерицидным эффектом, способствуют оздоровлению воздуха города, а благодаря своей химической активности способствуют его очищению. М.В. Григорьевой⁶ было выявлено, что в воздухе города Воронежа число микроорганизмов в 5–33 раза больше по сравнению с воздухом под древесным пологом.

⁶ Григорьева М.В. Фитонцидные свойства насаждений лесопарковой части зеленой зоны города Воронежа: диссертация ... кандидата биологических наук: 11.00.11. Воронеж, 2000. 262 с.

Выводы

1. Материалы долгосрочных наблюдений на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева показывают, что бонитетная шкала не отражает всего многообразия возможных траекторий роста сосновых и лиственничных древостоев. На рост по средней высоте оказывают влияние генетические особенности деревьев и условия городской среды. С увеличением возраста сначала происходит повышение класса бонитета древостоев в сторону максимальной продуктивности, а после – его снижение.

2. Комплекс неблагоприятных факторов, действующих на территории города, приводит к снижению продуктивности и долговечности сосновых древостоев, причём наиболее сильно этот эффект проявляется от центра лесного массива к его периферии и со стороны преобладающих ветров.

3. В сосновых культурах, созданных в 1930–1970-е годы, старение древостоев происходит быстрее, чем в культурах, созданных в 1870–1890-е годы. Кроме того, на возраст достижения максимума запаса существенное влияние оказывает начальная густота: чем выше густота посадки, тем позже наступает максимум. В культурах с рубками ухода второй максимум текущего прироста достигается намного позже, чем в культурах без ухода.

4. Среди сосновых древостоев в условиях урбанизированной среды наибольшую устойчивость и продуктивность показали лесные культуры с густотой посадки 32 000 шт. на 1 га, что связано с большей вероятностью наличия в популяции особей, устойчивых к действию комплекса неблагоприятных факторов.

5. Результаты анализа роста и продуктивности культур лиственницы разной густоты посадки демонстрируют их высокую устойчивость в условиях урбанизированной

среды, что даёт им преимущество перед сосной при использовании в городском озеленении. Одним из существенных факторов, который может ограничивать использование лиственницы в озеленении, является сильная ветровальность больших деревьев.

6. Перспективными в условиях городов являются смешанные сосново-лиственничные культуры со вторым ярусом из широколиственных пород, которые улучшают выполнение насаждениями средообразующих, защитных, санитарно-гигиенических, рекреационных функций. Сосна компенсирует низкую продуктивность лиственницы в молодости, а к моменту полного разрушения соснового элемента леса лиственница формирует максимально продуктивные древостои. Кроме того, лиственничный элемент леса имеет преимущество в продуцировании кислорода, а сосновым элементом леса выделяется наибольшее количество летучих соединений.

Список литературы

1. *Луена И.Я.* Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 170 с.
2. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision [Электронный ресурс] / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. – 2015. URL: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf> (дата обращения: 07.02.2018).
3. Россия в цифрах. 2017: Краткий статистический сборник / Росстат. М., 2017. 511 с.
4. *Schneider A., Friedl M.A., Potere D.* A new map of global urban extent from MODIS satellite data // *Environmental Research Letters*. 2009. № 4. doi:10.1088/1748-9326/4/4/044003
5. *Potere D., Schneider A., Schlomo A., Civco D.* Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate? // *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30. No. 24. P. 6531-6558.
6. *Danko D.M.* The Digital Chart of the World Project // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1992. Vol. 58. P. 1125-1128.
7. Global Rural-Urban Mapping Project, Version 1 (GRUMPv1) [Электронный ресурс] / Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University, International Food Policy Research Institute - IFPRI, The World Bank, and Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. New York: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.7927/H4GH9FVG> (дата обращения: 05.02.2018).
8. *Кичигин Н.В.* Городские леса: режим охраны и использования // *Журнал российского права*. 2011. № 6 (174). С. 28-34.
9. *Smith W.N.* Air pollution and forest. Interaction between air contaminants and forest ecosystems. N.Y., Springer. 1981. Vol. 15. 379 p.
10. *Демаков Ю.П.* Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты: Научное издание. Йошкар-Ола, 2000. 416 с.
11. *Авдеева Е.В.* Специфика роста древесных растений в условиях городской среды // *Вестник КрасГАУ*. 2008. № 4. С.182-186.
12. *Кротова Н.Г.* Влияние изменения воздушной среды на рост и развитие сосны в Лесной опытной даче ТСХА // *Доклады ТСХА*. 1957. Вып. 29. С. 300-306.
13. *Феклистов П.А.* Состояние сосновых древостоев в условиях аэротехногенного загрязнения атмосферы. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 132 с.
14. *Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман И.Е.* Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Ис-

следование системы связей и закономерностей. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 366 с.

15. Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. Опыт лесоводственного мониторинга в Никольской лесной даче. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. 111 с.

16. Рысин Л.П. Биогеоэкология лесов сосны обыкновенной. М.: КМК, 2015. 302 с.

17. Редько Г.И., Трещевский И.В. Рукотворные леса. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.

18. Кузьмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.

19. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.

20. Кивисте А.К. Функции роста леса. Тарту: ЭСХА, 1988. 108 с.

21. Саликов Н.Я. К обоснованию модели роста древостоев // Лесоустройство и лесная таксация: сб. трудов ВНИИЛМ, 1981. С. 48-50.

22. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильсон и др. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2006. 803 с.

23. Лакида И.П. Оценка кислородопродуктивности модальных искусственных сосняков городских лесов Киева // Достижения ВУЗовской науки. 2013. № 7. С. 203-207.

24. Чесноков Н.И., Долгошеев В.М. Оценка кислородопродуцирующей функции леса // Лесное хозяйство. 1978. № 7. С. 32-34.

25. Хлюстов В.К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Экобиоэнергетический потенциал сосняков Костромской области: Монография. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2016. 292 с.

26. Хлюстов В.К., Лебедев А.В. Возрастное изменение чистой первичной продукции сосновых древостоев по типам лесорастительных условий // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: сборник научных статей / Отв. ред. проф. Э.А. Курбанов. Электрон. дан. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. С. 44-51.

27. География чистой первичной продукции древостоев рода *Larix* в пределах Евразии /

В.А. Усольцев, Д.С. Гаврилин, А.И. Колтунова и др. // Известия ОГАУ. 2014. № 2. С. 8-11.

28. Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.

29. Фролов А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. СПб.: Наука, 1998. 328 с.

30. Степень Р.А., Соболева С.В., Воронин В.М. Оздоровление воздушной среды городов летучими выделениями пихтовых насаждений // Инновационная наука. 2017. № 2-2. С. 25-28.

31. Степень Р.А., Рогов В.А., Рогов А.В. Летучие экзометаболиты, их свойства и воздействие на растительные организмы и человека. Красноярск: СибГТУ, 2007. 100 с.

32. Оздоровление городской воздушной среды летучими выделениями сосны / Л.В. Ставникова, А.В. Рогов, В.А. Рогов и др. // Вестник КрасГАУ. 2011. № 8. С. 145-148.

33. Степень Р.А., Соболева С.В. Оздоровление городской атмосферы летучими выделениями леса // Хвойные бореальной зоны. 2016. №1-2. С. 76-79.

34. Donis J., Sņepsts G., Zdors L., et al. Mezauzdu augšanas gaitas un pieauguma noteikšana, izmantojot parmeritos meža statistiskās inventarizācijas datus. Projekta 1. Starpatskaite (2. etaps). Salaspils, LVMI Silava, 2012. 111 pp.

35. Schmidt A. Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberpfalz. – Forstwiss. Cbl., 1969, Jg. 88, H. 1, S. 33-40.

36. Орлов М.М. Лесная таксация; 3-е изд. пересм. и доп. Л.: изд. ж. «Лесное хозяйство и лесная промышленность», 1929. 532 с.

37. Демаков Ю.П. Изменчивость и классификация форм кривых хода роста деревьев в онтогенезе // Известия вузов. Лесной журнал. 2002. № 4. С. 33-40.

38. Хлюстов В.К., Лебедев А.В. Экологическая типизация хода роста древостоев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 5-18.

39. Хлюстов В.К., Корешков Н.В. Систематизация роста и продуктивности географических культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) // Природоустройство. 2017. № 3. С. 111-120.

Статья поступила в редакцию 07.02.18.

Информация об авторах

ДУБЕНОК Николай Николаевич – академик РАН, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Область научных интересов – агролесомелиорация, ресурсосберегающие технологии, использование мелиорированных земель. Автор 270 публикаций, в том числе десяти монографий.

КУЗЬМИЧЕВ Валерий Васильевич – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Область научных интересов – экология леса, лесная таксация, дистанционные методы. Автор 160 публикаций, в том числе шести монографий.

ЛЕБЕДЕВ Александр Вячеславович – ассистент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Область научных интересов – лесная таксация, экология леса, геоинформационные системы и технологии, анализ данных. Автор 35 публикаций, в том числе одной монографии.

UDC 630*5+504.75

DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.54

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF PINE AND LARCH STANDS UNDER CONDITIONS OF URBAN ENVIRONMENT

N. N. Dubenok, V. V. Kuzmichev, A. V. Lebedev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation

E-mail: avl1993@mail.ru

Keywords: urban lands; growth; productivity; pine; larch; stands.

ABSTRACT

Introduction. Urban forests are of great ecological value as the facilities for maintaining a favorable environment for the life of citizens. Development of industrial production, and increased traffic flows lead to air pollution in the cities, which contributes to decrease in productivity of stands, increase in the decline of stands, and decrease in growth of stands. **The aim of the work** is to analyze the growth and productivity of pine and larch stands under different anthropogenic influences and to develop the recommendations for increasing their stability and durability. **Materials and methods.** The data from the inventory of permanent trial plots at the Experimental Forest District of the RSAU-MTAA and other forest areas of the city of Moscow and Moscow region were the materials for the study. The alignment of the dependence of the average heights on age was carried out using the growth function of Mitcherlich. The stock of stands was calculated by multiplying the sum of the cross-sectional areas by the form height. The amount of oxygen was calculated through pure primary phytomass production. The phytocidal activity of pine and larch stands was determined conditionally on the basis of generalization of data from literature sources. **Results.** The growth of stands by the medium height in the trial plots does not correspond to the bonitet scale: first, the bonitet class is upgraded, and then it is declined. A complex of unfavorable factors leads to a decrease in productivity and durability of pine stands, and this effect is most pronounced from the center of the forest to its periphery and from the side of prevailing winds. Among the pine stands, forest plantations with the density of planting of 32000 pieces per 1 hectare showed the greatest stability and productivity. High stability is shown by larch stands, which gives them an advantage over pine trees when used in urban landscaping. **Conclusion.** Mixed pine-larch plantations with the underwood of broad-leaved species, which improve the performance of plantations and improve protective, sanitary-hygienic, recreational functions of urban forests, are promising in urban conditions. Pine compensates low larch productivity in youth, and by the time of complete destruction of pine forest generation, larch forms the most productive stands. Besides, the larch stand has an advantage in producing the oxygen, and most part of volatile compounds is released by the pine stand.

REFERENCES

1. Liepa I.Ya. Dinamika drevesnykh zapasov: prognozirovaniye i ekologiya [Dynamics of Wood Stock: Forecast and Ecology]. Riga: Zinatne, 1980. 170 p. <https://esa.un.org/un-pd/wup/Publications/Files/WUP-2014-Report.pdf> (Reference date: 07.02.2018).
2. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. – 2015. URL: <https://esa.un.org/un-pd/wup/Publications/Files/WUP-2014-Report.pdf> (Reference date: 07.02.2018).
3. Rossiya v tsifrakh. 2017: Kratkiy statisticheskiy sbornik [Russia in Numbers 2017: Short Statistical Book]. Rosstat [Federal State Statistics Service]. Moscow, 2017. 511 p.

4. Schneider A., Friedl M.A., Potere D. A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*. 2009. No 4. doi:10.1088/1748-9326/4/4/044003
5. Potere D., Schneider A., Schlomo A., Civco D. Mapping urban areas on a global scale: which of the eight maps now available is more accurate?. *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30. No. 24. P. 6531-6558.
6. Danko D.M. The Digital Chart of the World Project. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1992. Vol. 58. P. 1125-1128.
7. Global Rural-Urban Mapping Project, Version 1 (GRUMPv1) [Электронный ресурс] / Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University, International Food Policy Research Institute - IFPRI, The World Bank, and Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. New York: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.7927/H4GH9FVG> (Reference date: 05.02.2018).
8. Kichigin N.V. Gorodskie lesa: rezhim okhrany i ispolzovaniya [Urban Forests: Mode of Protection and Use]. *Zhurnal rossiyskogo prava* [The Journal of Russian Law]. 2011. No 6 (174). P. 28-34.
9. Smith W.N. Air pollution and forest. Interaction between air contaminants and forest ecosystems. N.Y., Springer. 1981. Vol. 15. 379 p.
10. Demakov Yu.P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty: Nauchnoe izdanie*. [Diagnostics of Forest Ecosystems Sustainability: Methodological and Methodic Aspects: scientific publication]. Yoshkar-Ola, 2000. 416 p.
11. Avdeeva E.V. Spetsifika rosta drevesnykh rasteniy v usloviyakh gorodskoy sredy [The Specificity of Woody Plants Growth in the Urban Environment]. *Vestnik KrasGAU* [Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2008. No 4. P.182-186.
12. Krotova N.G. Vliyanie izmeneniya vozdukhnoy sredy na rost i razvitie sosny v Lesnoy opytnoy dache TSKHA [The Influence of Change of the Aerial Environment on the Growth and Development of Pine in the Experimental Forest District of Timiryazev State Agrarian Academy]. *Doklady TSKhA* [Transactions of Timiryazev State Agrarian Academy]. 1957. Issue 29. P. 300-306.
13. Feklistov P.A. *Sostoyanie sosnovykh drevostoev v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya atmosfery* [The State of Pine Stands in Condition of Aerotechnogenic Pollution of the Atmosphere]. Arkhangel'sk: Izdatel'stvo AGTU, 2005. 132 p.
14. Usoltsev V.A., Vorobeichik E.L., Bergman I.E. *Biologicheskaya produktivnost lesov Urala v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya: Issledovanie sistemy svyazey i zakonornostey* [Biological Productivity of the Forests in the Ural in Conditions of Man-Made Pollution: Study of the System of Connections and Regularities]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012. 366 p.
15. Merzlenko M.D., Melnik P.G. *Opyt lesovodstvennogo monitoringa v Nikolskoy lesnoy dache* [The Experience of Silvicultural Monitoring in Nikolsk Forest District]. Moscow: FGBOU VPO MGUL, 2015. 111 p.
16. Rysin L.P. *Biogeotsenologiya lesov sosny obyknovennoy* [Biogeocenology of Scots Pine Forests]. Moscow: KMK, 2015. 302 p.
17. Redko G.I., Treshchevskiy I.V. Rukotvornye lesa [Man-Made Forests]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 240 p.
18. Kuzmichev V.V. *Zakonornosti dinamiki drevostoev: printsipy i modeli* [Regularities of Dynamics of Stands: Principles and Models]. Novosibirsk: Nauka, 2013. 208 p.
19. Kuzmichev V.V. *Zakonornosti rosta drevostoev* [Regularities of Growth of Stands]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 160 p.
20. Kiviste A.K. *Funktsii rosta drevostoev* [The Functions of Growth of Forest]. Tartu: ESKhA, 1988. 108 p.
21. Salikov N.Ya. K obosnovaniyu modeli rosta drevostoev [To the Grounding of the Model of Growth of Stands]. *Lesoustroystvo i lesnaya taksatsiya: sb. trudov VNILM* [Forest Surveying and Forest Measurement: collected papers of Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry]. 1981. P. 48-50.
22. Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nilson S. et al. Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoy Evrazii [Tables and Models of Growth Course and Productivity of Stands of the Main Forest-Forming Species in Northern Eurasia]. Normativno - spravochnye materialy [Regulatory Reference Book.]. Moscow: Federalnoe agentstvo lesnogo khozyaystva, 2006. 803 p..
23. Lakida I.P. Otsenka kislorodoproduktivnosti modalnykh iskusstvennykh sosnyakov gorodskikh lesov Kievа [An Assessment of Oxygen-Productivity of Modal Artificial Pine Stands in the Urban Forests of Kyiv]. *Dostizheniya VUZovskoy nauki* [Achievements of University Science]. 2013. No 7. P. 203-207.
24. Chesnokov N.I., Dolgosheev V.M. Otsenka kislorodoproduktivnosti funktsii lesа [An Assessment of Oxygen-Productivity Function of Forest]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1978. No 7. P. 32-34.
25. Khlustov V.K., Lebedev A.V., Efimov O.E. *Ekobioenergeticheskiy potentsial sosnyakov Kostromskoy oblasti: Monografiya* [Ecobioenergetic Potential of Pine Forests of Kostroma Oblast: monograph]. Moscow: Izdatel'stvo RGAU-MSKhA, 2016. 292 p.
26. Khlustov V.K., Lebedev A.V. Vozrastnoe izmenenie chistoy pervichnoy produktsii sosnovykh drevostoev po tipam lesorastitelnykh usloviy [The Age-Change of Net Primary Production of Pine Stands in Accordance of Forest Site Types]. *Lesnye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost i distantsionnyy monitoring: sbornik*

nauchnykh statey. Otv. red. prof. E.A. Kurbanov [Forest Ecosystems in Conditions of Climate Change: Biological Productivity and Remote Monitoring: collected papers. Editor-in-chief - professor E.A. Kurbanov]. Yoshkar-Ola: Povolzhskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2016. P. 44-51.

27. Usoltsev V.A., Gavrilin D.S., Koltunova A.I. et al. Geografiya chistoy pervichnoy produktsii drevostoev roda *Larix* v predelakh Evrazii [Geography of Net Primary Production of *Larix* Stands in Eurasia]. *Izvestiya OGAU* [Izvestiya of Orenburg State Agrarian University]. 2014. No 2. P. 8-11.

28. Usoltsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Phytomass and Primary Production of Forests in Eurasia]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2010. 570 p.

29. Frolov A.K. *Okruzhaushchaya sreda krupnogo goroda i zhizn rasteniy v nem* [Environment of a Large City and the Life of Vegetation in It]. Saint-Petersburg: Nauka, 1998. 328 p.

30. Stepen R.A., Soboleva S.V., Voronin V.M. Ozdorovlenie vozdukhnoy sredy gorodov letuchimi vydeleniyami pikhtovykh nasazhdeniy [Enhancement of the Aerial Environment of the Cities with Volatile Emissions of Fir Stands]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovation Science]. 2017. No 2-2. P. 25-28.

31. Stepen R.A., Rogov V.A., Rogov A.V. *Letuchie ekzometabolity, ikh svoystva i vozdeystvie na rastitelnye organizmy i cheloveka* [Volatile Exometabolites, Their Properties and Influence on Vegetation and Man]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2007. 100 p.

32. Stavnikova L.V., Rogov A.V., Rogov V.A. et al. Ozdorovlenie gorodskoy vozdukhnoy sredy letuchimi vydeleniyami sosny [Enhancement of Aerial Environment with Volatile Emissions of Pine]. *Vestnik KrasGAU* [Vestnik of Krasnoyarsk State Agrarian University]. 2011. No 8. P. 145-148.

33. Stepen R.A., Soboleva S.V. Ozdorovlenie gorodskoy atmosfery letuchimi vydeleniyami lesa [Enhancement of Urban Air with the Volatile Emissions of Forest]. *Khvoynye borealnoy zony* [Coniferous Trees of the Boreal Zone]. 2016. No 1-2. P. 76-79.

34. Donis J., Snepsts G., Zdors L., et al. Mezaudzu augsanas gaitas un pieauguma noteiksana, izmantojot parmeritos meza statistiskas inventarizacijas datus. Projekta 1. Starpatskaite (2. etaps). Salaspils, LVMI Silava, 2012. 111 lpp.

35. Schmidt A. Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberpfalz. *Forstwiss. Cbl.*, 1969, Jg. 88, H. 1, S. 33-40.

36. Orlov M.M. *Lesnaya taksatsiya: 3-e izd. peresm. i dop.* [Forest Measurement: 3d edition, improved and enlarged]. Leningrad: izd.zh. "Lesnoe khozyaystvo i lesnaya promyshlennost", 1929. 532 p.

37. Demakov Yu.P. *Izmenchivost i klassifikatsiya form krivykh khoda rosta derevev v ontogeneze* [The Variability and Classification of Curve Shapes of Growth Course of Trees in the Ontogeny]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of University. Forest Journal]. 2002. No 4. P. 33-40.

38. Khlustov V.K., Lebedev A.V. *Ekologicheskaya tipizatsiya khoda rosta drevostoev* [Ecological Typification of Growth Course of Stands]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management]. 2016. No 4 (32). P. 5-18.

39. Khlustov V.K., Koreshkov N.V. *Sistematizatsiya rosta i produktivnosti geograficheskikh kultur listvennitsy sibirskoy (Larix sibirica)* [Systematization of Growth and Productivity of Provenance Trial Plantation of Siberian Larch (*Larix sibirica*)]. *Prirodobustroystvo* [Nature Management]. 2017. № 3. P. 111-120.

The article was received 07.02.18.

For citation: Dubenok N. N., Kuzmichev V. V., Lebedev A. V. Growth and Productivity of Pine and Larch Stands under Conditions of Urban Environment. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2018. No 1(37). Pp. 54–71. DOI: 10.15350/2306-2827.2018.1.54

Information about the authors

DUBENOK Nikolay Nikolayevich – Academician of RAS, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Head at the Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Research interests – forest amelioration, resource-saving technologies, use of reclaimed lands. The author of 270 publications, including 10 monographs.

KUZMICHEV Valeriy Vasilyevich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Research interests – ecology of forest, forest assessment, remote methods. The author of 160 publications, including 6 monographs.

LEBEDEV Alexander Vyacheslavovich – Assistance lecturer at the Chair of Agricultural Reclamation, Forestry and Land Organization, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Research interests – forest assessment, ecology of forest, geoinformation systems and technologies, data analysis. The author of 35 publications, including 1 monograph.