

УДК [57.023+57.032/.033]:57.087

ОЦЕНКА ФОРМЫ СТВОЛА И КРОНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО КОМПЛЕКСУ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ¹

© 2019 г. С. А. Шавнин^а, *, И. С. Овчинников^а, А. А. Монтиле^а, Д. Ю. Голиков^а

^аБотанический сад УрО РАН
Россия, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а

*E-mail: sash@botgard.uran.ru

Поступила в редакцию 27.12.2016 г.

После доработки 16.03.2018 г.

Принята к публикации 05.06.2018 г.

Исследовали форму ствола и кроны деревьев на трех участках сосновых древостоев, расположенных на окраине г. Каменск-Уральского (Свердловская обл.), в 30 км от него, а также в дендрарии Ботанического сада Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), существенно отличающихся (согласно предварительному экспертному мнению) по степени проявления ростовых отклонений. В ходе выполнения исследования разработан и апробирован методический подход к оценке формы ствола и кроны деревьев на основе оригинальной шкалы, учитывающей набор следующих морфологических признаков: кривизна ствола, многоствольность, многовершинность, сучковатость и охвоение. Метод позволяет на основании глазомерных оценок (в баллах) описывать степень проявления морфологических особенностей деревьев сосны и взаимосвязи отдельных признаков, а также характеризовать участки древостоев с различным уровнем проявления отклонений от нормального морфогенеза. В результате исследований установлено, что из пяти применяемых в оценке признаков наиболее важным и позволяющим достоверно различать изученные древостои является кривизна ствола, которая наименее связана с другими оценочными характеристиками. Показано, что весь набор признаков разработанной шкалы необходим для объективной оценки особенностей морфогенеза деревьев на различающихся по комплексу условий местообитаний участках. Описываемый подход перспективен для изучения ростовых отклонений у древесных растений в насаждениях естественного и искусственного происхождения.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, рост и развитие деревьев, особенности формы ствола, шкала визуальной оценки, взаимосвязь морфологических признаков.

DOI: 10.1134/S0024114818060074

В процессе морфогенеза при формировании ствола разных видов древесных растений у отдельных особей, а иногда и у большой группы деревьев (феномен “танцующего леса”) возникают отклонения от наиболее распространенного хода развития (Shiyatov, 1993; Усольцев, 2014; Richter, 2015), который считается нормальным. Такие морфологические особенности, как правило, встречаются достаточно редко и обусловлены реакцией древостоя на действие совокупности экзогенных и/или эндогенных факторов. Из них наиболее выраженные признаки — это искривления ствола, появление большого числа ветвей и сучьев, образование нескольких стволов и вершин. Данные особенности сопровождаются существенными из-

менениями на анатомическом (тканевом) уровне. Так, у карельской березы известно наличие образований в виде текстуры “птичий глаз”, капов, сувелей, наплывов (Курносоев, 2000; Коровин и др., 2001). У хвойных видов с различной частотой также встречаются “отклонения” или “аномалии”, которые по своей природе обусловлены особенностями морфологии и физиологии тканей древесины. В последнее время данному явлению уделяется значительное внимание (Harris, 1989; Коровин и др., 2001; Селиверстов, 2008; Рогозин, Разин, 2015; Richter, 2015). Например, особенности морфогенеза изучали у лиственницы Сукачева (Сигурдссон, 2013), сосны обыкновенной (Birg et al., 1989; Michalska, Klisz, 2011), сосны лучистой и сосны желтой (Leelavanichkul, Cherkaev, 2004). Аномальные структурные изменения сосны в ленточных борах Алтая изучались в связи с проблемой отдаленных последствий ядерных испытаний на Семипалатинском полигоне (Коровин и др.,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программы Фундаментальных научных исследований РАН на 2013–2020 гг. (АААА-А-17-117072810010-4) и комплексной программы Президиума УрО РАН на 2018–2020 гг. (АААА-А17-117072810009-8).

2000). Большинство авторов считает, что аномалии не являются случайными отклонениями в процессе роста дерева, а отражают адаптационные изменения на уровне физиолого-биохимических и ростовых механизмов. В связи с этим при изложении материала в тексте данной статьи вместо термина “аномалия” используется понятие “отклонения ростовых процессов от нормы” (или “ростовые отклонения”), означающее возникновение особых (по степени выраженности отдельных признаков) морфологических форм деревьев конкретного вида.

Первый уровень описания ростовых отклонений у сосны обыкновенной и других видов древесных растений связан с использованием визуальных методов. Для оценки состояния деревьев и древостоев по внешним признакам существуют успешно применяемые шкалы (Кулагин, 1974; Алексеев, 1989, 1990; Теолоронский и др., 2000; Санитарные правила ..., 1998, 2006; Правила создания ..., 2002; Меншиков, Ившин, 2006; Мозолевская и др., 2007; О правилах ..., 2017), которые, однако, не предусматривают детального описания ростовых отклонений и зачастую требуют уточнения. Так, у дуба черешчатого (Крюкова, 2015) особо выделяются многостволье, изгибы, S-образное и угловое искривления, которые предлагается использовать при оценке состояния древостоев. Значительные по объему исследования состояния лесов проводятся на территории Европы в рамках программы “ICP Forests”. При этом данной программой, несмотря на большое число регистрируемых признаков, количественная оценка морфогенетических особенностей деревьев предусмотрена только для характеристик кроны (Dobbertin, Neumann, 2016; Eichhorn et al., 2016). Существуют также шкалы для оценки риска и санитарного состояния городских и парковых насаждений (Mattheck, Breloer, 1994; Matheny, Clark, 1998; Lonsdale, 1999).

Следует отметить, что практический аспект проблемы связан с мониторингом качества древесины (Поляков, 2000), при котором дают оценку и прогноз состояния и динамики данного показателя в природно-производственных условиях региона. В частности, наряду с визуальной оценкой, в инструкциях для технологов содержатся руководства по инструментальному определению дефектов древесины и пиломатериалов (Birk et al., 1989; Thies et al., 2004). При оценке качества заготавливаемой древесины используют градации отклонений от нормы, которые определяются соглашением о продаже деловой древесины (Rahmenvereinbarung ..., 2015). При этом фиксируются: местоположение на стволе (дереве), частота встречаемости или повторяемости, степень выраженности (Rast et al., 1973; Birk et al., 1989; Stepien et al., 1998; Clark, 2003; Cunningham, Patterson, 2006; AS 4373-2007, 2007; AS 4970-2009,

2009; Using the ISA ..., 2013). Методы визуальной оценки деревьев с описанием морфологических признаков могут применяться в качестве основы для дальнейшего мониторинга состояния древостоя (Селиверстов, 2008). В последней работе описаны также ГОСТы, регламентирующие качество древесных стволов с использованием градаций ростовых отклонений. Необходимо отметить, что для повышения точности оценки запаса в лесной таксации измеряется и учитывается форма ствола (Кофман, 1986), вариабельность которой в нашей работе не рассматривается.

Описанные выше шкалы направлены на оценку общего состояния деревьев и древостоев либо узко специализированы в зависимости от решаемых технологических задач. В связи с этим представляется актуальной разработка метода, позволяющего количественно изучать особенности и механизмы морфогенеза деревьев, а также проводить поиск возможных причин возникновения ростовых отклонений. В данной работе решалась задача разработки методического подхода к оценке формы ствола и кроны деревьев сосны обыкновенной на основе визуально определяемых количественных показателей, а также апробации созданной методики оценки в конкретных древостоях, существенно отличающихся (согласно предварительному экспертному мнению) по степени проявления ростовых отклонений (древостои сосны в районе г. Каменск-Уральского и в г. Екатеринбург).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для изучения особенностей формы ствола и кроны деревьев сосны обыкновенной были выбраны насаждения на трех участках: участок 1 – на окраине г. Каменск-Уральского (Свердловская область); участок 2 – в 30 км южнее г. Каменск-Уральского вблизи с. Потаскуева; участок 3 – на территории заповедной части дендрария Ботанического сада УрО РАН (г. Екатеринбург). Согласно предварительной экспертной оценке частота встречаемости ростовых отклонений на участке 1 – максимальна, на участке 2 – ниже и минимальна на участке 3. Подобранные участки относятся к двум лесорастительным районам: Зауральскому увалисто-равнинному (Б-8) Зауральской равнинной провинции, северного лесостепного (колочный) округа (С-VIe) и Тагильско-Свердловскому предгорному (Б-7) Зауральской предгорной провинции южнотаежного округа (С-VIv) (Колесников и др., 1974).

Обследование древостоев производилось на пробных площадях (пр. пл.). Их закладка осуществлялась в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83 (1984). Определение средних таксационных показателей проводилось в соответствии с общепринятыми методами (Анучин, 1982). Сос-

Таблица 1. Площади пробных площадей, диаметр и высота древостоев

Пробная площадь	<i>D</i> , см			<i>H</i> , м			Площадь, тыс. м ²
	<i>M</i> ± <i>m</i>	σ	<i>C.V.</i> , %	<i>M</i> ± <i>m</i>	σ	<i>C.V.</i> , %	
1	34.12 ± 0.41	5.76	16.88	29.54 ± 0.23	2.34	7.93	7.0
2	38.78 ± 0.46	9.42	24.29	28.87 ± 0.3	2.96	10.24	18.0
3	38.77 ± 0.48	6.96	17.95	25.19 ± 0.21	2.10	8.32	10.0
4	36.98 ± 0.54	8.28	22.40	25.48 ± 0.42	2.94	9.82	10.0
5	39.62 ± 0.68	8.58	21.65	24.08 ± 0.07	0.84	3.5	7.0
6	41.75 ± 0.81	9.33	22.35	24.69 ± 0.08	0.89	3.59	7.0

Примечание. *D* – диаметр дерева, *H* – высота дерева, *M* – среднее, *m* – ошибка среднего, *C.V.* – коэффициент вариации.

няки в Каменск-Уральском районе, на участке 1 (пр. пл. 3, 4) и участке 2 (пр. пл. 1, 2) относятся к V–VI классам возраста, а на участке 3 (пр. пл. 5, 6) – к VII–VIII классам. Состав насаждений пр. пл. 1 и 2 10С, II класс бонитета, полнота 0.6, почва серая лесная оподзоленная. На пр. пл. 3 и 4 состав насаждений 10Сед.Б, II класс бонитета, полнота 0.6, почва серая лесная. На пр. пл. 5 и 6 состав насаждений 10Сед.Б, III класса бонитета, полнота 0.7, почва подзолистая. Лесорастительные условия насаждений соответствуют разнотравной группе типов леса. Размеры пробных площадей, а также средние диаметры и высота деревьев приведены в табл. 1.

Оценку формы ствола и кроны деревьев проводили на основе специально разработанного методического подхода визуального определения степени выраженности отдельных базовых признаков. Под степенью выраженности признаков подразумевается накопленное за время жизни число морфологических изменений у конкретного растущего дерева. Использовалась пятибалльная шкала, в которой минимальное проявление базового признака принято за 1, а максимальное – за 5 баллов. Выбраны следующие рассматриваемые признаки: кривизна ствола, многоствольность, многовершинность, сучковатость и охвоение (в качестве дополнительного, отражающего жизненное состояние). В перечень признаков не было включено наличие следующих морфологических образований: наростов, дупел, морозобоин, явных механических повреждений и заросших каллусом старых травм, суховершинности, свилеватости и некоторых других, не связанных с естественным проявлением морфогенеза, а также не поддающихся глазомерной оценке с точностью до 10%. Следует отметить, что перечисленные признаки постоянно встречаются с различной частотой и выраженностью на всем ареале сосны обыкновенной. С целью повышения чувствительности и точности метода при оценке базовых признаков, наряду с целыми величинами баллов, применяются дробные значения, кратные половине балла (1.5, 2.5 и др.). Кроме того, у морфоло-

гического признака “кривизна ствола” в случае ее полного отсутствия или проявления в виде односторонней кривизны используются дополнительные оценочные баллы “0” или “0.5” соответственно. Применяемая шкала направлена, в отличие от существующих, на глазомерную (в баллах) объективную оценку выраженности признака формы ствола и кроны, не связанную с дальнейшим использованием дерева в качестве источника древесины. Следует отметить, что прямая зависимость величины балльной оценки от степени выраженности отдельных базовых признаков шкалы отражает вклад морфогенетических процессов в адаптацию деревьев к действию совокупности различных биотических и абиотических факторов.

Шкала оценки морфологических особенностей деревьев

Признак “кривизна ствола” характеризует искривление по всей длине и может проявляться в разные периоды жизни деревьев сосны. Его выраженность не зависит от радиуса кривизны и плоскости искривления, а определяется числом отклонений от оси ствола со стрелой прогиба не менее половины диаметра в месте изгиба. Шаг шкалы 0.5 баллов позволяет учитывать каждое место изменения направления кривизны (выпуклость или вогнутость), т.е. местную кривизну (Селиверстов, 2008). При этом изгиб, вызванный уклоном рельефа, не учитывается. Численная оценка признака: 0 баллов – кривизна отсутствует; 1 балл – наличие двусторонней кривизны (полная волна); от 2 до 4 баллов – двусторонняя кривизна повторяется дважды в первом случае и до четырех раз в последнем; 5 баллов – двустороннее искривление отмечается пять и более раз.

Сучковатость ствола и кроны определяется степенью выраженности междуузлий, соотношениями отмерших и сохранившихся ветвей и сучьев, их толщиной, длиной и степенью разветвленности на всем протяжении ствола: 1 балл – у ствола отмершие сучья не видны, сучки также незаметны; сучьев очень мало и они слаборазвитые;

2 балла — у ствола сучья и сучки изредка заметны, мутовки не угадываются; сучья мелкие, слабо развитые, имеют явные следы мутовок и сосредоточены, главным образом, в верхней части кроны; 3 балла — сучья и следы мутовок встречаются по всей длине ствола, а сохранившиеся мелкие с заметными мутовками сосредоточены, главным образом, в верхней трети кроны; 4 балла — междуозлия и мутовки на стволе четко выражены, часто сучья сохраняются почти до корневой шейки даже в высокополнотных насаждениях; 5 баллов — мутовки на стволе отчетливо заметны, сучья крупные, часто свилеватые; крона густая, состоит из развитых толстых сучьев значительных массы и объема.

Многоствольность характеризует наличие нескольких стволов разной степени развития, как живораствующих, так и отмерших в процессе онтогенеза. Учет стволов осуществлялся до 1/3 высоты дерева. Число баллов от 1 до 4 соответствует наличию у дерева от одного до четырех стволов, 5 баллов — максимально возможный балл, характеризует у дерева наличие 5 или более стволов.

Многовершинность характеризует наличие растущих или ранее отмерших вершин в кроне дерева, включая видоизмененные крупные сучья, с ярко выраженным вертикальным верхушечным побегом. Число баллов от 1 до 4 соответствует наличию у дерева от одной до четырех вершин, 5 баллов — максимально возможный балл: характеризует у дерева наличие пяти или более вершин.

В качестве дополнительного признака, характеризующего жизненное состояние дерева, используется охвоение кроны, или суммарное количество хвои на дереве, которое определяется ее размерами, степенью густоты на всех имеющихся побегах и зависит от протяженности кроны. В связи с тем, что качественные характеристики кроны в целом наиболее адекватно описывает классификация Крафта, последняя использована при формировании градаций по данному признаку в качестве ориентира. Неполное совпадение классов Крафта с охвоением кроны объясняется направленностью на оценку массы и объема ассимиляционного аппарата: 1 балл — угнетенные деревья 4–5 классов Крафта; крона слабо развитая, прозрачная и сильно изреженная; хвоя мелкая, а ее общая масса незначительна; 2 балла — угнетенные деревья 3–4 класса Крафта с заметным недостатком массы хвои; 3 балла — основная масса деревьев в древостое, характеризуется умеренно достаточным количеством хвои на всей протяженности кроны, 2–3 класса Крафта; 4 балла — деревья с хорошо сформированной кроной 1–2 класса Крафта; охвоение густое, имеющее насыщенный зеленый цвет на всей протяженности кроны; масса хвои близка к максимальной; 5 баллов — исключительно густо охвоенные деревья с мощно развитой раскидистой кроной, 1 класса Крафта.

Для анализа проявления признаков на изученных участках, рассматривались вариационные ряды оценочных величин. Совокупные различия между выборками оценивались с помощью дисперсионного анализа по непараметрическому критерию Краскела–Уоллиса (Холлендер, Вулф, 1983). Также проведен анализ парных и множественных корреляций между измеренными характеристиками. Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных в ходе исследования древостоев величин признаков (табл. 2) показал, что проявление многоствольности и многовершинности (средние величины) находится приблизительно на одном уровне для всех пробных площадей: 1.01–1.11 и 1.28–1.55 баллов соответственно. Охвоение на пр. пл. 1–4 (1.21–1.74 балла) существенно не отличается, однако на пр. пл. 5 и 6 несколько выше (2.94–3.14 баллов).

Анализ результатов оценки кривизны стволов (средних величин) показал, что максимальные значения этого признака наблюдаются на пр. пл. 3 и 4, на пр. пл. 1 и 2 выраженность этого признака существенно ниже, а на пр. пл. 5 и 6 — наименьшая (1.8–2.5, 1.2–1.4 и 0.43–0.65 балла соответственно). Выраженность признака сучковатости наименьшая на пр. пл. 1 и 2, а на остальных участках находится на одном уровне (1.6–2.3, 2.6–2.7 и 2.7–2.9 балла соответственно). Все описанные различия достоверны ($p < 0.05$).

В ходе исследований на каждой пробной площади визуально наблюдалась пространственная мозаичность встречаемости и выраженности отдельных признаков и их комбинаций у деревьев. Данное явление может быть сопряжено с эффектом биогрупп (Рогозин, Разин, 2015), либо с мозаичностью воздействия дополнительного внешнего фактора. Например, на пр. пл. 1 и 2 отклонения от нормального роста встречаются значительно чаще вблизи опушки, чем в глубине древостоя. При этом в древостое на всех пробных площадях отклонения от нормального роста наблюдаются, как правило, сразу у нескольких близко стоящих деревьев.

Следует отметить, что ряды распределений величин признаков имеют различные показатели асимметрии и эксцесса. В связи с этим, их оценка с помощью квантилей и процентных точек невозможна. Поэтому при анализе встречаемости отдельных ростовых отклонений был использован способ сравнения величин признаков на каждой пробной площади, на основании диапазонов варьирования признаков, а также численности де-

Таблица 2. Параметры вариационных рядов признаков формы ствола и кроны

Пробная площадь	Параметры	Охвоение, балл	Сучковатость, балл	Многоствольность, балл	Многовершинность, балл	Кривизна, балл	Сумма баллов
1	$M \pm m$	2.23 ± 0.044	1.65 ± 0.044	1.04 ± 0.016	1.30 ± 0.047	1.25 ± 0.056	7.47 ± 0.115
	σ	0.622	0.612	0.222	0.666	0.790	1.608
	$C.V., \%$	27.89	37.05	21.35	51.22	63.39	21.54
	$S \pm m_S$	0.22 ± 0.173	0.80 ± 0.173	6.02 ± 0.173	2.60 ± 0.173	0.34 ± 0.173	0.97 ± 0.173
	$K \pm m_K$	0.31 ± 0.345	0.17 ± 0.345	39.75 ± 0.345	7.10 ± 0.345	-0.58 ± 0.345	1.93 ± 0.345
	2	$M \pm m$	2.60 ± 0.029	2.30 ± 0.039	1.06 ± 0.016	1.38 ± 0.040	1.41 ± 0.045
σ		0.603	0.793	0.324	0.811	0.922	2.227
$C.V., \%$		23.16	34.46	30.62	58.93	65.27	25.45
$S \pm m_S$		-0.30 ± 0.119	0.95 ± 0.119	7.68 ± 0.119	2.33 ± 0.119	1.20 ± 0.119	1.42 ± 0.119
$K \pm m_K$		1.79 ± 0.238	5.05 ± 0.238	73.16 ± 0.238	6.05 ± 0.238	2.01 ± 0.238	5.97 ± 0.238
3		$M \pm m$	2.21 ± 0.038	2.60 ± 0.046	1.11 ± 0.024	1.32 ± 0.061	1.84 ± 0.057
	σ	0.556	0.673	0.348	0.882	0.825	1.999
	$C.V., \%$	25.24	25.92	31.20	66.60	44.78	22.01
	$S \pm m_S$	0.02 ± 0.168	-0.31 ± 0.168	3.11 ± 0.168	5.19 ± 0.168	0.40 ± 0.168	1.29 ± 0.168
	$K \pm m_K$	-0.06 ± 0.334	0.36 ± 0.334	9.64 ± 0.334	36.07 ± 0.334	0.15 ± 0.334	4.31 ± 0.334
	4	$M \pm m$	2.74 ± 0.050	2.74 ± 0.053	1.03 ± 0.011	1.55 ± 0.072	2.51 ± 0.071
σ		0.765	0.805	0.172	1.094	1.074	2.561
$C.V., \%$		27.93	29.39	16.67	70.37	42.77	24.23
$S \pm m_S$		-0.37 ± 0.160	0.44 ± 0.160	5.52 ± 0.160	2.49 ± 0.160	0.34 ± 0.160	1.11 ± 0.160
$K \pm m_K$		2.75 ± 0.319	0.86 ± 0.319	28.67 ± 0.319	6.80 ± 0.319	-0.01 ± 0.319	2.22 ± 0.319
5		$M \pm m$	2.94 ± 0.077	2.94 ± 0.067	1.01 ± 0.008	1.28 ± 0.050	0.65 ± 0.065
	σ	0.972	0.853	0.109	0.648	0.832	2.145
	$C.V., \%$	33.10	29.05	10.81	50.73	127.89	24.43
	$S \pm m_S$	-0.99 ± 0.192	-0.06 ± 0.19	9.03 ± 0.188	3.72 ± 0.188	2.90 ± 0.188	0.79 ± 0.192
	$K \pm m_K$	1.69 ± 0.383	-0.31 ± 0.377	80.45 ± 0.375	19.58 ± 0.375	14.71 ± 0.375	2.71 ± 0.383
	6	$M \pm m$	3.14 ± 0.101	2.76 ± 0.077	1.05 ± 0.018	1.37 ± 0.057	0.43 ± 0.065
σ		1.182	0.922	0.216	0.687	0.777	2.561
$C.V., \%$		37.61	33.43	20.58	50.22	180.44	29.36
$S \pm m_S$		-0.64 ± 0.207	0.09 ± 0.202	4.24 ± 0.202	2.13 ± 0.202	2.82 ± 0.202	0.41 ± 0.207
$K \pm m_K$		0.48 ± 0.411	-0.55 ± 0.401	16.22 ± 0.401	4.61 ± 0.401	9.14 ± 0.401	0.87 ± 0.411

Примечание. $M \pm m$ – среднее и ошибка среднего, σ – среднеквадратическое отклонение, $C.V.$ – коэффициент вариации, $S \pm m_S$ – ассиметрия ряда распределения и его ошибка, $K \pm m_K$ – эксцесс ряда распределения и его ошибка.

Таблица 3. Численность деревьев сосны обыкновенной по диапазонам варьирования признаков и их доли (%) в общей выборке

Пробная площадь	Признаки	Диапазон, балл		Число деревьев по диапазонам, шт.			Всего деревьев, шт.
				доля, %			
		мин.	макс.	≤1 балл	>1 балл	макс. балл	
1	Кривизна	0.0	3.0	113	84	9	197
				57.36	42.64	4.57	
2		0.0	5.0	221	197	4	418
				52.87	47.13	0.96	
3		0.0	4.5	61	149	1	210
				29.05	70.95	0.48	
4		0.0	5.0	33	198	12	231
				14.29	85.71	5.19	
5		0.0	3.0	145	21	5	166
				87.35	12.65	3.01	
6		0.0	4.0	134	10	3	144
				93.06	6.94	2.08	
1	Многоствольность	1.0	3.0	190	7	1	197
				96.45	3.55	0.51	
2		1.0	5.0	400	18	1	418
				95.69	4.31	0.24	
3		1.0	3.0	188	22	2	210
				89.52	10.48	0.95	
4		1.0	2.0	224	7	7	231
				96.97	3.03	3.03	
5		1.0	2.0	164	2	2	166
				98.80	1.20	1.20	
6		1.0	2.0	137	7	7	144
				95.14	4.86	4.86	
1	Многовершинность	1.0	4.0	155	42	5	197
				78.68	21.32	2.54	
2		1.0	5.0	313	105	6	418
				74.88	25.12	1.44	
3		1.0	5.0	164	46	3	210
				78.10	21.90	1.43	
4		1.0	5.0	164	67	7	231
				71.00	29.00	3.03	
5		1.0	5.0	130	36	1	166
				78.31	21.69	0.60	
6		1.0	4.0	103	40	4	144
				71.53	27.78	2.78	
1	Сучковатость	1.0	3.5	60	137	3	197
				30.46	69.54	1.52	
2		1.0	5.0	39	379	6	418
				9.33	90.67	1.44	
3		1.0	4.0	8	202	11	210
				3.81	96.19	5.24	

Таблица 3. Окончание

Пробная площадь	Признаки	Диапазон, балл		Число деревьев по диапазонам, шт.			Всего деревьев, шт.
				доля, %			
		мин.	макс.	≤1 балл	>1 балл	макс. балл	
4		1.0	5.0	6	225	2	231
				2.60	97.40	3.03	
5		1.0	5.0	5	159	2	164
				3.05	96.95	1.22	
6		1.0	5.0	8	136	1	144
				5.56	94.44	0.69	
1		1.0	4.0	12	185	4	197
				6.09	93.91	2.03	
2		1.0	5.0	9	409	2	418
				2.15	97.85	0.48	
3		1.0	4.0	11	199	2	210
				5.24	94.76	0.95	
4	Охвоение	1.0	5.0	12	219	5	231
				5.19	94.81	2.16	
5		1.0	5.0	11	148	1	159
				6.92	93.08	0.63	
6		1.0	5.0	8	129	12	137
				5.84	94.16	8.76	

реьев и их процентных долей в общей выборке (табл. 3).

Согласно приведенным данным (табл. 3) на пр. пл. 3 и 4 средние величины и диапазоны варьирования признаков кривизны, многовершинности и сучковатости смещены в сторону высоких значений по сравнению с остальными. Процентная доля деревьев с минимальным и нулевым значением кривизны наименьшая на пр. пл. 3 и 4, несколько выше на пр. пл. 1 и 2 и максимальна на пр. пл. 5 и 6. Процентная доля деревьев с повышенными значениями данного признака (>1 балла) на пр. пл. 3 и 4 в 2 раза выше, чем на пр. пл. 1 и 2, и в 6 раз превышает величину этого показателя на пр. пл. 5 и 6. Численность деревьев с максимальной кривизной на всех участках находится примерно на одном уровне. Следует отметить, что процент многовершинных деревьев (>1 балла) также приблизительно одинаков, однако на пр. пл. 3 и 4 максимальное число вершин значительно выше (7 и 9 соответственно). Процентная доля деревьев с повышенной сучковатостью (>1 балла) выше на пр. пл. 3–6, чем на пр. пл. 1 и 2. Описанные различия между парами пробных площадей (участками) достоверны согласно анализу границ 95%-х интервалов доверительности для процентных долей в выборках деревьев (Кокрен, 1976; Флейс, 1989). Охвоение на всех участках находит-

ся приблизительно на одном (максимальном или близком к максимальному) уровне у 94–98% деревьев, что свидетельствует о хорошем жизненном состоянии изучаемых древостоев.

Из проведенного анализа выраженности признаков формы ствола и кроны деревьев следует, что кривизна ствола наибольшая в Каменск-Уральском районе (пр. пл. 1 – 4) и наименьшая – в дендрарии Ботанического сада УрО РАН (пр. пл. 5 и 6). При этом выраженность признаков многовершинности и многоствольности на сравниваемых участках отличается незначительно.

Согласно результатам однофакторного дисперсионного анализа показателей формы ствола и кроны, проведенного с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллиса, различия трех изученных участков по всем признакам, за исключением многовершинности, достоверны ($p < 0.05$). Из этого следует, что набор оцениваемых характеристик объективно отражает особенности ростовых отклонений деревьев на участках, различающихся по комплексу условий местообитания. Кроме того, метод обладает необходимой чувствительностью для дискриминации древостоев по совокупности связанных с морфогенезом деревьев признаков.

С целью проведения анализа связи основных ростовых характеристик древостоев (диаметров и

высот) с применяемыми в разработанной шкале оценочными признаками был проведен парный корреляционный анализ для всех изученных участков. Установлено, что наиболее достоверные корреляции ($p < 0.05$) существуют у пар “диаметр – сучковатость”, “охвоение – сучковатость” и “диаметр – охвоение” ($r = 0.6–0.8$, $0.5–0.7$ и $0.4–0.7$ соответственно). При этом наиболее высокая связь наблюдается на пр. пл. 5 и 6, где количество ростовых отклонений относительно ниже. В целом связь кривизны с многовершинностью ($r = 0.3–0.4$) и высоты с охвоением, а также кривизны с сучковатостью ($r = 0.1–0.3$) минимальна. У остальных пар признаков корреляции недостоверны. Таким образом, наиболее слабая взаимозависимость с другими признаками наблюдается у высоты и кривизны ствола. Это позволяет предположить, что механизмы формирования многоствольности, многовершинности и кривизны относительно независимы.

Анализ множественных корреляций признаков формы ствола и кроны, диаметров и высот деревьев сосны показал, что наибольшие значения коэффициентов в линейной модели зависимости отдельного признака от других имеют сучковатость ($r = 0.7–0.8$) и охвоение ($r = 0.5–0.8$), а наименьшие – кривизна ствола ($r = 0.4–0.5$) и многоствольность ($r = 0.2–0.4$).

Выводы. 1. Разработан методический подход к оценке морфологических признаков дерева, накопленных в течение его жизни, а также связанных со способностью к проявлению адаптационных реакций на данном этапе онтогенеза. В основе метода лежит использование шкалы, состоящей из набора признаков, которые позволяют количественно, с помощью глазомерного определения, оценивать степень проявления морфогенетических особенностей деревьев сосны и характеризовать участки древостоев с различным уровнем проявления отклонений от нормального роста и развития.

2. Установлено, что из пяти применяемых в оценке признаков, наиболее эффективно (достоверно) различать изученные древостои позволяет кривизна ствола. По частоте встречаемости и выраженности этого признака древостои могут быть расположены в порядке убывания следующим образом: окраина г. Каменск-Уральского (пр. пл. 3 и 4) – окрестности с. Потаскуева (пр. пл. 1 и 2) – дендрарий Ботанического сада УрО РАН (пр. пл. 5 и 6). Для изучения причин возникновения искривления ствола на фоне других ростовых отклонений наиболее перспективны насаждения, в которых выраженность признака “кривизна ствола” наибольшая (пр. пл. 1–4).

3. Признаки “многовершинность”, “многоствольность”, “сучковатость” и “охвоение” не позволяют дифференцировать изученные древо-

стои ввиду низкой достоверности отличий между ними. При этом, как показал однофакторный дисперсионный анализ, проведенный с помощью непараметрического критерия Краскела–Уоллеса, весь набор признаков разработанной шкалы необходим, поскольку он объективно отражает особенности морфогенеза деревьев на различающихся по комплексу условий местопроизрастания участках.

4. Наименьшая скоррелированность кривизны ствола с другими признаками и характеристиками древостоя свидетельствует, по-видимому, о том, что механизмы возникновения искривлений ствола относительно независимы от процессов морфогенеза, определяющих другие показатели формы ствола и кроны, рассматриваемые в предлагаемой шкале.

5. На примере изученных древостоев показано, что использованный методический подход является перспективным для изучения причин и механизмов возникновения отклонений от нормального роста и развития у сосны обыкновенной и других видов древесных растений. Метод позволяет целенаправленно производить отбор объектов для проведения исследований этих механизмов, включая морфо-анатомический и физиолого-биохимический уровни, а также может быть использован при установлении характера вызывающего ростовые отклонения фактора (факторов). Универсальность разработанной шкалы оценки морфологических особенностей деревьев позволяет считать возможным ее применение в насаждениях как естественного, так и искусственного происхождения, включая объекты озеленения, защитные лесополосы и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–54.
- Алексеев В.А.* Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные системы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–53.
- Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- Кокрен У.* Методы выборочного исследования / Пер. с англ. М.: Статистика, 1976. 440 с.
- Колесников Б.П., Зубарева Р.С., Смолоногов Е.П.* Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: Практическое руководство. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1974. 176 с.
- Коровин В.В., Мишуков Н.П., Юланов В.П.* Радиационная обстановка в лесном фонде Алтайского края в связи с испытанием ядерных устройств на Семипалатинском полигоне // Вопросы лесной радиоэкологии. М.: ВНИИХлесхоз, 2000. С. 120–136.
- Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносоев Г.А.* Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: Московский гос. университет леса, 2001. 259 с.

- Кофман Г.Б.* Рост и форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. 210 с.
- Крюкова А.А.* Аномальные формы ствола у дуба черешчатого и их учет при санитарных рубках: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук (спец. 06.03.02). Воронеж: Воронежский гос. лесотехнический университет, 2015. 24 с.
- Кулагин Ю.З.* Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.
- Курносов Г.А.* Ямчатость стебля как типичное проявление аномального строения стебля древесных растений // Лесной вестник. 2000. № 6 (15). С. 151–156.
- Менщиков С.Л., Ившин А.П.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: Издательство УрО РАН, 2006. 294 с.
- Мозолевская Е.Г., Соколова Э.С., Жеребцова Г.П., Белов Д.А., Белова Н.К.* Оценка жизнеспособности деревьев и правила их отбора и назначения к вырубке и пересадке: Учебн.-методич. пособие. 2-е изд. М.: Московский гос. Университет леса, 2007. 40 с.
- О правилах санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства Российской Федерации № 607 от 20 мая 2017 г. // Собрание законодательства РФ. 2017. 5 июня.
- ОСТ 56-69-83 Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки. М., 1984. 60 с.
- Поляков В.Н.* Мониторинг качества древесины и лесных экосистем // Строение, свойства и качество древесины – 2000: 111 Материалы междунар. симпозиума, Петрозаводск, 11–14 сентября 2000 г. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2000. С. 256–257.
- Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы: утверждены постановлением Правительства Москвы № 743-ПП от 10 сентября 2002 // Вестник мэра и правительства Москвы. 2002. ноябрь.
- Рогозин М.В., Разин Г.С.* Развитие древостоев. Модели, законы, гипотезы. Пермь: Пермский гос. нац. исследовательский университет, 2015. 276 с. URL: <https://elisis.ru/node/299087>. (дата обращения 01.06.2018)
- Санитарные правила в лесах России. М.: Наука, 1998. 25 с.
- Санитарные правила в лесах Российской Федерации: утверждены приказом МПР РФ № 350 от 27.12.2005 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2006. 27 марта.
- Селиверстов А.А.* Литературный обзор Исследования по качеству древесины. Отчет по проекту... (Контракт № 2006/124-058). Петрозаводск: Петрозаводский гос. университет, 2008. 50 с. URL: http://www.idanmetsatie-to.info/ru/document.cfm?doc=show&doc_id=1206. (дата обращения 1.06.2018)
- Сигурдссон П.* Кривизна стволов лиственницы в лесных насаждениях Исландии // Известия высших учебных заведений. Лесной журн. 2013. № 5 (335). С. 202–207.
- Теолоронский В.С., Авсиевич Н.А., Фролова В.А., Якубов Х.Г.* О качественном и количественном аспектах оценки состояния растений в городских зеленых насаждениях // Экология большого города. Проблемы содержания зеленых насаждений в условиях Москвы. М.: Прима-Пресс-М, 2000. Вып. 4. С. 29–37.
- Усольцев В.А.* Лесные арабески, или Этюды из жизни наших деревьев. Екатеринбург: Уральский гос. лесотех. университет, 2014. 161 с.
- Флейс Дж.* Статистические методы для изучения таблиц долей и пропорций / Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1989. 278 с.
- Холлендер М., Вулф Д.* Непараметрические методы статистики / Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1983. 520 с.
- AS 4373-2007 Pruning of Amenity Trees: approved on behalf of the Council of Standards Australia on 19 February 2007 // Australian Standard. 2007. 14 March.
- AS 4970-2009 Protection of trees on development sites: approved on behalf of the Council of Standards Australia on 31 July 2009 // Australian Standard. 2009. 26 August.
- Birk E.M., Fulton J.A., Hotham C.P.* Description and assessment of stem form in radiata pine. Sydney: Forestry commission of N.S.W., 1989, 34 p.
- Clark R.* Specifying Trees: a guide to assessment of tree quality. Milsons Point: NATSPEC/Construction Information, 2003. 49 p.
- Cunningham K., Patterson D.W.* Forest landowner's guide to field grading hardwood trees // University of arkansas cooperative extension service fact sheet FSA5015, 2006. 8 p. URL: <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-5015.pdf>. (дата обращения 1.12.2016)
- Dobbertin M., Neumann M.* Part V. Tree Growth. UNECE ICP Forests programme coordinating centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Eberswalde, Germany: Thünen institute of forest ecosystems, 2016. 28 p. URL: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>. (дата обращения 15.03.2018)
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferreretti M., Mues V., Szepesi A., Durrant D., Seletković I., Schruck H.W., Nevalainen S., Bussotti F., Garcia P., Wulff S.* Part IV. Visual assessment of crown condition and damaging agents. UNECE ICP Forests programme coordinating centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Eberswalde, Germany: Thünen institute of forest ecosystems, 2016. 54 p. URL: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>. (дата обращения 15.03.2018)
- Harris J.M.* Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 215 p.
- Leelavanichkul A., Cherkaev A.* Why the grain in tree trunks spirals: a mechanical perspective // Structural and Multidisciplinary Optimization. 2004. V. 28. № 2–3. P. 127–135.
- Lonsdale D.* Principles of tree hazard assessment and management. London: Forestry Commission The Stationary Office, 1999. 388 p.
- Matheny N.P., Clark J.R.* Trees and development: a technical guide to preservation of trees during land development. Savoy, Illinois: International Society of Arboriculture, 1998. 184 p.
- Matthack C., Breloer H.* The body language of trees – a handbook for failure analysis. London: H.M. Stationery Office, 1994. 240 p.
- Michalska A., Klisz M.* The changes of wood structure in deformed Scots pine trees // Annals of Warsaw University of

Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology. 2011. № 75. P. 98–102.

Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR). Berlin: Deutscher Forstwirtschaftsrat e.V. und Deutscher Holzwirtschaftsrat e.V., 2015. 56 p. URL: https://www.saegeindustrie.de/rvr/docs/dynamisch/6205/rvr_gesamtdokument_2.aufgabe_stand_oktober_2015.pdf. (дата обращения 1.12.2016)

Rast E.D., Sonderman D.L., Gammon G.L. A guide to hardwood log grading (revised). Broomall: Northeastern Forest Experiment Station, 1973. 32 p.

Richter Ch. Wood characteristics : description, causes, prevention, impact on use and technological adaptation. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2015. 222 p.

Shiyatov S.G. The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains // Oscillations of

the alpine and polar tree limits in the Holocene. New York: Gustav Fischer Verlag, 1993. P. 195–203.

Stepien E., Gadola C., Lenz O., Schär E., Schmid-Haas P. Die taxierung der holzqualität am stehenden baum. berichte der eidgenössischen forschungsanstalt für wald, schnee und landschaft Nr. 344, Birmensdorf: WSL, 1998. 68 p.

Thies M., Pfeifer N., Winterhalder D., Gorte B.G.H. Three dimensional reconstruction of stems for assessment of taper, sweep and lean based on laser scanning of standing trees // Scandinavian Journal of Forest Research. 2004. V. 19. № 6. P. 571–581.

Using the ISA basic tree risk assessment form. International society of arboriculture, 2013. 14 p. URL: http://manoa.hawaii.edu/landscaping/documents/ISA_Tree_Risk_Guide.pdf. (дата обращения 15.03.2018)

Evaluation of Morphological Specificity of Scots Pine Trees

S. A. Shavnin¹, *, I. S. Ovchinnikov¹, A. A. Montile¹, and D. Yu. Golikov¹

¹Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
8-Marta st. 202a, Yekaterinburg, 620144 Russia

*E-mail: sash@botgard.uran.ru

Received 27 December 2016

Revised 16 March 2018

Accepted 5 June 2018

Forms of stem and crown were studied on three sites in uptown Kamensk-Uralsky (Sverdlovsk Oblast), 30 km far from it, and in arboretum of the Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Yekaterinburg). According to preliminary expert assessment they significantly differed in terms of expression of development anomalies. We elaborated and verified the methodology of evaluation of a form of stem and crown based on the original scale accounting for the following morphological traits: stem crookedness, multi-stem growth, multi-top growth, branchiness and needle packing. It allows documenting the morphological specificity of pine trees, linkages between the traits, and classify forest sites different in deviations of morphogenesis based on visual appraisal. We found that the stem crookedness was the most significant trait among the five. It allowed to differentiate the tree stands, although it was weakly linked to other evaluation criteria. We showed that all the traits used in the scale should be applied to objectively evaluate the morphogenetic specifics of the trees on different forest sites. This is a perspective approach to study growth deviations of wooden plants in natural stands and plantations.

Keywords: Scots pine, growth and development of trees, specific forms of stem, visual appraisal scale, links between traits.

Acknowledgements: This study was supported by the Russian Academy of Sciences Study Program in 2013–20 AAAA-A-17-117072810010-4 and the Integral Program of the Presidium of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences 2018–20 AAAA-A17-117072810009-8.

REFERENCES

Alekseev V.A., Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev (Diagnostics of vitality of trees and stands), *Lesovedenie*, 1989, No. 4, pp. 51–57.

Alekseev V.A., Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh zagryazneniem lesnykh ekosistem (Issues of detection and classification of forest ecosystems disturbed by pollution), In: *Lesnye ekosistemy i atmosferno zagryaznenie* (Forest ecosystems and atmospheric pollution), Leninograd: Nauka, 1990, pp. 38–53 (197 p.).

Anuchin N.P., Lesnaya taksatsiya (*Forest taxation*), Moscow: *Lesnaya promyshlennost'*, 1982, 552 p. AS 4373-2007. AS 4970-2009.

Birk E.M., Fulton J.A., Hotham C.P., *Description and assessment of stem form in radiata pine*, Sydney: Forestry commission of N.S.W., 1989, 34 p. *Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti*, 2006, March 27.

Clark R., *Specifying Trees: a guide to assessment of tree quality*, Milsons Point: NATSPEC/Construction Information, 2003, 49 p.

- Cochran W., *Sampling techniques*, Moscow: Statistika, 1976, 440 p.
- Dobbertin M., Neumann M., *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Tree Growth*, Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 2016, Vol. 5, 17 p.
- Eichhorn J., Roskams P., Potočić N., Timmermann V., Ferretti M., Mues V., Szepesi A., Durrant D., Seletković I., Schröck H.W., Nevalainen S., Bussotti F., Garcia P., Wulff S., *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Visual assessment of crown condition and damaging agents*, Eberswalde: Thünen Institute of Forest Ecosystems, 2016, Vol. 4, 49 p.
- Fleiss J., *Statistical Methods for Rates and Proportions*, Moscow: Finansy i statistika, 1989, 319 p.
- Harris J.M., *Spiral grain and wave phenomena in wood formation*, Berlin – Heidelberg: Springer-Verlag, 1989, 215 p.
- Hollander M., Wolfe D., *Nonparametric Statistical Methods*, Moscow: Finansy i statistika, 1983, 518 p. http://manoa.hawaii.edu/landscaping/documents/ISA_Tree_Risk_Guide.pdf, (March 15, 2018). http://www.idanmetsatieto.info/ru/document.cfm?doc=show&doc_id=1206, <https://elis.psu.ru/node/299087>, (December 01, 2016). <https://novascotia.ca/natr/forestry/reports/sawlogguide.pdf>, (December 1, 2016). https://www.saageindustrie.de/rvr/docs/dynamisch/6205/rvr_gesamtdokument_2.aufgabe_stand_oktober_2015.pdf, <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-5015.pdf>, (December 1, 2016).
- Kofman G.B., *Rost i forma derev'ev* (Growth and form of trees), Novosibirsk: Nauka, 1986, 210 p.
- Kolesnikov B.P., Zubareva R.S., Smolonogov E.P., *Lesorastitel'nye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoi oblasti* (Forest sites and types in Sverdlovsk Oblast), Sverdlovsk: Izd-vo UNTs AN SSSR, 1974, 176 p.
- Korovin V.V., Mishukov N.P., Yulanov V.P., *Radiatsionnaya obstanovka v lesnom fonde Altaiskogo kraja v svyazi s ispytaniem yadernykh ustroystv na Semipalatinskopoligone* (Radiation situation in the forest fund of Altai Krai: effects of nuclear tests on Semipalatinsk Test Site), In: *Voprosy lesnoi radioekologii (Issues of forest radiation ecology)* Izd-vo VNIKhleskhov: 2000, pp. 120–136 (302 p.).
- Korovin V.V., Novitskaya L.L., Kurnosov G.A., *Strukturnye anomalii steblya drevesnykh rastenii* (Structural anomalies of the trunk of wooden plants), Moscow: Izd-vo MGUL, 2002, 258 p.
- Kulagin Y.Z., *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* (Wooden plants and industrial settings), Moscow: Nauka, 1974, 125 p.
- Kurnosov G.A., Yamchatost' steblya kak tipichnoe proyavlenie anomal'nogo stroeniya steblya drevesnykh rastenii (Trunk pits: a common anomaly of trunk structure of wooden plants), *Lesnoi vestnik*, 2000, No. 6, pp. 151–156.
- Leelavanichkul A., Cherkaev A., Why the grain in tree trunks spirals: a mechanical perspective, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2004, Vol. 28, No. 2–3, pp. 127–135.
- Lonsdale D., *Principles of tree hazard assessment and management*, London: Stationary Office Books, 1999, 388 p.
- Matheny N.P., Clark J.R., *Trees and development: A technical guide to preservation of trees during land development*, Savoy: International Society of Arboriculture, 1998, 183 p.
- Mattheck C., Breloer H., *The body language of trees: A handbook for failure analysis*, London: HMSO, 1994, 240 p.
- Menshchikov S.L., Ivshin A.P., *Zakonomernosti transformatsii predtundrovyykh i taezhnykh lesov v usloviyakh aerotekhnogenogo zagryazneniya* (Patterns of transformation of tundra and taiga woodlands under technogenic air pollution), Yekaterinburg: Izdatel'stvo UrO RAN, 2006, 294 p.
- Michalska A., Klisz M., The changes of wood structure in deformed Scots pine trees, *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology*, 2011, No. 75, pp. 98–102.
- Mozolevskaya E.G., Sokolova E.S., Zherebtsova G.P., Belov D.A., Belova N.K., *Otsenka zhiznesposobnosti derev'ev i pravila ikh otbora i naznacheniya k vyrubke i peresadke* (Assessment of resilience of a tree: guidelines for selection for cutting or outplanting), Moscow: Izd-vo MGUL, 2007, 40 p.
- OST 56-69-83, (Industrial standart), Moscow: TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 760 p.
- Polyakov V.N., Monitoring kachestva drevesiny i lesnykh ekosistem (Monitoring of quality of wood and forest ecosystems), *Wood structure, properties and quality*, Proc. Conf., Petrozavodsk, 11–14 September 2000, Petrozavodsk: Izd-vo KarNTs RAN, 2000, pp. 256–257.
- Rast E.D., Sonderman D.L., Gammon G.L., *A guide to hardwood log grading (revised)*, Broomall: Northeastern Forest Experimental Station, 1973, 32 p.
- Richter C., *Wood Characteristics: Description, Causes, Prevention, Impact on Use and Technological Adaptation*, Cham: Springer International Publishing, 2015, 232 p.
- Sanitarnye pravila v lesakh Rossiiskoi Federatsii, (Sanitary guidelines in forests of the Russian Federation), Moscow: Nauka, 1998, 25 p.
- Shiyatov S.G., The upper timberline dynamics during the last 1100 years in the Polar Ural Mountains, In: *Oscillations of the alpine and polar tree limits in the Holocene* Stuttgart – Jena – New York: Gustav Fischer Verlag, 1993, pp. 195–203 (246 p.).
- Sigurðsson P., Krivizna stvolov listvennitsy v lesnykh nasazhdeniyakh Islandii (Stem crookedness in *Larix* in plantations on Iceland), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2013, No. 5 (335), pp. 202–207.
- Sobranie zakonodatel'stva RF, 2017, 5 June.
- Stepien E., Gadola C., Lenz O., Schär E., Schmid-Haas P., *Die Taxierung der Holzqualität am stehenden Baum*, Birnmensdorf: WSL, 1998, 68 p.
- Teoloronskii V.S., Avsievich N.A., Frolova V.A., Yakubov K.G., O kachestvennom i kolichestvennom aspektoke otsenki sostoyaniya rastenii v gorodskikh zelenykh nasazhdeniyakh, In: *Ekologiya bol'shogo goroda. Problemy soderzhaniya zelenykh nasazhdenii v usloviyakh Moskvy*: Prima-Press-M, 2000, Vol. 4, pp. 29–37 (195 p.).
- Thies M., Pfeifer N., Winterhalder D., Gorte B.G.H., Three-dimensional reconstruction of stems for assessment of taper, sweep and lean based on laser scanning of standing trees, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2004, Vol. 19, No. 6, pp. 571–581.
- Usol'tsev V.A., *Lesnye arabeski, ili Etyudy iz zhizni nashikh derev'ev* (Forest arabesques: The essays on life of our trees), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2014, 161 p.
- Vestnik Mera i Pravitel'stva Moskvy, 2002, November.