

ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

А.В. ДАНЧЕВА, науч. сотрудник КазНИИЛХ, канд. с.-х. наук,
С.В. ЗАЛЕСОВ, проф. УГЛУ, д-р с.-х. наук,
Б.М. МУКАНОВ, проф. КазНИИЛХ, д-р с.-х. наук

a.dancheva@mail.ru, prec-nir@usfeu.ru
Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации,
021704, Казахстан, Щучинск, ул. Кирова, 58
Уральский государственный лесотехнический университет
620110 г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, Россия

Приводятся результаты исследований влияния рекреационных нагрузок на биометрические параметры ассимиляционного аппарата сосновых древостоев основных типов леса (на примере ГНПП «Бурабай»). Изучено влияние лесорастительных условий, степени увлажнения и освещенности на такие показатели ассимиляционного аппарата, как длина хвои, масса 1 пары хвоинок и прирост центрального побега. В результате проведенных исследований установлено, что со снижением увлажнения в исследуемый период (май-июль) прослеживается уменьшение длины хвои, массы 1 пары хвоинок и увеличение прироста побега. Наиболее выраженные различия отмечаются в очень сухих условиях произрастания (тип леса С₁). Увеличение освещенности и площади роста за счет снижения полноты древостоя до 0,7 после проведения лесохозяйственных мероприятий, в частности рубок ухода, влечет за собой увеличение длины хвои и массы 1 пары хвоинок – в среднем на 26–36 %. Установлено, что увеличение рекреационных нагрузок от 12,0 чел./га/дн. и более способствует уменьшению длины хвои, прироста побега и массы 1 пары хвоинок, в среднем, на 30–35 %. В сухих условиях произрастания данная закономерность более выражена, в сравнении со свежими. Установлена взаимосвязь между показателем жизненного состояния и длиной хвои в виде регрессионных уравнений. Согласно полученным данным можно утверждать, что такие биометрические показатели ассимиляционного аппарата сосны, как длина хвои, прирост центрального побега и масса 1 пары хвоинок, могут быть использованы в качестве основных диагностических показателей состояния как всего древостоя в целом, так и каждого дерева в отдельности. В насаждениях рекреационного назначения указанные биометрические параметры позволяют устанавливать негативные последствия рекреации на ранних стадиях и своевременно назначать лесоводственные мероприятия, направленные на повышение устойчивости сосновых древостоев.

Ключевые слова: сосновые древостои, биометрические параметры, ассимиляционный аппарат, лесорастительные условия, рекреационные нагрузки.

На всех стадиях развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор, как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объем этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества [5]. В настоящее время биосфера Земли подвергается нарастающему антропогенному воздействию.

По мнению ряда авторов [12, 13], важными показателями жизнеспособности и потенциальных возможностей лесных насаждений являются характеристики развития и функционального состояния ассимиляционного аппарата деревьев.

Во всем мире была и остается актуальной тема использования параметров ассимиляционного аппарата для определения

состояния (жизнеспособности) деревьев в зависимости от влияния различных факторов: степени освещенности [14], лесорастительных условий [11], техногенных нагрузок [15], рекреационных нагрузок [8] и др.

Впервые для условий Казахского мелкосопочника (на примере ГНПП «Бурабай») исследовано влияние рекреационных нагрузок на биометрические параметры ассимиляционного аппарата сосновых древостоев различных лесорастительных условий и обоснование возможности использования последних в качестве диагностических показателей при определении состояния как древостоя в целом, так и каждого дерева в отдельности.

Материалы и методы

Исследования биометрических показателей хвои сосновых древостоев проведены

на опытных участках, заложенных сотрудниками ТОО «КазНИИЛХ» на территории Государственного национального природного парка (ГНПП) «Бурабай» в чистых по составу сосновых насаждениях очень сухих (тип леса – C_1) и свежих (тип леса – C_3) условий произрастания. Постоянные пробные площади (ППП) заложены в трех функциональных зонах (ФЗ): I ФЗ (ППП-2 и 5) – зона активного посещения; II ФЗ (ППП-1) – зона умеренного посещения и III ФЗ (ППП-3к и 4к) – зона слабого посещения (условно контроль) (Данчева и др., 2013). Класс возраста исследуемых насаждений – VI класс, бонитета – IV. Полнота на всех ППП 1,0. На ППП-4к – 0,7.

Диаметр у исследуемых деревьев измерялся на высоте 1,3 м в двух направлениях (с точностью до 0,1 см) при помощи штангенциркуля. Высота деревьев определялась базисным высотомером (Suunto PM-5/1250) с точностью до 0,1 м.

Для каждого дерева определялся коэффициент, соответствующий его жизненному состоянию по методике [1]. При показателе 100–80 % жизненное состояние древостоя оценивается как «здоровое», при 79–50 % древостой считается поврежденным (ослабленным), при 49–20 % – сильно поврежденным (сильно ослабленным), при 19 % и ниже – полностью разрушенным.

Исследования биометрических параметров хвои и побегов проводились в соответствии с методическими рекомендациями [6], а также [4, 10] и др.

С каждого дерева срезали 3–4 модельные ветви в нижней части кроны с южной стороны и высушивали до воздушно-сухого состояния. Охвоенные побеги одно-, двух- и трехлетнего возраста брали с ветвей III и IV порядка ветвления. Измеряли и рассчитывали следующие показатели: длину хвои (мм), прирост побега (мм) и массу 1 пары хвоинок ($г \cdot 10^3$). Длину хвои и прирост побегов измеряли с точностью до 1 мм миллиметровой линейкой. Массу хвоинок определяли с точностью до 0,0001 г на электронных весах марки AR-2140. Обмер производился в 4-кратной повторности. Степень обоснованности и достоверности результатов исследований бази-

руются на значительном экспериментальном материале. Взяты образцы у 58 деревьев сосны, проанализировано 12922 пар хвоинок, 874 побега и 858 навесок хвои.

Для обработки данных привлекался статистический и регрессионный методы.

Результаты и обсуждение

По мнению некоторых авторов [2, 7], масса формирующихся листьев в значительной мере определяется погодными условиями, а у многолетних растений – и их состоянием к началу периода вегетации, а также содержанием запасных веществ, обеспечивающих начальные этапы роста.

Результаты проведенных нами исследований подтверждают данный факт. Согласно анализу метеорологических данных, предоставленных сотрудниками КазНИИЛХ, погодные условия за исследуемый период – май–июль 2011, 2010 и 2009 гг. значительно различаются (табл. 1). 2010 г. характеризовался значительной засухливостью. Количество дней с осадками за анализируемый период в 4,7–5,0 раза меньше в сравнении с данным показателем в 2009 и 2011 гг. Средняя температура воздуха за исследуемый период в 2010 г. на 3–4 °C выше, чем в 2009 и 2011 гг.

Данные рис. 1–3 свидетельствуют, что со снижением увлажнения в исследуемый период (май–июль) в 2010 г. прослеживается уменьшение длины хвои и массы 1 пары хвоинок и увеличение прироста побега. Наиболее выражено различия отмечаются в очень сухих условиях произрастания (тип леса C_1). Так, в 2010 г. прослеживается снижение длины хвои в среднем на 12–18 и 20–27 %, массы 1 пары хвоинок на 5–8 и 7–15 % и увеличение прироста побега на 5–37 % и 16–32 %, в сравнении с аналогичными показателями в 2009 и 2011 гг. соответственно.

В свежих условиях произрастания (тип леса C_3) длина хвои, прирост побега и масса 1 пары хвоинок в 2010 г. изменяется на 2–2,5; 6,5–10 и 6–7 % соответственно, в сравнении с 2009 г.

На развитие ассимиляционного аппарата большое влияние оказывают лесорас-

Метеорологические данные за май–июль по годам
Weather records for May–July by years

Показатели		Годы		
		2009	2010	2011
Количество дней, шт/ %	с осадками	<u>36</u> 39,1	<u>7</u> 7,6	<u>33</u> 35,9
	без осадков	<u>56</u> 60,9	<u>85</u> 92,4	<u>59</u> 64,1
	всего	<u>92</u> 100,0	<u>92</u> 100,0	<u>92</u> 100,0
Средняя температура воздуха, °С		18-20	22-24	19-21

Среднестатистические значения параметров ассимиляционного аппарата за 3 исследуемых года
The average values of the assimilation apparatus for 3 studied

Показатели	Очень сухие сосняки (C ₁)					Свежие сосняки (C ₃)		
	Функциональные зоны (ФЗ)							
	I		II		III	I		III
	<i>M</i> ± <i>m</i>	ts	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>ts</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>ts</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>
Длина хвои, мм	25,8 ± 0,7	9,3	32,8 ± 0,9	1,9	35,0 ± 0,7	32,2 ± 1,1	3,3	38,1 ± 1,4
Прирост побега, мм	11,0 ± 0,4	6,2	14,7 ± 0,4	1,1	15,5 ± 0,6	14,8 ± 0,6	1,2	16,0 ± 0,8
Масса 1 пары хвоинок, г·10 ⁻³	11,8 ± 0,4	6,6	14,7 ± 0,3	2,2	16,0 ± 0,5	13,5 ± 0,8	5,6	20,7 ± 1,0

Значение табличного ts при $v > 200$ $t_{0,05} = 1,96$, $t_{0,01} = 2,58$ для сравниваемых ФЗ

тительные условия. С улучшением условий произрастания (свежие сосняки) прослеживается увеличение длины хвои, прироста побега и массы 1 пары хвоинок на 17–22 %, в сравнении с очень сухими условиями произрастания (табл. 1). Таким образом, длина хвои, прирост побега и масса 1 пары хвоинок являются надежными диагностическими показателями, характеризующими степень влагообеспеченности дерева.

По данным исследований отдельных авторов [14], на биометрические параметры ассимиляционного аппарата деревьев большое влияние оказывает степень освещенности. Зафиксированное в ходе наших исследований увеличение длины хвои и массы 1 пары хвоинок – в среднем на 26–36 % в зоне контроля (ФЗ-III) свежих условий произрастания – в 2011 г., в сравнении с двумя другими годами, подтверждает данный факт. Данное обстоятельство объясняется произошедшим в 2008 г. ветровалом и прове-

денными в связи с этим лесохозяйственными мероприятиями на данном участке, результатом которых стало снижение полноты древостоя до 0,7. Увеличение освещенности и площади роста при этом повлияло на рост и развитие хвои.

На биометрические параметры хвои существенное влияние оказывает степень рекреационного воздействия. По данным исследований [9], с увеличением рекреационных нагрузок длина хвои уменьшается в среднем до 20 %, а масса – до 40 %.

По данным наших исследований, рекреационная нагрузка 3–10 чел./га/дн. в зоне умеренного посещения (ФЗ-II), насаждения в которых характеризуются III стадией рекреационной дигрессии [3], способствует незначительному снижению параметров длины хвои, массы 1 пары хвоинок и прироста побега, в среднем на 5–10 %, в сравнении с зоной контроля (ФЗ-III). При показателе рекреационной нагрузки от 12 чел./га/дн. и более

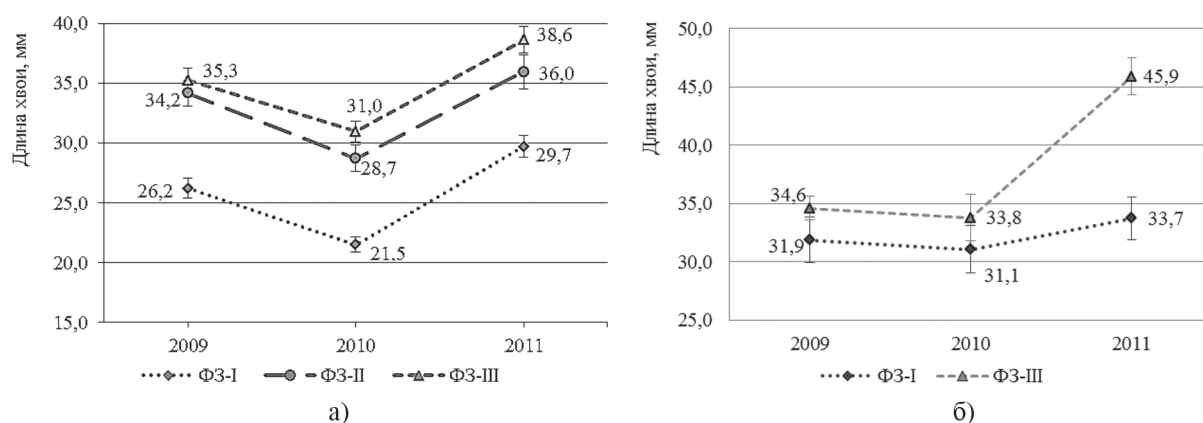


Рис. 1. Длина хвои в зависимости от условий произрастания и степени антропогенного воздействия по годам: а) очень сухие условия произрастания (тип группы леса C₁); б) свежие условия произрастания (тип группы леса C₃)

Fig. 1. The length of the needles depending on the growing conditions and the extent of human exposure data: a) very dry growing conditions (forest type group C₁); b) fresh growth conditions (type of forest group C₃)

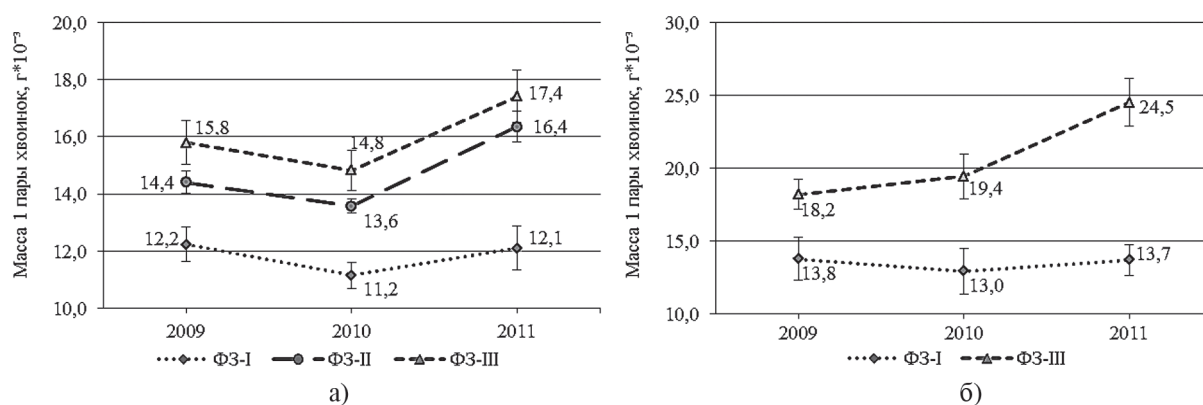


Рис. 2. Масса 1 пары хвоинок в зависимости от условий произрастания и степени антропогенного воздействия по годам: а) очень сухие условия произрастания (тип группы леса C₁); б) свежие условия произрастания (тип группы леса C₃)

Fig. 2. Weight of 1 pair of needles, depending on the growing conditions and the extent of human exposure data: a) very dry growing conditions (forest type group C₁); b) fresh growth conditions (type of forest group C₃)

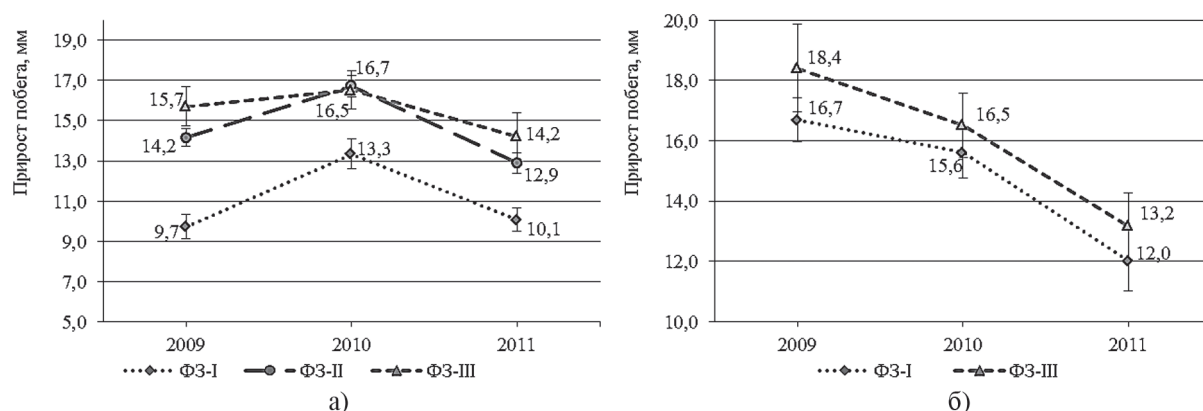


Рис. 3. Прирост побега в зависимости от условий произрастания и степени антропогенного воздействия по годам: а) очень сухие условия произрастания (тип группы леса C₁); б) свежие условия произрастания (тип группы леса C₃)

Fig. 3. Increase in the sprout depending on growing conditions and the extent of human exposure data: a) very dry growing conditions (forest type group C₁); b) fresh growth conditions (type of forest group C₃)

**Среднестатистические величины лесоводственно-таксационных показателей
исследованных деревьев сосны по функциональным зонам**
The average value of forestry and forest indices of the studied pine trees of functional areas

Показатели	Очень сухие сосняки (C ₁)					Свежие и влажные сосняки (C ₃)		
	Функциональные зоны (ФЗ)							
	I		II		III	I		III
	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>ts</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>ts</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>ts</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>
Диаметр, см	20,2 ± 2,2	1,0	21,9 ± 1,1	2,4	17,7 ± 1,4	19,1 ± 3,2	1,7	26,4 ± 2,8
Высота, м	13,9 ± 0,8	0,3	16,3 ± 0,3	3,1	14,2 ± 0,6	14,3 ± 1,6	2,0	17,9 ± 0,9
Показатель жизненного состояния. %	63,8 ± 4,4	1,5	77,5 ± 3,3	0,8	73,2 ± 4,4	72,2 ± 2,1	0,8	66,9 ± 6,5

Значение табличного критерия Стьюдента (ts) для насаждений сухих условий произрастания для ФЗ-I и ФЗ-III при $v = 31$ $t_{0,05} = 2,04$, $t_{0,01} = 2,74$; для ФЗ-II и ФЗ-III при $v = 23$ $t_{0,05} = 2,07$, $t_{0,01} = 2,81$; для свежих условий произрастания для ФЗ-I и ФЗ-III при $v = 15$ $t_{0,05} = 2,13$, $t_{0,01} = 2,95$.

в зоне активного посещения (ФЗ-I) отмечается резкое уменьшение длины хвои, в среднем на 18,0–36,0 %, масса 1 пары хвоинок – на 35–41 %, прирост побега – на 10–40 %. Выявленные различия в параметрах исследуемых биометрических показателей ассимиляционного аппарата деревьев сосны в ФЗ-I и ФЗ-III подтверждаются расчетными критериями Стьюдента (табл. 1).

Таким образом, результаты наших исследований подтверждают данные исследований вышеприведенных авторов.

По данным табл. 2, средние значения показателя жизненного состояния (ПЖС) деревьев сосны во всех исследуемых ФЗ, определяемого визуально по методике А.В. Алексеева [1], по комплексу показателей, основным из которых является состояние ассимиляционного аппарата – просматриваемость кроны, процент желтой хвои и т.д., колеблются в пределах 64–78 %, что характеризует их как «ослабленные». Достоверные различия в ПЖС между зоной активного посещения (ФЗ-I) и зоной контроля (ФЗ-III), а также между зоной умеренного посещения (ФЗ-II) и зоной контроля (ФЗ-III) отсутствуют.

Однако по результатам проведенных исследований параметров биометрических показателей хвои в рассматриваемых ФЗ отмечены существенные различия в длине хвои, массе 1 пары хвоинок и приросте побега в ФЗ-I и ФЗ-III, достоверность которых

подтверждается рассчитанным критерием Стьюдента. Данный факт, в совокупности с полученной зависимостью ПЖС от исследуемых параметров ассимиляционного аппарата в результате проведенного регрессионного анализа, дает основание утверждать, что рассматриваемые биометрические показатели ассимиляционного аппарата более точно характеризуют состояние деревьев сосны, испытывающих различную степень рекреационного воздействия.

В результате полученных данных нами была предпринята попытка установления взаимосвязи жизненного состояния деревьев сосны с биометрическими параметрами ассимиляционного аппарата методом регрессионного анализа при помощи программы, разработанной сотрудниками КазНИИЛХ, исходя из специфики лесорастительных условий региона исследований.

Для расчетов использовали показатель жизненного состояния (%), диаметр (см) и высоту дерева (м), диаметр кроны (м), протяженность (длина) кроны (м), объем стволовой древесины (м³/га), запас надземной фитомассы (т/га); фитомассу хвои (т/га), средний прирост побега за 3 года (мм), среднюю массу 1 пары хвоинок за 3 года (г · 10⁻³), среднюю длину хвои за 3 года (мм). На основании вычисленного коэффициента множественной корреляции (R) определялась степень достоверности и тесноты связи между сравниваемыми показателями.

В результате проведенных расчетов множественной регрессии в очень сухих условиях произрастания (тип леса C_1) получена зависимость показателя жизненного состояния от параметров ассимиляционного аппарата в виде регрессионных уравнений

$$y = -7,54 + 3,14 L_{кр} + 1,58 L_{хв}, R = 0,88$$

или

$$y = 8,38 + 2,00 L_{хв}, R = 0,62,$$

где y – показатель жизненного состояния (ПЖС), %;

$L_{кр}$ – протяженность (длина) кроны, м,

$L_{хв}$ – средняя длина хвои за последние 3 года, мм.

В свежих и влажных условиях произрастания не обнаружено взаимосвязи показателя жизненного состояния деревьев с биометрическими показателями ассимиляционного аппарата.

Выводы

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что биометрические показатели ассимиляционного аппарата сосны, такие как длина хвои, прирост побега и масса 1 пары хвоинок, могут быть использованы в качестве основных диагностических показателей состояния как всего древостоя в целом, так и каждого дерева в отдельности в насаждениях рекреационного назначения и выявлять происходящие изменения в них на ранних стадиях рекреационной дигрессии.

С практической точки зрения, результаты проведенных исследований могут быть применены при организации и проведении лесохозяйственных мероприятий в сосняках рекреационного назначения, в частности рубках ухода или санитарных рубках.

Библиографический список

1. Алексеев, В.А. Диагностика повреждений деревьев и древостоев при атмосферном загрязнении и оценка их жизненного состояния/ В.А. Алексеев // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – Ленинград: Наука, 1990. – С. 38–53
2. Бирюкова, З.П. Физиологические особенности сосны обыкновенной в зависимости от густоты древостоя и условий местопроизрастания / З.П. Бирюкова // Научные основы восстановления лесного фонда и повышение продуктивности лесов Казахстана. – Алма-Ата: Кайнар, 1970. – С. 122–123
3. Данчева, А.В. Уточнение функционального зонирования сосновых насаждений ГНПП «Бурабай» по величине рекреационных нагрузок / А.В. Данчева, Б.М. Муканов, С.В. Залесов // Исследования, результаты. – 2013. – № 3. – С. 109–113.
4. Залесов, С.В. Проходные рубки в сосняках южной подзоны тайги Урала: дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / С.В. Залесов. – Свердловск, 1986. – 215 с.
5. Машинцов, Е.А. Оценка качества среды при помощи растений-индикаторов / Е.А. Машинцов, Е.Н. Ивановская. – Тульский ГУ, 2010. <http://www.eco-oos.ru/biblio/sborniki-nauchnyh-trudov/ekologicheskii-ustoiichivoe-razvitiie-racionalnoe-ispolzovanie-prirodnih-resursov/26/>.
6. Молчанов, А.А. Методика изучения прироста древесных растений / А.А. Молчанов, В.В. Смирнов – М.: Наука, 1967. – 100 с.
7. Орлов, А.Я. Динамика массы хвои в сосновых культурах / А.Я. Орлов // Лесоведение. – 1980. – № 1. – С. 34–41
8. Репшас, Е.А. Дигрессия и экологическая емкость лесов рекреационного назначения / Е.А. Репшас, Е.Е. Палишкис // Лесоведение. – 1983. – № 1. – С. 3–10
9. Рысин, Л.П. Влияние рекреационного лесопользования на растительность / Л.П. Рысин, Г.А. Полякова // Природные аспекты рекреационного использования леса. – М.: Наука, 1987. – С. 4–26
10. Цельникер, Я. Структурно-функциональные характеристики сосны и ели в зависимости от длины побегов / Я. Цельникер, И.С. Малкина, А.Г. Ковалев // Лесоведение. – 1992. – № 5. – С. 46–55
11. Musio M., Wilpert K., Augustin N. H. Crown condition as a function of soil, site and tree characteristics. European Journal of Forest Research, 2007, vol. 126, pp. 91–100. doi: 10.1007/s10342-006-0132-8
12. Nakajima H., Kume A., Ishida M., Ohmiya T., Mizoue N. Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. Annals of Forest Science, 2011, vol. 68, issue 8, pp. 1333–1340.
13. Rötheli E., Heiri C., Bigler C. Effects of growth rates, tree morphology and site conditions on longevity of Norway spruce in the northern Swiss Alps. European Journal of Forest Research, 2012, vol. 131, issue 4, pp. 1117–1125. doi: 10.1007/s10342-011-0583-4
14. Salemaa M., Lindgren M. Crown Condition. Forest Condition in a Changing Environment Forestry Sciences, 2000, vol. 65, pp. 121–132. doi:10.1007/978-94-015-9373-1_14
15. Solberg S., Kvindesland Sh., Aamlid D., Venn K. Crown Condition and Needle Chemistry of Norway Spruce in Relation to Critical Loads of Acidity in South-East Norway. Water, Air, and Soil Pollution, 2002, vol. 140, issue 1-4, pp. 157–171. – doi: 10.1023/A:1020131307937

INFLUENCE OF RECREATIONAL LOADS ON BIOMETRICS OF ASSIMILATION APPARATUS OF PINE STANDS

Dancheva A.V., Researcher, KazSRIFA, Ph.D (Agricultural); Zalesov S.V., Prof. USFEU, Dr.Sci (Agricultural); Mukanov B.M., Prof. KazSRIFA, Dr.Sci (Agricultural)

a.dancheva@mail.ru, zalesov@usfeu.ru

Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestry (KazSRIFA), Republic of Kazakhstan, 021704, Shchuchinsk, st. Kirov, 58

Ural State Forest Engineering University (USFEU), Russia, 620100, Ekaterinburg, st. Sibirsky tract, 37

The results of the studies on the recreational impact on the biometrics assimilation apparatus for pine stands of the main forest growth types (analyzing GNPP «Burabay») are shown in the article. The effect of the forest growth conditions, the degree of wetting and shade density on such assimilation apparatus indicators as the length of a needle, mass of a pair of pine needles and shoot increment has been studied. During the research it was found that the reduction of the wetting degree during the study period (May to July) resulted in a decrease in needle length, a pair of pine needles mass and shoot increment. Most prominent differences were found in the extra dry forest growth conditions (C₁ forest type). Increasing the shade density and the area of growth entails an increase in the needle length and a pair of pine needles mass for an average of 26-36 %. It has been established that an increase in recreational loads from 12,0 pax/ha/day and more causes shortening of needles, decrease in shoot increment and loss in mass of a pair of needles for an average by 30-35 % compared with the control value of the similar indexes. In the dry forest growth conditions this regularity is more clearly observed. The interrelation between the vital status of trees and length of needle is shown in the form of regression equation. According to the data received it is arguable that such biometric features of assimilation apparatus of a pine tree as the length of a needle, a pair of needles mass and shoot increment can be used as basic diagnostic indexes of stand conditions in the whole or in every tree in the stands. In the recreational forests specified biometric parameters allow to establish the negative effects of recreation in the early stages and hold forestry works aimed at increasing of the sustainability of pine stands timely.

Keywords: pine stands; biometric parameters of needles; forest site; recreational impact

References

1. Alekseev V.A. *Diagnostika povrezhdeniy derev'ev i drevostoev pri atmosfernom zagryaznenii i otsenka ikh zhiznennogo sostoyaniya* [Diagnosis of damage to trees and forest stands at air pollution and assessment of their living conditions] *Lesnye ekosistemy i atmosfernoie zagryaznenie* [Forest ecosystems and air pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 38-53
2. Biryukova Z.P. *Fiziologicheskie osobennosti sosny obyknovennoy v zavisimosti ot gustoty drevostoya i usloviy mestoproizrastaniya* [Physiological features of Scots pine, depending on the stand density and site conditions] *Nauchnye osnovy vosstanovleniya lesnogo fonda i povyshenie produktivnosti lesov Kazakhstana* [Scientific bases of restoration of forest resources and increase the productivity of forests in Kazakhstan]. Alma-Ata: Kaynar, 1970, pp. 122-123
3. Dancheva A.V., Mukanov B.M., Zalesov S.V. *Utochnenie funktsional'nogo zonirovaniya sosnovykh nasazhdeniy GNPP «Burabay» po velichine rekreatsionnykh nagruzok* [Clarification of functional zoning pine plantations (SNNP) «BURABAY» of largest recreational pressure] *Issledovaniya, rezul'taty* [Research, results], 2013, no.3, pp. 109-113.
4. Zalesov S.V. *Prokhodnye rubki v sosnyakh yuzhnoy podzony taygi Urala*. [Severance cuttings in the pine forests of southern taiga subzone of the Urals. Ph.D. of agricultural sci. diss.]. Sverdlovsk, 1986. 215 p.
5. Mashintsov E.A., Ivanovskaya E.N. *Otsenka kachestva sredi pri pomoshchi rasteniy-indikatorov* (2010) [Estimate of quality of the environment by means of guide plants.]. Available at: <http://www.eco-oos.ru/biblio/sborniki-nauchnyh-trudov/ekologicheski-ustoichivoe-razvitie-racionalnoe-ispolzovanie-prirodnih-resursov/26/> (accessed 24 February 2015)
6. Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rasteniy* [Method for studying growth of woody plants.]. Moscow, Nauka Publ, 1967. 100 p.
7. Orlov A.Ya. *Dinamika massy khvoi v sosnovykh kul'turakh* [Dynamics of the needle mass in pine plantations]. *Lesovedenie* [Silviculture], 1980, no.1, pp. 34-41
8. Repshas E.A., Palishkis E.E. *Digressiya i ekologicheskaya emkost' lesov rekreatsionnogo naznacheniya* [Digression and ecological capacity of recreational forests]. *Lesovedenie* [Silviculture], 1983, no. 1, pp. 3-10
9. Rysin L.P., Polyakova G.A. *Vliyanie rekreatsionnogo lesopol'zovaniya na rastitel'nost'* [Influence of recreational forest management on vegetation]. *Prirodnye aspekty rekreatsionnogo ispol'zovaniya lesa* [Natural aspects of recreational forest utilization]. Moscow: Nauka, 1987, pp. 4-26
10. Tsel'niker Ya., Malkina I.S., Kovalev A.G. *Strukturno-funktsional'nye kharakteristiki sosny i eli v zavisimosti ot dliny pobegov* [Structural-functional characteristics of the pine and fir trees, depending on the length of the shoots]. *Lesovedenie* [Silviculture], 1992, no, pp. 46-55
11. Musio M., Wilpert K., Augustin N. H. Crown condition as a function of soil, site and tree characteristics. *European Journal of Forest Research*, 2007, vol. 126, pp. 91-100. doi: 10.1007/s10342-006-0132-8
12. Nakajima H., Kume A., Ishida M., Ohmiya T., Mizoue N. Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. *Annals of Forest Science*, 2011, vol. 68, issue 8, pp. 1333-1340.
13. Rötheli E., Heiri C., Bigler C. Effects of growth rates, tree morphology and site conditions on longevity of Norway spruce in the northern Swiss Alps. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, issue 4, pp. 1117-1125. doi: 10.1007/s10342-011-0583-4
14. Salemaa M., Lindgren M. Crown Condition. *Forest Condition in a Changing Environment Forestry Sciences*, 2000, vol. 65, pp. 121-132. doi:10.1007/978-94-015-9373-1_14
15. Solberg S., Kvindesland Sh., Aamlid D., Venn K. Crown Condition and Needle Chemistry of Norway Spruce in Relation to Critical Loads of Acidity in South-East Norway. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2002, vol. 140, issue 1-4, pp. 157-171. doi: 10.1023/A:1020131307937