

12. Malinovskikh A.A., Kupriyanov A.N., Zablotskiy V.I. Nachalnye etapy singeneza rastitelnogo pokrova garey yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov // Botanicheskie issledovaniya Sibiri i Kazakhstana. – Barnaul, 2004. – Vyp. 10. – S. 44-51.

13. Malinovskikh A.A. Analiz geobotanicheskikh opisaniy yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov posle pozharov 1997 g. // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: mat. nauchno-prakt. konf. – Barnaul, 2002. – S. 52-60.

14. Malinovskikh A.A. Khorologicheskie osobennosti vidovogo sostava yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: mat. nauchno-prakt. konf. – Barnaul, 2002. – S. 112-114.

15. Malinovskikh A.A. Nachalnye stadii pirogennykh suksessiy v lentochnykh borakh (na primere yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov Altayskogo kraya): avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. – Barnaul, 2003. – 23 s.

16. Greyg Smit, P. Kolichestvennaya ekologiya rasteniy. – M.: Mir, 1967. – 318 s.

17. Malinovskikh A.A. Osobennosti floristicheskikh kompleksov na garyakh yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov Altayskogo kraya // Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredelnykh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee: mat. nauchno-prakt. konf. – Gorno-Altaysk, 2008. – S. 70-73.

18. Malinovskikh A.A., Semenov M.I. Analiz ekologo-tsenoticheskogo komponenta tsenoflory garey sosnovykh lesov Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 10. – S. 68-71.

19. Malinovskikh A.A. Vliyanie ekologicheskikh usloviy na floristicheskiy sostav garey 1997 goda v yugo-zapadnoy chasti lentochnykh borov Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 11. – S. 76-79.

20. Makarychev S.V., Pastukhov V.I., Malinovskikh A.A. Pochvenno-fizicheskie usloviya vozobnovleniya sosny na garyakh lentochnykh borov Altayskogo Priobya: monografiya. – Barnaul: RIO AGAU, 2013. – 91 s.



УДК 630\*524:630\*174.754:631.626.5

Г.В. Андреев  
G.V. Andreyev

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЁМА ДРЕВЕСНОГО СТВОЛА И ЕГО ПРИРОСТА ТОНКОМЕРНОЙ СОСНЫ НА БОЛОТЕ

### CALCULATION OF TREE STEM VOLUME AND ITS INCREMENT IN UNDERSIZED PINES GROWING ON A BOG

**Ключевые слова:** Зауральская равнинная провинция, сосна по сфагновому болоту, определение объёма её ствола и прироста по объёму.

При научно-исследовательских работах приходится определять объём тонких деревьев, что не предусмотрено в имеющихся таблицах для исчисления объёмов. Вследствие этого объём деревьев и его прирост определяются с низкой точностью. Прирост по объёму ( $Z_v$ ) используется в экологических исследованиях для определения градиентного экофизиологического индекса  $Z_v/D$ , где  $D$  – расстояние от ствола, который наиболее корректно характеризует конкурентную мощность дерева. Таблицы объёмов тонкомерных деревьев сосны немногочисленные, хотя они начали составляться более ста лет назад. Целью исследования было вычисление объёма древесных стволов деревьев и его прироста тонкомерной болотной сосны на примере округа сосново-берёзовых лесов Зауральской равнинной провинции. Предмет исследования – сосна по верховому сфагновому болоту. Соотношение диаметра и высоты болотной сосны показало, что существующие таблицы

объёмов тонкомерных деревьев равнинных лесов Зауралья являются непригодными для определения их объёма. Из-за отсутствия приемлемых региональных объёмных таблиц их объём определялся рубкой и обмером модельных деревьев. Объём срубленных моделей ( $V$ ) определялся по простой формуле площади сечения Губера  $V=\gamma L$  умножением площади сечения ( $\gamma$ ) на половине высоты дерева ( $L$ ). Наиболее адекватным оказалась степенная зависимость ( $\gamma=ax^b$ ) объёма ствола дерева ( $\gamma$ ) от его диаметра ( $x$ ), которая является фактически функциональной ( $r^2=0,999$ ). Для вычисления теоретического прироста использовалась зависимость между замеренным диаметром ствола и диаметрами, полученными 5 лет назад на основе замеров приростов по радиусу, близкая к линейной и функциональной ( $r^2=0,980$ ). На основе этой зависимости вычисляли теоретический диаметр 5 лет назад. Теоретический прирост по объёму ( $Z_v$ ) за 5 лет получал как разницу между замеренным объёмом древесного ствола и теоретическим объёмом, на основе ранее полученной степенной зависимости объёма от теоретического диаметра дерева ( $\gamma=ax^b$ ).

**Keywords:** *Trans-Urals plain province, pine on a sphagnum bog, stem volume and volume increment calculation.*

The stem volume of undersized thin trees which diameter is absent in existing volume tables has to be calculated in research works. As consequence, the stem volume and its increment are determined with low accuracy. The volume increment ( $Z_v$ ) is used in ecological investigations to determine the gradient eco-physiological index  $Z_v/D$ , where  $D$  is the distance from stem which characterizes the competitive tree strength to most correctly. There are few volume tables for undersized pine trees, although such tables began to be compiled more than hundred years ago. The research goal was to calculate tree stem volume and its increment in undersized pines growing on a bog in the district of pine-birch forests of the Trans-Urals plain province. The research targets were pines growing on a raised sphagnum bog. The correlation of diameter and height of bog pine has shown that the existing

volume tables for undersized trees are inapplicable for volume calculation. Due to the absence of applicable regional volume tables, tree stem volume was calculated by cutting and measuring sample trees. The volume of cut sample trees ( $V$ ) was calculated by simple Huber's formula of the average cross-section  $V=\gamma L$  with multiplication of cross-section ( $\gamma$ ) by  $S$  of tree height ( $L$ ). The most adequate one was the power-law dependence ( $y = ax^b$ ) of tree stem volume ( $V$ ) on its diameter ( $x$ ); the dependence is really functional ( $r^2 = 0.999$ ). The dependence between measured stem diameter and its diameters obtained 5 years ago by measuring radial increment which is near to linear and functional ( $r^2 = 0.980$ ) was used to calculate theoretical increment. This dependence was used to calculate theoretical stem diameter 5 years ago. The theoretical stem volume increment ( $Z_v$ ) during 5 years was calculated as the difference between measured tree stem volume and theoretical stem volume based on previously derived power-law dependence of stem volume on tree theoretical diameter ( $y = ax^b$ ).

**Андреев Георгий Васильевич**, к.с.-х.н., с.н.с., отдел лесоведения, Ботанический сад Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург. Тел.: (343) 322-56-36. E-mail: 8061965@mail.ru.

**Andreyev Georgiy Vasilyevich**, Cand. Agr. Sci., Senior Staff Scientist, Forest Science Division, Botanical Garden, Ural Branch, Rus. Acad. of Sci., Yekaterinburg. Ph.: (343) 322-56-36. E-mail: 8061965@mail.ru.

### Введение

При закладке постоянных пробных площадей, при лесоустроительных и научно-исследовательских работах приходится определять запас тонких деревьев, диаметры которых не предусмотрены в имеющихся таблицах для исчисления объёмов. Вследствие этого масса деревьев определяется с низкой точностью, что приводит к погрешностям, не отвечающим требованиям не только научно-исследовательских учреждений, но и запросам производства. Поэтому невозможно точно определить и соответствующий прирост по объёму ( $Z_v$ ) за 5 лет, который является одним из наиболее важных показателей продуктивности [1]. Он используется для определения градиентного экофизиологического индекса  $Z_v/D$ , где  $D$  – расстояние от ствола, который наиболее корректно характеризует конкурентную мощность дерева [2, 3].

Следует отметить немногочисленность таблиц объёмов тонкомерных деревьев сосны, хотя они начали составляться более ста лет назад [4]. В имеющихся таблицах подзоны южной тайги Зауралья Свердловской области [5] также отсутствуют данные по объёмам тонкомерной сосны. Таблицы объёмов тонкомерных деревьев сосны были составлены для юго-западной части бывшего СССР [6] и для лесов европейско-

го Севера [7]. Для определения объёма древесных стволов тонкомерных деревьев равнинных лесов Зауралья используются таблицы, составленные [8] для Челябинской области (цит. по Верхунов и др., 1991) [9].

**Цели** исследования – вычисление объёма древесных стволов деревьев тонкомерной болотной сосны и её прироста по объёму на примере округа сосново-берёзовых лесов Зауральской равнинной провинции.

### Объекты и методика исследований

Исследования проводили на территории болота Тёплое Луговского участкового лесничества Тугулымского лесничества в 2016 г. Согласно лесорастительному районированию Свердловской области [10] исследуемый объект находится в Западно-Сибирской лесорастительной области Зауральской равнинной провинции в округе сосново-берёзовых предлесостепных лесов. По данным [10] исследуемый древесной относится к сосняку сфагновому (индекс 474), где первая цифра обозначает принадлежность к равнинному (до 200 м над у.м.) высотному классу, вторая цифра – к устойчиво-сырому водному режиму почвогрунтов, последняя – положение в рельефе – верховые и переходные болота в замкнутых западинах, что соответствует типу лесу сосняк сфагновый.

**Количественные показатели растущей части древостоя**

Состав, %	Элемент леса	А, лет	Н, м	Д, см	Бонитет	N, экз/га	$\Sigma G$ , м <sup>2</sup> /га	р	М, м <sup>3</sup> /га
100	С	33-60 (120)	4,5	7,8	Va (V6)	720	3,4811	0,23	9,810

Количественные показатели древостоя приведены в таблице 1, где Н и Д – средняя высота и диаметр, N – количество деревьев (густота или плотность),  $\Sigma G$  – сумма площадей сечений (абсолютная полнота), р – относительная полнота древостоя, М – запас стволовой древесины.

Древостой был частично затронут низовым пожаром в 2013 г., более ранние пожары были 42 года назад (в 1974 г.), определённого по пожарной подсушине срубленного модельного дерева. Преобладающим возрастом сосны по данным срубленных модельных деревьев и кернов с учётом положительных поправок на высоту взятия кернов преимущественно 33-60 лет, хотя имеются единичные крупные деревья у которых возраст 117-120 лет, возникшие после пожара в конце XIX – начале XX вв.

Исследуемый древостой характеризуется как низкой производительностью основного поколения, так и относительной низкой полнотой. По существующим лесотаксационным нормативам он относится к нелесным землям – к сфагновым (верховым) болотам. Самые старшие деревья по производительности являются внебонитетными. То есть наблюдается ухудшение роста болотной сосны с увеличением её возраста.

**Материалы и обсуждение**

Для определения пригодности существующих объёмных таблиц, а также для вычисления объёмов стволов без рубки модельных деревьев по объёмным таблицам вычислялась зависимость между диаметром и высотой (кривая высот). Аппроксимация выполнялась с использованием степенного уравнения и параболы второго порядка, проходящей через начало координат, так как свободный член уравнения параболы оказался не значим по t-критерию Стьюдента [11]. По величине систематической ошибки (-1,2%), точности уравнения (3,3%) и коэффициенту детерминации  $r^2=0,855$ , а также на основе дисперсионного анализа (F=432,64) наиболее адекватным оказалось степенное уравнение:

$$y=1,119x^{0,680} \tag{1}$$

Все константы этого уравнений оказались значимыми по t-критерию Стьюдента с  $\alpha=0,05$ .

Для исследуемого древостоя характерны значительно меньшие высоты, соответствующие их диаметрам, по сравнению с имеющимися региональными таблицами тонкомерных деревьев [8] равнинной сосны Зауралья Челябинской области. Эти объёмные таблицы неприемлемы для определения объёма стволов сосны по болоту. При диаметре деревьев на высоте 1,3 до 12 см выровненная высота сосны находятся в пределах значений таблиц [6]. При более крупном диаметре рассчитанные значения высоты характеризуются меньшими значениями, чем по таблицам [6]. Поэтому запас болотных сосняков пришлось определять с рубкой и обмером модельных деревьев.

Объём срубленных деревьев сосны вычислялся по простой формуле Губера (Анучин, 1982) [12]:

$$V=yL, \tag{2}$$

где V – объём древесного ствола;

y – площадь поперечного сечения на середине высоты древесного ствола длиной L.

Определение объёма стволов болотной тонкомерной сосны проводилось с использованием зависимости между диаметрами и объёмами модельных деревьев (кривой объёма) М. Продана (цит. по Н.П. Анучин, 1982) [12] на основе нескольких уравнений [11]: степенного, называемым в общей биологии аллометрическим [13, 14]:

$$y=0,113x^{2,333} \tag{3}$$

и параболы второго порядка

$$y=1,833-1,084x+3,334x^2, \tag{4}$$

где y – объём дерева;

x – диаметр дерева на высоте груди.

Следует отметить, что оба уравнения показали очень высокую зависимость ( $r^2=0,99$ ) объёма от диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м. Все константы уравнений оказались значимыми по t-критерию Стьюдента с  $\alpha=0,05$ . По величине систематической ошибки уравнения (3,8%), его точности (3,9%) и результатам дисперсионного анализа (F=4476,063) наиболее адекватным оказалось степенное уравнение.

Помимо кривой объёмов для вычисления запаса древесных стволов использовался также метод скользящего диаметра [15]. Зависимость скользящего диаметра от

диаметра на высоте груди хорошо отражается линейным уравнением:

$$y=0,245+0,219x, \quad (5)$$

где  $y$  – скользящий диаметр;

$x$  – диаметр на высоте 1,3 м.

Это уравнение характеризуется высоким коэффициентом детерминации ( $r^2=0,980$ ), систематической ошибкой (-0,4%), точностью уравнения (2,3%) и  $F=1337,895$ .

Последний метод также показал близкую аппроксимацию по сравнению с объёмами срубленных модельных деревьев сосны и уравнений кривой объёмов. При диаметре до 11 см объём стволов, вычисленный разными способами, оказался близкий. Вычисленные значения объёма стволов приведены в таблице 2, где  $V_{\text{степ}}$ ,  $V_{\text{параб}}$ ,  $V_{\text{дск}}$  и  $V_{\text{Изюмск}}$  – полученные объёмы по степенному уравнению, параболе второго порядка, на основе метода скользящего диаметра [15] и по объёмным таблицам [6].

Таблица 2

*Объёмы деревьев болотной сосны, полученные разными способами*

$D_{1,3}$ см	$V_{\text{степ}}^{\text{дм}}$	$V_{\text{параб}}^{\text{дм}}$	$V_{\text{дск}}^{\text{дм}}$	$V_{\text{Изюмск}}^{\text{дм}}$
2	0,569	1,001	0,657	0,616
3	1,466	1,587	1,509	1,390
4	2,869	2,841	2,833	3,030
5	4,828	4,763	4,712	4,740
6	7,388	7,353	7,220	8,090
7	10,585	10,611	10,429	11,000
8	14,454	14,537	14,406	16,500
9	19,025	19,131	19,219	21,100
10	24,326	24,393	24,929	25,900
11	30,384	30,323	31,597	35,700
12	37,223	36,921	39,284	42,500
13	44,865	44,187	48,046	52,290
14	53,333	52,121	57,941	62,931
15	62,647	60,723	69,023	74,808
16	72,827	69,993	81,345	87,972
17	83,891	79,931	94,962	102,475
18	95,858	90,537	109,924	118,365

Близким оказалось его определение по степенному уравнению и параболе второго порядка. Наибольшее завышение характерно для объёмных таблиц [6]. Метод скользящего диаметра [15] даёт меньшее завышение объёма.

Диаметры стволов 5 лет назад ( $D_5$ ) вычислялись на основе разницы между значениями замеренных диаметров стволов этого года и радиальных приростов за 5 лет по формуле:

$$D_5=D-\sum Zr_5*2/10, \quad (6)$$

где  $D$  – замеренный диаметр дерева, см;

$\sum Zr_5$  – сумма радиальных приростов за 5 лет, мм.

В дальнейшем была получена зависимость между замеренными диаметрами стволов и диаметрами стволов 5 лет назад.

Она характеризуется линейным уравнением:

$$y=-0,980+1,058x, \quad (7)$$

где  $x$  – замеренный диаметр дерева на момент перечёта;

$y$  – диаметр дерева, замеренный 5 лет назад с коэффициентом детерминации  $R^2=0,984$ , систематической ошибкой -1,3%, относительным среднеквадратическим отклонением 5% – 14,2% и точностью уравнения – 2,1%,  $F$ -критерий составил 6434,955.

Константы этого уравнения оказались значимыми по  $t$ -критерию Стьюдента с  $\alpha<0,05$ .

На основе разницы диаметров замеренных деревьев и теоретических диаметров 5 лет назад были вычислены теоретические годовые радиальные приросты  $Zr$  за 5 лет (в мм) по формуле:

$$Zr=(D-D_{\text{выр5}})*10/2, \quad (8)$$

где  $D$  – замеренный диаметр дерева, см;

$D_{\text{выр5}}$  – выравненный диаметр дерева 5 лет назад, см.

Объёмы стволов замеренных деревьев (в  $\text{дм}^3$ ) и их объёмы 5 лет назад вычислялись на основе полученного ранее степенного уравнения (3) зависимости объёма ствола от диаметра на высоте 1,3 м:

$$y=0,113*x^{2,333},$$

где  $x$  – диаметр дерева, см;

$y$  – объём ствола,  $\text{дм}^3$ .

Прирост по объёму  $Zv$  ( $\text{дм}^3$ ) за 5 лет определялся как разница между объёмом в год замера и теоретическим объёмом 5 лет назад, на основе расчётного диаметра.

### Заключение и выводы

На основе зависимости высот от диаметров (кривой высот) оказалось, что существующие таблицы объёмов тонкомерных деревьев равнинных лесов Зауралья являются непригодными для определения объёма стволиков болотной сосны. Объёмные таблицы тонкомерных деревьев сосны западных и южных регионов бывшего СССР могут быть ограниченно использованы для вычисления объёма деревьев, не превышающих диаметра 12 см.

Из-за отсутствия приемлемых региональных объёмных таблиц объём определялся рубкой и обмером модельных деревьев. Объём срубленных моделей определялся по простой формуле Губера. Была получена зависимость объёма ствола дерева от его диаметра (кривая объёмов), ко-



торая оказалась близкой к функциональной ( $r^2 > 0,99$ ). Использование параболы второго порядка, степенного уравнения и метода скользящего диаметра показало близкие показатели объёма стволов на всём интервале взятых модельных деревьев. Большим оказался объём древесных стволов, полученный по объёмным таблицам западных и южных регионов бывшего СССР, начиная с диаметра в 6 см.

Для вычисления приростов по радиусу использовалась зависимость, близкая к линейной и функциональной, между замеренными диаметрами и диаметрами, полученными 5 лет назад на основе замеров радиального прироста. В дальнейшем на основе этой зависимости вычисляли теоретические диаметры 5 лет назад.

На основе ранее полученной кривой объёмов (соотношения диаметра и объёма деревьев) ( $y = ax^b$ ) вычислялся теоретический объём древесных стволов 5 лет назад.

Теоретический прирост по объёму ( $Z_v$ ) получался как разница между вычисленным объёмом стволика в момент перечёта и 5 лет назад.

#### Библиографический список

1. Антанайтис В.В., Загребев В.В. Прирост леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 200 с.
2. Санникова Н.С. Микроценозосистемный анализ структуры и функций лесных биогеоценозов // Экология. – 2003. – № 2. – С. 90-95.
3. Санникова Н.С., Санников С.Н., Петрова И.В., Мишихина Ю.Д., Черепанова О.Е. Факторы конкуренции древостоя-эдификатора: количественный анализ и синтез // Экология. – 2012. – № 6. – С. 403-409.
4. Крюденер А.А. Массовые таблицы и таблицы сбega для сосны по мокрым почвам и по болоту в удельных (и других) лесах европейской России. – СПб., 1910. – Вып. 3. – Ч. 2. – 288 с.
5. Гальперин М.И., Соколов С.В. Лесотаксационные таблицы для древостоев сосны подзоны южной тайги Зауралья (в пределах Свердловской области). – Свердловск: УЛТИ, 1971. – 25 с.
6. Изюмский П.П. Таксация тонкомерного леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1972. – 88 с.
7. Соколов Н.Н. Таблицы объёма маломерных стволов сосны // Лесной журнал. – 1956. – № 6. – С. 17-19.
8. Гальперин М.И., Коростелёв И.Ф. Лесотаксационные таблицы для Челябинской

области. – Свердловск: УЛТИ, 1981. – 18 с.

9. Верхунов П.М., Попова А.В., Черных В.Л., Мамаев И.В. Лесотаксационный справочник для лесов Урала (нормативные материалы для Пермской, Челябинской, Свердловской и Курганской областей, Башкирской АССР). – М.: ЦБНТИлесхоз-МПИ, 1991. – Ч. I, II. – 483 с.

10. Колесников Б.П., Зубарева Б.П., Смолоногов Е.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области: практическое руководство. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.

11. Свалов С.Н. Применение статистических методов в лесоводстве // Итоги науки и техники / Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1985. – Т. 4. – С. 1-164.

12. Анучин Н.П. Лесная таксация: учебник. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 502 с.

13. Кофман Г.Б. Рост и форма деревьев. – Новосибирск: Наука, 1986. – 211 с.

14. White E.P., Enquist B.J., Green J.L. On estimating the exponent of power-law frequency distributions // Ecology. – 2008. – Vol. 89 (4). – P. 905-912.

15. Смолоногов Е.П., Залесов С.В. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 186 с.

#### References

1. Antanaytis V.V., Zagreev V.V. Prirost lesa. – M.: Lesn. prom-st, 1982. – 200 s.
2. Sannikova N.S. Mikrotsenoekosistemnyy analiz struktury i funktsiy lesnykh biogeotsenozov // Ekologiya. – 2003. – № 2. – S. 90-95.
3. Sannikova N.S., Sannikov S.N., Petrova I.V., Mishchikhina Yu.D., Cherepanova O.E. Faktory konkurentsii drevostoya-edifikatora: kolichestvennyy analiz i sintez // Ekologiya. – 2012. – № 6. – S. 403-409.
4. Kryudener A.A. Massovye tablitsy i tablitsy sbega dlya sosny po mokrym pochvam i po bolotu v udelnykh (i drugikh) lesakh evropeyskoy Rossii. – SPb., 1910. – Vyp. 3. – Ch. 2. – 288 s.
5. Galperin M.I., Sokolov S.V. Lesotaksatsionnye tablitsy dlya drevostoev sosny podzony yuzhnoy taygi Zauralya (v predelakh Sverdlovskoy oblasti). – Sverdlovsk: ULTI, 1971. – 25 s.
6. Izyumskiy P.P. Taksatsiya tonkomernogo lesa. – M.: Lesn. prom-st, 1972. – 88 s.

7. Sokolov N.N. Tablitsy obema malomernykh stvolov sosny // Lesnoy zhurnal. – 1956. – № 6. – S. 17-19.

8. Galperin M.I., Korostelev I.F. Lesotaksatsionnye tablitsy dlya Chelyabinskoy oblasti. – Sverdlovsk: ULTI, 1981. – 18 s.

9. Verkhunov P.M., Popova A.V., Chernykh V.L., Mamaev I.V. Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya lesov Urala (normativnye materialy dlya Permskoy, Chelyabinskoy, Sverdlovskoy i Kurganskoy oblastey, Bashkirskoy ASSR). – M.: TsBNTIleskhoz-MPI, 1991. – Ch. I, II. – 483 s.

10. Kolesnikov B.P., Zubareva B.P., Smolonogov E.P. Lesorastitelnye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti: prakticheskoe rukovodstvo. – Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1973. – 176 s.

11. Svalov S.N. Primenenie statisticheskikh metodov v lesovodstve // Itogi nauki i

tekhniki / Lesovedenie i lesovodstvo. – M.: VINITI, 1985. – T. 4. – S. 1-164.

12. Anuchin N.P. Lesnaya taksatsiya: uchebnik. – M.: Lesn. prom-st, 1982. – 502 s.

13. Kofman G.B. Rost i forma derevev. – Novosibirsk: Nauka, 1986. – 211 s.

14. White E.P., Enquist B.J., Green J.L. On estimating the exponent of power-law frequency distributions // Ecology. – 2008. – Vol. 89 (4). – P. 905-912.

15. Smolonogov E.P., Zalesov S.V. Ekologo-lesovodstvennye osnovy organizatsii i vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny. – Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2002. – 186 s.

*Работа выполнена при поддержке Комплексной программы Уральского отделения РАН № 15-12-4-13.*



УДК 635.92:582.998.3+631.547.4

Т.И. Фомина, Ю.А. Пшеничкина  
T.I. Fomina, Yu.A. Pshenichkina

## ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТЕНИЯ КОЛОКОЛЬЧИКА АЛТАЙСКОГО (*CAMPANULA ALTAICA* LEDEB.) В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

### PECULIARITIES OF *CAMPANULA ALTAICA* LEDEB. FLOWERING AT INTRODUCTION

**Ключевые слова:** колокольчик алтайский, цветение, морфология цветка, опылители, половой диморфизм, интродукция.

Колокольчик алтайский (*Campanula altaica* Ledeb.) – ранцветущий декоративный многолетник, а также охраняемый в некоторых регионах России вид. В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (г. Новосибирск) исследованы особенности цветения этого травянистого поликарпика, интродуцированного из горно-алтайской, алтайской и томской популяций. Ритм цветения вида поздневесенне-раннелетний. Короткий период цветения,  $10 \pm 2$  дней в среднем, обусловлен малоцветковыми соцветиями и дружным распусканием цветков. Дневные температуры воздуха оказывают непосредственное влияние на продолжительность цветения. Определены значения морфологических признаков побега и цветка. Высота побега варьирует в пределах 21-77 см, число листьев – 5-17 шт. на побег, число цветков – 1-8 шт. на побег, диаметр цветка – 3,0-5,1 см. Для признаков цветка, высоты побега, числа и размеров листьев установлена средняя вариабельность, индивидуальная и внутривидовая, а для числа цветков – высокая. Выявлен комплекс насекомых-опылителей, включающий 14 видов, из которых основными являются: *Aporia crataegi* L.,

*Apis mellifera* L., *Bombus hortorum* L., *B. pascuorum* Scop., *B. hypnorum* L., *B. lucorum*, *Vespula vulgaris* F., *Cerceris bicincta* Klug. Половой диморфизм в форме гинодизции, описанный в литературе для других видов рода, у *C. altaica* в условиях интродукции не обнаружен.

**Keywords:** *Campanula altaica*, flowering, flower morphology, pollinators, sex dimorphism, introduction.

*Campanula altaica* is an early flowering ornamental perennial plant; it is a species protected in some regions of Russia. The features of flowering of this herbaceous polycarpic introduced from the Republic of Altai, Altai Region and Tomsk Region populations were investigated at the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (Novosibirsk). The rhythm of flowering is of late-spring and early-summer pattern. A short flowering period,  $10 \pm 2$  days on average, is due to the little-flowered inflorescences and simultaneous blossoming. Daytime air temperatures directly affect the duration of flowering. The values of some morphological features of shoot and flower are determined. The height of shoot varies from 21-77 cm, the number of leaves – 5-17 pieces, and the number of flowers – 1-8 pieces on a shoot, the diameter of